



**altex**

**М. А. Шустов**

# **ПРАКТИЧЕСКАЯ СХЕМОТЕХНИКА**

## **450 ПОЛЕЗНЫХ СХЕМ РАДИОЛЮБИТЕЛЯМ**



**книга**

**1**

ISBN 5-94271-002-3



9 785942 710026

**М. А. Шустов**

---

---

**Михаил Анатольевич Шустов**

---

**Практическая схемотехника  
450 полезных схем радиолюбителям  
Книга 1**

**Практическая схемотехника  
450 полезных схем радиолюбителям  
Книга 1**

Сборник схем, сгруппированных по основным направлениям современной радиоэлектроники, предназначен для ознакомления начинающих и подготовленных радиолюбителей с основами создания узлов и аналогов элементов радиоэлектронных устройств.

В сборник включено свыше 450 несложных схем, доступных для самостоятельного повторения из минимального набора распространенных радиокомпонентов. Около 40% представленных схем разработано автором сборника.

Сборник будет полезен как начинающим и подготовленным радиолюбителям, так и специалистам в области радиоэлектроники.

**«Альтекс-А»  
Москва 2003**

---

**ISBN 5-94271-002-3**

**© «Альтекс-А», 2003  
© М. А. Шустов, 2003**

# Содержание

|                                                                                                                            |     |                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение . . . . .                                                                                                         | 5   | 23. Имитаторы звуков,<br>электро- и цветомузыка, электронные игрушки . . . . .                                     | 210 |
| 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги . . . . .                                                                   | 9   | 24. Устройства для поиска<br>и диагностики биологически активных точек . . . . .                                   | 218 |
| 2. Эквиваленты полупроводниковых приборов . . . . .                                                                        | 19  | 25. Ионаторы воды . . . . .                                                                                        | 225 |
| 3. Основные схемы включения транзисторов . . . . .                                                                         | 27  | 26. Основные элементы цифровой логики . . . . .                                                                    | 232 |
| 4. Усилители низкой частоты . . . . .                                                                                      | 35  | 27. Электронные устройства на КМОП-микросхемах . . . . .                                                           | 238 |
| 5. Каскодные усилители . . . . .                                                                                           | 44  | 28. Звукосигнальные охранные системы и устройства . . . . .                                                        | 251 |
| 6. Генераторы импульсов . . . . .                                                                                          | 54  | 29. Аналоговое применение цифровых микросхем . . . . .                                                             | 258 |
| 7. Генераторы импульсов<br>на триггере Шмитта, усилители класса D<br>и генераторы импульсов на КМОП-коммутаторах . . . . . | 63  | 30. Линейно-инверсный мост и мост модулированного тока . . . . .                                                   | 264 |
| 8. Генераторы импульсов на аналогах инжекционно-полевых<br>транзисторов, генераторы импульсов на негаваристорах . . . . .  | 71  | 31. Многодиапазонные измерительные приборы . . . . .                                                               | 272 |
| 9. Низковольтные<br>преобразователи для питания светодиодов . . . . .                                                      | 79  | 32. Простые измерительные приборы, измерители емкости<br>конденсаторов, проверка электронных компонентов . . . . . | 279 |
| 10. Обратные связи в генераторах . . . . .                                                                                 | 96  | 33. Цветодинамические измерительные приборы . . . . .                                                              | 287 |
| 11. Генераторы низкой частоты . . . . .                                                                                    | 103 | 34. Индикаторы «фазы» на светодиодах . . . . .                                                                     | 294 |
| 12. Генераторы высокой частоты . . . . .                                                                                   | 112 | 35. Выпрямители, фильтры, стабилизаторы . . . . .                                                                  | 302 |
| 13. Радиопередающие устройства . . . . .                                                                                   | 120 | 36. Индикаторы отключения источника питания . . . . .                                                              | 311 |
| 14. Радиоприемники . . . . .                                                                                               | 129 | 37. Схемы... на микросхемах . . . . .                                                                              | 318 |
| 15. Устройства малопроводной связи и коммутации . . . . .                                                                  | 138 | Приложение . . . . .                                                                                               | 326 |
| 16. Релейные схемы . . . . .                                                                                               | 145 | Список литературы . . . . .                                                                                        | 336 |
| 17. Тиристорные коммутаторы нагрузки . . . . .                                                                             | 153 |                                                                                                                    |     |
| 18. Маломощные коммутирующие устройства,<br>таймеры на тиристорах, КМОП-коммутаторы . . . . .                              | 161 |                                                                                                                    |     |
| 19. Компараторы и их применение, градиентные реле . . . . .                                                                | 169 |                                                                                                                    |     |
| 20. Индикаторы электрических и магнитных полей . . . . .                                                                   | 177 |                                                                                                                    |     |
| 21. Металлоискатели . . . . .                                                                                              | 186 |                                                                                                                    |     |
| 22. Кодовые замки . . . . .                                                                                                | 195 |                                                                                                                    |     |

# Введение

Известно, что сложность повторения конструкций пропорциональна квадрату числа входящих в нее элементов. Большинство представленных в сборнике схем содержит не более дюжины деталей. Хотя эти устройства не содержат элементов избыточности, они вполне работоспособны и обеспечивают приемлемые характеристики. Большинство схемных решений работают в широком диапазоне отклонений параметров элементов от рекомендуемых описанием значений. Это дает основание рекомендовать сборник для самостоятельной или коллективной подготовки начинающих радиолюбителей. В то же время автор полагает, что простое механическое воспроизведение несложных конструкций принесет немного пользы начинающему радиолюбителю. Напротив, если такой радиолюбитель, собрав схему и тщательно проверив правильность ее сборки, в первый раз подключит ее к источнику питания и получит не вполне удовлетворительные результаты, но, затем, целенаправленно подбирая с помощью приборов или на слух параметры элементов, добьется заметного улучшения качества работы устройства, это привьет склонность к эксперименту, поможет правильно «умозрительно» оценить значения параметров резистивно-емкостных и других элементов, используемых в схемотехнических решениях подобного назначения, поможет довести устройство до совершенства.

Среди специалистов в области радиоэлектроники, как, впрочем, и в других сферах деятельности человека, существует разделение склонностей и пристрастий людей, обусловленное их индивидуальностью, особенностями характера, образования, увлеченности. Здесь можно встретить любителей и профессионалов, конструкторов и разработчиков, ученых и популяризаторов, коллекционеров и писателей, учителей-наставников, монтажников, наладчиков, а также экспериментаторов, «универсалов», новаторов, изобретателей и т.д.

«Слепое» копирование схемы приемлемо (по мнению автора) для подготовки радиомонтажников, на потоке в заводских цехах, производящих серийную продукцию, не требующую наладки. В крайнем случае, такая регулировка осуществляется в специальном цехе или лаборатории. От монтажников — рабочих подобного профиля — требуется повышенная аккуратность,

внимательность, усидчивость, но, как правило, не требуется творческая инициатива и фантазия.

«Творческое» копирование предусматривает работу с приборами, включает оптимизацию и усовершенствование схемы и конструкции, развивает творческий подход: «... а что будет, если...»

«Новаторский» подход, подход на уровне рацпредложений, предложений и усовершенствований, характеризуемых «местной» новизной, обусловлен, зачастую, необходимостью по ходу работы решить несложную задачу замены одного элемента на другой, ему аналогичный, либо модернизировать известное устройство для работы по конкретному узкопрофильному назначению.

«Изобретательский» подход сопряжен, как правило, с решением задачи другого, более высокого уровня: создать конструкцию, заметно превосходящую известные аналоги, устройство, не имеющее аналогов, добиться от работы устройства таких высоких показателей, каких нельзя было заранее предвидеть, заставить эффективно работать устройство по совершенно новому, неожиданному назначению.

«Научный, научно-исследовательский» подход предполагает досконально изучить работу устройства, измерить режимы его работы при смене различных условий, систематизировать полученные результаты, обобщить их в виде графиков, таблиц, формул, выводов. Требуется установить принципы работы устройства, причины отклонения получаемых результатов от ожидаемых, сформулировать задачи: как, что и в силу каких причин определяет характеристики устройства. И, наконец, теоретически обосновать, рассчитать устройство, спрогнозировать, как оно будет работать в различных режимах и условиях эксплуатации.

Из числа начинающих радиолюбителей по мере их обучения и развития, в зависимости от ряда сопутствующих обстоятельств, могут сформироваться специалисты различного профиля и квалификации. Безусловно, эти специалисты в соответствии со своим призванием, будут востребованы обществом, найдут свою нишу в сфере радиоэлектронного приборостроения, в различных отраслях народного хозяйства, в сфере науки, промышленности или сервиса.

Разумеется, при подготовке специалистов в области радиоэлектроники необходим учет индивидуальных склонностей и характера обучаемых, создание из бесформенного куска глины, из необработанного сырья шедевра, неповторимого произведения

искусства, высококлассных профессионалов, фанатично влюбленных в радиоэлектронику или «штамповка» потока однородных на первый взгляд специалистов.

Автор надеется, что материалы, систематизированные в настоящем сборнике, позволят повысить интерес к радиоэлектронике у нового поколения молодых людей, пополнить ряды энтузиастов научно-технического прогресса, будут способствовать процессу формирования людей нового тысячелетия.

Для освоения принципов работы схем, рассортированных по темам и разделам сборника, вовсе не обязательно собирать каждую из конструкций. Напротив, есть альтернатива: выбрав наиболее приглянувшуюся схему, собрать ее, проверить в работе, поэкспериментировать с режимами.

При освоении темы группой учащихся для развития ассоциативной, образной, зрительной или механической памяти рекомендуется предложить каждому из обучаемых свою схему. За заданное время обучаемые должны запомнить и затем зарисовать по памяти (или собрать) схему. Победитель выявляется по скорости решения задачи, минимуму допущенных ошибок.

При теоретическом или практическом анализе работы схемы стоит обсудить следующие вопросы: как работает схема; что будет, если одну деталь схемы заменить на другую, если один номинал увеличить (уменьшить) в десять раз; в чем заключается «изюминка» или недостаток схемы; что можно сделать для того, чтобы улучшить работу схемы; каким иным путем можно решить поставленную задачу (перечислить максимальное количество вариантов, оценить их по степени достижимости поставленной задачи).

Для того чтобы оперативно адресовать читателя к цитируемому материалу, в книге по ходу изложения использованы следующие условные обозначения, например: [Р 12/99-34]. Первая буква или буквосочетание обозначает наименование журнала (или сборника), первое число — номер журнала (или сборника); второе — год выпуска или номер страницы (для сборника); третье — номер страницы. Сокращенные обозначения: **Р** — Радио; **Рл** — Радиолюбитель; **ВРЛ** — В помощь радиолюбителю; **МК** — Млад Конструктор (*Болгария*); **F** — Funkamateurl (*Германия*) и т.д.

Развернутые сведения по цитируемому материалу приведены в списке литературы в конце книги.

Специально следует остановиться на обозначении номиналов элементов схем и радиодеталей. Хотя в *России* эти обозначения

стандартизованы *ГОСТ*, далеко не все издательства и заводы придерживаются этих требований, и, более того, зачастую используют свои собственные нестандартные обозначения. Еще в большей степени сказанное относится к зарубежным изданиям и деталям. В этой связи вполне уместно привести варианты-синонимы наименований и обозначений номиналов элементов.

## Резисторы:

$1M1=1,1\text{ МОм}=1100\text{ кОм}$ ;  
 $M2=M20=0,2\text{ МОм}=200\text{ кОм}$ ;  
 $1к2=1,2\text{ кОм}=1200\text{ Ом}$ ;  
 $51R=51\text{ Ом}$ .

Обозначение 8,2 иногда может обозначать как 8,2 *МОм*, так и 8,2 *Ом*.

## Конденсаторы:

$4\mu7=4,7\text{ }\mu=4,7\text{ мкФ}$ ;  
 $100\text{ н}=100\text{ нФ}=100\text{ н}=0,1\text{ мкФ}=100\text{ нФ}$ ;  
 $150\text{ п}=150\text{ пФ}=150\text{ п}=150\text{ пФ}$ ;  
 $8,2=8,2\text{ п}=8,2\text{ пФ}$ .

Обозначение 4,7 иногда может обозначать как 4,7 *мкФ*, так и 4,7 *пФ*.

Особо стоит описать возможности замены одного элемента на другой. Если номинал детали в схеме указан верно (хотя достаточно часто в схемах оригиналов встречаются опечатки), как правило, схема будет работоспособна при величине отклонения на 20...30%, если только этот вопрос специально не оговорен в описании. Более того, некоторые элементы, чаще всего конденсаторы, допускают изменение номинала от рекомендованного значения чуть ли не в десять раз. Поэтому, если в схеме указан определенный номинал элемента, а в наборе доступных элементов такой номинал отсутствует, без особого ущерба для работы схемы этот номинал может быть заменен на ближайший из доступных либо составлен из двух элементов.

В последнем случае следует учитывать, что емкость параллельно соединенных конденсаторов и сопротивление последовательно соединенных резисторов складываются. При последовательном соединении конденсаторов или параллельном соединении резисторов вычислить полученное значение можно следующим образом:  $R=(R1 \times R2)/(R1+R2)$  или  $C=(C1 \times C2)/(C1+C2)$ .

Вопросы замены одного полупроводникового элемента другим, аналогичным, рассмотрены в приложении.

# 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги

Стабилитроны (диоды *Зенера*, *Z*-диоды) предназначены для стабилизации напряжения, режимов работы различных узлов радиоэлектронной аппаратуры. Принцип работы стабилитрона основан на явлении *зенеровского* пробоя *n-p* перехода. Этот вид электрического пробоя происходит в обратносмещенных полупроводниковых переходах при увеличении напряжения выше некоторой критической отметки. Помимо *зенеровского* пробоя известен и используется для стабилизации напряжения *лавинный* пробой. Типовые зависимости тока через полупроводниковый прибор (стабилитрон) от величины приложенного прямого или обратного напряжений (вольт-амперные характеристики, *ВАХ*) приведены на рис. 1.1.

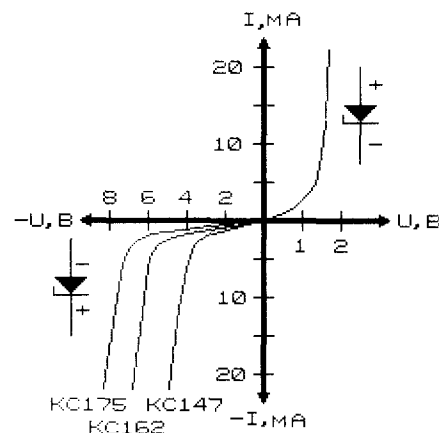


Рис. 1.1

Прямые ветви *ВАХ* различных стабилитронов практически совпадают (рис. 1.1), а обратная ветвь имеет индивидуальные особенности для каждого типа стабилитронов. Эти параметры: напряжение стабилизации; минимальный и максимальный ток стабилизации; угол наклона *ВАХ*, характеризующий величину динамического сопротивления стабилитрона (его «качество»);

# 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги

максимальная мощность рассеяния; температурный коэффициент напряжения стабилизации (*ТКН*) — используют для расчетов схем.

Типовая схема включения стабилитрона показана на рис. 1.2. Значение гасящего сопротивления *R1* (в *кОм*) вычисляют по формуле:

$$R = \frac{E - U_{CT.}}{I_{CT.} + I_{НАГР.}},$$

где:

*E* — напряжение питания, *B*;

*U<sub>CT.</sub>* — напряжение стабилизации стабилитрона, *B*;

*I<sub>CT.</sub>* — величина тока через стабилитрон, *мА*;

*I<sub>НАГР.</sub>* — величина тока через нагрузку, *мА*.

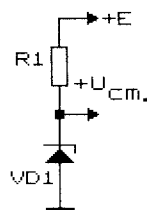


Рис. 1.2

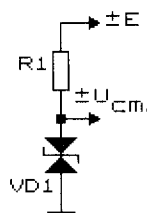


Рис. 1.3

Для стабилизации напряжения переменного тока либо симметричного ограничения его амплитуды на уровне *U<sub>CT.</sub>* используют симметричные стабилитроны (рис. 1.3), например типа *KC175*. Такие стабилитроны можно использовать для стабилизации напряжения постоянного тока, включая их без соблюдения полярности. Получить «симметричный» стабилитрон можно из

# 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги

двух «несимметричных», включив их встречно по схеме, приведенной на рис. 1.4.

Выпускаемые промышленно полупроводниковые стабилитроны позволяют стабилизировать напряжение в широких пределах: от 3,3 до 180 *B*. Так, существуют стабилитроны, позволяющие стабилизировать низкие напряжения: 3,3; 3,9; 4,7; 5,6 *B* — это *KC133*, *KC139*, *KC147*, *KC156* и т.д. При необходимости получить нестандартное напряжение стабилизации, например, 6,6 *B*, можно включить последовательно два стабилитрона *KC133*. Для трех таких стабилитронов напряжение стабилизации составит 9,9 *B*. Для напряжения стабилизации 8,0 *B* можно использовать сочетание стабилитронов *KC133* и *KC147* (т.е. 3,3+4,7 *B*) либо стабилитрон *KC175* и кремниевый диод (*КД503*) — в прямом направлении (т.е. 7,5+0,5 *B*).

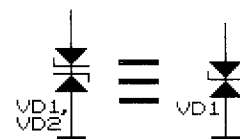


Рис. 1.4

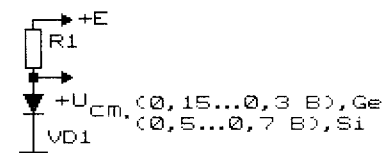


Рис. 1.5

В ситуациях, когда требуется получить стабильное напряжение величиной менее 2...3 *B*, используют *стабисторы* — полупроводниковые диоды, работающие на прямой ветви *ВАХ* (рис. 1.1).

Отметим, что вместо стабисторов можно с успехом использовать обычные германиевые (*Ge*), кремниевые (*Si*), селеновые (*Se*), арсенид-галлиевые (*GaAs*) и иные полупроводниковые диоды (рис. 1.5). Напряжение стабилизации в зависимости от величины тока, протекающего через диод, составит: для германиевых диодов — 0,15...0,3 *B*; для кремниевых — 0,5...0,7 *B*.

Особенно интересно применение в целях стабилизации напряжения светоизлучающих диодов (рис. 1.6) [Р 11/83-40].

## 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги

Светодиоды могут выполнять одновременно две функции: своим свечением индцировать наличие напряжения и стабилизировать его величину на уровне 1,5...2,2 В. Напряжение стабилизации светодиодов  $U_{CT}$  можно определить по приближенной формуле:  $U_{CT}=1236/\lambda$  (В), где  $\lambda$  — длина волны излучения светодиода в нм [Рл 4/98-32].

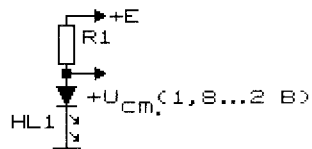


Рис. 1.6

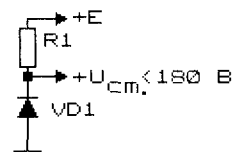


Рис. 1.7

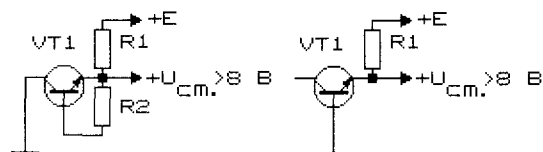


Рис. 1.8

Для стабилизации напряжения может быть использована обратная ветвь ВАХ полупроводниковых приборов (диодов и транзисторов), специально для этих целей не предназначенных (рис. 1.7, 1.8, а также рис. 20.7). Это напряжение (напряжение лавинного пробоя) обычно превышает 7 В и не отличается высокой повторяемостью даже для полупроводниковых приборов одного типа. Для избежания теплового повреждения полупроводниковых приборов при столь необычном режиме их эксплуатации ток через них не должен превышать долей миллиампера. Так, для диодов Д219, Д220 напряжение пробоя (напряжение стабилизации) может находиться в пределах от 120 до 180 В [Р 9/74-62; Р 10/76-46; Р 12/89-65].

## 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги

Для стабилизации малых напряжений используют схемы, представленные на рис. 1.9 — 1.12. В схеме (рис. 1.9) [Горошков Б.И.] использовано «диодное» параллельное включение двух кремниевых транзисторов. Напряжение стабилизации этой схемы равно 0,65...0,7 В для кремниевых транзисторов и около 0,3 В — для германиевых. Внутреннее сопротивление такого аналога стабилитрона не превышает 5...10 Ом при коэффициенте стабилизации до 1000...5000. Однако при изменении температуры окружающей среды нестабильность выходного напряжения схемы составляет около 2 мВ на каждый градус.

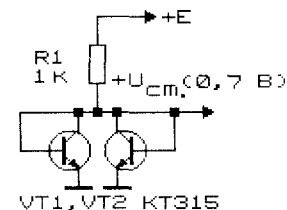


Рис. 1.9

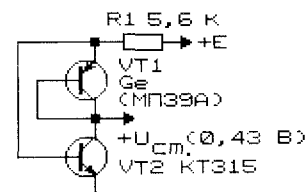


Рис. 1.10

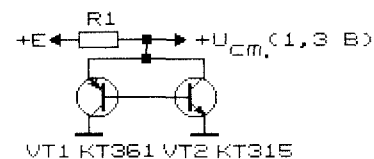


Рис. 1.11

В схеме на рис. 1.10 [Р 6/69-60; ВРЛ 84-9] использовано последовательное включение германиевого и кремниевого транзисторов. Ток нагрузки этого аналога стабилитрона может составить 0,02...10 мА. Устройства, показанные на рис. 1.11 и

## 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги

1.12 [Рл 1/94-33], используют встречное включение транзисторов структуры  $p-n-p$  и  $n-p-n$  и различаются лишь тем, что для повышения выходного напряжения в одной из схем между базами транзисторов включен кремниевый диод (один или несколько). Ток стабилизации аналогов стабилитронов (рис. 1.11, 1.12) может быть в пределах 0,1...100 мА, дифференциальное сопротивление на рабочем участке  $BAX$  не превышает 15 Ом.

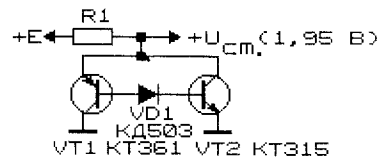


Рис. 1.12

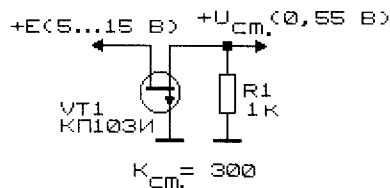


Рис. 1.13

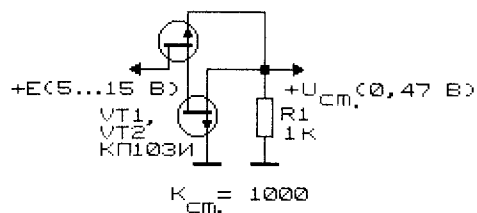


Рис. 1.14

Стабилизировать малые напряжения можно и с помощью полевых транзисторов (рис. 1.13, 1.14). Коэффициент стабилизации таких схем очень высок: для однотранзисторной схемы (рис. 1.13) достигает 300 при напряжении питания 5...15 В, для двухтранзисторной (рис. 1.14) в тех же условиях превышает 1000 [Р 10/95-55]. Внутреннее сопротивление этих аналогов стабилитронов составляет, соответственно, 30 Ом и 5 Ом.

## 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги

Стабилизатор напряжения можно получить с использованием в качестве стабилитрона аналога динистора (рис. 1.15, см. также главу 2) [Горошков Б.И.].

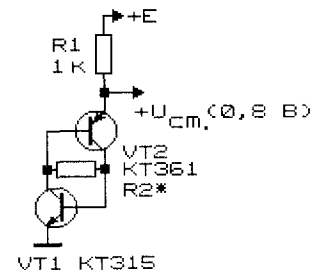


Рис. 1.15

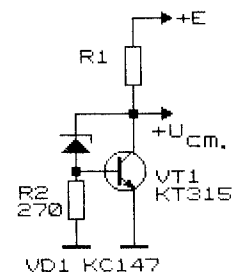


Рис. 1.16

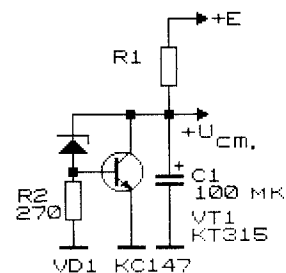


Рис. 1.17

Для стабилизации напряжений при больших токах в нагрузке используют более сложные схемы, представленные на рис. 1.16 — 1.18 [Р 9/89-88, Р 12/89-65]. Для увеличения тока

## 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги

нагрузки необходимо использовать мощные транзисторы, установленные на теплоотводах.

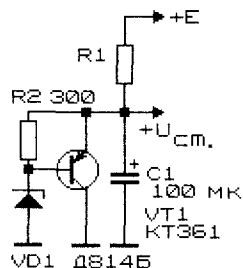


Рис. 1.18

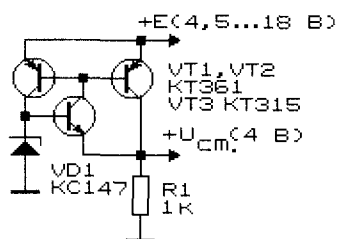


Рис. 1.19

Стабилизатор напряжения, работающий в широком диапазоне изменения питающего напряжения (от 4,5 до 18 В), и имеющий значение выходного напряжения, немногим отличающееся от нижней границы напряжения питания, показан на рис. 1.19 [Горошков Б.И.].

Рассмотренные ранее виды стабилитронов и их аналогов не позволяют плавно регулировать напряжение стабилизации. Для решения этой задачи используются схемы регулируемых параллельных стабилизаторов, аналогичных стабилитронам (рис. 1.20, 1.21).

Аналог стабилитрона (рис. 1.20) позволяет плавно изменять выходное напряжение в пределах от 2,1 до 20 В [Р 9/86-32]. Динамическое сопротивление такого «стабилитрона» при токе нагрузки до 5 мА составляет 20...50 Ом. Температурная стабильность низкая ( $-3 \times 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ ).

## 1. Стабилитроны и их полупроводниковые аналоги

Низковольтный аналог стабилитрона (рис. 1.21) позволяет установить любое выходное напряжение в пределах от 1,3 до 5 В [F 3/73-122]. Напряжение стабилизации определяется соотношением резисторов R1 и R2. Выходное сопротивление такого параллельного стабилизатора при напряжении 3,8 В близко к 1 Ом. Выходной ток определяется параметрами выходного транзистора и для КТ315 может достигать 50...100 мА.

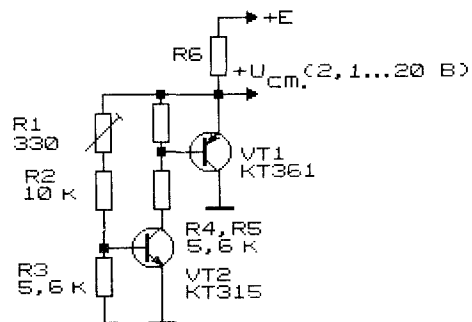


Рис. 1.20

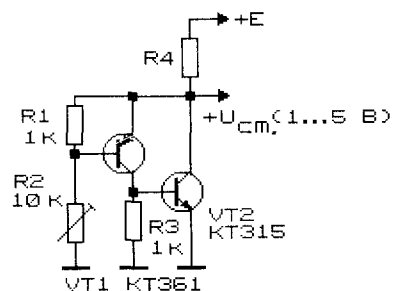


Рис. 1.21

Оригинальные схемы получения стабильного выходного напряжения приведены на рис. 1.22 и 1.23. Устройство (рис. 1.22) представляет собой аналог симметричного стабилитрона [Э 9/91]. Для низковольтного стабилизатора (рис. 1.23) коэффициент стабилизации напряжения равен 10, выходной ток не превышает 5 мА, а выходное сопротивление изменяется в пределах от 1 до 20 Ом [RFE 21/72].

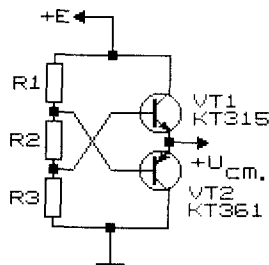


Рис. 1.22

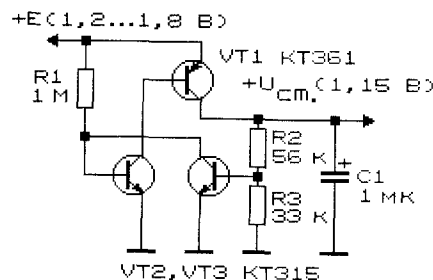


Рис. 1.23

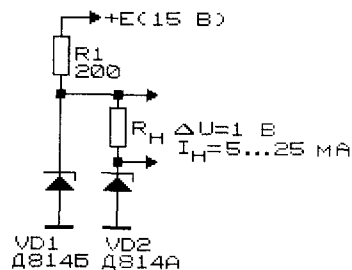


Рис. 1.24

Аналог низковольтного стабилитрона дифференциального типа на рис. 1.24 обладает повышенной стабильностью [Р 6/69-60]. Его выходное напряжение мало зависит от температуры и определяется разностью напряжений стабилизации двух стабилитронов. Повышенная температурная стабильность объясняется тем, что при изменении температуры напряжение на обоих стабилитронах изменяется одновременно и в близкой пропорции.

## 2. Эквиваленты полупроводниковых приборов

В современных радиоэлектронных устройствах используется весьма широкий ассортимент самых разнообразных электронных приборов. Порой отсутствие одного или нескольких таких элементов может затормозить или даже прервать выполнение работы по монтажу или макетированию схемы. Очень часто встречаются ситуации, когда необходимо один элемент заменить другим. Если речь идет о простой замене одного номинала резистора или конденсатора на другой, то решение задачи замены или подбора заменяющего номинала очевидно. Менее очевидны замены радиоэлементов, имеющих специфические, только им присущие свойства.

Ниже будут рассмотрены вопросы замены некоторых специальных полупроводниковых приборов их эквивалентами, выполненными из более доступных элементов.

В импульсной технике широко используют управляемые и неуправляемые коммутирующие элементы, имеющие вольт-амперную характеристику с N- или S-образным участком. Это лавинные транзисторы, газовые разрядники, динисторы, тиристоры, симисторы, однопереходные транзисторы, лямбда-диоды, туннельные диоды, инжекционно-полевые транзисторы и другие элементы.

В релаксационных генераторах импульсов, различных преобразователях электрических и неэлектрических величин в частоту широко используют биполярные лавинные транзисторы. Следует отметить, что специально такие транзисторы почти не выпускают. На практике в этих целях используют обычные транзисторы в необычном включении или режиме эксплуатации.

**Лавинный транзистор** — полупроводниковый прибор, работающий в режиме лавинного пробоя. Такой пробой обычно возникает при напряжении, превышающем предельно допустимое значение. Не допустить теплового пробоя (необратимого повреждения) транзистора можно при ограничении тока через транзистор (подключением высокоомной нагрузки). Лавинный пробой

## 2. Эквиваленты полупроводниковых приборов

транзистора может наступать в «прямом» и «инверсном» включении транзистора. Напряжение лавинного пробоя при инверсном включении (полярность подключения полупроводникового прибора противоположна общепринятой, рекомендованной) обычно ниже, чем для «прямого» включения. Вывод базы транзистора часто не используется (не подключается к другим элементам схемы). В ряде случаев базовый вывод соединяют с эмиттером через высокоомный резистор (сотни  $\text{k}\Omega$  —  $\text{ед. M}\Omega$ ). Это позволяет в некоторых пределах регулировать величину напряжения лавинного пробоя.

На рис. 2.1 приведена схема равноценной замены «лавинного» транзистора интегрального прерывателя *K101КТ1* ее дискретными аналогами. Интересно отметить, что при ближайшем рассмотрении эта схема тождественна эквивалентной схеме динистора (рис. 2.1), тиристора (рис. 2.2) и однопереходного транзистора (рис. 2.4). Отметим попутно, что и вид вольт-амперных характеристик всех этих полупроводниковых приборов имеет общие характерные особенности. На их вольт-амперных характеристиках имеется S-образный участок, участок с так называемым «отрицательным» динамическим сопротивлением. Благодаря такой особенности вольт-амперной характеристики перечисленные приборы могут использоваться для генерации электрических колебаний.

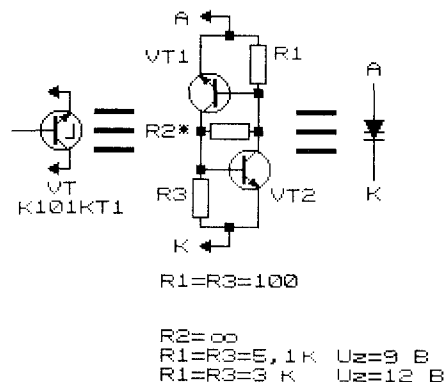


Рис. 2.1. Аналог лавинного транзистора и динистора

Тиристоры, динисторы и им подобные элементы способны при весьма незначительных внутренних потерях управлять большими мощностями, подводимыми к нагрузке.

## 2. Эквиваленты полупроводниковых приборов

**Тиристоры** — приборы, обладающие двумя устойчивыми состояниями: состоянием низкой проводимости (проводимость отсутствует, прибор заперт) и состоянием высокой проводимости (проводимость близка к нулю, прибор открыт). Представители класса тириستоров [Вишневский А.И.]:

- *диодные* тиристоры (динисторы, диаки), имеющие два вывода (анод и катод), управляемые путем подачи на электроды напряжения с высокой скоростью его нарастания или повышения приложенного напряжения до величины, близкой к критической;
- *триодные* тиристоры (тринисторы, триаки), трехэлектродные элементы, управляющий электрод которых служит для перевода тиристора из закрытого состояния в открытое;
- *тетродные* тиристоры, имеющие два управляющих электрода;
- *симметричные* тиристоры — симисторы, имеющие пятислойную структуру. Иногда этот полупроводниковый прибор называют семистором.

Диодные тиристоры (динисторы), ассортимент которых не столь велик, различаются, главным образом, максимально допустимым постоянным прямым напряжением в закрытом состоянии. Так, для динисторов типов *КН102А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, И (2Н102А — И)* значения этих напряжений составляют, соответственно, 5, 7, 10, 14, 20, 30, 40, 50 В при обратном токе не более 0,5 мА. Максимально допустимый постоянный ток в открытом состоянии для этих полупроводниковых приборов равен 0,2 А при остаточном напряжении в открытом состоянии 1,5 В.

На рис. 2.1 приведена эквивалентная схема низковольтного динистора. Если принять  $R1=R3=100 \text{ Ом}$ , можно получить динистор с управляемым (с помощью резистора  $R2$ ) напряжением переключения от 1 до 25 В [Войцеховский Я., Р 11/73-40, Р 12/76-29]. При отсутствии этого резистора и при условии  $R1=R3=5,1 \text{ к}\Omega$  напряжение переключения составит 9 В, а при  $R1=R3=3 \text{ к}\Omega$  — 12 В.

Аналог тиристора *p-n-p-n*-структуры, описанный в книге Я. Войцеховского, показан на рис. 2.2. Буквой А обозначен анод; К — катод; УЭ — управляющий электрод. В схемах (рис. 2.1, 2.2) могут быть использованы транзисторы типов *КТ315* и *КТ361*. Необходимо лишь, чтобы подводимое к полупроводниковому прибору или его аналогу напряжение не

## 2. Эквиваленты полупроводниковых приборов

превышало предельных паспортных значений. В таблице (рис. 2.2) показано, какими величинами  $R1$  и  $R2$  следует руководствоваться при создании аналога тиристора на основе германиевых или кремниевых транзисторов.

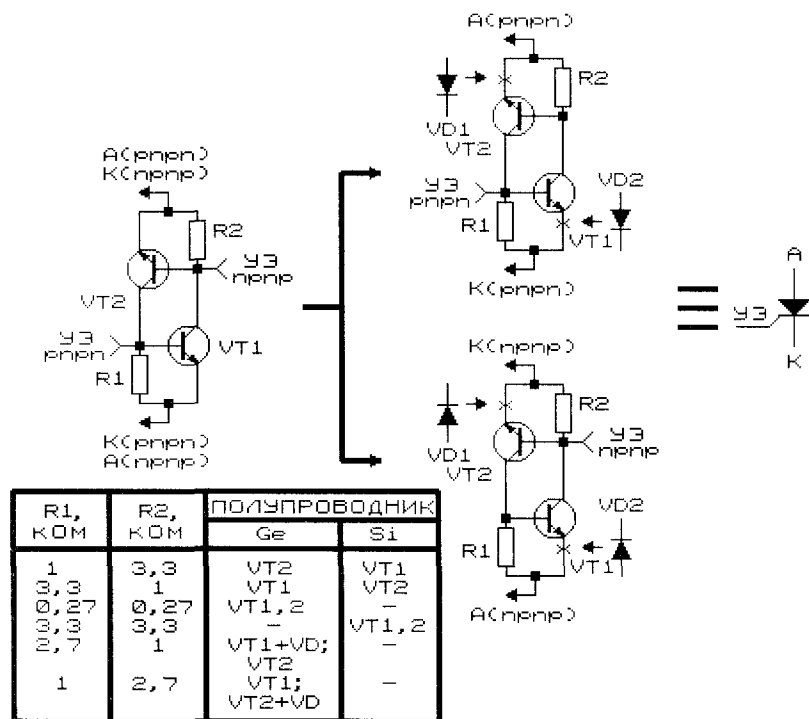


Рис. 2.2. Аналог тиристора

В разрывы электрической цепи, показанные на схеме (рис. 2.2) крестиками, можно включить диоды, позволяющие влиять на вид вольт-амперной характеристики аналога. В отличие от обычного тиристора, его аналогом (рис. 2.2) можно управлять, используя дополнительный вывод — управляющий электрод  $УЭ_{доп.}$ , подключенный к базе транзистора  $VT2$  (верхний рисунок) или  $VT1$  (нижний рисунок). Обычно тиристор включают кратковременной подачей напряжения на управляющий электрод  $УЭ$ . При подаче напряжения на электрод  $УЭ_{доп.}$  тиристор, напротив, можно перевести из включенного состояния в выключенное.

## 2. Эквиваленты полупроводниковых приборов

Аналог управляемого динистора может быть создан с использованием тиристора (рис. 2.3) [Р 3/86-41]. При указанных на схеме типах элементов и изменении сопротивления резистора  $R1$  от 1 до 6  $КОм$  напряжение переключения динистора в проводящее состояние изменяется от 15 до 27 В.

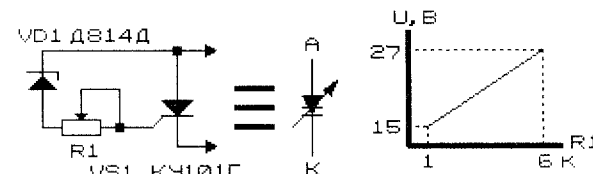


Рис. 2.3. Аналог управляемого динистора

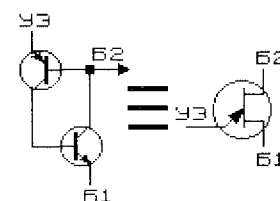


Рис. 2.4. Аналог однопереходного транзистора

Эквивалентная схема используемого в генераторных устройствах полупроводникового прибора — **однопереходного транзистора** — показана на рис. 2.4.  $B1$  и  $B2$  — первая и вторая базы транзистора.

**Инжекционно-полевой транзистор (ИПТ)** представляет собой полупроводниковый прибор с S-образной ВАХ. Подобные приборы широко используют в импульсной технике — в релаксационных генераторах импульсов, преобразователях напряжение-частота, ждущих и управляемых генераторах и т.д. Такой транзистор может быть составлен объединением полевого и обычного биполярного транзисторов (рис. 2.5, 2.6).

На основе дискретных элементов может быть смоделирована не только полупроводниковая структура. На рис. 2.7 показана схема устройства, эквивалентного низковольтному **газовому разряднику** [ПТЭ 4/83-127]. Этот прибор представляет собой газонаполненный баллон с двумя электродами, в котором возникает электрический межэлектродный пробой при превышении

## 2. Эквиваленты полупроводниковых приборов

некоторого критического значения напряжения. Напряжение «пробоя» для аналога газового разрядника (рис. 2.7) составляет 20 В. Таким же образом, может быть создан аналог, например, неоновой лампы.

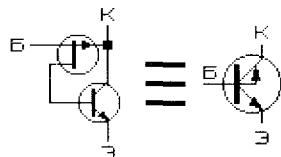


Рис. 2.5. Аналог инжекционно-полевого транзистора n-структуры

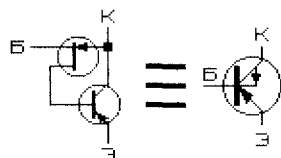


Рис. 2.6. Аналог инжекционно-полевого транзистора p-структуры

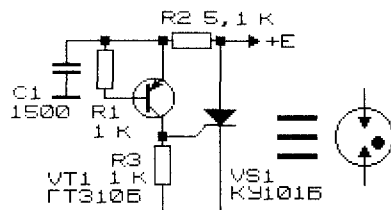


Рис. 2.7. Аналог газового разрядника

Совершенно особым видом ВАХ обладают полупроводниковые приборы типа **лямбда-диодов**, **туннельных диодов**. На вольт-амперных характеристиках этих приборов имеется N-образный участок. Лямбда-диоды и туннельные диоды могут быть использованы для генерации и усиления электрических сигналов. На рис. 2.8 и рис. 2.9 показаны схемы, имитирующие лямбда-диод [РТЕ 9/87-35]. Практически в генераторах чаще используют схему, представленную на рис. 2.9 [ПТЭ 5/77-96]. Если между стоками полевых транзисторов включить управляемый резистор (потенциометр) либо транзистор (полевой или биполярный), то

## 2. Эквиваленты полупроводниковых приборов

видом вольт-амперной характеристики такого «лямбда-диода» можно управлять в широких пределах: регулировать частоту генерации, модулировать колебания высокой частоты и т.д.

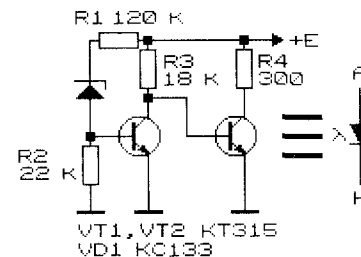


Рис. 2.8. Аналог лямбда-диода

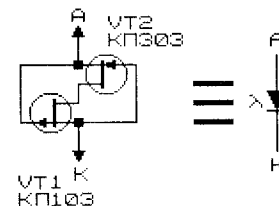


Рис. 2.9. Аналог лямбда-диода

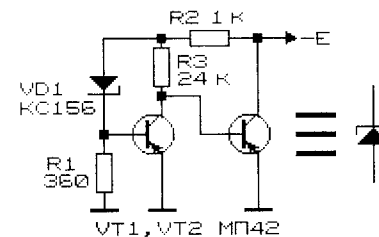


Рис. 2.10. Аналог туннельного диода

**Туннельные диоды** также используют для генерации и усиления высокочастотных сигналов. Отдельные представители этого класса полупроводниковых приборов способны работать до мало достижимых в обычных условиях частот — порядка единиц ГГц. Устройство, позволяющее имитировать вольт-амперную характеристику туннельного диода, показано на рис. 2.10 [Р 4/77-30].

## 2. Эквиваленты полупроводниковых приборов

**Варикапы** — это полупроводниковые приборы с изменяемой емкостью. Принцип их работы основан на изменении барьерной емкости полупроводникового перехода при изменении приложенного напряжения. Чаще на варикап подают обратное смещение, реже — прямое. Такие элементы обычно применяют в узлах настройки радио- и телеприемников. В качестве варикапов могут быть использованы обычные диоды и стабилитроны (рис. 2.11), а также их полупроводниковые аналоги (рис. 2.12 [F 9/73-434], рис. 2.13 [ПТЭ 2/81-151]).

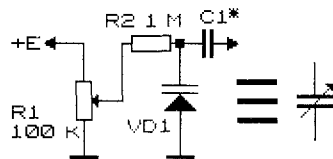


Рис. 2.11. Варикап

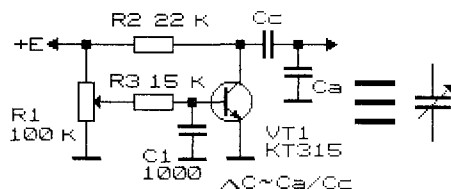


Рис. 2.12. Схема аналога варикапа

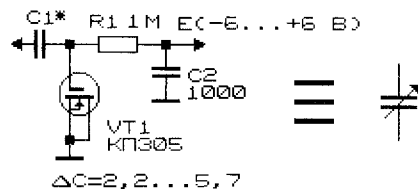


Рис. 2.13. Схема аналога варикапа

## 3. Основные схемы включения транзисторов

Транзистор, как полупроводниковый прибор, имеющий три электрода (эмиттер, базу, коллектор), можно включить тремя основными способами (рис. 3.1 — 3.6). Как известно, входной сигнал поступает на усилитель по двум проводам; выходной сигнал отводится также по двум проводам. Следовательно, для трехэлектродного усилительного прибора при подаче входного и приеме выходного сигнала по двум проводам один из электродов будет непременно общим. Соответственно тому, какой из электродов в схеме включения транзистора будет являться общим, различают три основные схемы включения: с общим эмиттером (ОЭ), общим коллектором (ОК) и общей базой (ОБ).

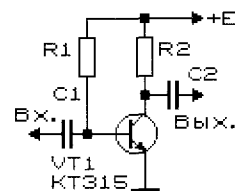


Рис. 3.1. Схема с общим эмиттером (ОЭ)

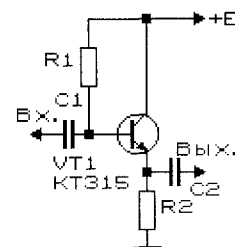


Рис. 3.2. Схема с общим коллектором (ОК)

Практические варианты схем включения транзисторов структуры *n-p-n* и *p-n-p* приведены на рис. 3.1 — 3.6. Как следует из сопоставления рисунков, схемы эти идентичны и различаются лишь полярностью подаваемого напряжения.

Для определения входного ( $R_{вх.}$ ) и выходного ( $R_{вых.}$ ) сопротивления каждой из схем включения, а также коэффициентов усиления по току ( $K_I$ ), напряжению ( $K_U$ ) и мощности ( $K_P = K_I \times K_U$ )

3. Основные схемы включения транзисторов

расчетные и экспериментальные значения и формулы приведены в таблицах 3.1 и 3.2. Таблица с формулами приведена для приближенных расчетов, а для первоначальной, первичной оценки и сравнения свойств основных схем включения транзисторов предназначена вторая таблица с численными оценками.

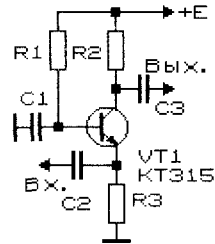


Рис. 3.3. Схема с общей базой (ОБ)

Таблица 3.1

| Схема | $R_{вх.}$                      | Коэффициент усиления               |                                           |                                              |
|-------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
|       |                                | $K_I$                              | $K_U$                                     | $K_P$                                        |
| ОЭ    | $R_b + \frac{R_3}{(1-\alpha)}$ | $\beta = \frac{-\alpha}{1-\alpha}$ | $\frac{-\alpha R_H}{R_3 + R_b(1-\alpha)}$ | $\frac{\alpha^2 R_H}{(1+\alpha)(R_3 + R_b)}$ |
| ОК    | $R_b + \frac{R_3}{(1-\alpha)}$ | $\frac{-1}{1+\alpha}$              | $\approx 1$                               | $\frac{-1}{1+\alpha}$                        |
| ОБ    | $R_3 + R_b(1+\alpha)$          | $\alpha$                           | $\frac{\alpha R_H}{R_3 + R_b(1-\alpha)}$  | $\frac{\alpha^2 R_H}{R_3 + R_b(1-\alpha)}$   |

Таблица 3.2

| Схема | $R, \text{кОм}$ |        | Коэффициент усиления |             |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|-------------|--------|
|       | Вх.             | Вых.   | $K_I$                | $K_U$       | $K_P$  |
| ОЭ    | >10             | 2...20 | >10...100            | >10...100   | <10000 |
| ОК    | >100            | >1     | >10...100            | $\approx 1$ | >10    |
| ОБ    | <0,1            | >100   | $\approx 1$          | >10...100   | >10    |

Обозначения в таблице следующие:  $R_H$  — сопротивление нагрузки;  $R_3$  — сопротивление эмиттера или отношение

3. Основные схемы включения транзисторов

изменения напряжения на эмиттерном переходе к изменению тока эмиттера в режиме короткого замыкания в выходной цепи по переменному току;  $R_b$  — сопротивление базы или отношение изменения напряжения между эмиттером и базой к изменению тока коллектора в режиме холостого хода входной цепи по переменному току;  $\alpha$  — коэффициент усиления по току для схемы с общей базой;  $\beta$  — коэффициент усиления по току для схемы с общим эмиттером.

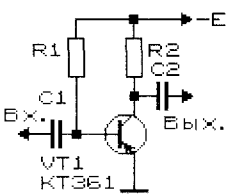


Рис. 3.4. Схема с общим эмиттером (ОЭ)

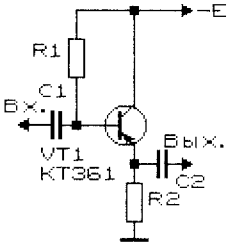


Рис. 3.5. Схема с общим коллектором (ОК)

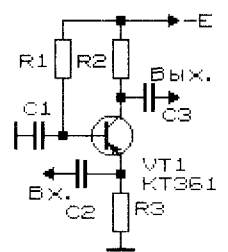


Рис. 3.6. Схема с общей базой (ОБ)

Наиболее часто в практических схемах используют режим включения транзистора с общим эмиттером (как обладающий наибольшим коэффициентом усиления по мощности).

### 3. Основные схемы включения транзисторов

Эмиттерные повторители (схемы с общим коллектором) применяют для согласования высокого выходного сопротивления источника сигнала с низким входным сопротивлением нагрузки. Для построения высокочастотных усилителей (имеющих низкое входное сопротивление) используют схемы с общей базой.

В зависимости от наличия, полярности и величины потенциалов на электродах транзисторов различают несколько режимов его работы. *Насыщение* — транзистор открыт, напряжение на переходе  $K — Э$  минимально, ток через переходы максимален. *Отсечка* — транзистор закрыт, напряжение на переходе  $K — Э$  максимально, ток через переходы минимален. *Активный* — промежуточный между режимом насыщения и отсечки. *Инверсный* — характеризуется подачей на электроды транзистора обратной (инверсной) полярности рабочего напряжения.

В переключательно-коммутирующих схемах, имеющих только два состояния: включено (сопротивление ключевого элемента близко к нулю) и выключено (сопротивление ключевого элемента стремится к бесконечности), используются режимы насыщения и отсечки. Активный режим широко применяют для усиления сигналов. Инверсный режим используют достаточно редко, поскольку улучшить показатели схемы при таком включении транзистора не удается.

Для того чтобы без расчетов первоначально оценить величины RC-элементов, входящих в состав схем (рис. 3.1, 3.2, 3.4, 3.5), можно принять величину сопротивления в коллекторной (эмиттерной) цепи равной нескольким  $кОм$ , а величину сопротивления в цепи базы в 30...50 раз большим. При этом напряжение на коллекторе (эмиттере) должно быть равно половине напряжения питания. Для схемы с общей базой (рис. 3.3, 3.6) величина сопротивления  $R_3$ , обычно не превышает 0,1...1  $кОм$ , величина сопротивления  $R_2$  составляет несколько  $кОм$ .

Величины реактивных сопротивлений конденсаторов  $C_1 — C_3$  для наиболее низких частот, которые требуется усилить, должны быть примерно на порядок ниже соединенных с ними активных сопротивлений  $R_1 — R_3$  (рис. 3.1 — 3.6). В принципе, величины этих емкостей можно было бы выбрать со значительным запасом, но в этом случае увеличиваются габариты переходных конденсаторов, их стоимость, токи утечки, длительность переходных процессов и т.д.

### 3. Основные схемы включения транзисторов

В качестве примера приведем таблицу 3.3 для быстрого определения величины реактивного сопротивления конденсаторов для нескольких частот.

Напомним, что реактивное сопротивление конденсатора  $X_C$ ,  $Ом$ , можно вычислить по формуле:

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C},$$

где:

$f$  — частота сигнала,  $Гц$ ;

$C$  — емкость конденсатора,  $Ф$ ;

1  $Ф=10^6 мкФ=10^9 нФ=10^{12} пФ$ ;

1  $мкФ=10^3 нФ=10^6 пФ$ ;

1  $нФ=10^3 пФ$ ;

1  $ГГц=10^3 МГц=10^6 кГц=10^9 Гц$ ;

1  $МГц=10^3 кГц=10^6 Гц$ ;

1  $кГц=10^3 Гц$ ;

1  $МОм=10^3 кОм=10^6 Ом$ ;

1  $кОм=10^3 Ом$ ;

1  $Ом=10^3 мОм=10^6 мкОм$ .

Таблица 3.3

| Реактивное сопротивление конденсатора | Емкость конденсатора |          |          |          |          |          |
|---------------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                       | 100 пФ               | 1 нФ     | 10 нФ    | 100 нФ   | 1 мкФ    | 10 мкФ   |
| $X_C (10^1 Гц)$                       | 159 МОм              | 15,9 МОм | 1,59 МОм | 159 кОм  | 15,9 кОм | 1,59 кОм |
| $X_C (10^2 Гц)$                       | 15,9 МОм             | 1,59 МОм | 159 кОм  | 15,9 кОм | 1,59 кОм | 159 Ом   |
| $X_C (10^3 Гц)$                       | 1,59 МОм             | 159 кОм  | 15,9 кОм | 1,59 кОм | 159 Ом   | 15,9 Ом  |
| $X_C (10^4 Гц)$                       | 159 кОм              | 15,9 кОм | 1,59 кОм | 159 Ом   | 15,9 Ом  | 1,59 Ом  |
| $X_C (10^5 Гц)$                       | 15,9 кОм             | 1,59 кОм | 159 Ом   | 15,9 Ом  | 1,59 Ом  | 159 мОм  |
| $X_C (10^6 Гц)$                       | 1,59 кОм             | 159 Ом   | 15,9 Ом  | 1,59 Ом  | 159 мОм  | 15,9 мОм |
| $X_C (10^7 Гц)$                       | 159 Ом               | 15,9 Ом  | 1,59 Ом  | 159 мОм  | 15,9 мОм | 1,59 мОм |
| $X_C (10^8 Гц)$                       | 15,9 Ом              | 1,59 Ом  | 159 мОм  | 15,9 мОм | 1,59 мОм | 159 мкОм |

### 3. Основные схемы включения транзисторов

Для постоянного тока реактивное сопротивление конденсаторов стремится к бесконечности. Следовательно, для усилителей постоянного тока (нижняя граничная частота усиления равна нулю) переходные конденсаторы не требуются, а для разделения каскадов необходимо предусматривать специальные меры. Конденсаторы в цепях постоянного тока равносильны обрыву цепи. Поэтому при построении схем усилителей постоянного тока используют схемы с непосредственными связями между каскадами. Разумеется, в этом случае необходимо согласование уровней межкаскадных напряжений.

При усилении переменного тока в цепи нагрузки усилительных каскадов зачастую используют индуктивные элементы. Отметим, что реактивное сопротивление индуктивностей растет с увеличением частоты. Соответственно, с изменением сопротивления нагрузки от частоты, растет и коэффициент усиления такого каскада.

Помимо биполярных транзисторов широкое распространение приобрели более современные элементы — полевые транзисторы (рис. 3.7 — 3.9).

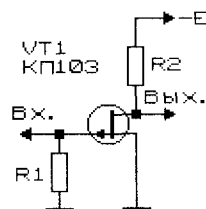


Рис. 3.7. Схема с общим истоком (ОИ)

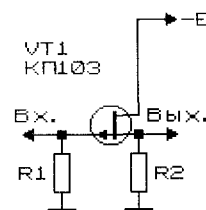


Рис. 3.8. Схема с общим стоком (ОС)

По аналогии со схемами включения биполярных транзисторов полевые включают с общим истоком, общим стоком и с общим затвором.

### 3. Основные схемы включения транзисторов

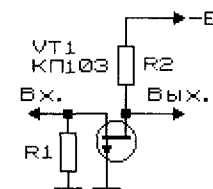


Рис. 3.9. Схема с общим затвором (ОЗ)

Основные расчетные соотношения для этих схем включения полевых транзисторов приведены в таблице 3.4, где  $S$  — крутизна характеристики полевого транзистора,  $mA/B$ ;  $R_i$  — внутреннее сопротивление транзистора.

Таблица 3.4

| Схема | $R_{B\chi}$                        | $R_{B\chi\chi}$                       | Коэффициент усиления, $K_U$                                          |
|-------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| ОИ    | $\approx R_3$                      | $\frac{R_i R_{\chi}}{R_i + R_{\chi}}$ | $\frac{S R_i R_{\chi}}{R_i + R_{\chi}} = S R_{B\chi\chi}$            |
| ОС    | $\approx R_3$                      | $\approx R_H$                         | $\frac{S R_3}{1 + S R_3} < 1$                                        |
| ОЗ    | $\frac{R_i + R_{\chi}}{1 + S R_i}$ | $\frac{R_i R_{\chi}}{R_i + R_{\chi}}$ | $\frac{(S R_i + 1) R_{\chi}}{(S R_i + 1) R_{\chi} + R_i + R_{\chi}}$ |

$$R_3 = R_1; R_H = R_2; R_3 = \frac{R_H R_i}{R_H + R_i}$$

Ориентировочно величина  $R_1$  (рис. 3.7 — 3.9) может быть от нескольких Ом до единиц МОм;  $R_2$  — несколько кОм. Отметим, что, как и для биполярных транзисторов, полевые также допускают работу с отсечкой, с насыщением; активный и инверсный режимы.

Для увеличения коэффициента передачи по току биполярного транзистора используют «составные» транзисторы, включаемые по схеме Дарлингтона (рис. 3.10 — 3.13). Общий их коэффициент усиления несколько отличается от произведения коэффициентов усиления каждого из транзисторов. Одновременно ухудшается температурная стабильность схемы.

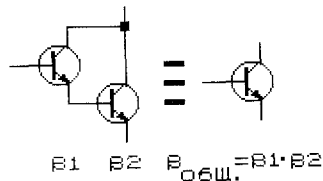


Рис. 3.10

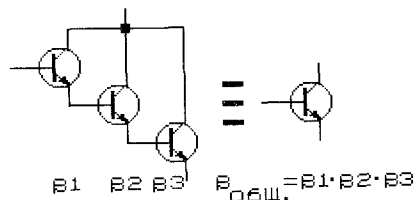


Рис. 3.11

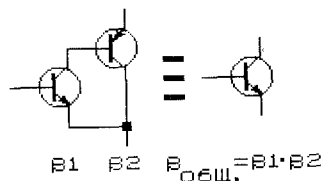


Рис. 3.12

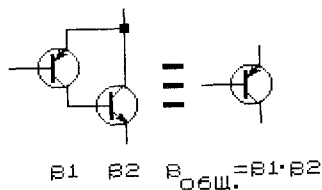


Рис. 3.13

## 4. Усилители низкой частоты

Усилители низкой частоты (УНЧ) используют для преобразования слабых сигналов преимущественно звукового диапазона в более мощные сигналы, приемлемые для непосредственного восприятия через электродинамические или иные излучатели звука. Заметим, что высокочастотные усилители до частот 10...100 МГц строят по аналогичным схемам, все отличие чаще всего сводится к тому, что значения емкостей конденсаторов таких усилителей уменьшаются во столько раз, во сколько частота высокочастотного сигнала превосходит частоту низкочастотного.

Простейший УНЧ, выполненный по схеме с общим эмиттером, показан на рис. 4.1. В качестве нагрузки использован телефонный капсюль. Допустимое напряжение питания для этого усилителя 3...12 В. Величину резистора смещения R1 (десятки кОм) желательно определить экспериментально, поскольку его оптимальная величина зависит от напряжения питания усилителя, сопротивления телефонного капсюля, коэффициента передачи конкретного экземпляра транзистора.

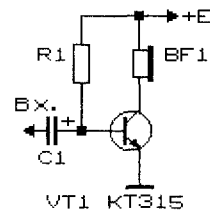


Рис. 4.1

Для выбора начального значения резистора R1 следует учесть, что его величина примерно в сто и более раз должна превышать сопротивление, включенное в цепь нагрузки. Для подбора резистора смещения рекомендуется последовательно включить постоянный резистор сопротивлением 20...30 кОм и переменный сопротивлением 100...1000 кОм, после чего, подав на вход усилителя звуковой сигнал небольшой амплитуды, например, от магнитофона или плеера, вращением ручки переменного резистора добиться наилучшего качества сигнала при наибольшей его громкости.

## 4. Усилители низкой частоты

Величина емкости переходного конденсатора  $C1$  (рис. 4.1) может находиться в пределах от 1 до 100  $\mu\text{кФ}$ : чем больше величина этой емкости, тем более низкие частоты может усиливать  $УНЧ$ . Для освоения техники усиления низких частот рекомендуется поэкспериментировать с подбором номиналов элементов и режимов работы усилителей (рис. 4.1 — 4.4).

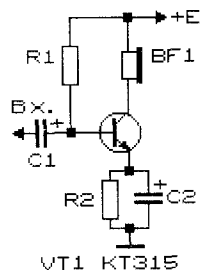


Рис. 4.2

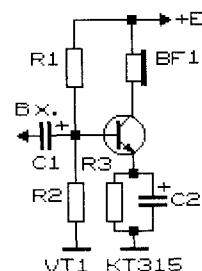


Рис. 4.3

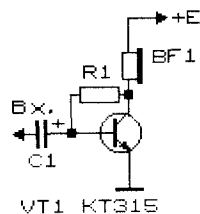


Рис. 4.4

Усложненные и улучшенные по сравнению со схемой на рис. 4.1 схемы усилителей приведены на рис. 4.2, 4.3. В схеме

## 4. Усилители низкой частоты

на рис. 4.2 каскад усиления дополнительно содержит цепочку частотнозависимой отрицательной обратной связи (резистор  $R2$  и конденсатор  $C2$ ), улучшающей качество сигнала. В схеме на рис. 4.3 смещение на базу транзистора задано более «жестко» с помощью делителя, что улучшает качество работы усилителя при изменении условий его эксплуатации. «Автоматическая» установка смещения на базе усилительного транзистора применена в схеме на рис. 4.4.

Соединив последовательно два простейших каскада усиления (рис. 4.1), можно получить двухкаскадный  $УНЧ$  (рис. 4.5). Усиление такого усилителя равно произведению коэффициентов усиления отдельно взятых каскадов. Однако получить большое устойчивое усиление при последующем наращивании числа каскадов нелегко: усилитель скорее всего самовозбудится.

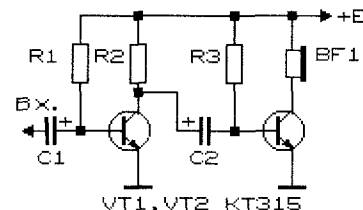


Рис. 4.5

Новые разработки усилителей  $НЧ$ , схемы которых часто приводят на страницах журналов последних лет, преследуют цель достижения минимального коэффициента нелинейных искажений, повышения выходной мощности, расширения полосы усиливаемых частот и т.д. В то же время, при наладке различных устройств и проведении экспериментов зачастую необходим несложный  $УНЧ$ , собрать который можно за несколько минут. Такой усилитель должен содержать минимальное число дефицитных элементов и работать в широком интервале изменения напряжения питания и сопротивления нагрузки.

Схема простого  $УНЧ$  с непосредственной связью между каскадами приведена на рис. 4.6 [Рл 3/00-14]. Входное сопротивление усилителя определяется номиналом потенциометра  $R1$  и может изменяться от сотен  $\text{Ом}$  до десятков  $\text{МОм}$ . На выход усилителя можно подключать нагрузку сопротивлением от 2...4 до 64  $\text{Ом}$  и выше. При высокоомной нагрузке в качестве  $VT2$  можно использовать транзистор  $KT315$ . Усилитель

## 4. Усилители низкой частоты

работоспособен в диапазоне питающих напряжений от 3 до 15 В, хотя приемлемая работоспособность его сохраняется и при снижении напряжения питания вплоть до 0,6 В. Емкость конденсатора С1 может быть выбрана в пределах от 1 до 100 мкФ. В последнем случае (С1=100 мкФ) УНЧ может работать в полосе частот от 50 Гц до 200 кГц и выше.

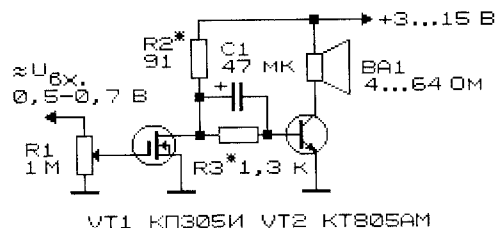


Рис. 4.6

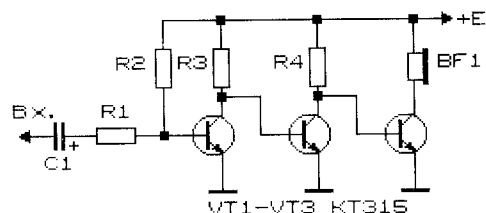


Рис. 4.7

Амплитуда входного сигнала УНЧ не должна превышать 0,5...0,7 В. Выходная мощность усилителя может изменяться от десятков мВт до единиц Вт в зависимости от сопротивления нагрузки и величины питающего напряжения.

Настройка усилителя заключается в подборе резисторов R2 и R3. С их помощью устанавливают напряжение на стоке транзистора VT1, равное 50...60% от напряжения источника питания. Транзистор VT2 должен быть установлен на теплоотводящей пластине (радиаторе).

На рис. 4.7 показана схема другого внешне простого УНЧ с непосредственными связями между каскадами. Такого рода связь улучшает частотные характеристики усилителя в области нижних частот, схема в целом упрощается. В то же время настройка усилителя осложняется тем, что каждое сопротивление

## 4. Усилители низкой частоты

усилителя приходится подбирать в индивидуальном порядке. Ориентировочно соотношение резисторов R2 и R3, R3 и R4, R4 и R<sub>нагр.</sub> должно быть в пределах (30...50) к 1. Резистор R1 должен быть 0,1...2 кОм. Расчет усилителя, приведенного на рис. 4.7, можно найти в литературе, например, [Р 9/70-60].

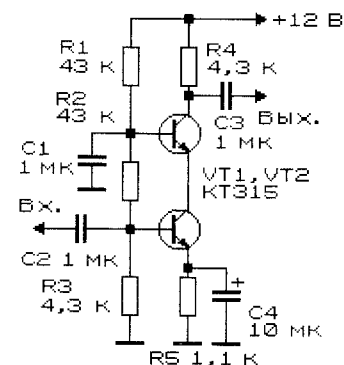


Рис. 4.8

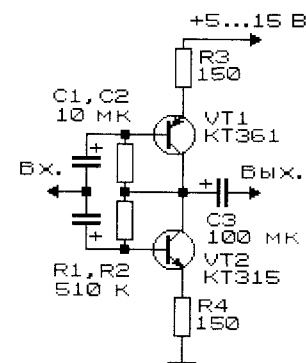


Рис. 4.9.

На рис. 4.8 и 4.9 показаны схемы каскодных УНЧ на биполярных транзисторах. Такие усилители имеют довольно высокий коэффициент усиления  $K_U$ . Усилитель на рис. 4.8 имеет  $K_U=5$  в полосе частот от 30 Гц до 120 кГц [МК 2/86-15]. УНЧ по схеме на рис. 4.9 при коэффициенте гармоник менее 1% имеет коэффициент усиления 100 [Рл 3/99-10].

## 4. Усилители низкой частоты

Для портативной радиоэлектронной аппаратуры важным параметром является экономичность *УНЧ*. Схема такого *УНЧ* представлена на рис. 4.10 [Рл 3/00-14]. Здесь использовано каскодное включение полевого транзистора VT1 и биполярного транзистора VT3, причем транзистор VT2 включен таким образом, что стабилизирует рабочую точку VT1 и VT3. При увеличении входного напряжения этот транзистор шунтирует переход эмиттер — база VT3 и уменьшает значение тока, протекающего через транзисторы VT1 и VT3.

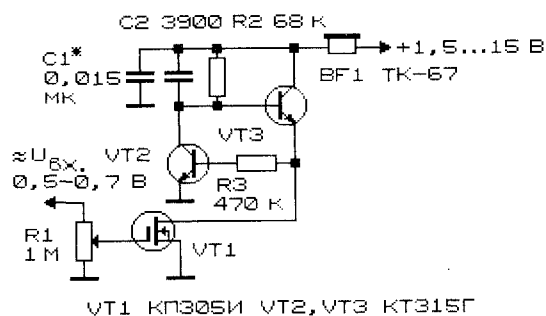


Рис. 4.10

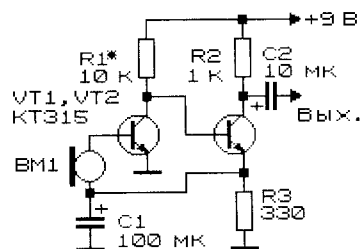


Рис. 4.11

Как и в приведенной выше схеме (см. рис. 4.6), входное сопротивление этого *УНЧ* можно задавать в пределах от десятков *Ом* до десятков *МОм*. В качестве нагрузки использован телефонный капсюль, например, *ТК-67* или *ТМ-2В*. Телефонный капсюль, подключаемый при помощи штекера, может одновременно служить выключателем питания схемы.

Напряжение питания *УНЧ* составляет от 1,5 до 15 В, хотя работоспособность устройства сохраняется и при снижении

## 4. Усилители низкой частоты

питающего напряжения до 0,6 В. В диапазоне напряжения питания 2...15 В потребляемый услителем ток описывается выражением:  $I(\text{мкА}) = 52 + 13[U_{\text{пит.}}(\text{В})]^2$ . Если отключить транзистор VT2, потребляемый устройством ток увеличивается на порядок.

Примерами *УНЧ* с непосредственными связями и минимальным подбором режима работы являются схемы, приведенные на рис. 4.11 — 4.14. Они имеют высокий коэффициент усиления и хорошую стабильность.

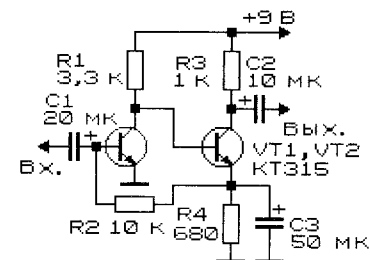


Рис. 4.12

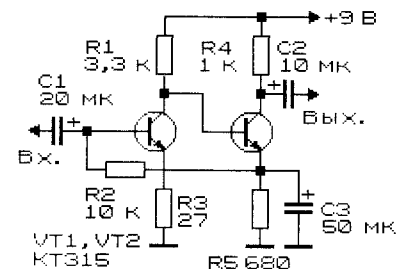


Рис. 4.13

Микрофонный усилитель (рис. 4.11) характеризуется низким уровнем собственных шумов и высоким коэффициентом усиления [МК 5/83-ХІV]. В качестве микрофона BM1 использован микрофон электродинамического типа. В роли микрофона может выступать и телефонный капсюль. Стабилизация рабочей точки (начального смещения на базе входного транзистора) усилителей на рис. 4.11 — 4.13 осуществляется за счет падения напряжения на эмиттерном сопротивлении второго каскада усиления.

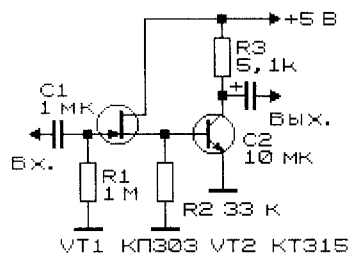


Рис. 4.14

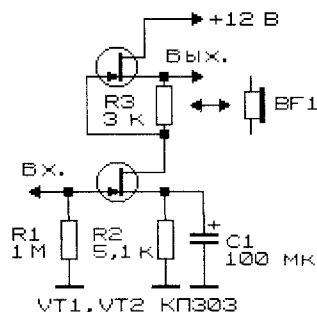


Рис. 4.15

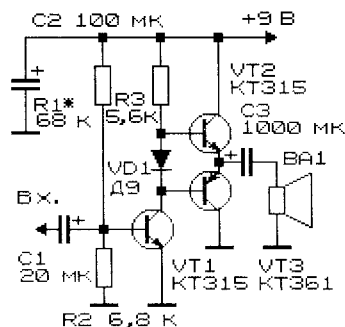


Рис. 4.16

Усилитель (рис. 4.14), имеющий высокое входное сопротивление (порядка  $1\text{ МОм}$ ), выполнен на полевом транзисторе VT1 (источковый повторитель) и биполярном — VT2 (с общим эмиттером).

Каскодный усилитель низкой частоты на полевых транзисторах, также имеющий высокое входное сопротивление, показан на рис. 4.15. Подробнее такие усилители рассмотрены в главе 5.

Типовые УНЧ, предназначенные для работы на низкоомную нагрузку и имеющие выходную мощность десятки мВт и выше, изображены на рис. 4.16, 4.17. Электродинамическая головка ВА1 может быть подключена к выходу усилителя, как показано на рис. 4.16, либо в диагональ моста (рис. 4.17). Если источник питания выполнен из двух последовательно соединенных батарей (аккумуляторов), правый по схеме вывод головки ВА1 может быть подключен к их средней точке напрямую, без конденсаторов C3, C4.

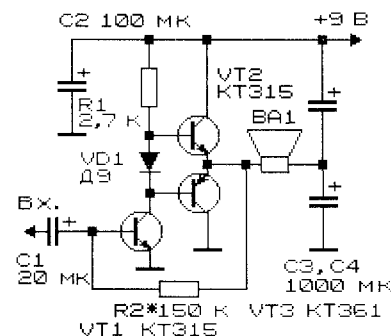


Рис. 4.17

## 5. Каскодные усилители

Каскодное включение полевого и биполярного транзисторов позволяет получить сочетание лучших свойств тех и других транзисторов.

На рис. 5.1 — 5.6 приведены отобранные практикой схемы соединения полевого и биполярного транзисторов, систематизированные в сборнике схем *Б.И. Горюшкова*. Они имеют высокое, характерное для полевых транзисторов, входное сопротивление и низкое, присущее биполярным транзисторам, выходное.

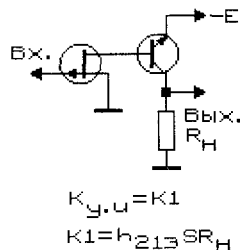


Рис. 5.1

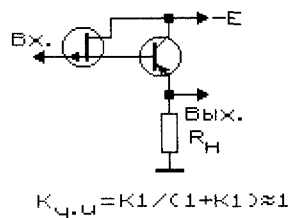


Рис. 5.2

Коэффициент усиления (передачи) таких каскадов можно вычислить по приводимым в главе 3 формулам. В этих формулах  $K_{y,u}$  — коэффициент усиления каскада по напряжению;  $h_{213}$  (или  $\beta$ ) — коэффициент передачи биполярного транзистора по току;  $S$  — крутизна характеристики полевого транзистора (mA/B);  $R_H$  — сопротивление нагрузки (кОм).

Ориентировочные, численные значения  $h_{213}$  и  $S$  можно найти в справочниках или паспортных данных (см. Приложение);

реальные же значения могут заметно отличаться от «теоретических».

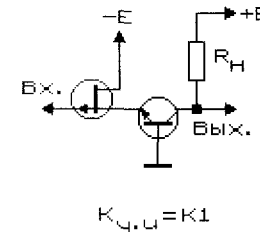


Рис. 5.3

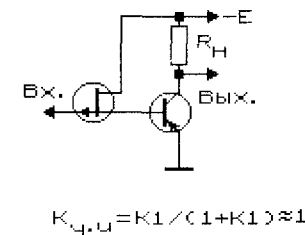


Рис. 5.4

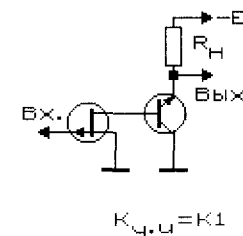


Рис. 5.5

Как следует из сопоставления формул, каскады усиления (рис. 5.1, 5.3, 5.5, 5.6) имеют коэффициент усиления (передачи), равный произведению отдельно взятых коэффициентов передачи транзисторов, входящих в каскад. Каскады (рис. 5.2, 5.4) имеют коэффициент передачи, практически равный единице.

Каскодное (двух, трех или более «этажное» включение полевых и/или биполярных транзисторов) позволяет простыми

## 5. Каскодные усилители

средствами добиться высокого коэффициента передачи, ослабить проникновение входного сигнала на выход усилителя, упростить схему в целом, повысить устойчивость ее работы, повысить максимальное значение напряжения питания и амплитуду выходного сигнала, соответственно. «Двухэтажные» каскодные усилители требуют удвоения напряжения питания по сравнению с обычным включением транзисторов, при этом ток, потребляемый схемой, снижается вдвое.

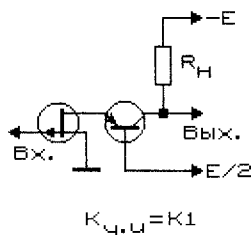


Рис. 5.6

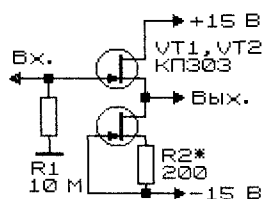


Рис. 5.7. Эквивалент K140UD7

На рис. 5.7 показана схема, позволяющая проимитировать довольно сложную по внутренней структуре аналоговую микросхему низкочастотного усилителя K140UD7 [Р 1/79-44]. Полноценной такую замену считать, разумеется, не следует (особенно в части коэффициента усиления). Однако использование эквивалента микросхемы, выполненного на дискретных элементах, в ряде случаев может быть оправдано. Резистор R2 подбирают до установления на выходе аналога микросхемы нулевого напряжения при питании устройства от двухполярного источника.

Каскодные схемы широкополосных усилителей на полевых и биполярных транзисторах, включенных последовательно

## 5. Каскодные усилители

по постоянному току, приведены на рис. 5.8 — 5.16 [А.Г. Милехин, Р 9/72-38]. В качестве динамической нагрузки полевого транзистора VT1 используется активный элемент — полевой или биполярный транзистор VT2, внутреннее сопротивление которого зависит от амплитуды сигнала на стоке транзистора VT1.

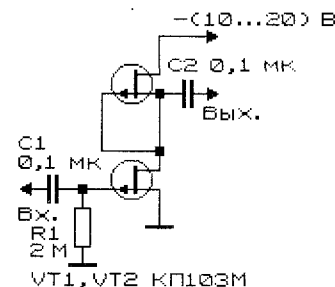


Рис. 5.8

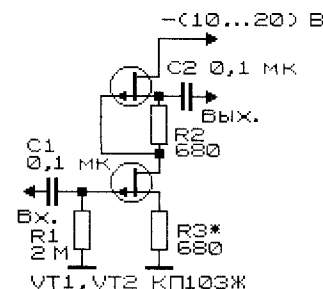


Рис. 5.9

Транзистор VT1 включен по схеме с общим истоком, транзистор VT2 — с общим стоком (рис. 5.8 — 5.10). При таком сочетании первый каскад имеет коэффициент усиления по напряжению близкий к единице, благодаря чему он обладает большим запасом устойчивости. Кроме того, схема с общим истоком обладает значительным коэффициентом усиления по мощности, что способствует снижению шума двухкаскадного усилителя. Второй каскад, обладая большим коэффициентом устойчивого усиления, позволяет получить необходимое усиление по напряжению.

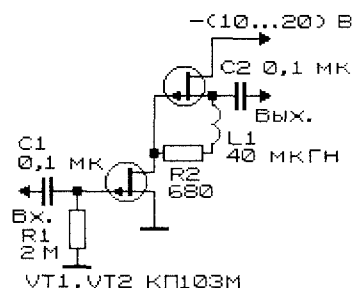


Рис. 5.10

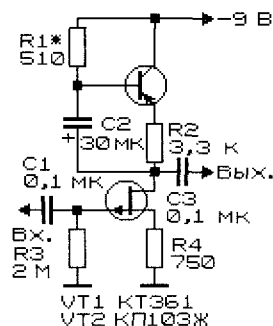


Рис. 5.11

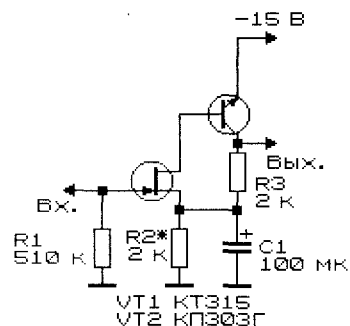


Рис. 5.12

Наиболее простая схема (рис. 5.8) содержит всего 5 элементов, включая переходные конденсаторы. Несколько усложненный

вариант усилителя (с включением в цепь истока каждого полевого транзистора сопротивления смещения) показан на рис. 5.9.

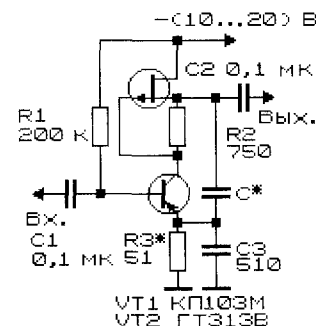


Рис. 5.13

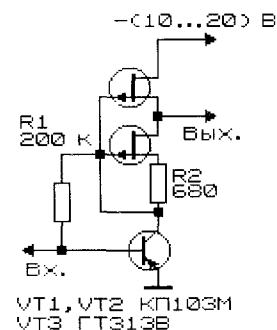


Рис. 5.14

Для расширения частотного диапазона входного сигнала в качестве сопротивления в цепи истока верхнего (по схеме на рис. 5.10) полевого транзистора дополнительно может быть включен высокочастотный дроссель — элемент, реактивное сопротивление которого возрастает с ростом частоты.

Коэффициент усиления каскада в области низких частот (рис. 5.8) при использовании полевых транзисторов типа КП103Ж достигает 40 дБ при низком уровне шумов.

Коэффициент усиления по напряжению в диапазоне низких частот (от 10 Гц до 10 кГц) каскада на рис. 5.9 составляет 130 [А.Г. Милехин]. Максимальный выходной сигнал при

напряжении питания 9 В может доходить до 1,4 В. Схема на рис. 5.11 имеет динамическую нагрузку полевого транзистора, в качестве которой применен биполярный транзистор.

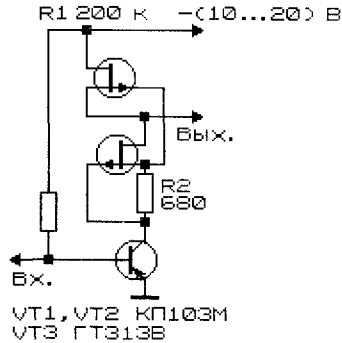


Рис. 5.15

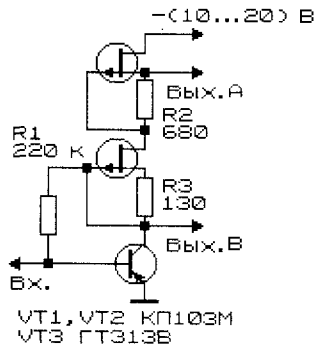


Рис. 5.16

Основные характеристики схемы (рис. 5.11) соответствуют аналогичным для схемы (рис. 5.9), коэффициент усиления по напряжению незначительно возрастает, но в целом схема заметно усложняется.

На рис. 5.12 показан пример практической реализации усилительного каскада, выполненного на основе полевого и биполярного транзисторов (см. также рис. 5.1).

В соответствии со сведениями, систематизированными в литературе [Р 9/72-38], можно привести сводную таблицу 5.1,

характеризующую свойства каскодных усилителей в сопоставимых условиях измерения (для транзисторов КП103М), см. рис. 5.8 — 5.10, 5.13 — 5.16.

Таблица 5.1

| Схема, рис. | K <sub>ус</sub> |      | Полоса пропускания, МГц | Примечание                                    |
|-------------|-----------------|------|-------------------------|-----------------------------------------------|
|             | дБ              | раз  |                         |                                               |
| 5.8         | 6               | 2    | <3                      | 0...3 МГц — без переходных конденсаторов      |
| 5.9         | 16              | 6,4  | <3                      | 0...3 МГц — без переходных конденсаторов и R3 |
| 5.10        | 16              | 6,4  | <5                      | L1 — 40 мкГн                                  |
| 5.13        | 28              | 25   | <15                     | C* регулирует ширину полосы пропускания       |
| 5.14        | 60              | 1000 | <1                      | схему можно дополнить дросселем (рис. 5.10)   |
| 5.15        | 40              | 100  | <3                      | с дросселем <5 МГц                            |
| 5.16        | 46              | 200  | <5                      | 0...5 МГц (выход А)                           |
|             | 52              | 400  | <2,5                    | 0...2,5 МГц (выход В)                         |

Апериодический и резонансные каскады усиления с каскодным включением транзисторов показаны на рис. 5.17 — 5.19 [Р 5/75-54].

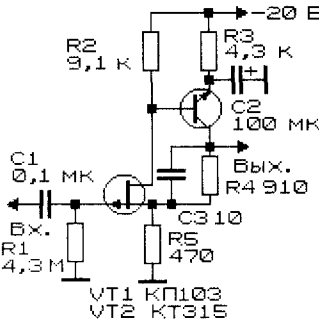


Рис. 5.17

Резонансный каскодный усилитель (рис. 5.18) в области частот до 500 кГц имеет устойчивое и не зависящее от частоты

## 5. Каскодные усилители

усиление по напряжению (порядка 20...25 раз) при использовании относительно низкочастотных транзисторов типа *КП103И*. При их замене более высокочастотными (типа *КП303* и сменой полярности источника питания) схема усилителя может работать для усиления сигналов в диапазонах коротких и средних волн.

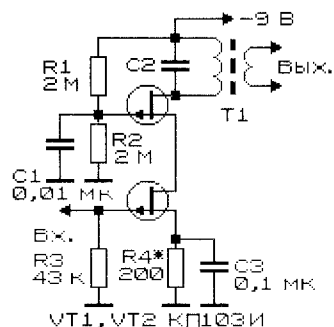


Рис. 5.18

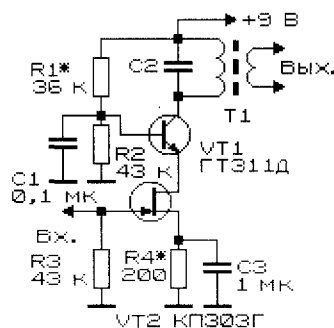


Рис. 5.19

Вторая схема каскодного резонансного усилителя (рис. 5.19) позволяет получить на частоте 12,5 МГц коэффициент усиления до 18...20. Для более низких частот (в диапазоне длинных и средних волн) коэффициент усиления по напряжению возрастает до 100 и выше. От источника питания усилитель потребляет ток 3...4 мА.

На основе схем усилителей, приведенных на рис. 5.18, 5.19, могут быть созданы узкополосные высокочастотные усилители с

## 5. Каскодные усилители

одновременно перестраиваемыми на входе и выходе устройства идентичными колебательными контурами или фильтрами.

Интересным схемотехническим решением, позволяющим заметно выиграть в соотношении сигнал/шум, создав таким образом сверхмалошумящие усилители, является параллельное включение в нижнем плече схемы нескольких однотипных транзисторов [ПТЭ 1/78-88]. Общий коэффициент усиления транзисторов суммируется. В то же время уровень шумов возрастает только пропорционально корню квадратному из числа параллельно включенных транзисторов. В итоге, если включить параллельно 4 транзистора, соотношение сигнал/шум улучшится в 2 раза; при девяти транзисторах — в 3 раза и т.д.

## 6. Генераторы импульсов

Генераторы импульсов являются важной составляющей многих радиоэлектронных устройств. Простейший генератор импульсов (мультивибратор) может быть получен из двух-каскадного УНЧ (рис. 6.1). Для этого достаточно соединить вход усилителя с его выходом. Рабочая частота такого генератора определяется значениями  $R1C1$ ,  $R3C2$  и напряжением питания. На рис. 6.2, 6.3 показаны схемы мультивибраторов, полученные простой перестановкой элементов (деталей) схемы, изображенной на рис. 6.1. Отсюда следует, что одну и ту же простейшую схему можно изобразить различными способами.

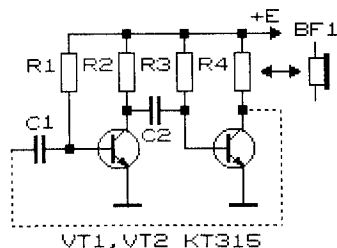


Рис. 6.1

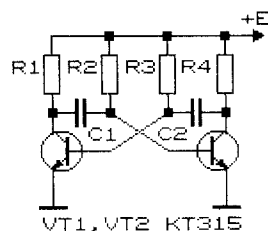


Рис. 6.2

Практические примеры использования мультивибратора приведены на рис. 6.4, 6.5.

На рис. 6.4 показана схема генератора, позволяющего плавно перераспределять длительность или яркость свечения

светодиодов, включенных в качестве нагрузки в цепи коллекторов. Вращением ручки потенциометра  $R3$  можно управлять соотношением длительностей свечения светодиодов левой и правой ветвей. Если увеличить емкость конденсаторов  $C1$  и  $C2$ , частота генерации понизится, светодиоды начнут мигать. При уменьшении емкости этих конденсаторов частота генерации возрастает, мелькание светодиодов сольется в сплошное свечение, яркость которого будет зависеть от положения ручки потенциометра  $R3$ . На основе подобного схемного решения могут быть собраны разнообразные полезные конструкции, например, регулятор яркости светодиодного фонарика; игрушка с мигающими глазами; устройство плавного изменения спектрального состава источника излучения (разноцветные светодиоды или миниатюрные лампочки и светосуммирующий экран).

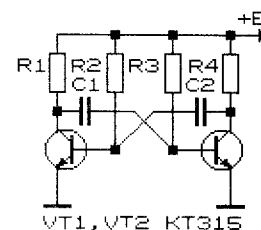


Рис. 6.3

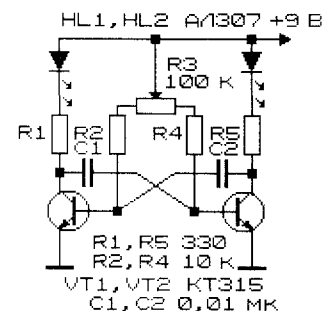


Рис. 6.4

Генератор переменной частоты (рис. 6.5) конструкции В. Цибульского позволяет получать плавно изменяющееся со временем по частоте звучание [Р 5/85-54]. При включении генератора его

частота возрастает с 300 до 3000 Гц за 6 сек (при емкости конденсатора С3 500 мкФ). Изменение емкости этого конденсатора в ту или иную сторону ускоряет или, напротив, замедляет скорость изменения частоты. Плавно изменять эту скорость можно и переменным сопротивлением R6. Для того чтобы этот генератор мог выполнять роль сирены, или быть использованным в качестве генератора качающейся частоты, можно предусмотреть схему принудительного периодического разряда конденсатора С3. Такие эксперименты можно рекомендовать для самостоятельного расширения познаний в области импульсной техники.

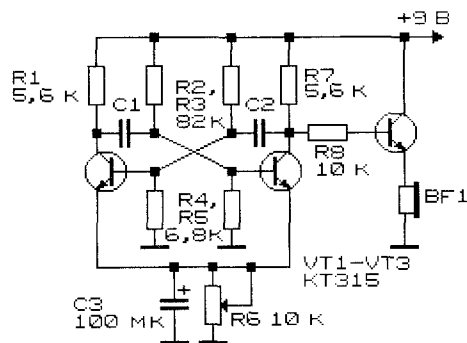


Рис. 6.5

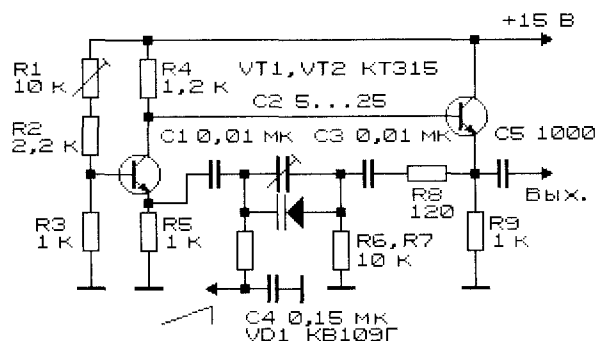


Рис. 6.6

Управляемый генератор прямоугольных импульсов показан на рис. 6.6 [Р 10/76-60]. Генератор также представляет собой двухкаскадный усилитель, охваченный положительной обратной

связью. Для упрощения схемы генератора достаточно соединить эмиттеры транзисторов конденсатором. Емкость этого конденсатора определяет рабочую частоту генерации. В данной схеме для управления частотой генерации в качестве управляемой напряжением емкости использован варикап. Увеличение запирающего напряжения на варикапе приводит к уменьшению его емкости. Соответственно, как показано на рис. 6.7, возрастает рабочая частота генерации.

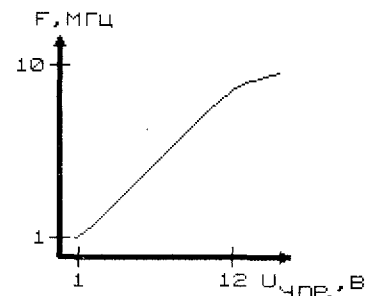


Рис. 6.7

Варикап, в порядке эксперимента и изучения принципа работы этого полупроводникового прибора, можно заменить простым диодом. При этом следует учитывать, что германиевые точечные диоды (например, Д9) имеют очень малую начальную емкость (порядка нескольких пФ), и, соответственно, обеспечивают небольшое изменение этой емкости от величины приложенного напряжения. Кремниевые диоды, особенно силовые, рассчитанные на большой ток, а также стабилитроны, имеют начальную емкость 100...1000 пФ, поэтому зачастую могут быть использованы вместо варикапов. В качестве варикапов можно применить и *p-n* переходы транзисторов, см. также главу 2.

Для контроля работы сигнал с генератора (рис. 6.6) можно подать на вход частотометра и проверить границы перестройки генератора при изменении величины управляющего напряжения, а также при смене варикапа или его аналога. Рекомендуется полученные результаты (значения управляющего напряжения и частоту генерации) при использовании разного вида варикапов занести в таблицу и отобразить на графике (см., например, рис. 6.7).

## 6. Генераторы импульсов

Отметим, что стабильность генераторов на RC-элементах невысока.

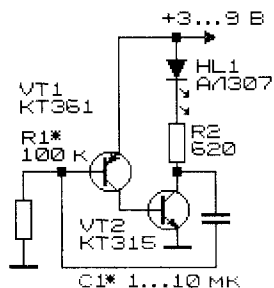


Рис. 6.8

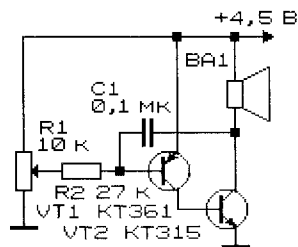


Рис. 6.9

На рис. 6.8, 6.9 показаны типовые схемы генераторов световых и звуковых импульсов, выполненные на транзисторах различного типа проводимости. Генераторы работоспособны в широком диапазоне питающих напряжений. Первый из них вырабатывает короткие вспышки света частотой единицы Гц, второй — импульсы звуковой частоты. Соответственно, первый генератор может быть использован в качестве маячка, светового метронома, второй — в качестве звукового генератора, частота колебаний которого зависит от положения ручки потенциометра R1. Эти генераторы можно объединить в единое целое. Для этого достаточно один из генераторов включить в качестве нагрузки другого, либо параллельно ей. Например, вместо цепочки из светодиода HL1, R2 или параллельно ей (рис. 6.8) можно включить генератор по схеме на рис. 6.9. В итоге получится устройство периодической звуковой или светозвуковой сигнализации.

## 6. Генераторы импульсов

Генератор импульсов (рис. 6.10), выполненный на составном транзисторе (*n-p-n* и *p-n-p*), не содержит конденсаторов (в качестве частотозадающего конденсатора использован пьезокерамический излучатель BF1). Генератор работает при напряжении от 1 до 10 В и потребляет ток от 0,4 до 5 мА. Для повышения громкости звучания пьезокерамического излучателя его настраивают на резонансную частоту подбором резистора R1.

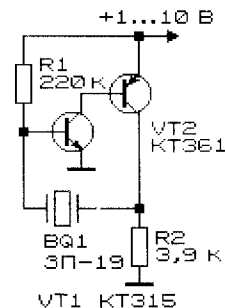


Рис. 6.10

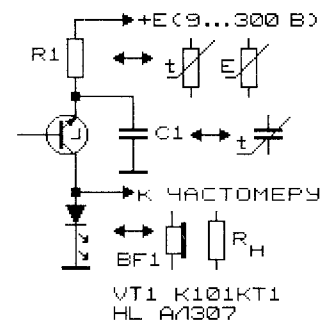


Рис. 6.11

На рис. 6.11 показан достаточно оригинальный генератор релаксационных колебаний, выполненный на биполярном лавинном транзисторе.

Генератор содержит в качестве активного элемента транзистор микросхемы K101KT1A с инверсным включением в режиме с «оборванной» базой. Лавинный транзистор может быть заменен его аналогом (см. рис. 2.1).

## 6. Генераторы импульсов

Устройства (рис. 6.11) часто используют для преобразования измеряемого параметра (интенсивности светового потока, температуры, давления, влажности и т.д.) в частоту при помощи резистивных или емкостных датчиков.

При работе генератора конденсатор, подключенный параллельно активному элементу, заряжается от источника питания через резистор. Когда напряжение на конденсаторе достигает напряжения пробоя активного элемента (лавинного транзистора, диностора или т.п. элемента), происходит разряд конденсатора на сопротивление нагрузки, после чего процесс повторяется с частотой, определяемой постоянной RC-цепи. Резистор R1 ограничивает максимальный ток через транзистор, препятствуя его тепловому пробую. Времязадающая цепь генератора (R1C1) определяет рабочую область частот генерации. В качестве индикатора звуковых колебаний при качественном контроле работы генератора используют головные телефоны. Для количественной оценки частоты к выходу генератора может быть подключен частотомер или счетчик импульсов.

Устройство работоспособно в широком интервале изменения параметров: R1 от 10 до 100 кОм (и даже до 10 МОм), C1 — от 100 пФ до 1000 мкФ, напряжения питания от 8 до 300 В. Потребляемый устройством ток обычно не превышает одного мА. Возможна работа генератора в ждущем режиме: при замыкании базы транзистора на землю (общую шину) генерация срывается.

Преобразователь-генератор (рис. 6.11) может быть использован и в режиме сенсорного ключа, простейшего  $R_X$ - и  $C_X$ -метра, перестраиваемого широкодиапазонного генератора импульсов и т.д.

Генераторы импульсов (рис. 6.12, 6.13) также выполнены на лавинных транзисторах микросхемы K101KT1 типа *n-p-n* или K162KT1 типа *p-n-p*, диносторах, или их аналогах (см. рис. 2.1). Генераторы работают при напряжении питания выше 9 В и вырабатывают напряжение треугольной формы. Выходной сигнал снимается с одного из выводов конденсатора. Входное сопротивление следующего за генератором каскада (сопротивление нагрузки) должно в десятки раз превышать величину сопротивления R1 (или R2). Низкоомную нагрузку (до 1 кОм) можно включать в коллекторную цепь одного из транзисторов генератора.

## 6. Генераторы импульсов

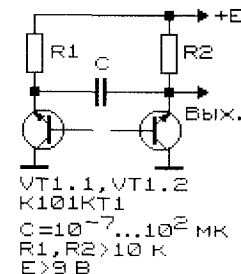


Рис. 6.12

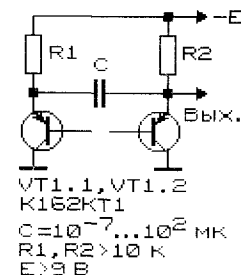


Рис. 6.13

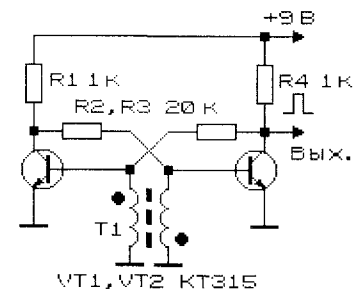


Рис. 6.14

Довольно простые и часто встречающиеся на практике генераторы импульсов (*блокинг-генераторы*) с использованием индуктивной обратной связи показаны на рис. 6.14 [А. с. СССР 728214], 6.15 и 6.16. Такие генераторы обычно работоспособны в широком диапазоне изменения напряжения питания. При сборке

## 6. Генераторы импульсов

блокинг-генераторов необходимо соблюдать фазировку выводов: при неправильном подключении «полярности» обмотки генератор не заработает.

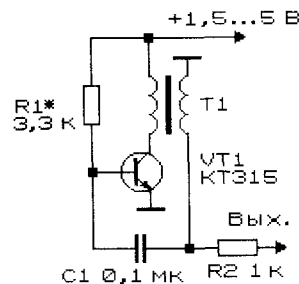


Рис. 6.15

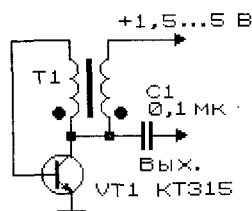


Рис. 6.16

Подобные генераторы можно использовать при проверке трансформаторов на наличие межвитковых замыканий (см. главу 32): никаким иным методом такие дефекты не могут быть выявлены.

## 7. Генераторы импульсов на триггере Шмитта, усилители класса D и генераторы импульсов на КМОП-коммутаторах

Триггеры Шмитта, или несимметричные триггеры на биполярных транзисторах с эмиттерной связью, могут быть использованы для создания простых широкодиапазонных генераторов импульсов (рис. 7.1 — 7.4). Для преобразования триггера Шмитта в генератор достаточно соединить его вход через резистор с выходом, а между входом триггера и общей шиной или шиной питания включить конденсатор [Рл 6/98-33].

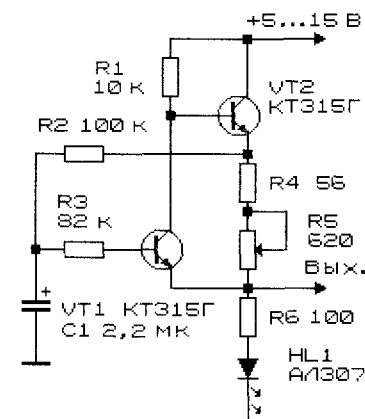


Рис. 7.1

Резистивный делитель, к средней точке которого подключен эмиттер входного транзистора, и времязадающая RC-цепь, образованная дополнительными навесными элементами, и преобразующая триггер в генератор импульсов, составляют мостовую схему. В диагональ моста включен управляющий  $p-n$  переход транзистора VT1. Изначально конденсатор C1 разряжен, транзистор VT1 закрыт, VT2 — открыт. Как только напряжение на конденсаторе в процессе его заряда превысит напряжение на средней точке резистивного делителя на доли вольта, входной транзистор VT1 открывается, а VT2 — закрывается. Резистивный

## 7. Генераторы импульсов, усилители класса D

делитель обесточивается, времязадающий конденсатор C1 разряжается. В результате разряда конденсатора C1 транзистор VT1 вновь закрывается и открывает транзистор VT2, после чего процесс повторяется вновь и вновь.

Частоту генератора (рис. 7.1) определяет емкость конденсатора C1. Переменный резистор R5 позволяет осуществлять более чем десятикратное изменение частоты. Светодиод HL1 предназначен для визуального контроля перестройки частоты: в начале диапазона яркость свечения максимальна, в конце — минимальна. При напряжении питания 9 В генератор вырабатывает частоту 3...30 Гц. Потребляемый ток (или ток через индикатор HL1) составляет 2...20 мА.

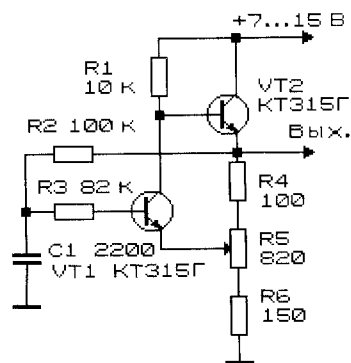


Рис. 7.2

Генераторы импульсов (рис. 7.2, 7.3) при напряжении питания 9 В работают в области частот 0,8...10 кГц и 0,35...2,8 кГц, соответственно. Генератор (рис. 7.2) управляет изменением соотношения резистивных плеч делителя напряжения (резисторы R4 — R6, правая половина мостовой схемы). Управление режимом работы генератора (рис. 7.3) осуществляется цепочкой резисторов R2 — R4, регулирующих зарядно-разрядные процессы в левой половине мостовой схемы.

Частоту периодических сигналов обычно измеряют аналоговыми или цифровыми измерительными приборами. В устройстве (рис. 7.4) использован цветодинамический способ индикации частоты генерируемых колебаний. Частоту генерации можно изменять в широких пределах переключением конденсаторов C1 — C4. Потенциометр R4 обеспечивает двадцатикратное перекрытие

## 7. Генераторы импульсов, усилители класса D

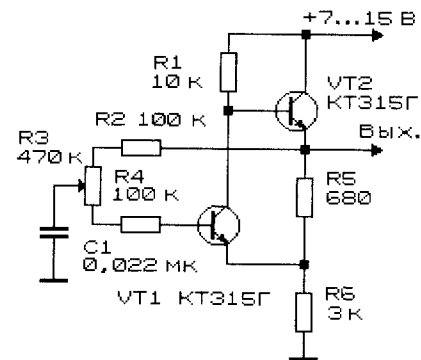


Рис. 7.3

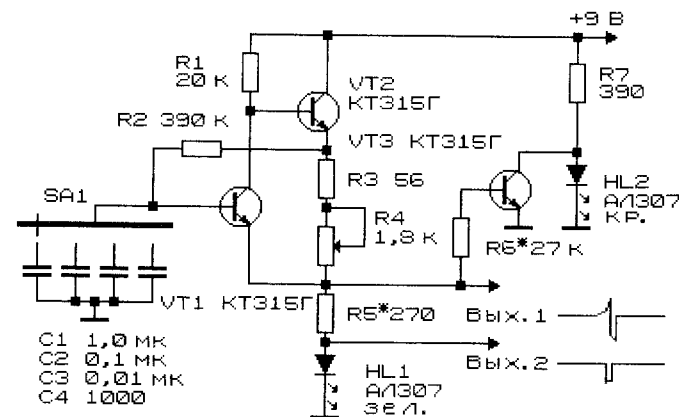


Рис. 7.4

частоты внутри диапазона. На разноцветных светодиодах HL1 (зеленый) и HL2 (красный) выполнен индикатор частоты. Светодиоды установлены под общим светосуммирующим экраном. Плавное изменение частоты работы генератора вызывает перераспределение токов между светоизлучающими диодами. Соответственно, изменяется яркость свечения светодиодов и их суммарная окраска от зеленого свечения (начало диапазона) до красного (конец диапазона). Возможно применение двухцветного светодиода. Генератор перекрывает поддиапазоны частот: 0,7...14 Гц; 7...140 Гц; 70...1400 Гц; 0,7...14 кГц.



## 7. Генераторы импульсов, усилители класса D

что намного ниже сопротивления выключенного ключа. Поскольку длительность пилообразного сигнала определяется амплитудой входного сигнала, длительность прямоугольных импульсов, сформированных в цепи нагрузки, окажется пропорциональной амплитуде входных сигналов. Среднее значение тока в нагрузке, соразмерное длительности импульсов импульсных сигналов, будет в итоге соответствовать входному аналоговому сигналу, усиленному по мощности.

Высокочастотная составляющая тока шунтируется конденсатором C2. Уровень паразитного ВЧ-сигнала в цепи нагрузки можно дополнительно ослабить за счет включения последовательно с телефонным капсюлем (громкоговорителем) дросселя индуктивностью около 10 мГн. Устройство потребляет при напряжении питания 5...9 В с нагрузкой 7...10 мА, а без нагрузки — 0,7 мА.

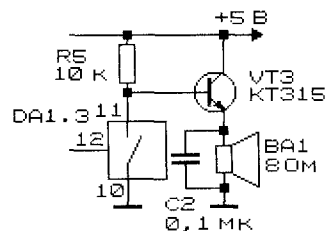


Рис. 7.7

На рис. 7.7 показан вариант схемы выходного каскада усилителя на транзисторе VT3 с низкоомной нагрузкой с управлением ключом DA1.3. КПД усилителя зависит от соотношения сопротивлений нагрузки и открытого ключа. Усилитель достаточно экономичен и потребляет от источника питания ток в режиме молчания 1,1 мА, а в режиме максимальной громкости — 22 мА.

**Генератор пачек импульсов — таймер** (рис. 7.8) выполнен на микросхеме DA1 типа K561KT3: на элементах микросхемы DA1.1 и DA1.2 собран мультивибратор с регулируемым (потенциометр R3) периодом/частотой следования импульсов; на элементе DA1.4 выполнен таймер (запуск кнопкой SB1, задание экспозиции — потенциометром R6) [Пл 7/98-23]. Транзисторный коммутатор VT1, управляемый элементами DA1.3 и DA1.4 и переключателем SA1, позволяет включать и выключать нагрузку в цепи его коллектора. Ток нагрузки может достигать до 50 мА.

## 7. Генераторы импульсов, усилители класса D

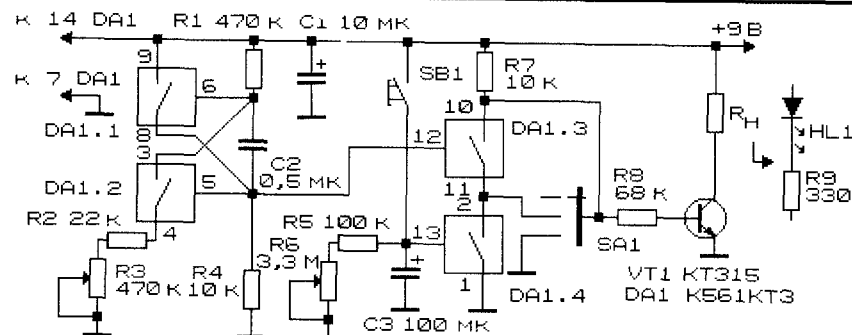


Рис. 7.8

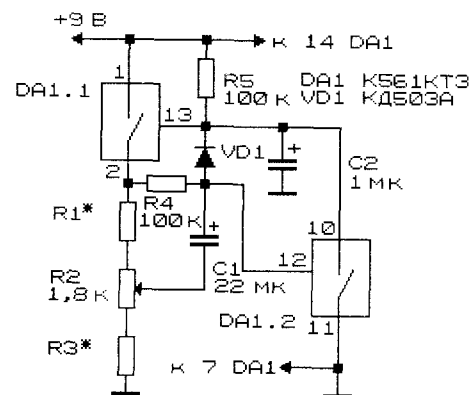


Рис. 7.9

**Генератор импульсов** (рис. 7.9) выполнен на КМОП-коммутаторе — элементах DA1.1, DA1.2 микросхемы K561KT3 [Пл 6/99-39]. При включении генератора оба ключевых элемента микросхемы разомкнуты. Конденсатор C2 через резистор R5 заряжается до напряжения, при котором ключ DA1.1 замыкается. На резистивный делитель R1 — R3 подается напряжение питания; конденсатор C1 заряжается через цепь из резисторов R4, R3 и часть потенциометра R2. Когда напряжение на положительной обкладке конденсатора C1 достигнет напряжения включения ключа DA1.2, произойдет разряд обоих конденсаторов, и процесс их заряда — разряда будет периодически повторяться.

Потенциометр R2 позволяет изменять величину «стартового» напряжения для заряда конденсатора C1 и, следовательно,

## 7. Генераторы импульсов, усилители класса D

частоту генерируемых импульсов в пределах от единиц до десятков Гц. Сопротивление нагрузки или индикатор работы генератора, например, светодиод с токоограничивающим резистором 330 Ом, подключается параллельно резисторам R1 — R3.

Устройство можно использовать в качестве генератора, управляемого напряжением. Для этого вместо напряжения питания подключается управляющее напряжение величиной от 4...5 В до 15 В. С понижением питающего напряжения частота генерируемых импульсов растет.

На неиспользуемых элементах микросхемы — DA1.3 и DA1.4 может быть собран второй генератор импульсов, например, по схеме, изображенной на рис. 7.10.

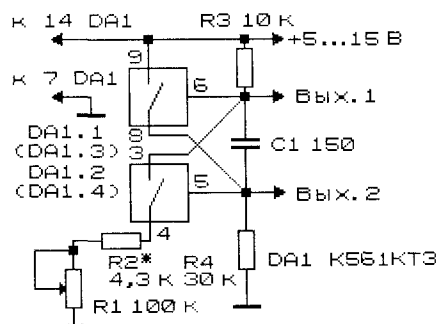


Рис. 7.10

## 8. Генераторы импульсов на аналогах инжекционно-полевых транзисторов, генераторы импульсов на негаваристорах

Генераторы импульсов на аналогах инжекционно-полевых транзисторов (ИПТ), известных с 1973 г., одни из самых простых генераторов, работающих в широком диапазоне питающих напряжений [Рл 4/97-33].

На рис. 8.1, 8.2 приведены схемы аналогов ИПТ *n*- и *p*-структуры, выполненные на основе совместно включенных полевого и биполярного транзисторов [Рл 4/97-33].

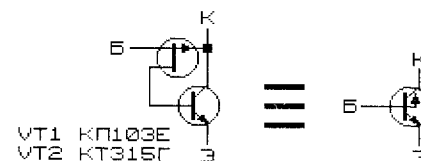


Рис. 8.1

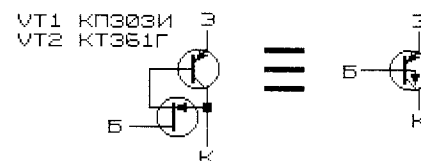


Рис. 8.2

При малом смещении на базе аналога ИПТ коллекторный ток биполярного транзистора невелик. При повышении напряжения на базе происходит скачкообразное изменение состояния ИПТ. Сопротивление перехода база-эмиттер аналога ИПТ из непроводящего состояния переходит в проводящее, и коллекторный ток резко возрастает. Устройство может быть преобразовано в релаксационный генератор импульсов (РГИ), если параллельно переходу эмиттер — база аналога ИПТ включить конденсатор.

## 8. Генераторы импульсов

На рис. 8.3 приведена схема управляемого РГИ звуковых частот на аналоге ИПТ. В качестве времязадающего конденсатора генератора использован пьезокерамический зуммер. Изменение сопротивления в цепи базы ИПТ от 24 до 510 кОм при  $U_{\text{пит.}}=9\text{ В}$  вызывает изменение частоты генерации от 1100 до 200 Гц, при этом потребляемый устройством ток уменьшается с 240 до 20 мкА. Генератор работает в диапазоне питающих напряжений от 3 до 10 В.

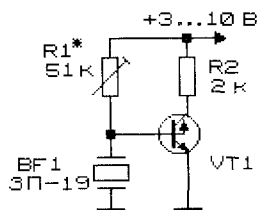


Рис. 8.3

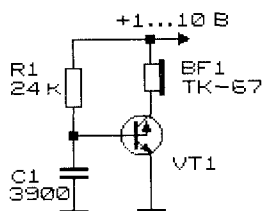


Рис. 8.4

Менее экономичен генератор по схеме на рис. 8.4, который может работать в диапазоне напряжений питания от 1 до 10 В. К управляющему электроду аналога ИПТ подключена времязадающая цепь (R1, C1). В качестве нагрузки РГИ использован телефонный капсюль ТК-67 (ТМ-2В). Частота генерации РГИ составляет 2,7 кГц при  $U_{\text{пит.}}=9\text{ В}$ , а потребляемый ток — 10 мА.

На основе аналога ИПТ могут быть выполнены и генераторы инфранизких частот, например, экономичный генератор вспышек света (рис. 8.5). При указанных на схеме номиналах частота генерации составляет 2 Гц. Поскольку генерируемые импульсы довольно короткие, ток, потребляемый устройством, невелик и колеблется в пределах от 20 до 120 мкА. Максимальный ток через

светодиод ограничен высоким внутренним сопротивлением биполярного транзистора, входящего в состав аналога ИПТ. Для снижения начальной амплитуды импульса тока через светодиод и транзистор в эту цепь можно подключить резистор сопротивлением 200...620 Ом.

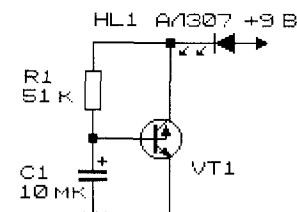


Рис. 8.5

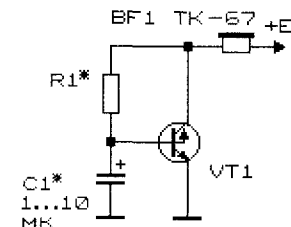


Рис. 8.6

В связи с высокой экономичностью и предельной простотой РГИ целесообразно использовать их в радиоэлектронной аппаратуре для индикации включенного состояния (подачи напряжения питания).

На рис. 8.6 приведена схема генератора импульсов звукового диапазона. При  $R1=910\text{ Ом}$ ,  $C1=1\text{ мкФ}$  и изменении напряжения питания от 2 до 10 В частота генерации меняется от 5 до 500 Гц с увеличением потребляемого тока от 3 до 6 мА.

Генератор импульсов, представленный на рис. 8.7, отличается подключением времязадающего конденсатора. Генератор вырабатывает достаточно стабильные колебания синусоидальной формы: частота генерации меняется от 644 до 639 Гц при изменения напряжения питания от 3 до 10 В, а потребляемый ток — от 4 до 5,5 мА.

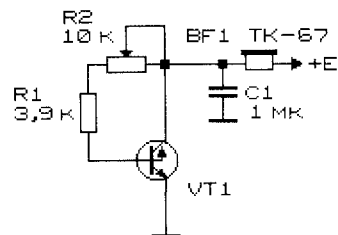


Рис. 8.7

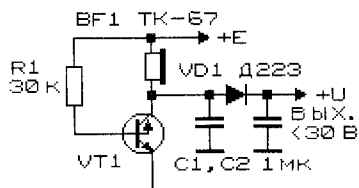


Рис. 8.8

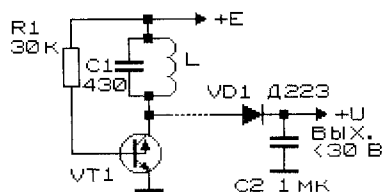


Рис. 8.9

На рис. 8.8 и 8.9 показана возможность использования генераторов на основе ИПТ в качестве портативного маломощного преобразователя напряжения. Такие устройства можно использовать для подачи повышенных напряжений на управляемые полупроводниковые конденсаторы — варикапы. Преобразователь (рис. 8.8) работает при  $U_{\text{пит.}} = 3 \dots 10 \text{ В}$  (верхнее значение напряжения определяется типом используемых полупроводниковых приборов) и позволяет получить  $U_{\text{вых.}} = 2(U_{\text{пит.}} - 1)$ .

Преобразователь (рис. 8.9) нагружен на высокочастотный колебательный контур. При использовании катушки индуктивности от фильтра промежуточной частоты радиоприемника «ВЭФ» (индуктивность 260 мкГн) генератор работает на частоте 140...200 кГц в диапазоне напряжения питания от 1,5 до 10 В. Этот генератор можно использовать для создания портативного металлоискателя, см., например, рис. 21.1, 21.6.

При подборе сопротивления в цепи базы (рис. 8.9) изменяется потребляемый генератором ток, выходное напряжение и форма генерируемого сигнала (до синусоидального). При  $U_{\text{пит.}} = 0,7 \text{ В}$  на выходе устройства было получено напряжение 5 В ( $R1 = 750 \text{ Ом}$ ,  $I_{\text{потр.}} = 20 \text{ мА}$ ). С повышением напряжения питания до 1 В выходное напряжение достигает 20 В, а при 2 В — доходит до 27 В (потребляемый ток — 50 мА). Экономичность преобразователя растет с увеличением сопротивления в цепи базы.

На рис. 8.10 и 8.11 приведены схемы генераторов на аналогах ИПТ р-структуры. Как следует из сопоставления схем (см., например, рис. 8.9 и 8.10 и рис. 8.4 и 8.11), способы включения аналогов ИПТ *n*- и *p*-структур тождественны способом подключения биполярных транзисторов *n-p-n* и *p-n-p* типов (смена полярности источника питания). При изменении емкости конденсатора (рис. 8.11) от нуля (емкость монтажа и полупроводниковых переходов) до 0,33 мкФ частота генерации изменяется от 3,5 кГц до 200 Гц.

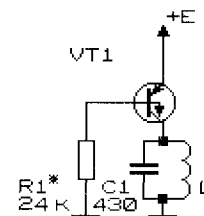


Рис. 8.10

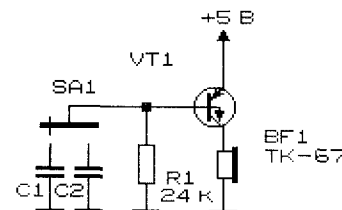


Рис. 8.11

Устройство (рис. 8.11) может быть использовано в качестве широкодиапазонного генератора импульсов, простейшего электромузыкального инструмента, измерителя емкости конденсаторов, контроля изменения емкости конденсаторных датчиков, варикапов и т.д.

Устройство звуковосветовой импульсной сигнализации — бипер — предназначено для индикации включения узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры. Бипер (рис. 8.12) выполнен на аналоге инжекционно-полевого транзистора (транзисторы VT1, VT2) [Рл 2/01-18]. Бипер генерирует при включении привлекающие внимание короткие синхронные звуковые и световые сигналы. Величина резистора R1 определяет длительность звуковой посылки; R2 — паузы между ними. Конденсатор C1 является элементом времязадающей цепи; C2 — обеспечивает характерную «окраску» генерируемого звукового сигнала. В качестве звукоизлучателя использован телефонный капсюль *TK-67* или микрофон *TM-2B*. Средний ток, потребляемый устройством, составляет 1,5 мА при напряжении питания 6...15 В. Если из схемы исключить светодиодный индикатор (HL1), бипер начнет работать при напряжении питания от 4 В.

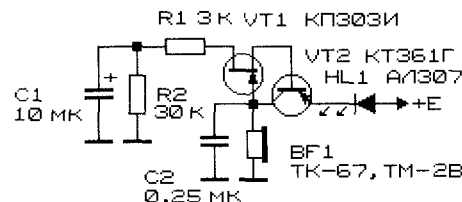


Рис. 8.12

Все рассматриваемые в этой главе устройства выполнены на так называемых негаваристорах — приборах, имеющих участок отрицательного динамического сопротивления на вольт-амперной характеристике. Если приведенные на рис. 8.1 — 8.12 схемы были реализованы на аналогах *ИПТ* (S-образная *BAX*), то показанные далее схемы генераторов (рис. 8.13 — 8.17) демонстрируют возможность использования другого рода структур (негаваристоров) для генерации электрических колебаний. Эти структуры (сочетание элементов, в них входящих) могут иметь принципиально иное построение, однако предназначены они для выполнения близких задач и обладают общим свойством: S-или N-образным видом *BAX*.

Звуковой генератор (рис. 8.13) собран на аналоге ламба-диода и имеет в качестве нагрузки низкочастотный колебательный контур, состоящий из электромагнитного капсюля *TM-2B* (индуктивность) и конденсатора C1. Генератор вырабатывает

колебания, по форме близкие к синусоидальным, и потребляет ток до 0,4 мА при напряжении питания 1,5...2,5 В. Если последовательно с нагрузкой генератора включить дополнительно высокочастотный колебательный контур, устройство превратится в генератор высокочастотных сигналов с возможностью модуляции низкочастотными колебаниями.

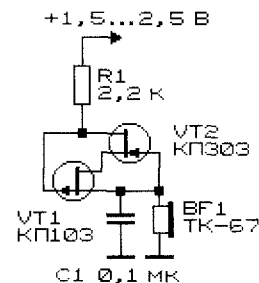


Рис. 8.13

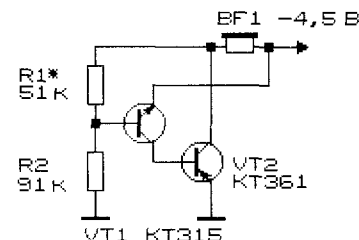


Рис. 8.14

Генераторы (рис. 8.14, 8.15) очень близки по построению. Для возбуждения этих генераторов (задания рабочей точки, в которой начинается процесс генерации) потребуется подбор резистивных элементов: R1 (рис. 8.14) и R2 (рис. 8.15).

Генератор импульсов (рис. 8.16) выполнен по схеме симметричного мультивибратора, но транзисторы включены инверсно (в «неправильной» полярности питающих напряжений) и с «оборванной» по постоянному току базой. Несмотря на столь экзотичное и необщепринятое включение, повреждения полупроводниковых элементов не происходит. Мощность, рассеиваемая на полупроводниковых переходах, крайне мала, поскольку в цепь нагрузки транзисторов включены резисторы с высоким сопротивлением. В таком режиме обычно работают

## 8. Генераторы импульсов

биполярные лавинные транзисторы, см., например, схемы практического использования подобных генераторов (рис. 20.6, 20.7).

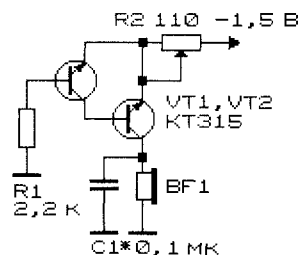


Рис. 8.15

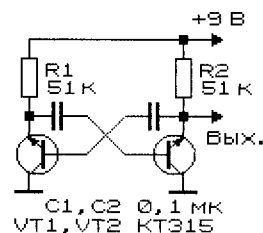


Рис. 8.16

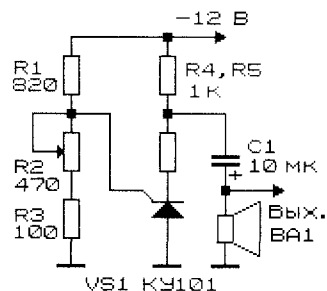


Рис. 8.17

На рис. 8.17 показана схема генератора импульсов, выполненная на тиристоре (Б.Е. Алгинин). Генератор работает в области звуковых частот (не выше нескольких кГц) и имеет достаточно высокую выходную мощность. Тиристор можно заменить его аналогом (рис. 2.2).

## 9. Низковольтные преобразователи для питания светодиодов

Светодиоды, как источники оптического излучения, имеют неоспоримые достоинства: малые габариты, высокую яркость свечения при минимальном (единицы мА) токе, экономичность. Но в силу технологических особенностей они не могут светиться при напряжении ниже 1,6...1,8 В. Это обстоятельство резко ограничивает возможность применения светодиодных излучателей в широком классе устройств, имеющих низковольтное питание, обычно от одного гальванического элемента.

Несмотря на очевидную актуальность проблемы низковольтного питания светодиодных источников оптического излучения, известно весьма ограниченное число схемных решений, в которых авторы пытались решить эту задачу.

В этой связи ниже приведен обзор схем питания светодиодов от источника низкого (0,25...1,6 В) напряжения.

Многообразие схем, приведенных в этой главе, можно свести к двум основным разновидностям преобразования напряжения низкого уровня в высокое. Это схемы с емкостными и индуктивными накопителями энергии [Рк 5/00-23].

На рис. 9.1 показана схема питания светодиода с использованием принципа удвоения напряжения питания. Генератор низкочастотных импульсов выполнен на транзисторах разной структуры: KT361 и KT315. Частота следования импульсов определяется постоянной времени R1C1, а продолжительность импульсов — постоянной времени R2C1. С выхода генератора короткие импульсы через резистор R4 подаются на базу транзистора VT3, в коллекторную цепь которого включен светодиод HL1 (АЛ307КМ) красного цвета свечения и германиевый диод VD1 типа Д9. Между выходом генератора импульсов и точкой соединения светодиода с германиевым диодом подключен электролитический конденсатор C2 большой емкости.

В период продолжительной паузы между импульсами (транзистор VT2 закрыт и не проводит ток) этот конденсатор заряжается через диод VD1 и резистор R3 до напряжения источника питания. При генерации короткого импульса транзистор VT2

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

открывается. Отрицательно заряженная обкладка конденсатора C2 оказывается соединенной с положительной шиной питания. Диод VD1 запирается. Заряженный конденсатор C2 оказывается подключенным последовательно с источником питания. Суммарное напряжение приложено к цепи светодиод — переход эмиттер — коллектор транзистора VT3. Поскольку тем же импульсом транзистор VT3 отпирается, его сопротивление эмиттер — коллектор становится малым. Таким образом, практически удвоенное напряжение питания (исключая незначительные потери) оказывается кратковременно приложенным к светодиоду: следует его яркая вспышка. После этого процесс заряда — разряда конденсатора C2 периодически повторяется.

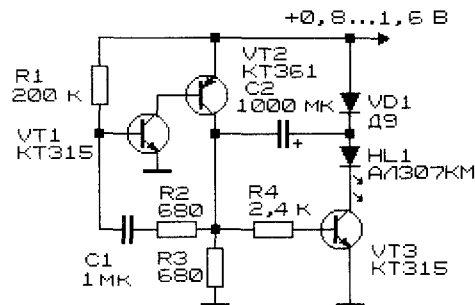


Рис. 9.1

Поскольку светодиоды допускают работу при кратковременном токе в импульсе, в десятки раз превосходящем номинальные значения, повреждения светодиода не происходит. Если необходимо повысить надежность работы светодиодных излучателей с низковольтным питанием и расширить диапазон напряжения питания в сторону увеличения, последовательно со светодиодом следует включить токоограничивающий резистор сопротивлением десятки, сотни Ом.

При использовании в схемах этой главы светодиода типа АЛ307КМ с напряжением начала едва заметного свечения 1,35...1,4 В и напряжением, при котором без ограничительного сопротивления ток через светодиод составляет 20 мА, 1,6...1,7 В, рабочее напряжение генератора, представленного на рис. 9.1, составляет 0,8...1,6 В. Границы диапазона определены экспериментально тем же образом: нижняя указывает напряжение начала свечения светодиода, верхняя — напряжение, при котором ток,

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

потребляемый всем устройством, составляет примерно 20 мА, т.е. не превышает в самых неблагоприятных условиях эксплуатации предельный ток через светодиод и, одновременно, сам преобразователь.

Как уже отмечалось ранее, генератор (рис. 9.1) работает в импульсном режиме, что является с одной стороны недостатком схемы, с другой стороны — достоинством, поскольку позволяет генерировать яркие вспышки света, привлекающие внимание. Генератор достаточно экономичен, поскольку средний ток, потребляемый устройством, невелик. В то же время в схеме необходимо использовать хотя и низковольтный, но довольно громоздкий электролитический конденсатор большой емкости (C2).

На рис. 9.2 показан упрощенный вариант генератора, работающего аналогично изложенному выше. Генератор, используя малогабаритный электролитический конденсатор, работает при напряжении питания от 0,9 до 1,6 В. Средний ток, потребляемый устройством, не превышает 3 мА при частоте следования импульсов около 2 Гц. Яркость генерируемых вспышек света несколько ниже, чем в предыдущей схеме.

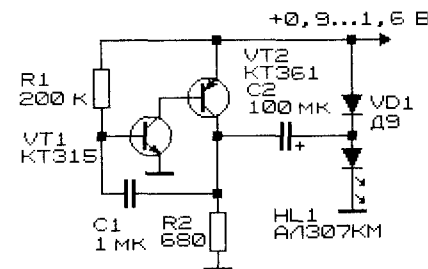


Рис. 9.2

Генератор, показанный на рис. 9.3, использует в качестве нагрузки телефонный капсюль ТК-67. Это позволяет повысить амплитуду генерируемых импульсов и понизить тем самым на 200 мВ нижнюю границу начала работы генератора. За счет перехода на более высокую частоту генерации удастся осуществить непрерывную «перекачку» (преобразование) энергии и ощутимо снизить емкости конденсаторов.

На рис. 9.4 показан генератор с выходным каскадом, в котором осуществляется удвоение выходного напряжения. При

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

закрытом транзисторе VT3 к светодиоду приложено только небольшое по величине напряжение питания. Электрическое сопротивление светодиода велико в силу ярко выраженной нелинейности  $BAX$  и намного превышает сопротивление резистора R6. Поэтому конденсатор C2 оказывается подключенным к источнику питания через резисторы R5 и R6.

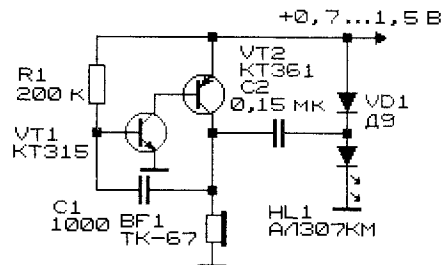


Рис. 9.3

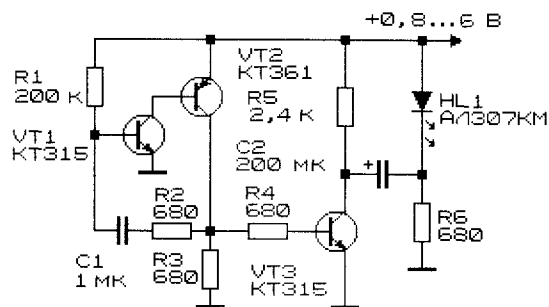


Рис. 9.4

Хотя вместо германиевого диода использован резистор R6, принцип работы удвоителя напряжения остается тем же: заряд конденсатора C2 при закрытом транзисторе VT3 через резисторы R5 и R6 с последующим подключением заряженного конденсатора последовательно с источником питания. При приложении удвоенного таким образом напряжения динамическое сопротивление светодиода на более крутом участке  $BAX$  становится на время разряда конденсатора порядка 100 Ом и менее, что намного ниже сопротивления шунтирующего конденсатор резистора R6.

Расширить рабочий диапазон питающих напряжений (от 0,8 до 6 В) позволяет использование резистора R6 вместо

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

германиевого диода. Если бы в схеме стоял германиевый диод, напряжение питания устройства было бы ограничено величиной 1,6...1,8 В. При дальнейшем увеличении напряжения питания ток через светодиод и германиевый диод вырос бы до неприемлемо высокой величины и произошло бы их необратимое повреждение.

В генераторе, представленном на рис. 9.5 одновременно со световыми вырабатываются звонкие импульсы звуковой частоты. Частота звуковых сигналов определяется параметрами колебательного контура, образованного обмоткой телефонного капсюля и конденсатора C2.

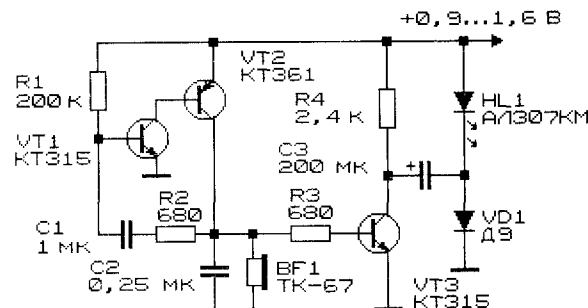


Рис. 9.5

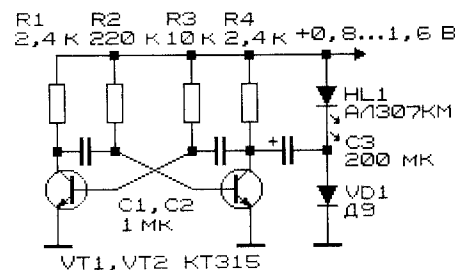


Рис. 9.6

Источники питания светодиодов на основе мультивибраторов изображены на рис. 9.6, 9.7. Первая схема выполнена на основе асимметричного мультивибратора, вырабатывающего, как и устройства (рис. 9.1 — 9.5), короткие импульсы с протяженной межуимпульсной паузой. Накопитель энергии — электролитический конденсатор C3 периодически заряжается

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

от источника питания и разряжается на светодиод, суммируя свое напряжение с напряжением питания.

В отличие от предыдущей схемы генератор (рис. 9.7) обеспечивает непрерывный характер свечения светодиода. Устройство выполнено на основе симметричного мультивибратора и работает на повышенных частотах. В этой связи емкости конденсаторов в этой схеме на 3...4 порядка ниже. В то же время яркость свечения заметно понижена, а средний ток, потребляемый генератором при напряжении источника питания 1,5 В не превышает 3 мА.

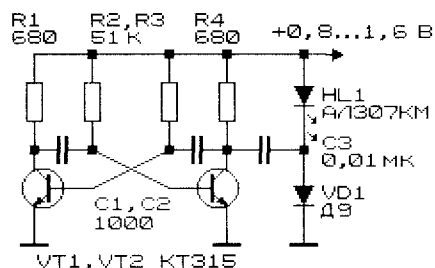


Рис. 9.7

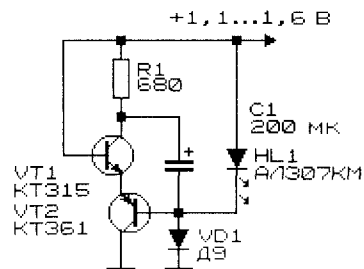


Рис. 9.8

В генераторах, показанных далее на рис. 9.8 — 9.13, в качестве активного элемента используется несколько необычное последовательное соединение транзисторов разного типа проводимости, к тому же, охваченных положительной обратной связью.

Конденсатор положительной обратной связи (рис. 9.8) одновременно выполняет роль накопителя энергии для получения напряжения, достаточного для питания светодиода. Параллельно

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

переходу база — коллектор транзистора VT2 (типа *КТ361*) включен германиевый диод (либо заменяющее его сопротивление, рис. 9.12). В генераторе с RC-цепочкой (рис. 9.8) за счет существенных потерь напряжения на полупроводниковых переходах рабочее напряжение устройства составляет 1,1...1,6 В.

Заметно понизить нижнюю границу напряжения питания стало возможным за счет перехода на LC-вариант схемы генераторов, использующих индуктивные накопители энергии (рис. 9.9 — 9.13).

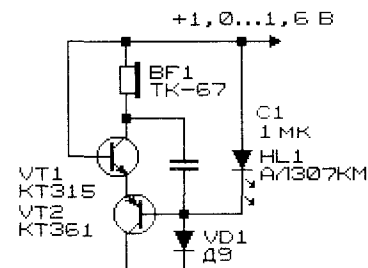


Рис. 9.9

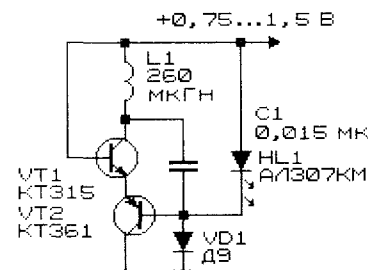


Рис. 9.10

В качестве индуктивного накопителя энергии в первой из схем использован телефонный капсюль (рис. 9.9). Одновременно со световыми вспышками генератор вырабатывает акустические сигналы. При увеличении емкости конденсатора до 200 мкФ генератор переходит в импульсный экономичный режим работы, вырабатывая прерывистые световые и звуковые сигналы.

Переход на более высокие рабочие частоты возможен за счет использования малогабаритной катушки индуктивности с

большой добротностью. В связи с этим появляется возможность заметно уменьшить объем устройства и понизить нижнюю границу питающего напряжения (рис. 9.10 — 9.13). В качестве индуктивности использована катушка контура промежуточной частоты от радиоприемника «ВЭФ» индуктивностью 260 мкГн. На рис. 9.11, 9.12 показаны разновидности таких генераторов.

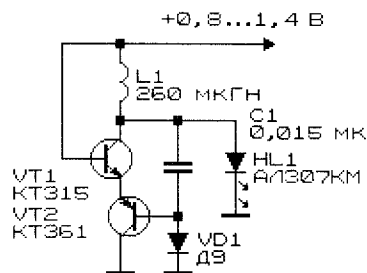


Рис. 9.11

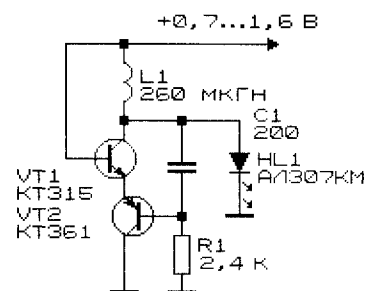


Рис. 9.12

Наконец, на рис. 9.13 показан наиболее упрощенный вариант устройства, в котором вместо конденсатора колебательного контура использован светодиод.

Преобразователи напряжения *конденсаторного* типа (с удвоением напряжения), используемые для питания светодиодных излучателей, теоретически могут обеспечить снижение рабочего напряжения питания только до 60% (предельное, идеальное значение — 50%). Использование в этих целях многокаскадных умножителей напряжения неперспективно в связи с прогрессивно возрастающими потерями и падением *КПД* преобразователя.

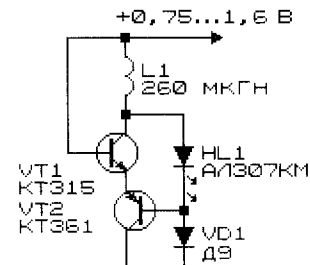


Рис. 9.13

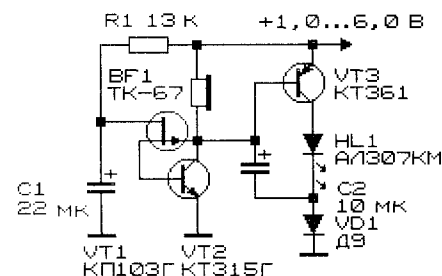


Рис. 9.14

Преобразователи с *индуктивными* накопителями энергии более перспективны при дальнейшем снижении рабочего напряжения генераторов, обеспечивающих работу светодиодов. При этом сохраняются высокий *КПД* и простота схемы преобразователя.

На рис. 9.14 — 9.18 показаны преобразователи для питания светодиодов *индуктивного* и *индуктивно-емкостного* типа, выполненные на основе генераторов с использованием в качестве активного элемента аналогов инжекционно-полевого транзистора [Рк 5/00-23]. Более подробно принцип работы генераторов на аналогах инжекционно-полевого транзистора был изложен в главе 8.

Преобразователь, изображенный на рис. 9.14, является устройством *индуктивно-емкостного* типа. Генератор импульсов выполнен на аналоге инжекционно-полевого транзистора (транзисторы VT1 и VT2). Элементами, определяющими рабочую частоту генерации в диапазоне звуковых частот, являются телефонный капсюль BF1 (типа ТК-67), конденсатор

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

C1 и резистор R1. Короткие импульсы, вырабатываемые генератором, поступают на базу транзистора VT3, открывая его. Одновременно происходит заряд/разряд емкостного накопителя энергии (конденсатор C2). При поступлении импульса положительно заряженная обкладка конденсатора C2 оказывается соединенной с общей шиной через открытый на время действия импульса транзистор VT2. Диод VD1 закрывается, транзистор VT3 — открыт. Таким образом, к цепи нагрузки (светодиоду HL1) оказываются присоединены последовательно включенные источник питания и заряженный конденсатор C2, в результате чего следует яркая вспышка светодиода.

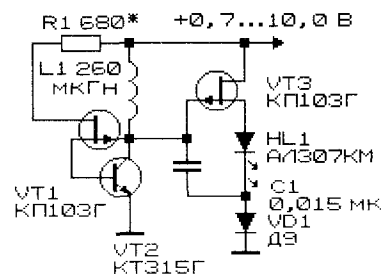


Рис. 9.15

Расширить диапазон рабочих напряжений преобразователя позволяет транзистор VT3. Устройство работоспособно при напряжениях от 1,0 до 6,0 В. Напомним, что нижняя граница соответствует едва заметному свечению светодиода, а верхняя — потреблению устройством тока в 20 мА. В области малых напряжений (до 1,45 В) звуковая генерация не слышна, хотя по мере последующего увеличения напряжения питания устройство начинает вырабатывать и звуковые сигналы, частота которых довольно быстро понижается.

Переход на более высокие рабочие частоты (рис. 9.15) за счет использования высокочастотной катушки позволяет уменьшить емкость конденсатора, «перекачивающего» энергию (конденсатор C1). В качестве ключевого элемента, подключающего светодиод к «плюсовой» шине питания на период следования импульса, использован полевой транзистор VT3 (КП103Г). В результате диапазон рабочих напряжений этого преобразователя расширен до 0,7...10 В.

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

Заметно упрощенные, но работающие в ограниченном интервале питающих напряжений устройства показаны на рис. 9.16 и 9.17. Они обеспечивают свечение светодиодов в диапазоне 0,7...1,5 В (при  $R1=680 \text{ Ом}$ ) и 0,69...1,2 В (при  $R1=0 \text{ Ом}$ ), а также от 0,68 до 0,82 В (рис. 9.17). Наиболее прост генератор на аналоге инжекционно-полевого транзистора (рис. 9.18), где светодиод одновременно выполняет роль конденсатора и является нагрузкой генератора. Устройство работает в довольно узком диапазоне питающих напряжений, однако яркость свечения светодиода достаточно высока, поскольку преобразователь (рис. 9.18) является чисто индуктивным и имеет высокий КПД.

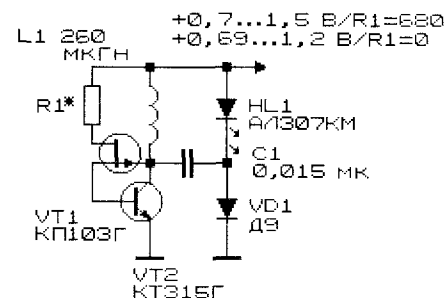


Рис. 9.16

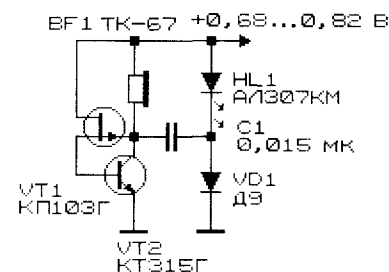


Рис. 9.17

Следующий вид преобразователей достаточно хорошо известен и является более традиционным. Это преобразователи трансформаторного и автотрансформаторного типа.

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

На рис. 9.19 показан генератор трансформаторного типа для питания светодиодов низковольтным напряжением. Генератор содержит лишь три элемента, одним из которых является светоизлучающий диод. Без светодиода устройство является простейшим блокинг-генератором, причем на выходе трансформатора может быть получено довольно высокое напряжение. Если в качестве нагрузки генератора использовать светодиод, он начинает ярко светиться даже при низком значении питающего напряжения (0,6...0,75 В).

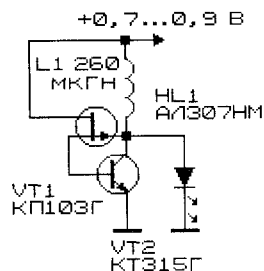


Рис. 9.18

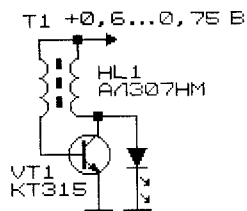


Рис. 9.19

В этой схеме (рис. 9.19) обмотки трансформатора имеют по 20 витков провода ПЭВ 0,23. В качестве сердечника трансформатора использовано ферритовое кольцо М1000 (1000НМ) К10х6х2,5. В случае отсутствия генерации выводы одной из обмоток трансформатора следует поменять местами.

Преобразователь, показанный на рис. 9.20, имеет самое низкое напряжение питания из всех рассмотренных устройств. Существенного понижения нижней границы рабочего напряжения удалось достичь за счет оптимизации выбора числа (соотношения) витков обмоток и способа их включения. При использовании

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

высокочастотных германиевых транзисторов типа 1Т311, 1Т313 (ГТ311, ГТ313) подобные преобразователи начинают работать при напряжении питания выше 125 мВ.

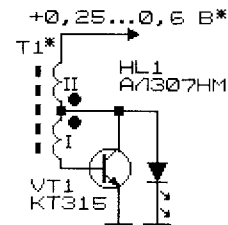


Рис. 9.20

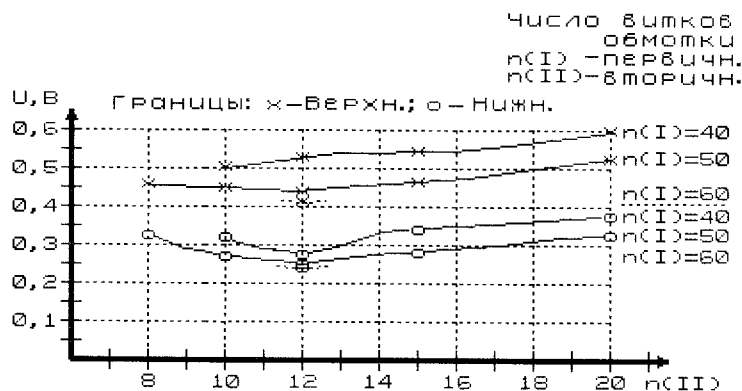


Рис. 9.21

В качестве сердечника трансформатора, как и в предыдущей схеме, использовано ферритовое кольцо М1000 (1000НМ) К10х6х2,5. Первичная обмотка выполнена проводом ПЭВ 0,23 мм, вторичная — ПЭВ 0,33. Довольно яркое свечение светодиода наблюдается уже при напряжении 0,3 В.

На рис. 9.21 представлены экспериментально измеренные характеристики генератора (рис. 9.20) при варьировании числа витков обмоток. Из анализа полученных зависимостей следует, что существует область оптимального соотношения числа витков первичной и вторичной обмоток, причем, с увеличением числа витков первичной обмотки минимальное рабочее напряжение

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

преобразователя плавно снижается, причем одновременно сужается и диапазон рабочих напряжений преобразователя.

Так, при числе витков первичной обмотки  $n(I)$  равном 50...60 и числе витков вторичной  $n(II)$  — 12, устройство работоспособно в диапазоне питающих напряжений 260...440 мВ (соотношение числа витков 50 к 12), а при соотношении числа витков 60 к 12 — 260...415 мВ. При использовании ферритового сердечника другого типа или размера это соотношение может нарушиться и быть иным. Полезно самостоятельно выполнить подобное исследование, а результаты для наглядности представить в виде графика.

Весьма интересным представляется использование туннельного диода в рассматриваемых генераторах (аналогичного приведенному на рис. 9.20), включенного вместо перехода эмиттер — база транзистора VT1.

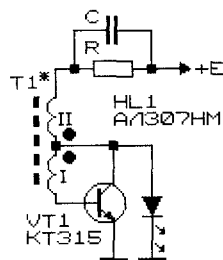


Рис. 9.22

Для решения обратной задачи — расширения диапазона рабочих напряжений преобразователя — последовательно с ним может быть подключена RC-цепочка (рис. 9.22). Еще один вид преобразователей представлен на рис. 9.23 — 9.29. Их особенность — использование индуктивных накопителей энергии и схем, выполненных по типу «индуктивной» или «емкостной трехточки» с барьерным режимом включения транзистора.

Генератор (рис. 9.23) работоспособен в диапазоне напряжений от 0,66 до 1,55 В. Для оптимизации режима работы требуется подбор номинала резистора R1. В качестве катушки индуктивности, как и во многих предыдущих схемах, использована катушка контура фильтра ПЧ индуктивностью 260 мкГн.

## 9. Преобразователи для питания светодиодов

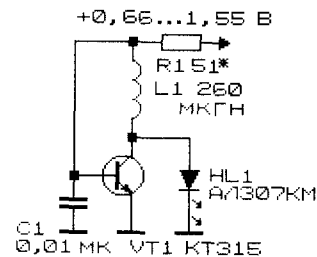


Рис. 9.23

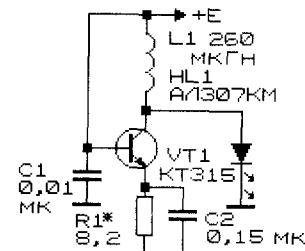


Рис. 9.24

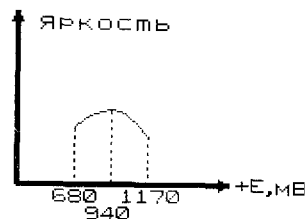


Рис. 9.25

Генератор (рис. 9.24) немногим отличается от предыдущего (рис. 9.23). Интересной его особенностью является то, что яркость свечения светодиода меняется с ростом напряжения питания (рис. 9.25). Причем максимум яркости достигается при 940 мВ.

Преобразователь, показанный на рис. 9.26, можно отнести к генераторам, выполненным по схеме «трехточки», причем светодиод выполняет роль одного из конденсаторов. Трансформатор устройства выполнен на ферритовом кольце M1000 (1000НМ) K10x6x2,5, причем его обмотки содержат приблизительно по 15...20 витков провода ПЭЛШО 0,18.

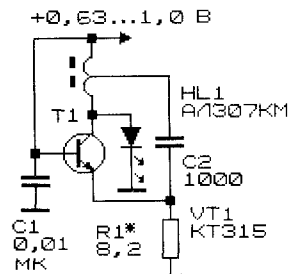


Рис. 9.26

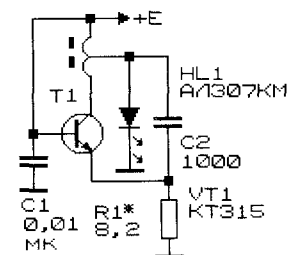


Рис. 9.27

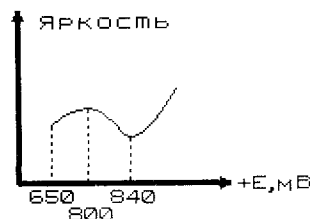


Рис. 9.28

Преобразователь (рис. 9.27) отличается от предыдущего точкой подключения светодиода. Зависимость яркости свечения светодиода от напряжения питания показана на рис. 9.28: при повышении напряжения питания яркость вначале нарастает, затем резко снижается, после чего снова растёт.

Наиболее простой схемой преобразователей этого типа является схема, представленная на рис. 9.29. Установление рабочей точки достигается подбором резистора R1. Светодиод, как и

в ряде предшествующих схем, одновременно играет роль конденсатора. В порядке эксперимента рекомендуется подключить параллельно светодиоду конденсатор и подобрать его ёмкость.

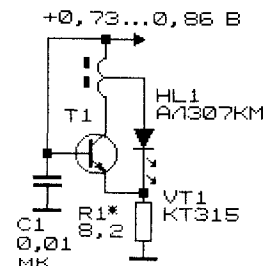


Рис. 9.29

В качестве общего замечания по налаживанию схем, представленных выше, следует отметить, что напряжение питания всех рассмотренных устройств во избежание повреждения светодиодов не должно (за редким исключением) превышать значения 1,6...1,7 В.

## 10. Обратные связи в генераторах

При создании устройств контроля, измерения, автоматизации зачастую используют генераторы с емкостной, индуктивной, оптической, акустической или биологической обратной связью.

**Генератор с оптической обратной связью** (рис. 10.1) начинает генерировать колебания при наличии оптической обратной связи между излучателем света (светодиод HL1) и фотоприемником — датчиком света (фотодиод VD1 или заменяющий его фоточувствительный элемент, например, фоторезистор) [Р 7/93-27]. Если ослабить глубину оптической обратной связи, поставив на пути между излучателем и приемником света полупрозрачный экран, либо удалить приемник от излучателя, устройство чутко отреагирует на это: частота генерации изменится, а то и вовсе прекратится. Такие устройства могут быть использованы для контроля расстояний, подсчета изделий на конвейере, для индикации обрыва ленты магнитофона, в помощь слепым.

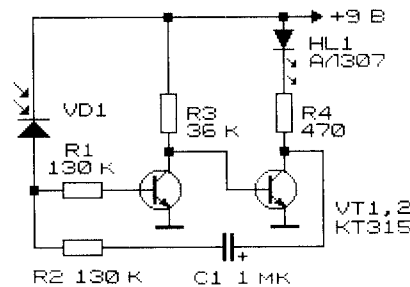


Рис. 10.1. Генератор с оптической обратной связью

**Генератор с акустической обратной связью** (рис. 10.2) содержит простейший двухкаскадный усилитель низкой частоты, на входе которого подключен акустический датчик, например, телефонный капсюль, а на выходе — звукоизлучатель, также телефонный капсюль. Напомним, что многие элементы радиоэлектроники обладают свойством обратности. Так, электромагнитный телефонный капсюль может быть с успехом использован в качестве микрофона. При сближении телефонных капсюлей BF1 и BF2 (рис. 10.2) генератор перейдет в режим автоколебаний.

При периодическом перемещении капсюлей устройство будет издавать звуковые сигналы, напоминающие кошачье мяуканье. Такой генератор найдет применение в радиоэлектронных игрушках, индикаторах удаления объекта — экрана (отражателя звуковых волн), в качестве охранного устройства.

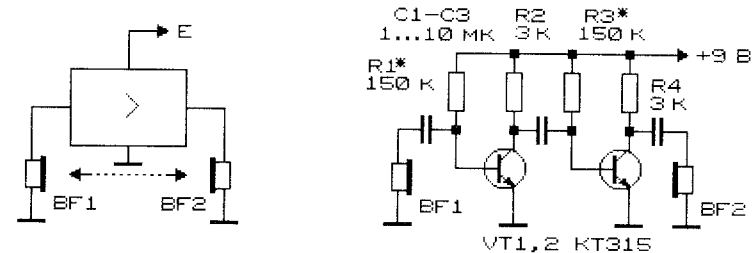


Рис. 10.2. Генератор с акустической обратной связью

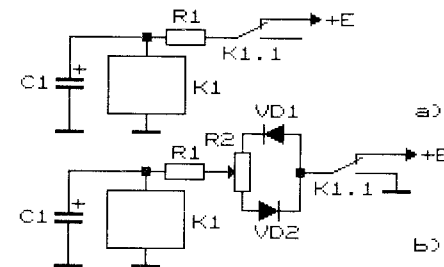


Рис. 10.3. Генератор с электромеханической обратной связью

**Генераторы с электромеханической обратной связью** (рис. 10.3). Выполняются на реле с времязадающей RC-цепью. В момент включения питания конденсатор C1 заряжается через нормально замкнутые контакты реле и резисторы R1, R2. Через определенное время реле срабатывает, и его контакты разомкнут цепь заряда. Некоторое время реле будет питаться от конденсатора C1, после чего контакты вновь замкнутся, и процесс заряда — разряда повторится снова и снова. Время заряда/разряда конденсатора C1 изменяется с помощью потенциометра R2.

**Генераторы с емкостной, индуктивной или биологической обратной связью** (рис. 10.4 — 10.6) могут быть выполнены аналогично приведенным выше, см., например, рис. 10.2,

поэтому конкретные их схемы не рассматриваются. Отметим лишь то, что в генераторе с емкостной обратной связью на вход и выход усилителя подключены емкостные (конденсаторные) датчики, например, антенны, обеспечивающие емкостную положительную обратную связь. При изменении емкости датчика, путем внесения в поле его действия токопроводящего или даже диэлектрического предмета, емкость системы изменяется, генератор реагирует на это изменением частоты колебаний. В свою очередь, изменение частоты генерации преобразуется в срабатывание исполнительного механизма или реле.

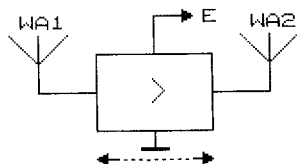


Рис. 10.4. Генератор с емкостной обратной связью

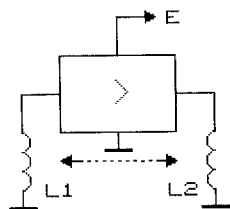


Рис. 10.5. Генератор с индуктивной обратной связью

В генераторе с индуктивной обратной связью (рис. 10.5) в качестве датчиков-приемников использованы катушки индуктивности. Изменение расстояния между ними или изменение магнитной проницаемости среды, разделяющей катушки индуктивности, приведет к изменению частоты генерации.

Генератор с биологической обратной связью (рис. 10.6) в качестве чувствительной среды, подключенной между входом и выходом усилителя, содержит биологический объект (человека, животное или растение) [Рл 9/91-7]. Любой раздражитель: шум, свет, музыка, информация, прием пищи, вдыхание аромата духов и т.д. изменяет резистивно-емкостные характеристики биологической среды, осуществляющей положительную обратную связь.

На такое вмешательство генератор будет реагировать изменением частоты.

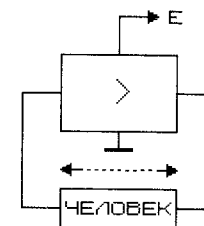


Рис. 10.6. Генератор с биологической обратной связью

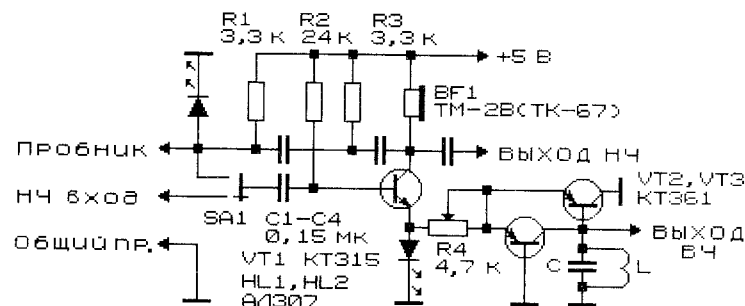


Рис. 10.7. Генератор сигналов — пробник

**Генератор сигналов — пробник** (рис. 10.7) предназначен для управляемой извне генерации сигналов *НЧ*, получения модулированных *ВЧ* колебаний, модулированных импульсов оптического излучения [Рл 9/00-30]. В устройстве предусмотрена возможность подключения внешнего модулирующего генератора, проверки на слух наличия сигналов *НЧ* (режим *УНЧ*); контроля качества проводников и контактов печатных плат, оценки на слух сопротивлений до 10 *кОм*.

На транзисторе *VT1*, фазосдвигающих *RC*-цепочках *C1* — *C3* и *R1* — *R3* и телефонном капсюле *BF1* выполнен генератор гармонических сигналов, приближающихся по форме к синусоидальным. Сигнал с частотой 1,3...1,5 *кГц* и амплитудой 1,9 *В* снимается с *НЧ* выхода генератора. Дополнительным элементом фазосдвигающей цепочки генератора является светодиод *HL1*. При подключении параллельно ему неизвестного сопротивления *R<sub>x</sub>* (движок потенциометра *R4* в крайнем правом положении),

частота генерации меняется. При  $R_x < 20 \text{ Ом}$  светодиод HL1 не горит, генерация срывается. При увеличении  $R_x$  от 25 до 1000 Ом частота генерации плавно снижается с 1760 до 600 Гц. Когда значение  $R_x$  превысит 1,0...1,1 кОм, светодиод HL1 начинает светиться. Частота генерации плавно повышается с 600...640 Гц до примерно 1340 Гц ( $R_x > 20 \text{ кОм}$ ). Падение напряжения на контролируемом резисторе не превышает 1,8...2,0 В. Переключатель SA1 размыкает цепь положительной обратной связи и переводит устройство в режим УНЧ. На НЧ вход подают сигнал с внешнего генератора либо с контролируемого радиоэлектронного устройства.

В эмиттерную цепь транзистора VT1 включен светодиод HL2. Светодиод обеспечивает смещение на ВЧ генераторе (транзисторы VT2, VT3) и одновременно является источником модулированного оптического излучения. На транзисторах VT2, VT3 выполнен ВЧ генератор, частоту которого определяет LC-контур (и емкостные компоненты транзисторов, в него входящие). Управление частотой генератора производится с помощью потенциометра R4, модуляция — от НЧ генератора (транзистор VT1). ВЧ генератор способен работать в диапазоне частот от единиц кГц до сотни МГц. Амплитуда ВЧ сигнала (на частоте сотен кГц) составляет 0,5...0,7 В; на частотах около 100 МГц — 50 мВ.

ВЧ генератор работает на частоте 360 кГц, а светодиод HL2 светится при следующих параметрах элементов схемы:  $L=260 \text{ мкГн}$  (от УПЧ радиоприемника ВЭФ-12, 201, 202),  $C=120 \text{ пФ}$  и  $R4=4,7 \text{ кОм}$ . Частота генерации понижается до 160 кГц при плавном уменьшении R4 до погасания светодиода HL2. Гашение светодиода HL2 является «критической» точкой: после этого частота генерации скачкообразно снижается до 90 кГц и затем почти не изменяется. В «критической» точке светодиод HL2 гаснет, а НЧ-генерация прекращается. Возобновление НЧ генерации происходит при последующем уменьшении сопротивления R4.

С помощью потенциометра R4 можно управлять частотой генерации ВЧ-генератора в пределах от 360 до 160 кГц. Генератор потребляет ток до 10 мА и не боится коротких замыканий по входам и выходам.

**Генераторы световых импульсов** (рис. 10.8, 10.9) выполнены на аналогах лавинных и инжекционно-полевых транзисторов и используются для систем охранной сигнализации [Ра 5/00-29].

На рис. 10.8 показана схема генератора световых импульсов на составном лавинном транзисторе VT1, VT2. Частота следования импульсов определяется постоянной времени  $R1 \times (C1 + C2)$ ; длительность импульсов —  $R2 \times (C1 + C2)$ . Максимальный ток через светоизлучающий диод HL1 определяется выражением:

$$I_{MAX} = \frac{U_{ПИТ.} - U_{HL1} - U_{ЭКВТ2}}{R3},$$

где:

$U_{ПИТ.}$  — напряжение питания;

$U_{HL1}$  — падение напряжения на светоизлучающем диоде;

$U_{ЭКВТ2}$  — падение напряжения эмиттер — коллектор для транзистора VT2 при токе  $I_{MAX}$ , соответственно.

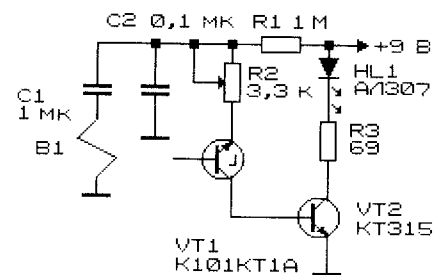


Рис. 10.8. Генератор световых импульсов

При указанных на схеме (рис. 10.8) номиналах элементов генератор вырабатывает импульсы частотой 2...3 Гц. При обрыве шлейфа охранной сигнализации B1 (размыкании цепи конденсатора C1) частота импульсов повышается на порядок, что приводит к срабатыванию охранной сигнализации. Схема охранной сигнализации может работать и по принципу прерывания светового луча.

На рис. 10.9 показана схема генератора световых импульсов, выполненная на аналоге инжекционно-полевого транзистора (VT1, VT2). В отличие от устройства на рис. 10.8 генератор может работать при пониженных напряжениях: верхняя граница напряжения питания ограничена напряжением пробоя полевого транзистора (10...12 В), нижняя — значениями  $U_{HL1}$  и  $U_{ЭК VT2}$  ( $>3 \text{ В}$ ).

В схеме (рис. 10.8) вместо транзистора микросхемы K101KT1A может быть использован дискретный аналог лавинного

## 10. Обратные связи в генераторах

транзистора, либо  $p-n-p$  транзистор аналогичной микросхемы  $K162KT1$ , также включенный инверсно (см., например, главу 2). Для работы схем (рис. 10.8, 10.9) в ждущем режиме охранный шлейф может быть подключен параллельно конденсатору  $C2$ , шунтируя его. Генерации при этом нет. При обрыве шлейфа генератор начинает работать. Ток потребления устройства до 10 мкА (рис. 10.8) и до 100 мкА (рис. 10.9).

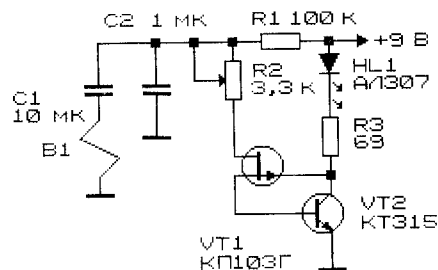


Рис. 10.9. Генератор световых импульсов

## 11. Генераторы низкой частоты

Генераторы низкой частоты (ГНЧ) используют для получения незатухающих периодических колебаний электрического тока в диапазоне частот от долей Гц до десятков кГц. Такие генераторы, как правило, представляют собой усилители, охваченные положительной обратной связью (рис. 11.7, 11.8) через фазосдвигающие цепочки. Для осуществления этой связи и для возбуждения генератора необходимы следующие условия: сигнал с выхода усилителя должен поступать на вход со сдвигом по фазе 360 градусов (или кратном ему, т.е. 0, 720, 1080 и т.д. градусов), а сам усилитель должен иметь некоторый запас коэффициента усиления,  $K_{УС, MIN}$ . Поскольку условие оптимального сдвига фаз для возникновения генерации может выполняться только на одной частоте, именно на этой частоте и возбуждается усилитель с положительной обратной связью.

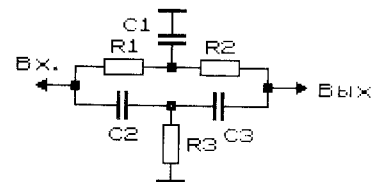


Рис. 11.1

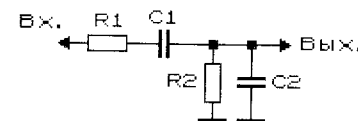


Рис. 11.2

Для сдвига сигнала по фазе используют RC- и LC-цепи, кроме того, сам усилитель вносит в сигнал фазовый сдвиг. Для получения положительной обратной связи в генераторах (рис. 11.1, 11.7, 11.9) использован двойной Т-образный RC-мост; в генераторах (рис. 11.2, 11.8, 11.10) — мост Вина; в генераторах (рис. 11.3 — 11.6, 11.11 — 11.15) — фазосдвигающие RC-цепочки. В генераторах с RC-цепочками число звеньев может быть

11. Генераторы низкой частоты

достаточно большим. На практике же для упрощения схемы их число не превышает двух, трех.

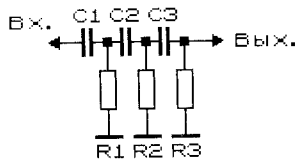


Рис. 11.3

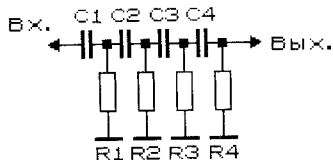


Рис. 11.4

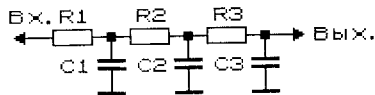


Рис. 11.5

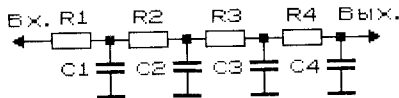


Рис. 11.6

Расчетные формулы и соотношения для определения основных характеристик RC-генераторов сигналов синусоидальной формы приведены в таблице 11.1. Для простоты расчета и упрощения подбора деталей использованы элементы с одинаковыми номиналами. Для вычисления частоты генерации (в Гц) в формулы подставляют значения сопротивлений, выраженные в Ом, емкостей — в Фарадах. Для примера, определим частоту генерации RC-генератора с использованием трехзвенной RC-цепи положительной обратной связи (рис. 11.5). При R=8,2 кОм; C=5100 пФ (5,1×10<sup>-9</sup> Ф) рабочая частота генератора будет равна 9326 Гц.

11. Генераторы низкой частоты

Таблица 11.1

| Фазосдвигающая цепочка, рис. | Наименование цепочки или схемы | Частота генерации, Гц;<br>( $f = \frac{const}{RC}$ ) R, Ом; C, Ф | Козфф. усиления усилителя, min | Примечание                              |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| 11.1                         | Двойной Т-мост                 | 0,159/RC                                                         | 11                             | C1=C2=C; C3=C/0,207; R1=R2=R; R3=0,207R |
| 11.2                         | Мост Вина                      | 0,159/RC                                                         | 3                              | R1=R2=R; C1=C2=C                        |
| 11.3                         | 3xRC — R <sub>ПАРАЛЛЕЛЬ</sub>  | 0,065/RC                                                         | 29                             | R1=R2=R3=R; C1=C2=C3=C                  |
| 11.4                         | 4xRC — R <sub>ПАРАЛЛЕЛЬ</sub>  | 0,133/RC                                                         | 18,6                           | R1=R2=R3=R4=R; C1=C2=C3=C4=C            |
| 11.5                         | 3xRC — C <sub>ПАРАЛЛЕЛЬ</sub>  | 0,39/RC                                                          | 29                             | R1=R2=R3=R; C1=C2=C3=C                  |
| 11.6                         | 4xRC — C <sub>ПАРАЛЛЕЛЬ</sub>  | 0,19/RC                                                          | 18,6                           | R1=R2=R3=R4=R; C1=C2=C3=C4=C            |

Для того чтобы соотношение резистивно-емкостных элементов генераторов соответствовало расчетным значениям, крайне желательно, чтобы входные и выходные цепи усилителя, охваченного петлей положительной обратной связи, не шунтировали эти элементы, не влияли на их величину. В этой связи для построения генераторных схем целесообразно использовать каскады усиления, имеющие высокое входное и низкое выходное сопротивление.

На рис. 11.7, 11.9 приведены «теоретическая» и несложная практическая схемы генераторов с использованием двойного Т-моста в цепи положительной обратной связи.

Генераторы с мостом Вина показаны на рис. 11.8, 11.10 [Р 1/88-34]. В качестве УНЧ использован двухкаскадный усилитель. Амплитуду выходного сигнала можно регулировать потенциометром R6. Если требуется создать генератор с мостом Вина, перестраиваемый по частоте, последовательно с резисторами R1, R2 (рис. 11.2, 11.8) включают сдвоенный потенциометр. Частотой такого генератора можно также управлять,

## 11. Генераторы низкой частоты

заменяв конденсаторы  $C1$  и  $C2$  (рис. 11.2, 11.8) на сдвоенный конденсатор переменной емкости. Поскольку максимальная емкость такого конденсатора редко превышает  $500 \text{ пФ}$ , удается перестраивать частоту генерации только в области достаточно высоких частот (десятки, сотни  $\text{кГц}$ ). Стабильность частоты генерации в этом диапазоне невысока.

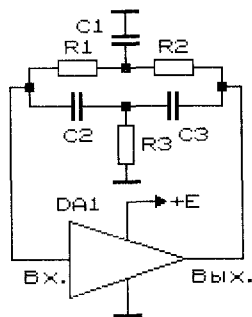


Рис. 11.7

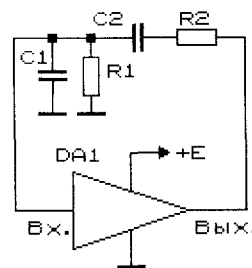


Рис. 11.8

На практике для изменения частоты генерации подобных устройств часто используют переключаемые наборы конденсаторов или резисторов, а во входных цепях применяют полевые транзисторы. Во всех приводимых схемах отсутствуют элементы стабилизации выходного напряжения (для упрощения), хотя для генераторов, работающих на одной частоте или в узком диапазоне ее перестройки, их использование не обязательно.

Схемы генераторов синусоидальных сигналов с использованием трехзвенных фазосдвигающих RC-цепочек (рис. 11.3)

## 11. Генераторы низкой частоты

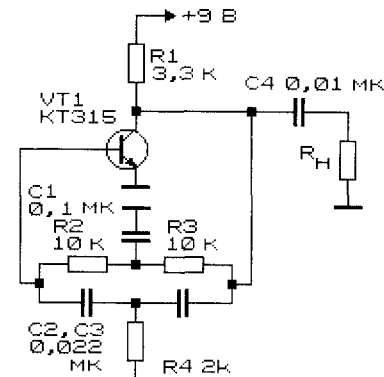


Рис. 11.9

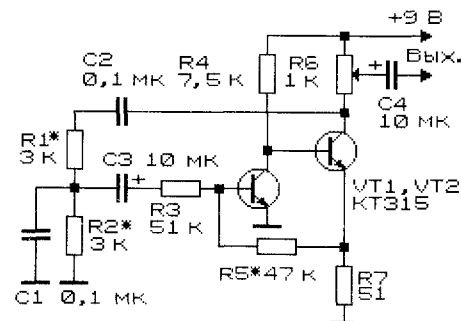


Рис. 11.10

показаны на рис. 11.11, 11.12. Генератор (рис. 11.11) работает на частоте  $400 \text{ Гц}$  [Р 4/80-43]. Каждый из элементов трехзвенной фазосдвигающей RC-цепочки вносит фазовый сдвиг на  $60$  градусов, при четырехзвенной —  $45$  градусов. Однокаскадный усилитель (рис. 11.12), выполненный по схеме с общим эмиттером, вносит необходимый для возникновения генерации фазовый сдвиг на  $180$  градусов. Заметим, что генератор по схеме на рис. 11.12 работоспособен при использовании транзистора с высоким коэффициентом передачи по току (обычно свыше  $45...60$ ). При значительном снижении напряжения питания и неоптимальном выборе элементов для задания режима транзистора по постоянному току генерация сорвется.

## 11. Генераторы низкой частоты

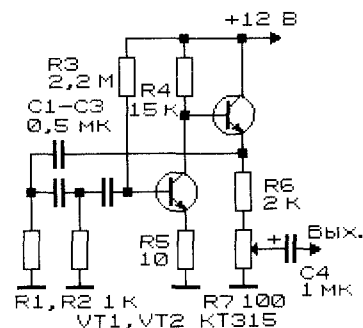


Рис. 11.11

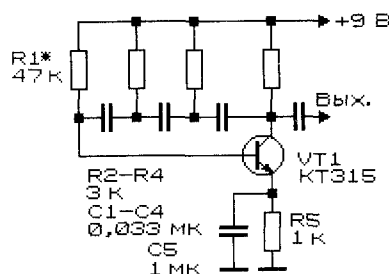


Рис. 11.12

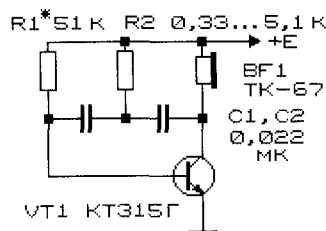


Рис. 11.13

Звуковые генераторы (рис. 11.13 — 11.15) близки по построению к генераторам с фазосдвигающими RC-цепочками [Рл 10/96-27]. Однако за счет использования индуктивности (телефонный капсюль ТК-67 или ТМ-2В) вместо одного из резистивных элементов фазосдвигающей цепочки, они работают с меньшим числом элементов и в большем диапазоне изменения напряжения питания.

## 11. Генераторы низкой частоты

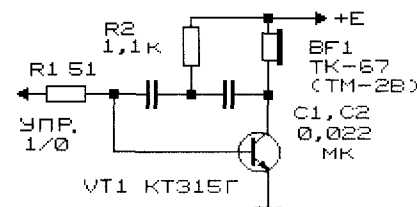


Рис. 11.14

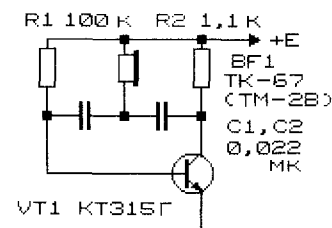


Рис. 11.15

Так, звуковой генератор (рис. 11.13) работоспособен при изменении напряжения питания в пределах 1...15 В (потребляемый ток 2...60 мА). При этом частота генерации изменяется от 1 кГц ( $U_{\text{пит.}}=1,5$  В) до 1,3 кГц при 15 В.

Звуковой индикатор с внешним управлением (рис. 11.14) также работает при  $U_{\text{пит.}}=1...15$  В; включение/выключение генератора производится подачей на его вход логических уровней единицы/нуля, которые также должны быть в пределах 1...15 В.

Звуковой генератор может быть выполнен и по другой схеме (рис. 11.15). Частота его генерации меняется от 740 Гц (ток потребления 1,2 мА, напряжение питания 1,5 В) до 3,3 кГц (6,2 мА и 15 В). Более стабильна частота генерации при изменении напряжения питания в пределах 3...11 В — она составляет  $1,7 \text{ кГц} \pm 1\%$ . Фактически этот генератор выполнен уже не на RC-, а на LC-элементах, причем, в качестве индуктивности используется обмотка телефонного капсюля.

Низкочастотный генератор синусоидальных колебаний (рис. 11.16) собран по характерной для LC-генераторов схеме «емкостной трехточки». Отличие заключается в том, что в качестве индуктивности использована катушка телефонного капсюля, а

## 11. Генераторы низкой частоты

резонансная частота находится в диапазоне звуковых колебаний за счет подбора емкостных элементов схемы.

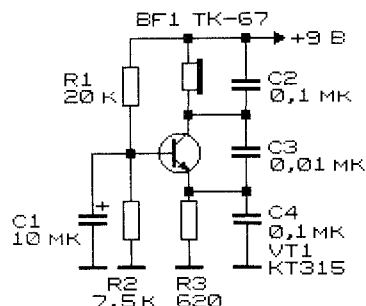


Рис. 11.16

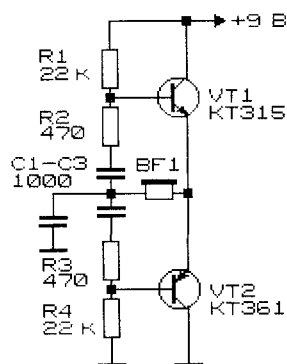


Рис. 11.17

Другой низкочастотный LC-генератор, выполненный по каскодной схеме, показан на рис. 11.17 [Р 1/88-51]. В качестве индуктивности можно воспользоваться универсальной или стирающей головками от магнитофонов, обмотками дросселей или трансформаторов.

RC-генератор (рис. 11.18) реализован на полевых транзисторах [Рл 10/96-27]. Подобная схема используется обычно при построении высокостабильных LC-генераторов. Генерация возникает уже при напряжении питания, превышающем 1 В. При изменении напряжения с 2 до 10 В частота генерации понижается с

## 11. Генераторы низкой частоты

1,1 кГц до 660 Гц, а потребляемый ток увеличивается, соответственно, с 4 до 11 мА. Импульсы частотой от единиц Гц до 70 кГц и выше могут быть получены изменением емкости конденсатора C1 (от 150 пФ до 10 мкФ) и сопротивления резистора R2.

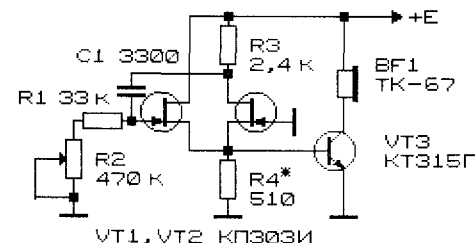


Рис. 11.18

Представленные выше звуковые генераторы могут быть использованы в качестве экономичных индикаторов состояния (включено/выключено) узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры, в частности, светоизлучающих диодов, для замены или дублирования световой индикации, для аварийной и тревожной индикации и т.д.

### 12. Генераторы высокой частоты

Высокочастотные генераторы предназначены для получения электрических колебаний в диапазоне частот от десятков *кГц* до десятков и даже сотен *МГц*. Такие генераторы, как правило, выполняют с использованием LC-колебательных контуров или кварцевых резонаторов, являющихся частотоподающими элементами. Принципиально схемы от этого существенно не изменяются, поэтому ниже будут рассмотрены LC-генераторы высокой частоты. Отметим, что в случае необходимости колебательные контуры в некоторых схемах генераторов (см., например, рис. 12.4, 12.5) могут быть без проблем заменены кварцевыми резонаторами.

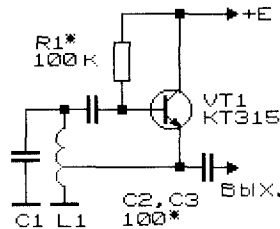


Рис. 12.1

Генераторы высокой частоты (рис. 12.1, 12.2) выполнены по традиционной и хорошо зарекомендовавшей себя на практике схеме «индуктивной трехточки». Они различаются наличием эмиттерной RC-цепочки, задающей режим работы транзистора (рис. 12.2) по постоянному току. Для создания обратной связи в генераторе от катушки индуктивности (рис. 12.1, 12.2) делают отвод (обычно от ее 1/3...1/5 части, считая от заземленного вывода). Нестабильность работы генераторов высокой частоты на биполярных транзисторах обусловлена заметным шунтирующим влиянием самого транзистора на колебательный контур. При изменении температуры и/или напряжения питания свойства транзистора заметно изменяются, поэтому частота генерации «плавает». Для ослабления влияния транзистора на рабочую частоту генерации следует максимально ослабить связь колебательного контура с транзистором, до минимума уменьшив переходные емкости. Кроме того, на частоту генерации заметно

влияет и изменение сопротивления нагрузки. Поэтому крайне необходимо между генератором и сопротивлением нагрузки включить эмиттерный (источковый) повторитель.

Для питания генераторов следует использовать стабильные источники питания с малыми пульсациями напряжения.

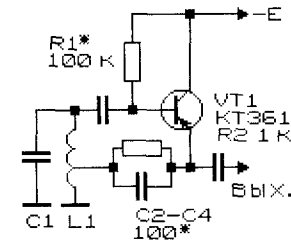


Рис. 12.2

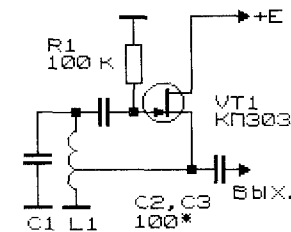


Рис. 12.3

Генераторы, выполненные на полевых транзисторах (рис. 12.3), обладают лучшими характеристиками.

Генераторы высокой частоты, собранные по схеме «емкостной трехточки» на биполярном и полевом транзисторах, показаны на рис. 12.4 и 12.5. Принципиально по своим характеристикам схемы «индуктивной» и «емкостной» трехточек не отличаются, однако в схеме «емкостной трехточки» не нужно делать лишний вывод у катушки индуктивности.

Во многих схемах генераторов (рис. 12.1 — 12.5 и другие схемы) выходной сигнал может сниматься непосредственно с колебательного контура через конденсатор небольшой емкости или через согласующую катушку индуктивной связи, а также с незаземленных по переменному току электродов активного элемента (транзистора). При этом следует учитывать, что дополнительная

## 12. Генераторы высокой частоты

нагрузка колебательного контура меняет его характеристики и рабочую частоту. Иногда это свойство используют «во благо» — для целей измерения различных физико-химических величин, контроля технологических параметров.

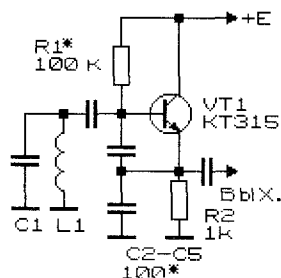


Рис. 12.4

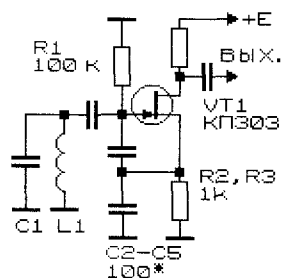


Рис. 12.5

На рис. 12.6 показана схема несколько видоизмененного варианта *ВЧ* генератора — «емкостной трехточки». Глубину положительной обратной связи и оптимальные условия для возбуждения генератора подбирают с помощью емкостных элементов схемы.

Схема генератора, показанная на рис. 12.7, работоспособна в широком диапазоне значений индуктивности катушки колебательного контура (от 200 мкГн до 2 Гн) [Р 7/90-68]. Такой генератор можно использовать в качестве широкодиапазонного высокочастотного генератора сигналов или в качестве измерительного преобразователя электрических и неэлектрических величин в частоту, а также в схеме измерения индуктивностей.

Генераторы на активных элементах с N-образной *ВАХ* (туннельные диоды, лямбда-диоды и их аналоги) содержат обычно

## 12. Генераторы высокой частоты

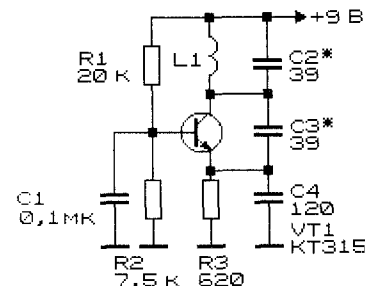


Рис. 12.6

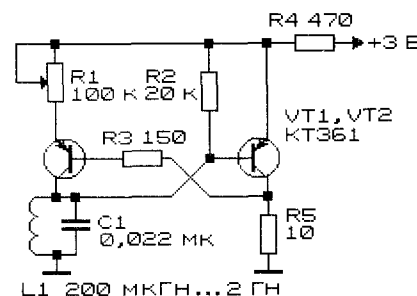


Рис. 12.7

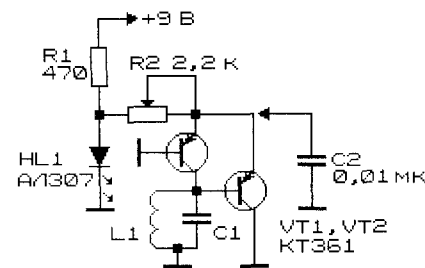


Рис. 12.8

источник тока, активный элемент и частотозадающий элемент (LC-контур) с параллельным или последовательным включением. На рис. 12.8 показана схема *ВЧ* генератора на элементе с лямбдаобразной вольт-амперной характеристикой. Управление его частотой осуществляется за счет изменения динамической емкости транзисторов при изменении протекающего через них тока.

## 12. Генераторы высокой частоты

Светодиод HL1 стабилизирует рабочую точку и индицирует включенное состояние генератора.

Генератор на аналоге ламбда-диода, выполненный на полевых транзисторах, и со стабилизацией рабочей точки аналогом стабилитрона — светодиодом, показан на рис. 12.9. Устройство работает до частоты 1 МГц и выше при использовании указанных на схеме транзисторов.

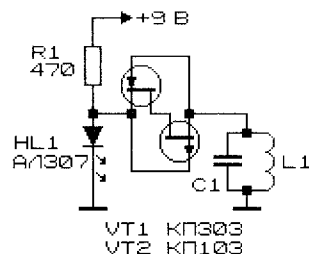


Рис. 12.9

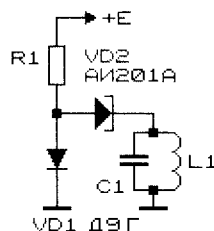


Рис. 12.10

На рис. 12.10 в порядке сопоставления схем по степени их сложности приведена практическая схема ВЧ генератора на туннельном диоде. В качестве полупроводникового низковольтного стабилизатора напряжения использован прямосмещенный переход высокочастотного германиевого диода. Этот генератор потенциально способен работать в области наиболее высоких частот — до нескольких ГГц.

Высокочастотный генератор, по схеме очень напоминающий рис. 12.7, но выполненный с использованием полевого транзистора, показан на рис. 12.11 [Рл 7/97-34].

Прототипом RC-генератора, показанного на рис. 11.18 является схема генератора на рис. 12.12 [F 9/71-171; 3/85-131].

## 12. Генераторы высокой частоты

Этот генератор отличается высокой стабильностью частоты, способностью работать в широком диапазоне изменения параметров частотозадающих элементов. Для снижения влияния нагрузки на рабочую частоту генератора в схему введен дополнительный каскад — эмиттерный повторитель, выполненный на биполярном транзисторе VT3. Генератор способен работать до частот свыше 150 МГц.

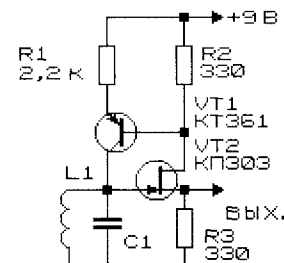


Рис. 12.11

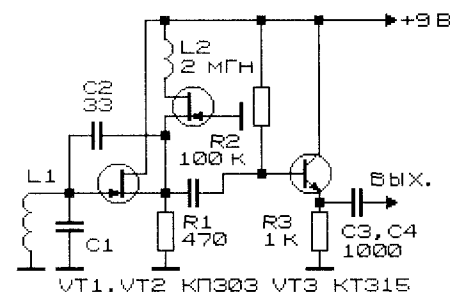


Рис. 12.12

Из числа всевозможных схем генераторов особо следует выделить генераторы с ударным возбуждением. Их работа основана на периодическом возбуждении колебательного контура (либо иного резонирующего элемента) мощным коротким импульсом тока. В результате «электронного удара» в возбужденном таким образом колебательном контуре возникают постепенно затухающие по амплитуде периодические колебания синусоидальной формы. Затухание колебаний по амплитуде обусловлено необратимыми потерями энергии в колебательном контуре. Скорость затухания колебаний определяется

## 12. Генераторы высокой частоты

добротностью (качеством) колебательного контура. Выходной высокочастотный сигнал будет стабилен по амплитуде, если импульсы возбуждения следуют с высокой частотой. Этот тип генераторов является наиболее древним в ряду рассматриваемых и известен с XIX века.

Практическая схема генератора высокочастотных колебаний ударного возбуждения показана на рис. 12.13 [Р 9/76-52; 3/77-53]. Импульсы ударного возбуждения подаются на колебательный контур  $L1C1$  через диод  $VD1$  от низкочастотного генератора, например, мультивибратора, или иного генератора прямоугольных импульсов (ГПИ), рассмотренных ранее в главах 7 и 8. Большим преимуществом генераторов ударного возбуждения является то, что они работают с использованием колебательных контуров практически любого вида и любой резонансной частоты.

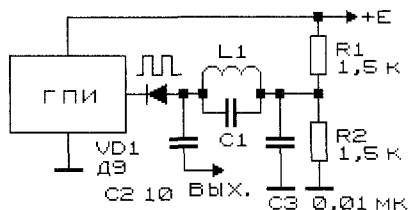


Рис. 12.13

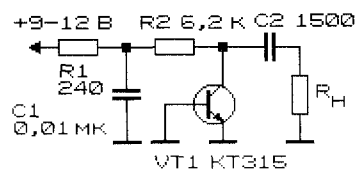


Рис. 12.14

Еще один вид генераторов — генераторы шума, схемы которых показаны на рис. 12.14 и 12.15.

Такие генераторы широко используют для настройки различных радиоэлектронных схем. Генерируемые такими устройствами сигналы занимают исключительно широкую полосу частот — от единиц Гц до сотен МГц. Для генерации шума используют обратносмещенные переходы полупроводниковых

## 12. Генераторы высокой частоты

приборов, работающих в граничных условиях лавинного пробоя. Для этого могут быть использованы переходы транзисторов (рис. 12.14) [Рл 2/98-37] или стабилитроны (рис. 12.15) [Р 1/69-37]. Чтобы настроить режим, при котором напряжение генерируемых шумов максимально, регулируют рабочий ток через активный элемент (рис. 12.15).

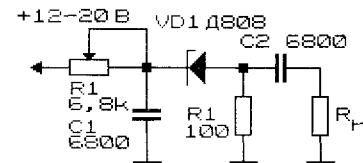


Рис. 12.15

Отметим, что для генерации шума можно использовать и резисторы, совмещенные с многокаскадными усилителями низкой частоты, сверхрегенеративные приемники и др. элементы. Для получения максимальной амплитуды шумового напряжения необходим, как правило, индивидуальный подбор наиболее шумящего элемента.

Для того чтобы создать узкополосные генераторы шума, на выходе схемы генератора может быть включен LC- или RC-фильтр.

## 13. Радиопередающие устройства

Радиопередающие устройства (рис. 13.1 — 13.5) могут быть получены путем простого объединения усилителя (или генератора) низкой частоты ( $УНЧ$ ,  $ГНЧ$ ) и генератора высокой частоты ( $ГВЧ$ ).

Блок-схема передатчика с **амплитудной модуляцией (АМ)**, которую используют преимущественно в диапазонах длинных, средних и коротких волн, приведена на рис. 13.1. Выходной сигнал звуковой частоты, вырабатываемый  $УНЧ$  или  $ГНЧ$ , выделяется на сопротивлении нагрузки  $R_H$ , которое включено в цепь питания  $ГВЧ$ . Поскольку напряжение питания генератора  $ВЧ$  изменяется пропорционально сигналу звуковой частоты, амплитуда высокочастотного сигнала модулируется. В качестве  $ГВЧ$  может быть использован генератор, показанный на рис. 13.6. Точки А, В, С, D на схеме генератора соответствуют точкам его подключения на блок-схемах (рис. 13.1 — 13.5).

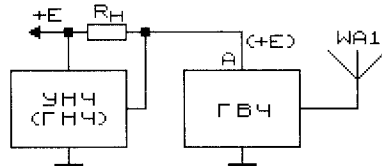


Рис. 13.1

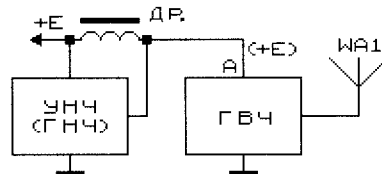


Рис. 13.2

Один из способов получения амплитудной модуляции сигнала с использованием низкочастотного дросселя или обмотки выходного низкочастотного трансформатора показан на рис. 13.2. Использование индуктивностей, сопротивление

которых переменному току возрастает с ростом частоты, позволяет увеличить глубину модуляции. Кроме того, повышается амплитуда высших частот звукового диапазона, что заметно повышает разборчивость сигнала при приеме.

При **частотной модуляции (ЧМ)**, используемой обычно в диапазоне ультракоротких волн, осуществляется изменение частоты высокочастотного сигнала. Для получения частотно-модулированного сигнала могут быть использованы схемы, представленные на рис. 13.3 и 13.4. В схеме передатчика (рис. 13.3) частотная модуляция высокочастотного сигнала происходит путем подачи сигнала звуковой частоты через конденсатор относительно небольшой емкости на базу или эмиттер транзистора  $ГВЧ$ . При этом изменяются межэлектродные емкости активного элемента (транзистора), и, следовательно, модулируется резонансная частота колебательного контура, определяющая частоту генерации. Строго говоря, при таком виде подачи модулирующего напряжения одновременно осуществляется и неглубокая амплитудная модуляция, поскольку напряжение на базе (или эмиттере) также изменяется пропорционально модулирующему сигналу.

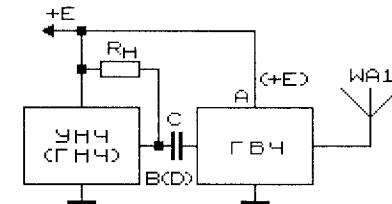


Рис. 13.3

Частотную модуляцию «в чистом виде» можно получить, используя свойство варикапа, либо его аналога, изменять свою емкость от величины приложенного напряжения (рис. 13.4). В этой схеме включение/выключение модуляции осуществляется переключателем  $SA1$ . Потенциометр  $R_A$  предназначен для проверки частотных границ перестройки генератора.

Амплитудную модуляцию высокочастотного сигнала можно получить, если включить  $ГВЧ$  вместо сопротивления нагрузки  $УНЧ$  ( $ГНЧ$ ) (рис. 13.5). Конденсатор  $C$  предназначен для заземления по высокой частоте цепи питания  $ГВЧ$ .

## 13. Радиопередающие устройства

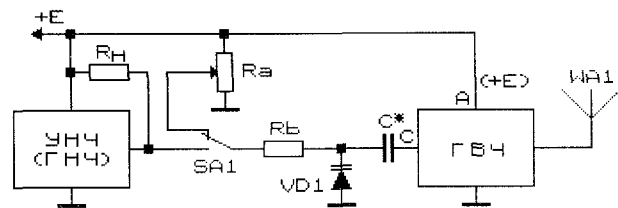


Рис. 13.4

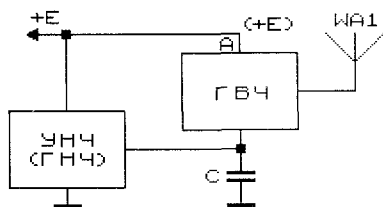


Рис. 13.5

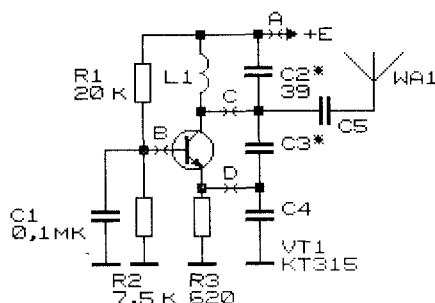


Рис. 13.6

Помимо амплитудной и частотной модуляции сигнала для передачи данных, организации радиосвязи, довольно часто используют однополосную, реже фазовую и другие виды модуляции.

На рис. 13.7 — 13.16 приведены практические схемы микропередающих устройств, работающих в УКВ-ЧМ диапазоне (66...74 или 88...108 МГц). Мощность этих передатчиков невелика (от долей до единиц мВт), поэтому их излучение не мешает радио- и телевизионному приему. Расстояние, на котором можно обнаружить сигналы таких устройств (рис. 13.7 — 13.16), обычно не превышает нескольких метров. Заметим, что мощность гетеродинов —

## 13. Радиопередающие устройства

генераторов высокой частоты, используемых в любом радиоприемнике или телевизоре, зачастую превышает единицы мВт.

В конструкциях по рис. 13.7 — 13.10 и 13.12 использованы электретные микрофоны типа МКЭ-333 либо МКЭ-332, а также МКЭ-3, которые содержат встроенный предусилитель на полевом транзисторе. Вместо электретного микрофона может быть использован электромагнитный телефонный капсюль, подключаемый между точкой А и общим проводом (рис. 13.7, 13.9, 13.10 и 13.12) или шиной питания (рис. 13.8). В этом случае резистор R1 не обязателен. При замене микрофона амплитуда сигнала может снизиться, поэтому для увеличения усиления по НЧ желательно использовать составной транзистор, либо применять более чувствительный УНЧ (см. главы 4 и 5). В большинстве случаев (рис. 13.7 — 13.10 и 13.12) электретный микрофон можно заменить миниатюрным угольным (с подбором резистора R1).

Схема радиомикрофона конструкции Д. Волонцевича показана на рис. 13.7 [Рл 10/99-40]. При напряжении питания 3 В устройство потребляет ток 7 мА. Катушки индуктивности намотаны на оправке диаметром 6 мм проводом ПЭЛ-0,5. L1 имеет 6 витков, а L2 — 4 витка. В качестве антенны использован отрезок монтажного провода длиной 70 см.

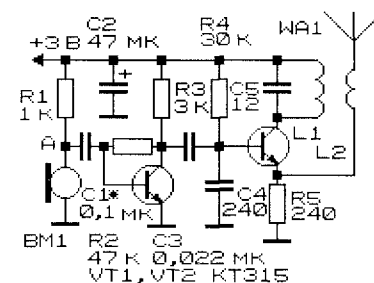


Рис. 13.7

УКВ-радиомикрофон А. Иванова, как две капли воды напоминает предыдущую конструкцию (рис. 13.7) [Рл 10/99-40]. Отличие заключается в том, что схема (рис. 13.8) как бы «перевернута» вверх ногами. Такое непривычное расположение рядом почти аналогичных схем позволяет приучить взгляд на «опознавание» подобных друг другу конструкций. Схемы рис. 13.7 и 13.8 различаются в «электрическом» отношении способом подачи модулирующего

### 13. Радиопередающие устройства

напряжения: в первом случае оно подается на базу транзистора генератора; во втором — на эмиттер. Катушка индуктивности содержит 7 витков провода ПЭВ 0,7...0,8 мм и имеет внутренний диаметр 5 мм. Потребляемый устройством ток составляет 15...20 мА.

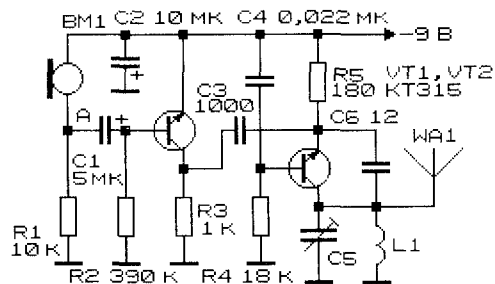


Рис. 13.8

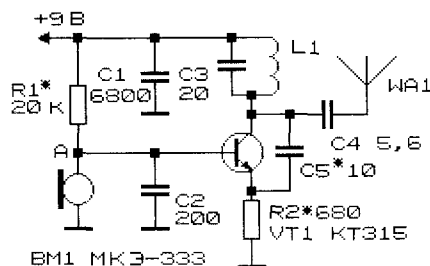


Рис. 13.9

На рис. 13.9 дана схема радиомикрофона диапазона 66...74 МГц, в базовую цепь смещения которого в качестве управляемого резистора включен электретный микрофон [Рл 2/97-13]. Антенной является отрезок гибкого многожильного провода длиной 20...40 см. Потребляемый устройством ток около 1 мА.

Каскодное включение транзисторов использовано в схеме на рис. 13.10 [Рл 2/97-13]. При этом для сигналов низкой частоты нагрузкой транзистора VT2 является ВЧ генератор, выполненный на транзисторе VT1. В свою очередь, ток высокой частоты в эмиттерной цепи транзистора VT1 модулируется сигналом с каскада усиления низкочастотных сигналов, снимаемых с микрофона.

### 13. Радиопередающие устройства

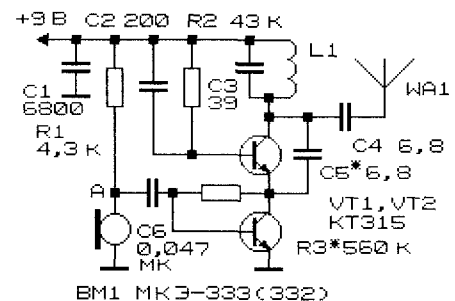


Рис. 13.10

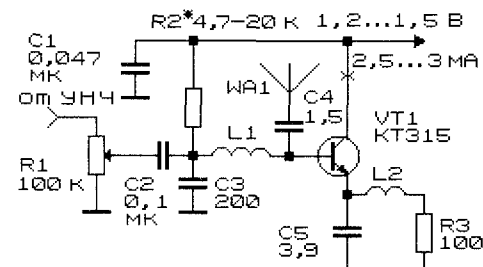


Рис. 13.11

На рис. 13.11 приведена схема микропередатчика УКВ-ЧМ диапазона конструкции В. Иванова [Р 10/96-19]. Передатчик способен транслировать сигнал, снимаемый с УНЧ электропроигрывателя, магнитофона и других устройств. Амплитуда НЧ сигнала на входе в пределах 10...500 мВ. Катушка L1 без каркаса, имеет внутренний диаметр 4 мм и содержит 15 витков провода ПЭВ 0,5. Катушка L2 намотана поверх резистора R3 (МЛТ-0,5) и содержит 50...100 витков тонкого изолированного провода.

На рис. 13.12 и 13.14 приведены практические схемы микропередатчиков на аналоге лямбда-диода. В качестве управляемого элемента использован прямосмещенный переход полупроводникового диода (светодиода). Частотная модуляция осуществляется за счет изменения его динамического сопротивления. Для высокочастотной составляющей емкостное сопротивление светодиода много ниже его омического сопротивления. Одновременно с выполнением функции управления частотой генерации, светодиод индицирует включенное состояние устройства и стабилизирует его рабочую точку.

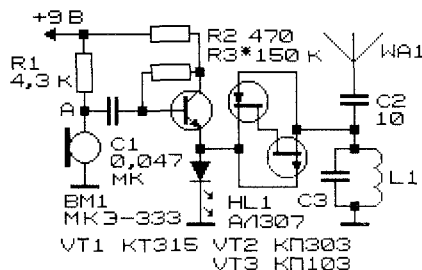


Рис. 13.12

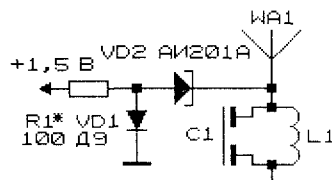


Рис. 13.13

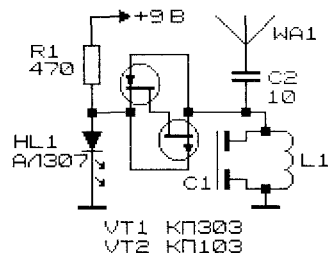


Рис. 13.14

Для осуществления частотной модуляции в схеме (рис. 13.14) использован самодельный конденсаторный микрофон. Он выполнен в виде развернутого конденсатора с двумя плоскими неподвижными электродами, параллельно которым закреплена мембрана (тонкая фольга, металлизированная диэлектрическая пленка и т.п.), электрически изолированная от неподвижных электродов. Микрофон может быть собран в рамке фотослайда; его емкость составляет несколько пикофард.

Для сравнения на рис. 13.13 приведена схема наипростейшего микропередающего устройства, выполненного на туннельном

диоде со стабилизатором рабочей точки на германиевом диоде VD1 [Рл 9/91-22, 10/97-17]. Конструкция микрофона, аналогичная описанной выше, может быть использована в схеме на рис. 13.15. Параметры катушек индуктивности (колебательных контуров) могут быть перенесены с одной конструкции на другую.

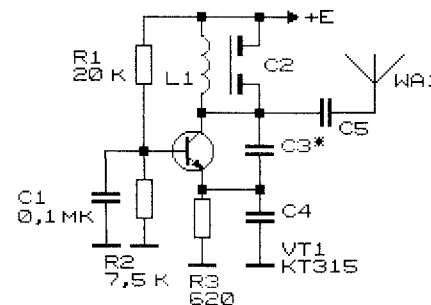


Рис. 13.15

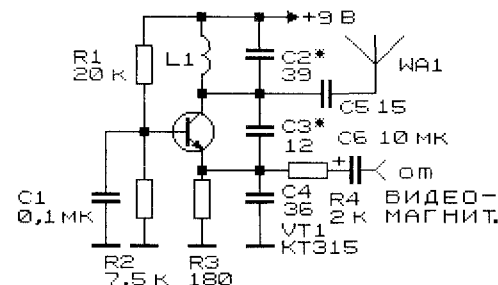


Рис. 13.16

В схемах (рис. 13.9, 13.10, 13.13, 13.15) для УКВ диапазона (66...74 МГц) использованы бескаркасные катушки индуктивности, имеющие внутренний диаметр 4 мм и содержащие 5...6 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,56 мм. Шаг намотки 1,5 мм. Рабочая частота генерации устанавливается сближением/раздвижением витков катушки, подбором числа и диаметра ее витков, а также емкости конденсатора колебательного контура. Корпус электретного микрофона соединен с общим проводом. Прием высокочастотных сигналов возможен на портативный ЧМ-приемник.

## 13. Радиопередающие устройства

Для создания видеопередатчика (беспроводной передачи видеосигнала с видеомagneтофона на телевизор) может быть использована схема Г. Романа [Рл 3/99-8]. Колебательный контур L1C2 (рис. 13.16) настраивают на частоту одного из свободных от телевизионного вещания каналов.

## 14. Радиоприемники

Длительное время радиоприемники занимали одно из первых мест по популярности среди других радиоэлектронных конструкций. Появление новых звуковоспроизводящих устройств, CD-плееров, магнитофонов и бурное развитие компьютерной техники оттеснило с ведущих позиций радиоприемную технику, не снизив ее значимости.

Приемники подразделяются на детекторные, прямого усиления, супергетеродинного типа, прямого преобразования, с положительными обратными связями (регенеративные, сверхрегенеративные) и др.

Простой приемник прямого усиления показан на рис. 14.1 [МК 10/83-11]. Он содержит перестраиваемый входной колебательный контур — магнитную антенну и двухкаскадный усилитель НЧ. Первый каскад усилителя одновременно является детектором ВЧ модулированного сигнала. Как и многие ему подобные простые приемники прямого усиления, этот приемник способен принимать сигналы мощных, не столь удаленных радиостанций. Катушка индуктивности намотана на ферритовом стержне длиной 40 и диаметром 10 мм. Она содержит 80 витков провода ПЭВ-0,25 мм с отводом от 6-го витка снизу (по схеме).

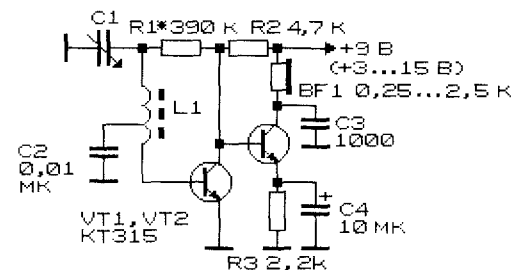


Рис. 14.1

Средневолновый приемник прямого усиления конструкции Ю. Прокопцева (рис. 14.2) несколько сложнее предыдущего [Р 4/94-29; МК 7/95-14]. Приемник выполнен по «рефлексной» схеме, когда одни и те же каскады приемника для экономии транзисторов используют по двойному назначению: для усиления

сигналов как высокой, так и низкой частоты. Приемник имеет высокую чувствительность и способен принимать из *Москвы* радиостанции *Украины, Румынии, Литвы, Финляндии*. Антенна приемника намотана на ферритовом стержне  $400\text{НН}$  длиной  $65...75$  и диаметром  $8\text{ мм}$  и состоит из двух катушек:  $L1$  имеет 80 витков провода  $\text{ПЭВ-0,25 мм}$ , а  $L2$  — 15 витков того же провода.

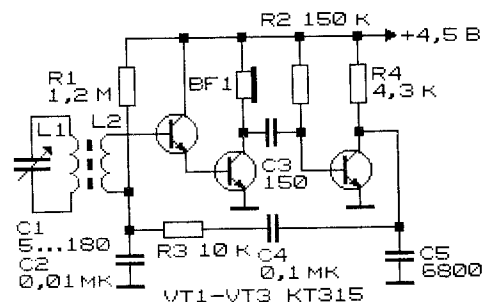


Рис. 14.2

Налаживают приемник подбором резисторов  $R1$ ,  $R2$  на слух по наилучшему качеству приема. Для транзистора  $VT2$  устанавливают ток коллектора  $3...4\text{ мА}$ , а для  $VT3$  —  $0.5...0.7\text{ мА}$ . При самовозбуждении приемника может потребоваться подбор емкости конденсатора  $C3$ . При монтаже и эксплуатации приемника телефонный капсюль желательно располагать дальше от антенны.

Третий по счету радиоприемник, также сконструированный Ю. Прокопцевым (рис. 14.3), предназначен для приема в средневолновом диапазоне [Р 9/99-52]. Приемник собран также по рефлексной схеме. Антенна выполнена из отрезка ферритового стержня  $400\text{НН}$  длиной  $50$  и диаметром  $8\text{ мм}$ . Катушка  $L1$  содержит 120 витков провода  $\text{ПЭЛШО-0,15 мм}$  однослойной намотки, а  $L2$  —  $15...20$  витков того же провода. Налаживание приемника сводится к установке коллекторного тока транзистора  $VT2$ , равным  $8...10\text{ мА}$ , с помощью резистора  $R2$ . Затем настраивают коллекторный ток транзистора  $VT3$  в пределах  $0.3...0.5\text{ мА}$  подбором резистора  $R4$ .

Приемники супергетеродинного типа в рамках настоящего обзора рассматривать не будем. Впрочем, при желании они могут быть получены объединением приемника прямого усиления

(рис. 14.1 — 14.3) и конвертера (рис. 14.10), либо из приемника прямого преобразования (рис. 14.11).

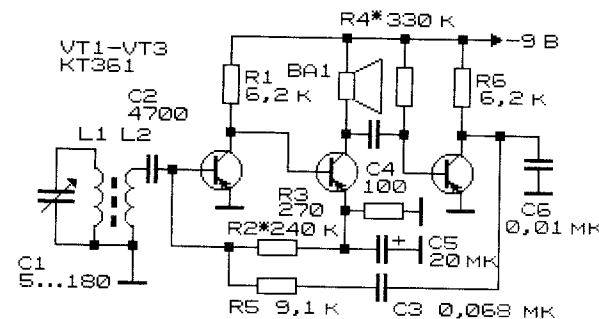


Рис. 14.3

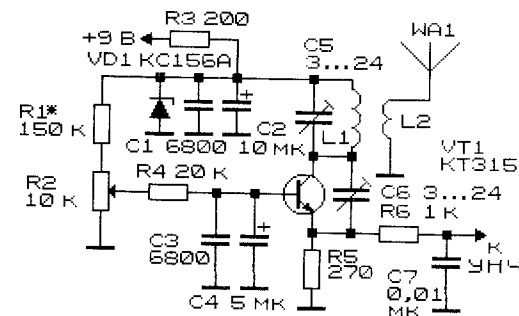


Рис. 14.4

Сверхрегенеративный радиоприемник обладает высокой чувствительностью (до ед.  $\text{мкВ}$ ) при достаточной простоте. На рис. 14.4 приведен фрагмент схемы сверхрегенеративного радиоприемника Е. Солодовникова (без УНЧ, который может быть выполнен по одной из приводимых ранее схем) [Рл 3/99-19]. Высокая чувствительность приемника обусловлена наличием глубокой положительной обратной связи, благодаря которой коэффициент усиления каскада после включения радиоприемника довольно быстро возрастает до бесконечности, схема переходит в режим генерации. Для того чтобы самовозбуждение не происходило, а схема могла работать как высокочувствительный усилитель высокой частоты, используют очень оригинальный прием.

Как только коэффициент усиления каскада усиления возрастет выше некоторого заданного уровня, его резко снижают до минимума.

График изменения коэффициента усиления от времени напоминает пилу. Именно по этому закону изменяют коэффициент усиления усилителя. Усредненный же коэффициент усиления может доходить до миллиона. Управлять коэффициентом усиления можно при помощи специального дополнительного генератора пилообразных импульсов. На практике поступают проще: в качестве такого генератора используется по двойному назначению сам высокочастотный усилитель. Генерация пилообразных импульсов происходит на неслышимой ухом ультразвуковой частоте, обычно десятки  $\text{кГц}$ . Для того чтобы ультразвуковые колебания не проникали на вход последующего каскада  $\text{УНЧ}$ , используют простейшие фильтры, выделяющие сигналы звуковых частот (R6C7, рис. 14.4).

Сверхрегенеративные приемники обычно используют для приема высокочастотных (свыше  $10 \text{ МГц}$ ) сигналов с амплитудной модуляцией. Прием сигналов с частотной модуляцией возможен за счет преобразования частотной модуляции в амплитудную и последующего детектирования эмиттерным переходом транзистора полученного таким образом амплитудно-модулированного сигнала. Преобразование частотной модуляции в амплитудную происходит в случае, если приемник, предназначенный для приема амплитудно-модулированных сигналов, настроен неточно на частоту приема частотно-модулированного сигнала. При такой настройке изменение частоты принимаемого сигнала постоянной амплитуды вызовет изменение амплитуды сигнала, снимаемого с колебательного контура: при приближении частоты принимаемого сигнала к частоте резонанса колебательного контура амплитуда выходного сигнала растет, при удалении от резонансной — снижается.

Наряду с неоспоримыми достоинствами, схема «сверхрегенератора» обладает массой недостатков. Это невысокая избирательность, повышенный уровень шумов, зависимость порога генерации от частоты приема, от напряжения питания и т.д.

При приеме радиовещательных  $\text{ЧМ}$ -сигналов в диапазоне  $100...108 \text{ МГц}$  или сигналов звукового сопровождения телевидения катушка  $L1$  представляет собой полувиток диаметром  $30 \text{ мм}$  с линейной частью  $20 \text{ мм}$ . Диаметр провода —  $1 \text{ мм}$ .  $L2$  имеет  $2...3$

витка диаметром  $15 \text{ мм}$  из провода диаметром  $0,7 \text{ мм}$ , расположенных внутри полувитка.

Для диапазона  $66...74 \text{ МГц}$  катушка  $L1$  содержит 5 витков диаметром  $5 \text{ мм}$  из провода  $0,7 \text{ мм}$  с шагом  $1...2 \text{ мм}$ .  $L2$  имеет  $2...3$  витка такого же провода. Обе катушки не имеют каркасов и расположены параллельно друг другу. Антенна выполнена из отрезка монтажного провода длиной  $50...100 \text{ см}$ . Настройку устройства осуществляют потенциометром  $R2$ .

Регенеративные приемники, или приемники, использующие для увеличения чувствительности положительные обратные связи, в промышленных разработках не встречаются. Однако для освоения всевозможных вариантов реализации приемной техники можно рекомендовать ознакомиться с работой двух таких устройств конструкции И. Григорьева (рис. 14.5 и 14.6) [Рл 9/95-12; 10/95-12].

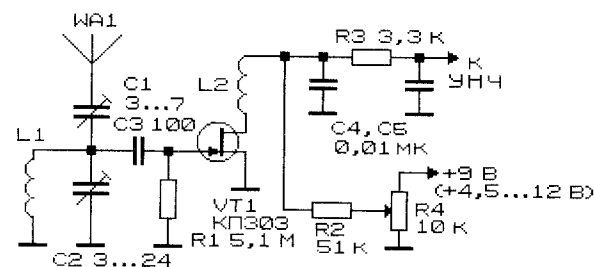


Рис. 14.5

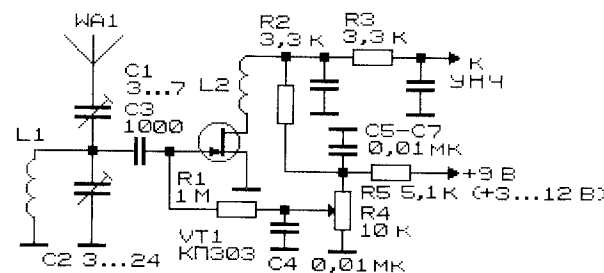


Рис. 14.6

Приемник (рис. 14.5) предназначен для приема сигналов с  $\text{АМ}$  в диапазоне коротких, средних и длинных волн. Его

чувствительность на частоте 20 МГц достигает 10 мкВ. Для сравнения: чувствительность наиболее совершенного приемника прямого усиления примерно в 100 раз ниже. Приемник (рис. 14.6) способен работать в диапазоне 1,5...40 МГц. Для диапазона 1,5...3,7 МГц катушка L1 имеет индуктивность 23 мкГн и содержит 39 витков провода диаметром 0,5 мм на каркасе диаметром 20 мм при ширине намотки 30 мм. Катушка L2 имеет 10 витков такого же провода и намотана на этом же каркасе. Для диапазона 3...24 МГц катушка L1 индуктивностью 1,4 мкГн содержит 10 витков провода диаметром 2 мм, намотанного на каркасе диаметром 20 мм, при ширине намотки 40 мм. Катушка L2 имеет 3 витка с диаметром провода 1,0 мм. В диапазоне 24...40 МГц L1 (0,5 мкГн) содержит 5 витков, ширина намотки — 30 мм, а L2 имеет 2 витка. Рабочую точку приемников (рис. 14.5, 14.6) устанавливают потенциометром R4.

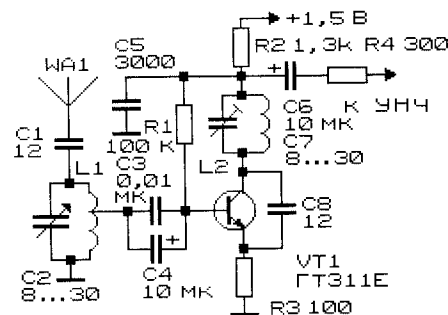


Рис. 14.7

Для приема сигналов ЧМ можно использовать УКВ приемники прямого преобразования с фазовой автоподстройкой частоты. Такие приемники содержат преобразователь частоты с совмещенным гетеродином, выполняющим одновременно функции синхродетектора. Входной контур устройства настроен на частоту приема, контур гетеродина — на частоту приема, деленную пополам. Преобразование сигнала происходит на второй гармонике гетеродина, поэтому промежуточная частота находится в звуковом диапазоне. Схема приемника А. Захарова показана на рис. 14.7 [Р 12/85-28]. Для диапазона частот 66...74 МГц бескаркасные катушки с внутренним диаметром 5 мм и шагом намотки

1 мм содержат, соответственно, 6 витков с отводом от середины (L1) и 20 витков (L2) провода ПЭВ-0,56 мм.

Простой средневолновый радиоприемник прямого усиления, собранный по традиционной схеме Г. Шульгиным (рис. 14.8) имеет рамочную антенну [Р 12/81-49]. Она наматывается на заготовке: пластине из фанеры размерами 56x56x5 мм. Катушка индуктивности L1 (350 мкГн) имеет 39 витков провода ПЭВ-0,15 мм с отводом от 4 витка снизу (по схеме).

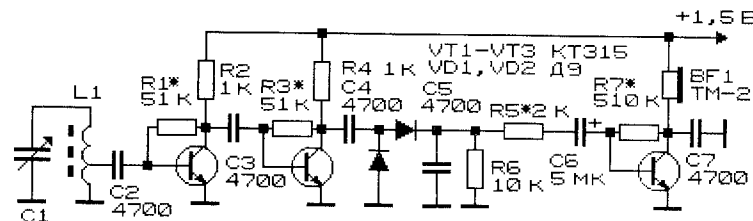


Рис. 14.8

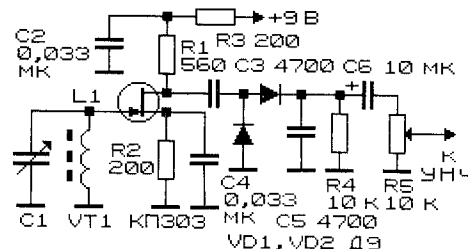


Рис. 14.9

На рис. 14.9 показан простой радиоприемник Г. Шульги (без УНЧ) с входным каскадом на полевом транзисторе [Р 6/82-52]. Магнитную антенну и конденсатор переменной емкости используют от старого радиоприемника.

Конвертер-преобразователь частоты Э. Родионова, рис. 14.10, позволяет «переносить» сигналы из одной полосы частот в другую частотную область: с 88...108 МГц на 66...73 МГц [Рл 4/99-24]. Гетеродин (генератор) конвертора собран на транзисторе VT2 и работает на частоте примерно 30...35 МГц. Катушка L1 выполнена из обмоточного провода длиной 40 см, намотанного на оправку диаметром 4 мм. Настройку конвертора производят растягиванием или сжатием витков катушки L1.

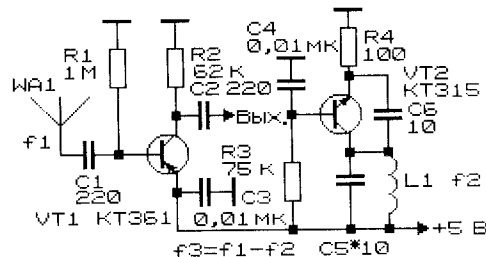


Рис. 14.10

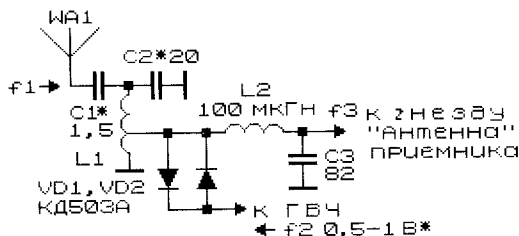


Рис. 14.11

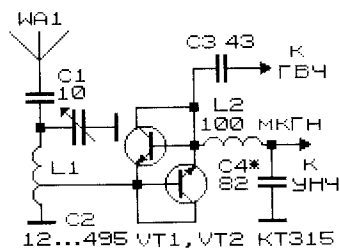


Рис. 14.12

Наконец, на рис. 14.11 показана схема входной цепи простейшего супергетеродинного приемника, а на рис. 14.12 приемника с нулевой промежуточной частотой — приемника прямого преобразования. Конвертер В. Беседина (рис. 14.11) «переносит» входной сигнал из полосы частот 2...30 МГц на более низкую «промежуточную» частоту, например, 1 МГц [Р 4/95-19]. Если на диоды VD1 и VD2 подать сигнал частотой 0,5...18 МГц от ГВЧ, то на выходе LC-фильтра L2C3 выделится сигнал, частота которого  $f_3$  равна разности частоты входного сигнала  $f_1$  и

удвоенной частоты гетеродина  $f_2$ :  $f_3=f_1-2f_2$ ; или  $\Delta f_3=\Delta f_1-2f_2$ . А если эти частоты кратны друг другу ( $f_1=2f_2$ ), рис. 14.12, то к выходу устройства можно подключить УНЧ и принимать телеграфные сигналы и сигналы с однополосной модуляцией. Заметим, что схема на рис. 14.12 легко преобразуется в схему на рис. 14.11 заменой транзисторов в диодном включении непосредственно диодами, и наоборот.

Чувствительность даже простых схем прямого преобразования может достигать 1 мкВ. Катушка L1 (рис. 14.11, 14.12) содержит 9 витков провода ПЭВ 0,51 мм, намотанных виток к витку на каркасе диаметром 10 мм. Отвод от 3-го витка снизу.

## 15. Устройства малопроводной связи и коммутации

Нередко встречаются практические ситуации, когда необходимо обеспечить управление нагрузкой (например, осветительными лампами) по проводам с нескольких пультов. Первое, что приходит в голову, это решить подобную задачу «в лоб»: использовать множество проводов, ровно столько, сколько требуется для очевидного решения проблемы. В то же время понятно, что чем больше проводов, чем они длиннее, тем дороже и сложнее получится линия передачи или коммутации, тем меньше ее надежность, тем выше вероятность повреждения.

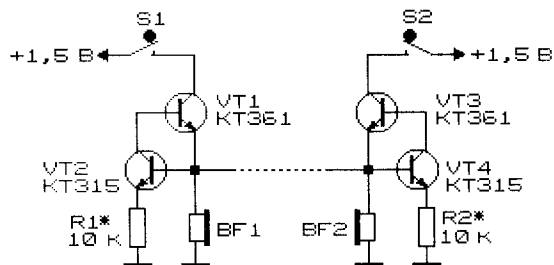


Рис. 15.1

На рис. 15.1 приведена простая схема организации двусторонней связи с использованием телеграфной азбуки [Р 7/84-39]. На приемной и передающей сторонах использованы одинаковые генераторы звуковой частоты, нагруженные на телефонные конденсаторы. Эти конденсаторы связаны между собой двухпроводной линией связи. Каждый из них одновременно является монитором (устройством контроля) собственного сигнала и индикатором звуковых сигналов, вырабатываемых корреспондентом. Очевидно, чем длиннее линия, тем выше ее электрическое сопротивление, тем выше потери сигнала в ней, соответственно, уменьшается и громкость принимаемого от корреспондента сигнала.

Если расстояние между корреспондентами не столь велико, в качестве одного из проводов линии при работе летом в полевых условиях можно использовать «землю». Для этого в землю вбивают металлический штырь, к которому присоединяют провод. На

## 15. Устройства малопроводной связи и коммутации

приемной стороне выполняют аналогичные действия. В качестве провода линии может быть использована и металлическая арматура, трубы, если связь происходит в пределах одного здания.

Генераторы передающей и приемной сторон питаются от отдельных источников питания — гальванических элементов напряжением 1,5 В. Для включения генераторов использованы телеграфные ключи S1 и S2. При отсутствии ключа аналог можно сделать из подручных материалов или использовать для этих целей кнопки. Специальных выключателей питания устройство не требует: эту функцию выполняют телеграфные ключи.

Для полноценного пользования телеграфной связью необходимо, как минимум, месяц осваивать телеграфную азбуку. Поэтому более привлекательными являются системы проводной телефонной связи. На рис. 15.2 — 15.4 приведены варианты практической реализации такой связи.

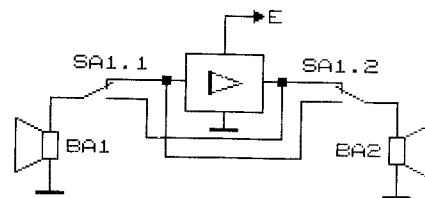


Рис. 15.2

На рис. 15.2 показана типовая схема организации простейшего варианта проводной связи при использовании усилителя низкой частоты любого типа (см. главу 4). В качестве обратимых преобразователей звука (громкоговоритель — микрофон) используются обычные широко распространенные звукоизлучающие головки электродинамического типа. Для этих же целей можно использовать и телефонные конденсаторы, громкоговорители радиотрансляционной сети без каких-либо переделок.

Интересно, что наиболее простую линию связи можно организовать, соединив длинными проводами пару громкоговорителей радиотрансляционной сети. Громкость сигнала, разумеется, будет не столь высока, однако какого-либо источника питания для организации связи не требуется.

Переключатели SA1.1 и SA1.2 сдвоены и установлены на стороне одного из абонентов, который и производит поочередное

## 15. Устройства малопроводной связи и коммутации

их переключение с приема на передачу. Этим обстоятельством, конечно же, уменьшаются возможности второго абонента.

Практическая схема осуществления двухпроводной связи по схеме рис. 15.2 приведена на рис. 15.3. В качестве усилителя низкой частоты использован однокаскадный усилитель на транзисторе *KT315*. Устройство питается от батареи напряжением 9 В. Выключатель питания на схеме не показан.

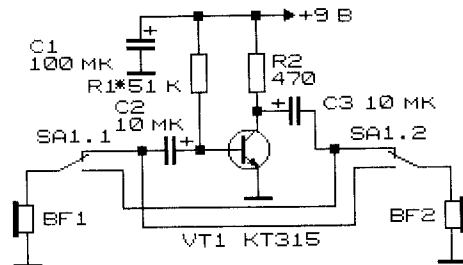


Рис. 15.3

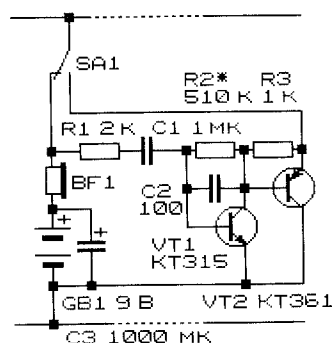


Рис. 15.4

Устройство двухпроводной телефонной связи описано в книге П. Величкова и В. Христова (рис. 15.4). Оно подключается в двухпроводную линию, имеет собственный источник питания, отключаемый при помощи переключателя SA1. Одновременно этот переключатель (кнопка) позволяет переключать телефонную трубку (в которой собрано устройство) с приема на передачу. В режиме приема батарея, питающая усилитель, отключена. Устройство может находиться в состоянии «на прием» неограниченно долго. При нажатии кнопки SA1 включается двухкаскадный

## 15. Устройства малопроводной связи и коммутации

усилитель низкой частоты. Телефонный капсюль становится микрофоном, линия, с подключенными телефонами абонентов, является его нагрузкой. Преимуществом такого схемного решения является то, что количество телефонных трубок (число абонентов), подключенных к линии, не ограничено, но обычно не более десяти.

Помимо организации линии связи не менее актуальным является вопрос, касающийся равноправной возможности управления нагрузками с нескольких пультов. Такого рода задачи встречаются в сельском хозяйстве или в быту при необходимости включения освещения на входе в длинный коридор и выключения света при выходе из него. Существует много схемных решений, позволяющих выполнить эту задачу с использованием минимального количества проводов. С некоторыми из них можно познакомиться на рис. 15.5 — 15.11.

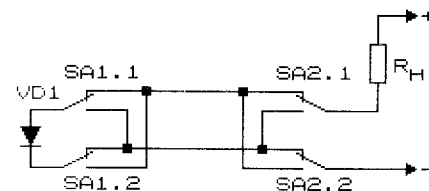


Рис. 15.5

Устройство (рис. 15.5) позволяет включать/выключать ток в нагрузке с двух (или более) пультов управления при использовании источника постоянного тока [Р 2/73-48]. В схеме использовано свойство полупроводникового диода проводить ток только при одной полярности приложенного напряжения. Переключатели SA1 и SA2, установленные на противоположных сторонах линии, позволяют менять полярность питающего напряжения. Соответственно, при смене полярности диод будет закрыт, и ток через нагрузку не пойдет. Включение (переключение положения) любого из переключателей вновь сменит полярность и обеспечит тем самым «правильное», прямое подключение диода в разрыв линии, и протекание тока через нагрузку. В качестве нагрузки (рис. 15.5) может быть использован звуковой генератор либо светодиод с ограничительным резистором. Для самостоятельной доработки схемы рекомендуется подумать, каким образом можно управлять нагрузкой при помощи трех или более пультов управления.

## 15. Устройства малопроводной связи и коммутации

Для многопультовой коммутации нагрузки, например, осветительных ламп, от источника постоянного или переменного тока могут быть использованы схемы, приведенные на рис. 15.6 и 15.7. Переключатели SA1 и SA2, а также SA3 позволяют независимо друг от друга включать/выключать свет в длинном коридоре. В этой схеме использовано три провода.

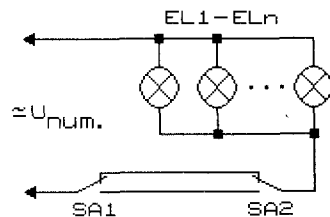


Рис. 15.6

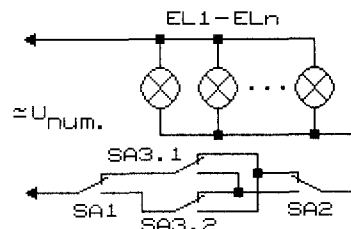


Рис. 15.7

Четырехпроводные линии двухпультового управления приведены на рис. 15.8 и 15.10. Схема коммутации трех нагрузок по двум проводам показана на рис. 15.9.

Схемы (рис. 15.8 и 15.9) выполнены с использованием реле. Это усложняет устройство, однако позволяет использовать для линии управления провода малого сечения, поскольку ток управления реле, и ток, расходуемый на питание нескольких осветительных ламп, отличаются в сотни раз.

Для проверки работоспособности приведенных на рис. 15.5 — 15.8 схем питания на них можно подать от низковольтного выпрямителя, а взамен ламп накаливания для индикации использовать цепочку светодиод — резистор (рис. 15.8). Величина гасящего резистора R (в кОм) может быть вычислена по формуле:

## 15. Устройства малопроводной связи и коммутации

$$R = \frac{U_{\text{пит.}} - 2}{10 \dots 20},$$

где:

$U_{\text{пит.}}$  — напряжение источника питания, В.

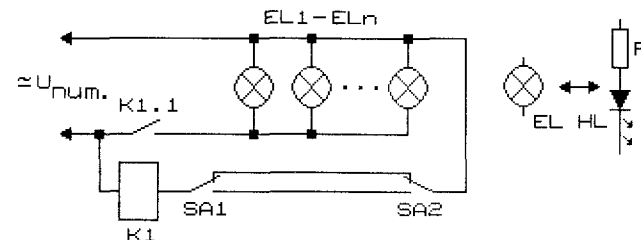


Рис. 15.8

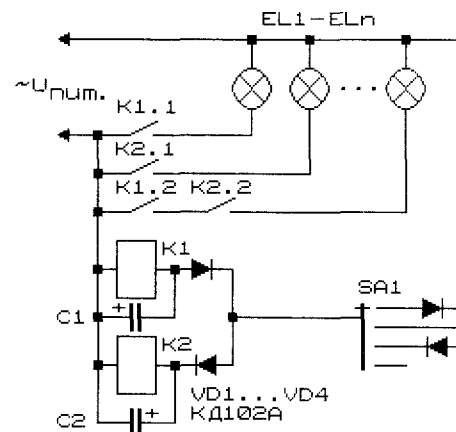


Рис. 15.9

Совершенно иной принцип управления нагрузкой при помощи неограниченного числа последовательно включенных пультов — кнопок показан на рис. 15.11.

В исходном состоянии напряжение сети через гасящий конденсатор C1 и резистор R1 подается на выпрямитель (VD1 — VD4). На выходе выпрямителя включен стабилитрон, ограничивающий напряжение на схеме управления до 15 В. Параллельно стабилитрону включен резистор R2 и конденсатор C2 (небольшой

## 15. Устройства малопроводной связи и коммутации

емкости), кроме этого, через диод VD5 подключен конденсатор C3 большой емкости (1000 мкФ), параллельно которому подключены последовательно соединенные тиристор VS1 и обмотка реле K1. Управляющий электрод тиристора подключен к катоду диода VD5.

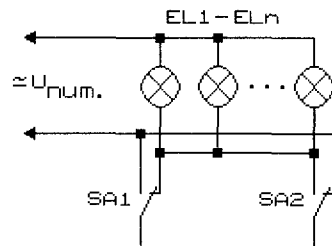


Рис. 15.10

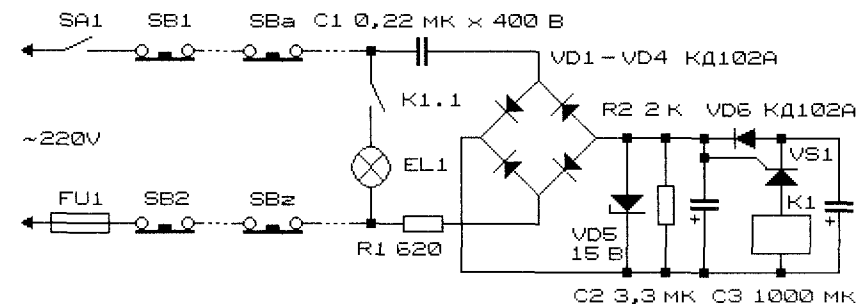


Рис. 15.11

При кратковременном нажатии на любую из кнопок SB напряжение питания отключается, конденсатор C2 мгновенно разряжается через резистор R2, а управляющий электрод тиристора через этот резистор подключается к конденсатору C3. При разряде конденсатора C3 тиристор отпирается. Реле срабатывает и своими контактами включает нагрузку. Поскольку напряжение питания после отпускания кнопки вновь подается на схему, конденсатор C3 поддерживается в заряженном состоянии, а тиристор в проводящем. Для отключения нагрузки необходимо нажать и удерживать около секунды любую из кнопок управления. Конденсатор C3 полностью разрядится, тиристор запретится, реле и нагрузка отключатся.

## 16. Релейные схемы

Релейные схемы используются в системах авторегулирования: для поддержания заданной температуры, освещенности, влажности и т.д. Подобные схемы, как правило, похожи и в качестве обязательных узлов содержат датчик, пороговую схему и исполнительное или индикаторное устройство (см. список литературы). Релейные схемы реагируют на превышение контролируемого параметра над заданным (установленным) уровнем и включают исполнительное устройство (реле, электродвигатель, тот или иной прибор). Также возможно оповещение звуковым или световым сигналом о факте выхода контролируемого параметра за пределы допустимого уровня.

**Термореле** (рис. 16.1) выполнено на основе триггера Шмитта. В качестве датчика температуры используется терморезистор (резистор, сопротивление которого зависит от температуры). Потенциометр R1 устанавливает начальное смещение на терморезисторе R2 и потенциометре R3. Его регулировкой добиваются срабатывания исполнительного устройства (реле K1) при изменении сопротивления терморезистора.

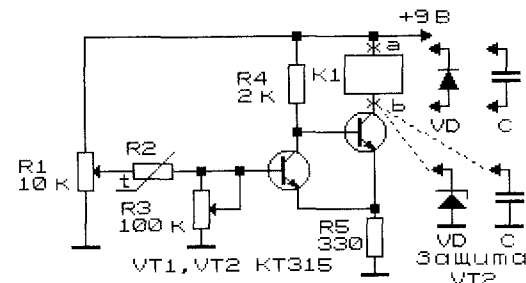


Рис. 16.1

В качестве нагрузки в этой и других схемах этой главы может быть использовано не только реле, но и слаботочная лампа накаливания. Можно включить светодиод с последовательным токоограничивающим резистором величиной 330...620 Ом, генератор звуковых колебаний, электронную сирену и т.д. При использовании реле контакты последнего могут включать любую

электрически изолированную от цепи датчика нагрузку: нагревательный элемент либо, напротив, вентилятор.

Для защиты выходного транзистора от импульсов напряжения, возникающих при коммутации обмотки реле (индуктивной нагрузки), необходимо включать параллельно обмотке реле полупроводниковый диод.

Так, на рис. 16.1 анод диода должен быть соединен с нижним по схеме выводом обмотки реле, катод — с шиной питания. Вместо диода с тем же результатом может быть подключен стабилитрон или конденсатор.

Термореле [МК 6/82-3] (рис. 16.4) имеет выходной каскад с самоблокировкой на тиристоре. Это приводит к тому, что после срабатывания схемы выключить сигнализацию можно только после кратковременного отключения питания устройства. Термореле (рис. 16.6), или, говоря точнее, термоиндикатор, выполнен по мостовой схеме [ВРЛ 83-24]. Когда мост сбалансирован, ни один из светодиодов не светится. Стоит температуре повыситься, включится один из светодиодов. Если температура, напротив, понизится, загорится другой светодиод. Чтобы различать, в какую сторону изменяется температура, для индикации ее повышения можно использовать светодиод красного свечения; для индикации понижения — светодиод желтого (или зеленого) свечения. Для балансировки схемы вместо резистора R2 лучше включить потенциометр.

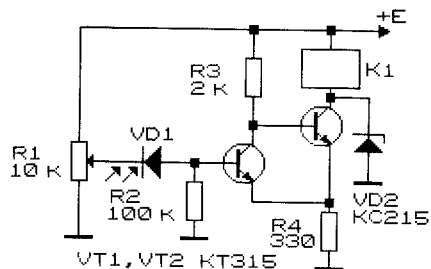


Рис. 16.2

**Фотореле** (рис. 16.2) отличается от термореле (рис. 16.1) тем, что вместо терморезистора использован фоточувствительный прибор (фотодиод или фотосопротивление). Схема фотореле, показанная на рис. 16.5, содержит двухкаскадный усилитель

постоянного тока, выполненный на транзисторах разного типа проводимости. При изменении электрического сопротивления фотодиода и, соответственно, смещения на базе транзистора VT1, увеличится коллекторный ток выходного транзистора усилителя VT2, и напряжение на резисторе R2 возрастет. Как только это напряжение превысит напряжение пробоя порогового элемента — полупроводникового стабилитрона VD2, включится оконечный каскад на транзисторе VT3, управляющий работой исполнительного механизма (реле). Использование в схеме порогового элемента (полупроводникового стабилитрона) повышает четкость срабатывания фотореле.

Фотореле (рис. 16.7) является таковым не в полной мере, поскольку реагирует на изменение освещенности плавным изменением частоты генерируемых колебаний [Б.С. Иванов]. В то же время это устройство может работать совместно с измеряющими частоту приборами, частотно-избирательными реле, сигнализировать высотой звукового сигнала об изменении освещенности, что может быть весьма актуально для слабовидящих (см. также рис. 6.9).

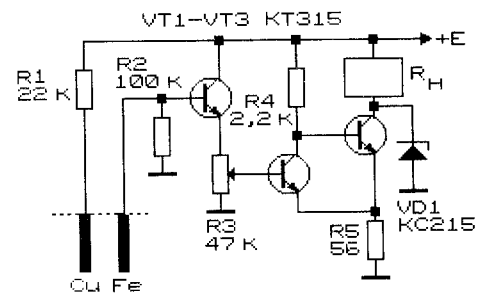


Рис. 16.3

**Реле влажности** или **реле уровня** жидкости (рис. 16.3) так же, как и некоторые из вышеприведенных схем (см., например, рис. 16.1, 16.2) выполнено на основе триггера Шмитта [МК 2/86-22]. Порог срабатывания устройства устанавливают регулировкой потенциометра R3. Контакты датчика влажности выполнены в виде медного (Cu) и железного (Fe) стержней, погруженных в землю. При изменении содержания влаги в земле электропроводность среды и сопротивление между электродами меняются. С увеличением смещения на базе транзистора VT1 он

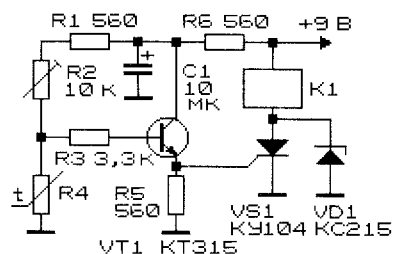


Рис. 16.4

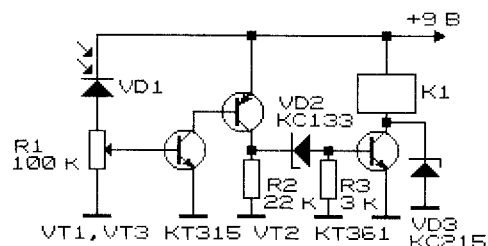


Рис. 16.5

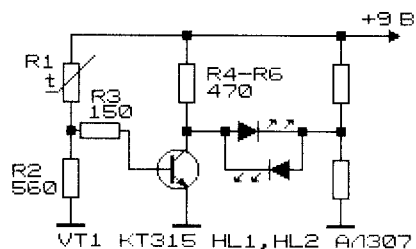


Рис. 16.6

открывается. Коллекторный и эмиттерный токи транзистора возрастают, что приводит к росту напряжения на потенциометре R3 и, соответственно, к переключению триггера. Реле срабатывает. Устройство может быть настроено на уменьшение электропроводности земли ниже заданной нормы. Тогда, при срабатывании исполнительного устройства, включается система автоматического полива земли (растений).

**Реле времени** (рис. 16.8) описано в книге П. Величкова и В. Христова (Болгария). Кратковременное нажатие на кнопку SA1

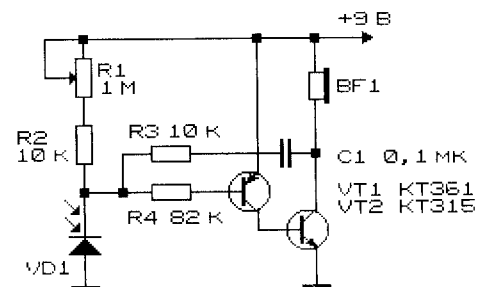


Рис. 16.7

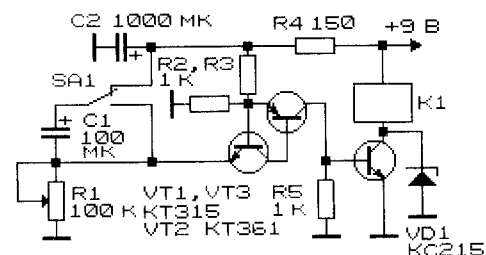


Рис. 16.8

разряжает времязадающий конденсатор C1 и устройство начинает «отсчет времени». В процессе заряда конденсатора напряжение на его обкладках плавно увеличивается. В итоге, через некоторое время реле срабатывает, и включится исполнительное устройство. Скорость заряда конденсатора, а, следовательно, и время выдержки (время экспозиции) можно изменять потенциометром R1. Реле обеспечивает максимальное время экспозиции до 10 сек при указанных на схеме параметрах элементов. Это время может быть увеличено за счет увеличения емкости конденсатора C1, либо сопротивления потенциометра R1.

Стоит отметить, что для столь простых схем «аналоговых» таймеров стабильность временного интервала невелика. Кроме того, нельзя до бесконечности наращивать емкость времязадающего конденсатора, поскольку заметно возрастает его ток утечки. Такой конденсатор неприемлем в схемах «аналоговых» таймеров. Существенно увеличить время экспозиции за счет сопротивления потенциометра R1 также нельзя, поскольку входное

сопротивление последующих каскадов, если только они не выполнены на полевых транзисторах, невелико.

Аналоговые таймеры (реле времени) широко используют при фотопечати, для задания времени выполнения каких-либо процедур. Несколько схем таймеров рассмотрено в главах 18 и 25. Эти устройства используются, например, для получения воды, ионизированной серебром.

**Реле напряжения** (рис. 16.9, 16.10) используются для контроля заряда или разряда элементов питания, аккумуляторов, контроля напряжения питания, поддержания напряжения на заданном уровне. Схемы, описанные в книге П. Величкова и В. Христова, предназначены для контроля разряда (рис. 16.9) или перезаряда (рис. 16.10) аккумулятора.

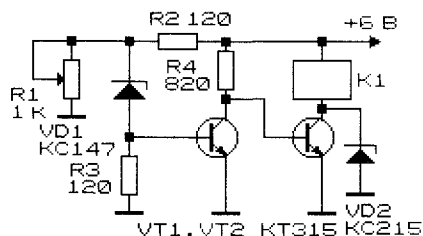


Рис. 16.9

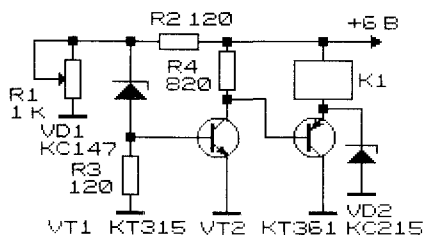


Рис. 16.10

При необходимости напряжение срабатывания этих устройств может быть изменено. Порог срабатывания задается типом стабилитрона. Для изменения в небольших пределах порога срабатывания подобных реле последовательно со стабилитроном можно включать 1 — 3 германиевых (Д9) или кремниевых (КД503, КД102) диодов в прямом направлении.

Катоды диодов должны «смотреть» в сторону базы входного транзистора. Германиевый диод смещает порог срабатывания примерно на 0,3 В, а кремниевый — на 0,5 В. Для цепочки из двух, трех диодов эти значения удваиваются (утраиваются). Промежуточные значения напряжений можно получить при последовательном включении германиевого и кремниевых диодов (0,8 В).

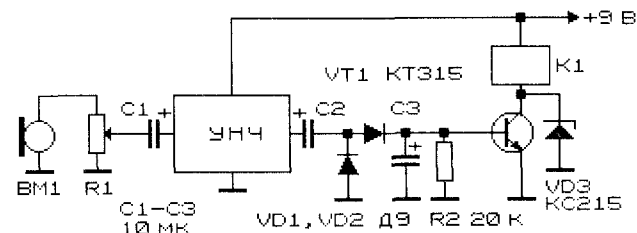


Рис. 16.11

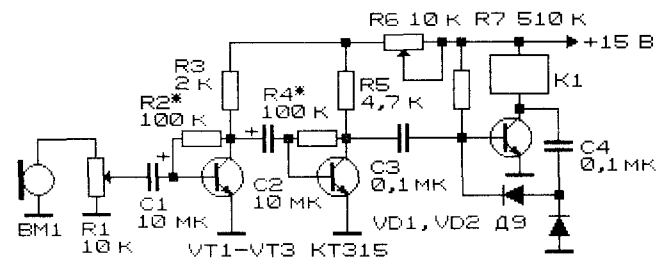


Рис. 16.12

**Акустическое реле** (рис. 16.11, 16.12) используют для контроля уровня шума, а также в составе систем охранной сигнализации [Б.С. Иванов, М 2/96-13]. Помимо прочего, такие схемы часто используют в системах связи — в устройствах голосового управления каналом связи. Так, при разговоре автоматически и без вмешательства оператора происходит переключение радиостанции или линии связи с приема на передачу. Устройство содержит датчик звукового сигнала — микрофон, в качестве которого можно использовать обычный микрофонный капсюль, усилитель низкой частоты, детектирующее и исполняющее (релейное) устройство.

Коэффициент усиления  $УНЧ$  определяет чувствительность акустического реле. На микрофон может быть установлен звукоулавливающий рупор для повышения направленных свойств акустического реле. Резонансный фильтр, включенный после  $УНЧ$ , позволяет акустическому реле реагировать только на звук определенной частоты и игнорировать остальные звуки.

## 17. Тиристорные коммутаторы нагрузки

Для включения и отключения нагрузки (ламп накаливания, обмоток реле, электродвигателей и т.п.) зачастую используют тиристоры. Особенность этого вида полупроводниковых приборов и основное их отличие от транзисторов заключается в том, что они обладают двумя устойчивыми состояниями, без каких-либо промежуточных. Это состояние «включено», когда сопротивление полупроводникового прибора минимально, и состояние «выключено», когда сопротивление тиристора максимально. В идеале эти сопротивления приближаются к нулю или бесконечности.

Для включения тиристора на его управляющий электрод достаточно хотя бы кратковременно подать управляющее напряжение. Отключить тиристор (запереть) можно кратковременным выключением питания тиристора, сменой полярности питающего напряжения либо уменьшением тока в нагрузке ниже тока удержания тиристора.

Обычно включают и отключают тиристорные коммутаторы двумя кнопками. Значительно меньшее распространение получили однокнопочные схемы управления тиристорами. В этой главе достаточно подробно рассмотрены методы однокнопочного управления тиристорными коммутаторами. Принцип работы тиристорных однокнопочных управляющих устройств основан на динамических зарядно-разрядных процессах в цепи управления тиристора [EW 4/01-299].

На рис. 17.1 показана одна из простейших схем однокнопочного управления тиристорным коммутатором. В схеме (здесь и далее) используют кнопки без фиксации положения. В исходном состоянии нормально замкнутые контакты кнопки шунтируют цепь управления тиристором. Сопротивление тиристора максимально, ток через нагрузку не протекает. Диаграммы основных процессов, протекающих в схеме на рис. 17.1, рассмотрены на рис. 17.2.

Для включения тиристора (ON) нажимают на кнопку SB1. При этом нагрузка оказывается подключенной к источнику питания через контакты кнопки SB1, а конденсатор C1 заряжается через резистор R1 от источника питания. Скорость заряда конденсатора определяется постоянной времени цепи  $R1C1$  (см.

## 17. Тиристорные коммутаторы нагрузки

диаграмму). После того как кнопку отпускают, конденсатор  $C1$  разряжается на управляющий электрод тиристора. Если напряжение на нем равно или превышает напряжение включения тиристора, тиристор отпирается.

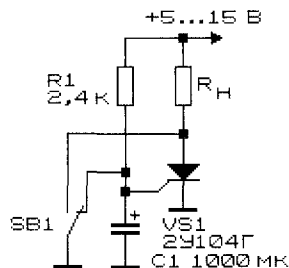


Рис. 17.1

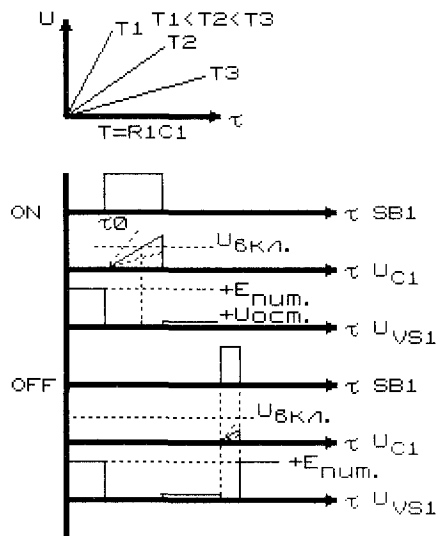


Рис. 17.2

Отключить нагрузку (OFF) можно кратковременным нажатием на кнопку  $SB1$ . При этом конденсатор  $C1$  не успевает зарядиться. Поскольку контакты кнопки шунтируют электроды тиристора (анод — катод), это равноценно отключению источника питания тиристора. В результате нагрузка будет отключена.

## 17. Тиристорные коммутаторы нагрузки

Следовательно, для включения нагрузки необходимо с большей продолжительностью нажать на управляющую кнопку, для отключения — еще раз кратковременно нажать ту же кнопку.

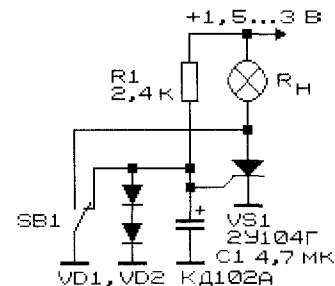


Рис. 17.3

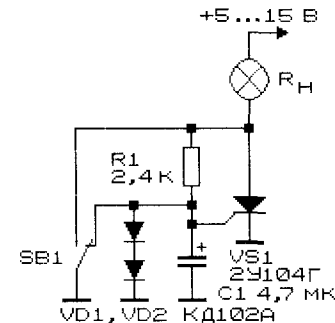


Рис. 17.4

На рис. 17.3 и 17.4 показаны варианты схемной идеи, представленной на рис. 17.1. На рис. 17.3 использована цепочка последовательно соединенных диодов  $VD1$  и  $VD2$  для ограничения максимального напряжения заряда конденсатора. Это позволило заметно снизить рабочее напряжение (до  $1,5...3 В$ ) и емкость конденсатора  $C1$ . В следующей схеме (рис. 17.4) резистор  $R1$  включен последовательно с нагрузкой, что позволяет создать двухполюсный коммутатор нагрузки. Сопротивление нагрузки должно быть намного ниже, чем сопротивление  $R1$ .

Тиристорное устройство управления нагрузкой (рис. 17.5) может быть использовано для включения и выключения нагрузки любой из нескольких последовательно включенных

## 17. Тиристорные коммутаторы нагрузки

кнопок, работающих на разрыв цепи. Принцип действия тиристорного коммутатора заключается в следующем. При включении устройства напряжение, подаваемое на управляющий электрод тиристора, недостаточно для его включения. Тиристор, и, соответственно, нагрузка отключены. При нажатии на любую из кнопок SB1 — SBn (и удержании ее нажатой) конденсатор C1 заряжается через резистор R1 от источника питания. Цепь управления тиристора и сам тиристор при этом отключены.

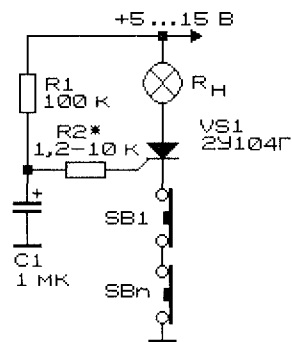


Рис. 17.5

После отпускания кнопки и восстановления цепи питания тиристора накопленная конденсатором C1 энергия оказывается приложенной к управляющему электроду тиристора. В результате разряда конденсатора через управляющий электрод тиристор включается, подсоединяя тем самым нагрузку к цепи питания.

Для отключения тиристора (и нагрузки) кратковременно нажимают на любую из кнопок SB1 — SBn. При этом конденсатор C1 не успевает зарядиться. В то же время цепь питания тиристора размыкается, тиристор запирается. Величина резистора R2 зависит от напряжения питания устройства: при напряжении 15 В его сопротивление — 10 кОм; при 9 В — 3,3 кОм; при 5 В — 1,2 кОм.

При использовании вместо тиристора его транзисторного аналога (рис. 17.6) величина этого резистора меняется, соответственно, от 240 кОм (15 В) до 16 кОм (9 В) и до 4,7 кОм (5 В).

Тиристорное устройство, позволяющее создать аналог многокнопочного переключателя с зависимой фиксацией положения

## 17. Тиристорные коммутаторы нагрузки

и использующее для управления кнопочные элементы, работающие без фиксации, показано на рис. 17.7. В схеме может быть использовано несколько тиристоров, однако, для упрощения схемы, на рисунке показано лишь два канала. Другие каналы коммутации могут быть подключены аналогично предыдущим.

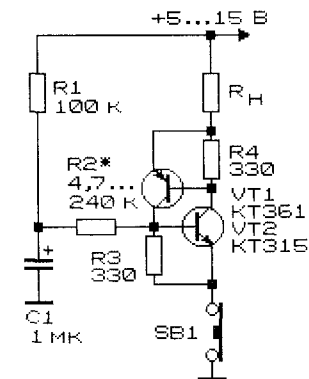


Рис. 17.6

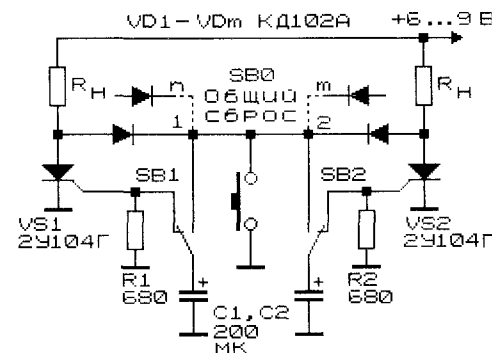


Рис. 17.7

В исходном состоянии тиристоры заперты. При нажатии на кнопку управления, например, кнопку SB1, конденсатор C1 относительно большой емкости оказывается подключенным к источнику питания через диоды VD1 — VДm и сопротивления нагрузки всех каналов. В результате заряда конденсатора возникает импульс тока, приводящий к кратковременному замыканию анодов

## 17. Тиристорные коммутаторы нагрузки

всех тиристоров через соответствующие диоды VD1 — VДm на общую шину. Любой из тиристоров, если он был включен, отключается. В то же время конденсатор накапливает энергию. После отпускания кнопки конденсатор разряжается на управляющий электрод тиристора, отпирая его. Для включения любого другого канала нажимают соответствующую кнопку. Происходит отключение (сброс) ранее задействованной нагрузки и включение новой нагрузки. В схеме предусмотрена кнопка SB0 общего отключения всех нагрузок.

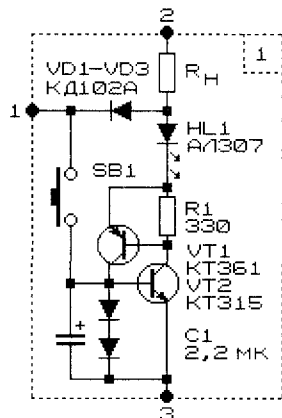


Рис. 17.8

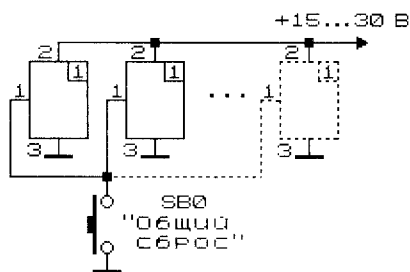


Рис. 17.9

Вариант схемы, выполненный на транзисторных аналогах тиристоров и диодно-емкостных зарядных цепочках с использованием малогабаритных конденсаторов, показан на рис. 17.8, 17.9. В схеме предусмотрена светодиодная индикация включенного

## 17. Тиристорные коммутаторы нагрузки

канала. В этой связи максимальный ток нагрузки каждого из каналов ограничен значением 20 мА.

Устройства, аналогичные представленным на рис. 17.7 — 17.9, а также на рис. 17.10 — 17.12, можно использовать для систем выбора программ радио- и телеприемников. Недостатком схемных решений (рис. 17.7 — 17.9) является то, что в момент нажатия на любую из кнопок все нагрузки оказываются хотя бы на мгновение подключенными к источнику питания.

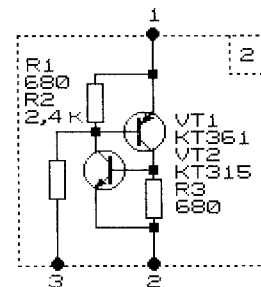


Рис. 17.10

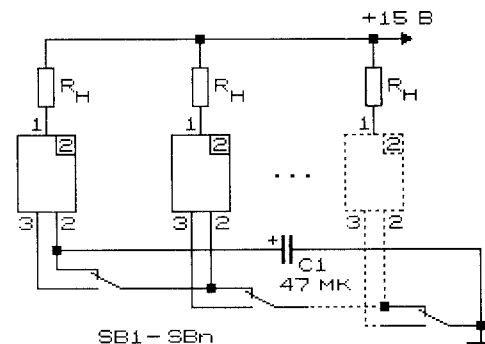


Рис. 17.11

На рис. 17.10 и 17.11 показан тиристорный коммутатор разрывного типа с неограниченным количеством последовательно включенных элементов. При нажатии на одну из кнопок управления цепь питания аналогов тиристоров размыкается по постоянному току. Конденсатор C1 оказывается включенным последовательно с аналогом тиристора. Одновременно управляющее напряжение

## 17. Тиристорные коммутаторы нагрузки

(нулевого уровня) через задействованную кнопку и резистор R2 (рис. 17.10) подается на управляющий электрод аналога тиристора.

Поскольку в первые мгновения при нажатии кнопки последовательно с аналогом тиристора оказывается включенным полностью разряженный конденсатор, такое включение равносильно короткому замыканию в цепи питания соответствующего тиристора. Следовательно, тиристор отпирается, включая тем самым соответствующую нагрузку.

При нажатии на любую другую кнопку ранее задействованный канал отключается, и включается другой канал. При длительном (порядка 2 сек) нажатии на любую из кнопок конденсатор C1 заряжается, что равнозначно размыканию цепи и приводит к запертию всех тириستоров.

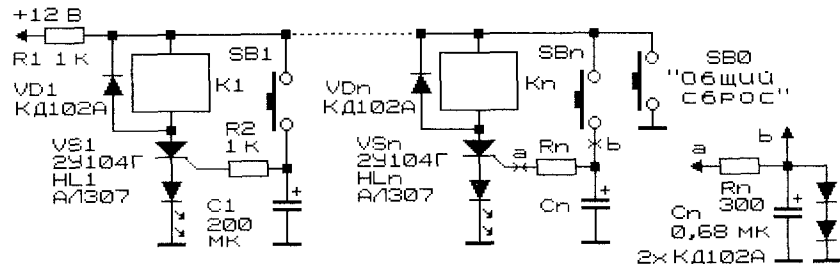


Рис. 17.12

В ряду тиристорных коммутаторов наиболее совершенной представляется схема, показанная на рис. 17.12. При нажатии кнопки управления возникает бросок тока, эквивалентный короткому замыканию. Происходит отключение ранее задействованных тиристоров и включение тиристора, соответствующего нажатой кнопке. В схеме предусмотрена светодиодная индикация задействованного канала, а также кнопка общего сброса. Вместо конденсаторов большой емкости могут быть использованы диодно-конденсаторные цепочки (рис. 17.12). Принцип действия схемы сохраняется. В качестве нагрузки можно использовать низковольтные реле, например, РМК 11105 сопротивлением 350 Ом на рабочее напряжение 5 В.

Резистор R1 ограничивает ток короткого замыкания и ток максимального потребления величиной 10...12 мА. Количество каналов коммутации не ограничено.

## 18. Маломощные коммутирующие устройства, таймеры на тиристорах, КМОП-коммутаторы

**Таймеры на тиристорах.** Тиристорные коммутаторы нагрузки могут быть с успехом использованы для дозированного по времени включения нагрузки. Такие схемы называют таймерами.

Схема одного из них представлена на рис. 18.1. В исходном состоянии тиристор VS1 заперт, как и остальные активные элементы устройства (транзисторы). Устройство не потребляет ток от источника питания.

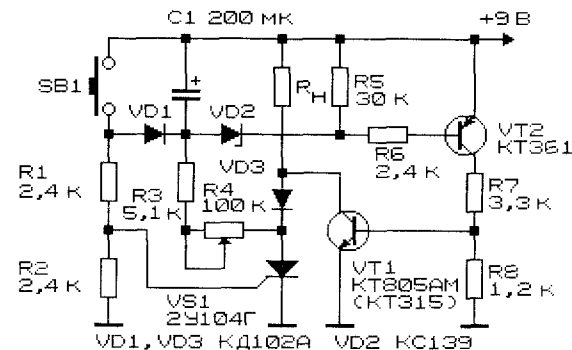


Рис. 18.1

При нажатии на кнопку SB1 («Пуск») конденсатор C1, если он до этого имел заряд, разряжается через диод VD1; на управляющий электрод тиристора через резистор R1 подается отпирающее напряжение. Тиристор VS1 начинает проводить, и через сопротивление нагрузки протекает ток. Одновременно разряженный времязадающий конденсатор C1 заряжается через резистор R3 и потенциометр R4. Скорость заряда конденсатора зависит от сопротивления потенциометра R4. Когда напряжение на конденсаторе превысит напряжение пробоя стабилитрона VD2, ток через него открывает переход эмиттер — база транзистора VT2. Соответственно, открывается (включается) транзистор VT1, который шунтирует цепочку из тиристора VS1 и диода VD3. Поскольку

## 18. Коммутирующие устройства, таймеры

падение напряжения на транзисторе ниже падения напряжения на цепочке из тиристора и диода, такое шунтирование равнозначно прерыванию тока через тиристор. Следовательно, тиристор запирается. Процесс заряда прекращается (потенциометр R4 отключен от зарядной цепи), напряжение на C1 понижается настолько, что стабилитрон VD2 перестает проводить ток. Это приводит к запирающему транзисторов VT2 и VT1. Схема переходит в исходное состояние и готова к очередному включению.

Задержка таймера определяется постоянной времени C1(R3+R4) и составляет 1...20 сек для указанных на схеме номиналов. В силу непродолжительности переходных процессов в качестве транзистора VT1 можно использовать маломощные транзисторы типа KT315, желательно с высоким коэффициентом передачи тока.

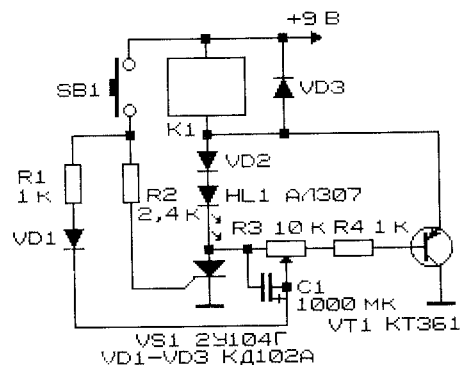


Рис. 18.2

Второй таймер (рис. 18.2) работает по принципу разряда предварительно заряженного конденсатора. В исходном состоянии тиристор и транзистор закрыты. При нажатии на пусковую кнопку управляющее напряжение поступает на тиристор и отпирает его. Одновременно заряжается конденсатор C1. Отрицательная (левая по схеме) обкладка этого конденсатора через открытый тиристор VS1 соединяется с общей шиной, положительная обкладка — через диод VD1, резистор R1 и кнопку SB1 с шиной питания. Напряжение, снимаемое с конденсатора C1, запирает транзистор VT1. После того как конденсатор C1 разрядится через включенный ему параллельно участок потенциометра R3, транзистор VT1 откроется и зашунтирует цепочку

## 18. Коммутирующие устройства, таймеры

последовательно включенных полупроводниковых приборов: тиристора VS1, светодиода HL1 и диода VD2. Тиристор отключается, размыкая цепь питания нагрузки и цепь управления транзистора VT1. Схема возвращается в исходное состояние.

Интересной особенностью схемы является возможность установления времени включения нагрузки от 0 (при полностью введенной ручке потенциометра R3) до 40 секунд. В качестве нагрузки может быть использовано герконовое реле типа PMK 11105 сопротивлением 350 Ом на рабочее напряжение 5 В. Включенное состояние устройства индицирует светодиод HL1, поэтому максимальный ток нагрузки не должен превышать 20 мА.

Тиристорные реле времени периодического включения и отключения нагрузки конструкции Г. Коротаева можно собрать по схемам, показанным на рис. 18.3 и 18.4 [ВРЛ 61/72]. Нагрузка, например, обмотка электродвигателя, управляющего работой щеток стеклоочистителя автомобиля, включается последовательно с реле времени.

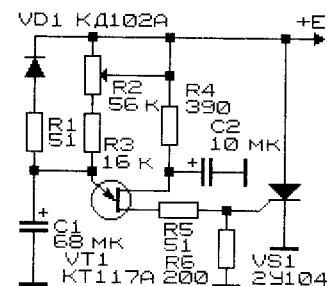


Рис. 18.3

При подаче питания на устройство конденсатор C1 начинает заряжаться через резисторы R2 и R3. Постоянная времени цепочки R2, R3, C1 определяет время паузы. Когда напряжение на конденсаторе C1 достигнет величины напряжения срабатывания однопереходного транзистора VT1 типа KT117A (через время паузы), импульс с этого транзистора через резистор R5 поступит на управляющий электрод тиристора VS1 и переведет его в проводящее состояние. На электродвигатель поступит напряжение, ротор его начнет вращаться, перемещая щетку стеклоочистителя. Параллельно реле времени подключены контакты концевого выключателя, управляемого электродвигателем. В исходном состоянии

## 18. Коммутирующие устройства, таймеры

эти контакты разомкнуты и замыкаются, шунтируя цепь питания реле времени, в крайнем положении щетки стеклоочистителя.

Во время рабочего хода электродвигателя, до момента возврата щеток в исходное состояние, контакты концевого выключателя остаются замкнутыми. За этот период времени конденсатор C1 разряжается через резистор R1 и диод VD1. При возврате щеток в исходное положение контакты концевого выключателя размыкаются, электродвигатель останавливается, и весь цикл повторяется снова. Конденсатор C2 служит для повышения помехоустойчивости реле времени.

Для указанных на схеме номиналов время паузы может меняться от 1...2 до 5...7 сек.

На рис. 18.4 показана схема, иллюстрирующая возможность замены однопереходного транзистора его дискретным аналогом [ВРЛ 61/72].

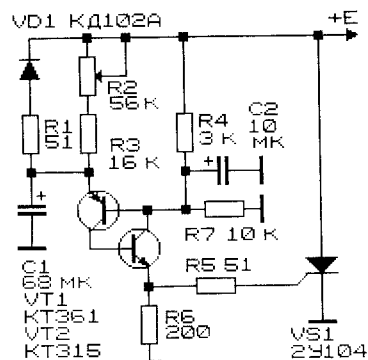


Рис. 18.4

**КМОП-коммутаторы.** Помимо транзисторов и тиристоров для управления нагрузкой довольно широко используют КМОП-коммутаторы. Такого рода коммутаторы выполнены в микросхемном исполнении на полевых транзисторах. Их положительное качество — высокое быстродействие, малые габариты, высокая надежность. К недостаткам следует отнести низкую нагрузочную способность (ток нагрузки канала коммутации обычно не должен превышать 10 мА), а также высокую чувствительность к помехам. Ключевой элемент КМОП-коммутатора включается при подаче на управляющий электрод напряжения

## 18. Коммутирующие устройства, таймеры

«высокого» уровня и отключается при подаче «низкого». Сопротивление ключа во включенном состоянии составляет несколько десятков Ом; в разомкнутом — превышает сотни МОм.

КМОП-коммутаторы могут быть использованы в качестве промежуточных элементов управления других коммутирующих устройств (транзисторов, реле, оптоэлектронных приборов и т.п.).

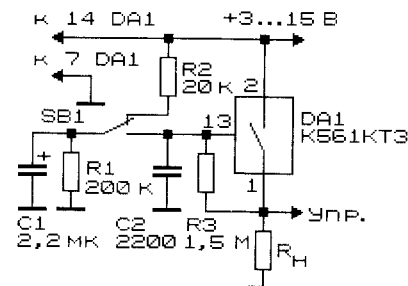


Рис. 18.5

На рис. 18.5 показана схема КМОП-коммутатора на одном из четырех равнозначных элементов микросхемы К561КТ3 [EW 4/01-297]. В схеме использована кнопка без фиксации положения. В исходном состоянии на управляющем электроде микросхемы (вывод 13) присутствует напряжение низкого уровня. Коммутирующий элемент (выводы 1, 2) разомкнут, ток через сопротивление нагрузки не протекает. Конденсатор C1 через нормально замкнутый контакт кнопки SB1 заряжен до напряжения питания устройства. Если кратковременно нажать на кнопку SB1, конденсатор C1 оказывается подключенным к управляющему электроду (вывод 13) микросхемы. Канал коммутатора включается. Через резистор R3 напряжение высокого уровня поступает на управляющий электрод, фиксируя и поддерживая включенное состояние коммутатора. Если кнопку SB1 оставить нажатой более продолжительное время, то конденсатор C1 разрядится через резистор R1. Напряжение на управляющем электроде микросхемы снизится до «низкого» уровня, произойдет самовыключение коммутатора.

Динамику процесса включения — выключения КМОП-коммутатора иллюстрируют диаграммы, приведенные на рис. 18.6. Устройство (рис. 18.5) можно использовать и для формирования импульсов заданной длительности.

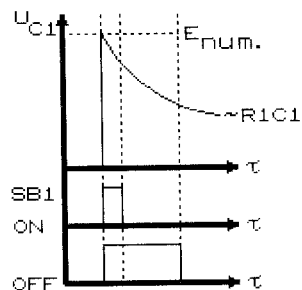


Рис. 18.6

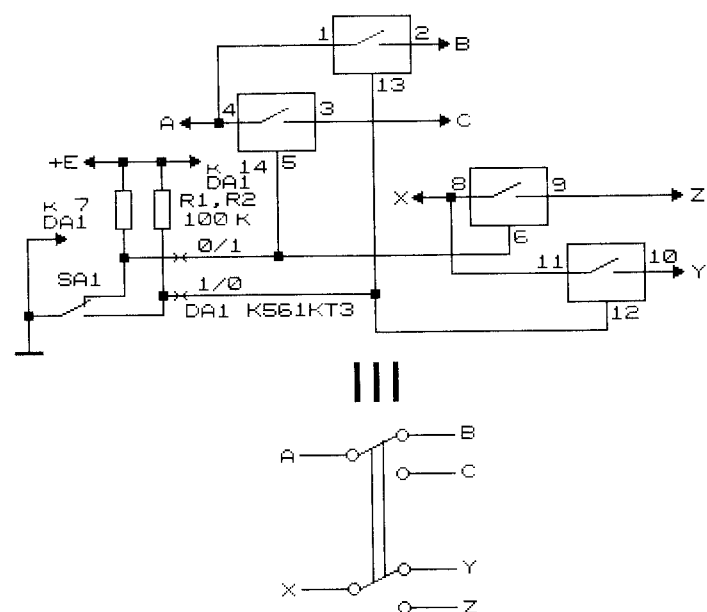


Рис. 18.7

*Примечание.* Для подачи питания на микросхему ее вывод 14 (см. Приложение) соединяют с плюсовой шиной питания, вывод 7 — с общей шиной. Недействующие входы управления рекомендуется соединить с шиной питания или общей шиной напрямую либо через резистор сопротивлением 1 МОм.

Напряжение, снимаемое с сопротивления нагрузки (рис. 18.5), может быть использовано для управления другими

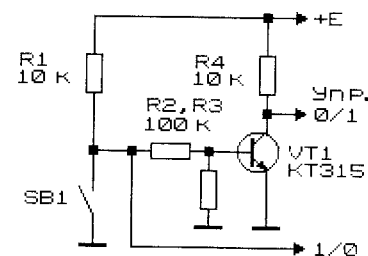


Рис. 18.8

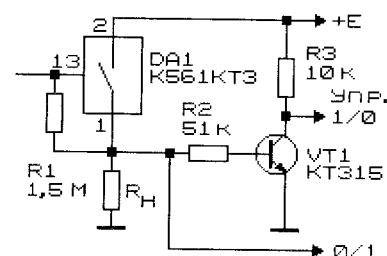


Рис. 18.9

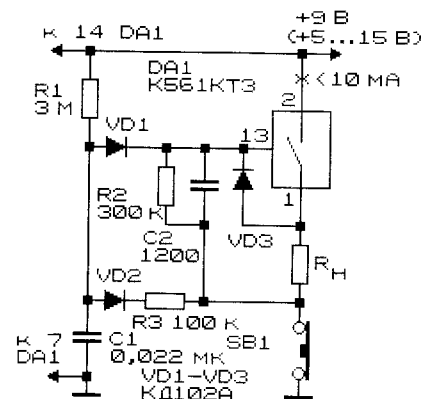


Рис. 18.10

цепями, например, КМОП-переключателем (рис. 18.7). Этот переключатель является аналогом тумблера, позволяющего, например, изменять полярность питающего напряжения. В то же время число коммутируемых цепей может быть увеличено включением

## 18. Коммутирующие устройства, таймеры

дополнительных КМОП-коммутаторов. В устройстве (рис. 18.7) управление коммутацией сигналов можно производить переключателем SA1, либо КМОП- или транзисторным коммутатором (рис. 18.8, 18.9). Управляющие сигналы «0/1» и «1/0» подаются со схем (рис. 18.8, 18.9) на соответствующие цепи управления, обозначенные на схеме рис. 18.7 крестиками.

КМОП-коммутатор с однокнопочным управлением показан на рис. 18.10 [EW 4/01-297]. Принцип его работы аналогичен тиристорному аналогу (рис. 17.5). Включение и выключение устройства определяется временем нажатия управляющей кнопки.

Коммутатор аналогичного принципа действия, но использующий нормально разомкнутую кнопку управления, изображен на рис. 18.11 [EW 4/01-297].

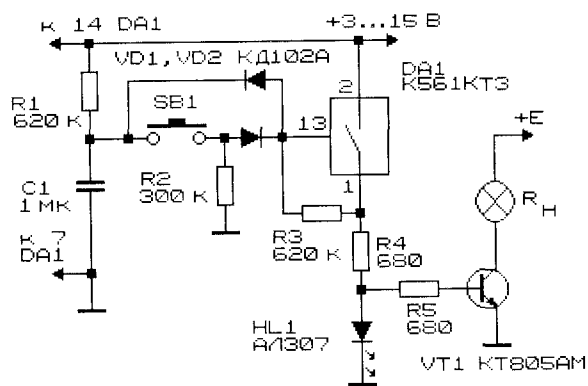


Рис. 18.11

## 19. Компараторы и их применение, градиентные реле

**Компаратор** представляет собой устройство сравнения сигналов, своеобразные электрические весы. Если на один из входов компаратора (чашу весов) подать эталонный сигнал (положить гирьку), а на другой — подать контролируемый сигнал (положить груз неизвестной массы), на выходе устройства сигнал будет иметь значение 0 (или  $U_{\text{пит.}}$ ) до тех пор, пока один сигнал «не перевесит» другой. После этого компаратор переключится: выходной сигнал сменит значение до  $U_{\text{пит.}}$  (или 0, соответственно). На основе компараторов можно собрать множество релейных и иных схем, малая часть которых будет представлена ниже.

К **градиентным реле** (рис. 19.1 — 19.6) можно отнести устройства, реагирующие на скорость изменения контролируемого параметра. Такие реле используют для контроля меняющихся во времени величин [Рл 10/00-28].

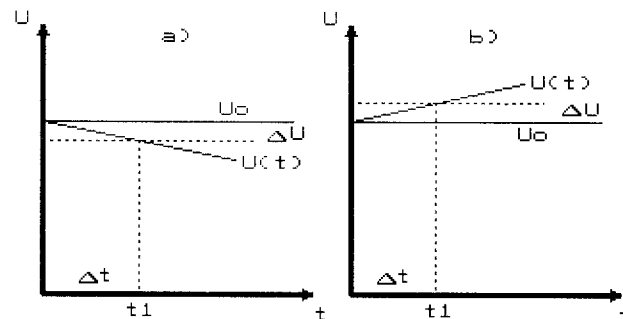


Рис. 19.1

В исходном состоянии напряжения на входах компаратора равны. Градиентное реле находится в режиме ожидания сигнала. При изменении напряжения на делителе R1 — датчик на одном из входов компаратора напряжение изменяется мгновенно, на другом — изменение напряжения во времени происходит с задержкой, обусловленной наличием RC-цепочки (рис. 19.2 — 19.4). Для срабатывания компаратора достаточно, чтобы разница напряжений между его входами составила несколько мВ. Если считать,

## 19. Компараторы, градиентные реле

что заряд (или разряд) конденсатора происходит по линейному закону, то при изменении сопротивления датчика градиентное реле сработает в момент времени  $t_1$  (рис. 19.1). При дальнейшей стабилизации сопротивления датчика или возвращения его к исходному уровню на входах компаратора вновь устанавливается состояние равновесия, градиентное реле выключается.

Ниже приведены практические примеры применения градиентных реле.

**Градиентное фотореле.** Индикатор изменения освещенности (рис. 19.2) предназначен для использования в телевизионных охранных системах и не требует вмешательства в их работу. Чувствительным элементом индикатора является фотодиод VD3. Фотодиод направляют на участок телевизионного экрана, наиболее критичный к условиям охраны.

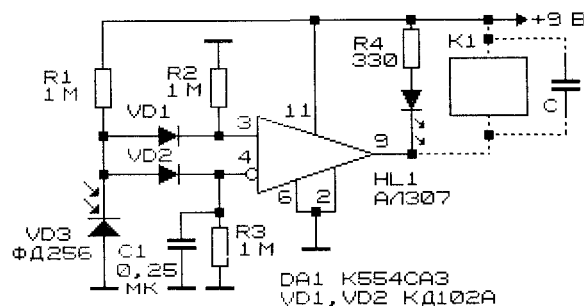


Рис. 19.2

При неизменной освещенности на телевизионном экране рабочая точка компаратора DA1 (K554CA3) устанавливается автоматически: напряжение с делителя R1, VD3 через диоды VD1 и VD2 подается на входы компаратора DA1. В силу равенства этих напряжений чувствительность компаратора близка к предельной, и даже небольшая разность напряжений при изменении сопротивления фотодатчика (VD3) вызовет срабатывание исполнительного устройства (светодиод HL1, реле K1, управляющее системой тревожной сигнализации).

Если в поле контролируемого участка изображения появляется какой-либо объект, изменяется освещенность экрана, и, соответственно, ток через фотодиод. Это приведет к изменению напряжения на неинвертирующем входе (вывод 3) компаратора

## 19. Компараторы, градиентные реле

DA1. На инвертирующем же входе микросхемы (вывод 4) изменение напряжения во времени происходит с задержкой, обусловленной RC-цепочкой (R3C1). Схема может быть настроена для работы на понижение или повышение освещенности экрана подключением конденсатора C1 к тому или иному входу компаратора.

Градиентное фотореле можно использовать и в оптических охранных системах, а также для подсчета изделий на конвейере. При пересечении объектом светового луча устройство сработает.

**Градиентное термореле** (рис. 19.3) можно применять для пожарной, охранной сигнализации, реагирующей на изменение температуры при перемещении нагретого воздуха, человека или животного.

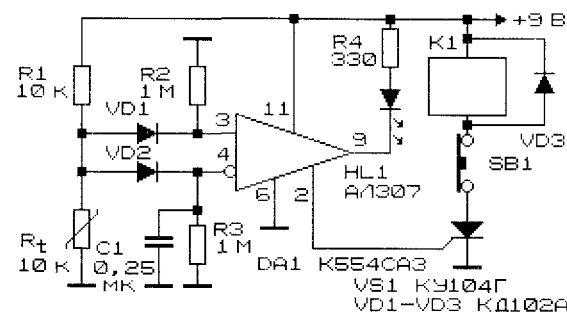


Рис. 19.3

Начальное сопротивление термодатчика, например, терморезистора типа MMT-6, должно быть соизмеримо с сопротивлением R1 (верхним плечом делителя напряжения). Подключение нагрузки к компаратору DA1 (рис. 19.3) осуществляется в эмиттерную цепь выходного транзистора микросхемы, который управляет тиристором VS1 (KY104Г). При срабатывании устройства тиристор отпирается, самоблокируется и включает нагрузку, например, реле K1. Нажатием на кнопку SB1 «Сброс» можно разблокировать тиристор и обесточить нагрузку.

Устройство реагирует на перемещение тела человека вблизи датчика или на дыхание на расстоянии до 50 см.

**Градиентный индикатор электрического поля** (рис. 19.4). При отсутствии постоянного электрического поля сопротивление датчика (полевого транзистора) минимально; напряжение на

входах компаратора близко к напряжению питания. При появлении источника постоянного электрического поля сопротивление сток — исток полевого транзистора возрастает, напряжение на средней точке входного делителя уменьшается, и градиентное реле срабатывает.

Индикатор имеет высокую чувствительность: без антенны (антенна — вывод затвора полевого транзистора) реагирует на перемещение наземризованного предмета на расстоянии до 1,5 м.

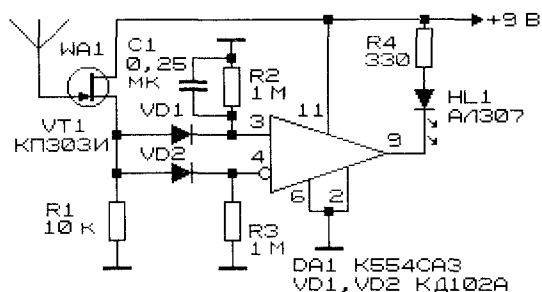


Рис. 19.4

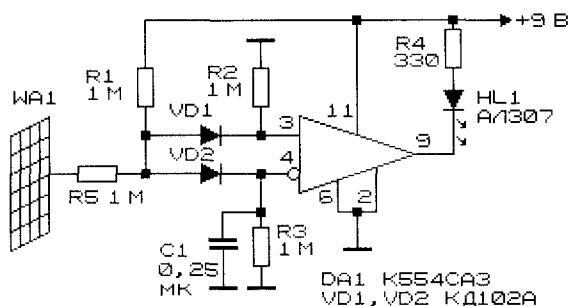


Рис. 19.5

**Сенсорно-емкостное реле градиентного типа** (рис. 19.5). Реле включается при касании сенсорного контакта (сенсорное реле) или срабатывает при приближении к антенне устройства (емкостное реле). Принцип действия устройств заключается в наведении переменного электрического тока частотой 50 Гц через тело человека на вход схемы.

В емкостном реле входная цепь представляет собой одну из обкладок развернутого в пространстве конденсатора,

что обуславливает чувствительность к появлению в поле этого конденсатора токопроводящих объектов (человека, животных). Сенсорную площадку или антенну можно подключить к входу схемы через резистор (1...10 МОм) либо конденсатор (1...50 пФ).

**Сейсмореle и реле ударного срабатывания** (рис. 19.6 цепь с и цепь б). Для реализации сейсмореle, реагирующего на микровибрации, к входу устройства (рис. 19.6 цепь с) через разделительный конденсатор подключают сейсмодачик, например, СВ-10Ц, либо просто электродинамический капсюль телефона. Датчиком реле ударного срабатывания может служить пьезокерамический излучатель типа ЗП-3, ЗП-19 (рис. 19.6 цепь б). Устройство реагирует на легкое постукивание по столу, на котором расположены датчики. В качестве датчика можно использовать и пьезоэлектрический звукосниматель электропроигрывающего устройства. Для повышения чувствительности устройства кремниевые диоды следует заменить на германиевые.

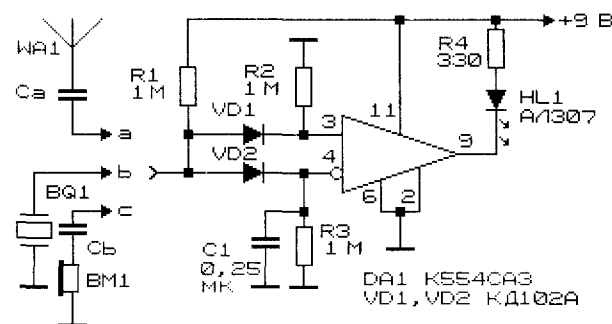


Рис. 19.6

**Акустическое градиентное реле.** К входу устройства (рис. 19.6 цепь с, рис. 19.7) подключают цепочку из конденсатора емкостью 0,1 мкФ и динамического микрофона, роль которого может выполнять телефонный капсюль. Устройство чувствительно к ВЧ-составляющей звуковых сигналов.

**Магниточувствительное реле градиентного типа** может быть выполнено по схеме на рис. 19.3. В качестве датчика используют магниторезистор СМ-1. Датчиком переменного магнитного поля может служить и телефонный капсюль без мембраны или многовитковая катушка с железным сердечником. Датчик

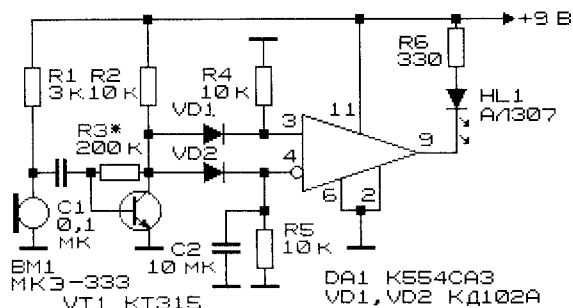


Рис. 19.7

подключают к входу устройства (вместо терморезистора) через конденсатор емкостью свыше 10 мкФ. Реле сработает, если датчик поднести к источнику переменного магнитного поля (катушке электромагнита).

**Детектор ВЧ-сигналов** — может быть выполнен по схеме (рис. 19.6 цепь а) с использованием диодов Д9Ж и подбором резистивных элементов R1 — R3 для установки рабочей точки на ВАХ диодов. Выбор рабочей точки на наиболее крутом участке этой характеристики обеспечит повышенную чувствительность детектора к ВЧ-сигналам: малое изменение напряжения на диоде вызовет заметное изменение тока через него. Чем больше начальный ток через диоды, тем выше чувствительность устройства. В то же время заметно возрастет потребляемый устройством ток.

ВЧ-сигнал подают на диоды через конденсатор емкостью 10...100 пФ. Светодиод HL1 в цепи нагрузки начинает светиться при уровне входного сигнала 60...100 мВ (частота свыше 200 кГц). В НЧ-диапазоне (несколько кГц) переходную емкость следует увеличить.

При использовании соответствующих датчиков на основе градиентных реле могут быть собраны реле влажности, изменения атмосферного давления и др. устройства.

Преобразовать, например, изменение атмосферного давления в изменение электрического сопротивления можно с использованием запаянного сильфона. Это металлическая тонкостенная гофрированная камера, сопряженная с движком потенциометра. Изменение атмосферного давления вызовет изменение объема

сильфона и изменение его размеров с последующим перемещением движка потенциометра. В более простых по механике конструкциях на сильфон может быть наклеен тензорезистор или закреплен вывод специального полупроводникового прибора (гедистора), сопротивление которого изменяется при деформации.

Компараторы часто используют для преобразования «аналогового» сигнала в «цифровой»: сигнал любой формы на входе преобразуется на выходе в сигнал прямоугольной формы.

**Преобразователи амплитуды входного сигнала в ширину** выходного импульса (рис. 19.8, 19.9) используют в измерительной технике, импульсных блоках питания, цифровых усилителях [Рл 5/00-29].

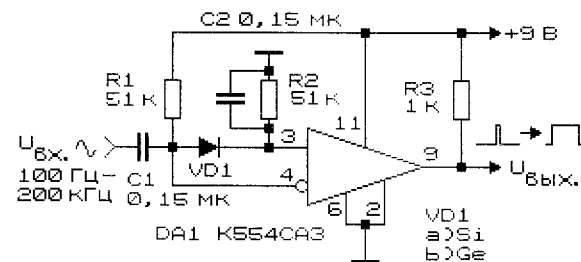


Рис. 19.8

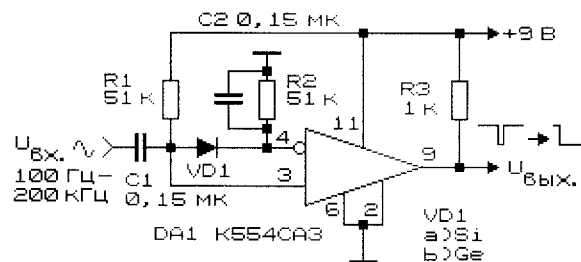


Рис. 19.9

При подаче на устройство входного сигнала синусоидальной или иной формы с увеличением амплитуды, начиная с некоторого порогового значения, на выходе устройства сформируются прямоугольные импульсы, ширина которых будет зависеть от амплитуды входного сигнала. Схемы не требуют настройки,

## 19. Компараторы, градиентные реле

установки порогов. Полоса рабочих частот определяется емкостью конденсаторов  $C1$  и  $C2$ . Устройства на рис. 19.8 и 19.9 отличаются способом подключения входов компаратора и, соответственно, «полярностью» выходных сигналов.

Для германиевых диодов пороговое напряжение начала работы преобразователей в полосе частот  $5...200$  кГц составляет  $80...90$  мВ, для кремниевых —  $250...270$  мВ. Максимальная амплитуда входного сигнала — в пределах  $2...2,5$  В.

## 20. Индикаторы электрических и магнитных полей

Индикаторы электрических полей могут быть использованы для индивидуальной защиты электромонтеров, при поиске мест повреждений электрических сетей. С их помощью определяется наличие электростатических зарядов в полупроводниковом, текстильном производствах, хранилищах легковоспламеняющихся жидкостей. При поиске источников магнитных полей, определении их конфигурации и исследовании полей рассеяния трансформаторов, дросселей и электродвигателей не обойтись без индикаторов магнитных полей.

Схема индикатора высокочастотных излучений показана на рис. 20.1. Сигнал с антенны попадает на детектор, выполненный на германиевом диоде. Далее через Г-образный LC-фильтр сигнал поступает на базу транзистора, в коллекторную цепь которого включен микроамперметр. По нему и определяется мощность высокочастотных излучений.

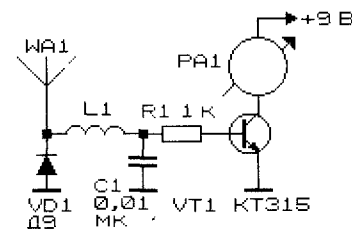


Рис. 20.1

Для индикации низкочастотных электрических полей используют индикаторы с входным каскадом на полевом транзисторе (рис. 20.2 — 20.7). Первый из них (рис. 20.2) выполнен на основе мультивибратора [ВРЛ 80-28, Р 8/91-76]. Канал полевого транзистора является управляемым элементом, сопротивление которого зависит от величины контролируемого электрического поля. К затвору транзистора подключена антенна. При внесении индикатора в электрическое поле, сопротивление исток — сток полевого транзистора возрастает, и мультивибратор включается.

## 20. Индикаторы электрических и магнитных полей

В телефонном капсюле раздается звуковой сигнал, частота которого зависит от напряженности электрического поля.

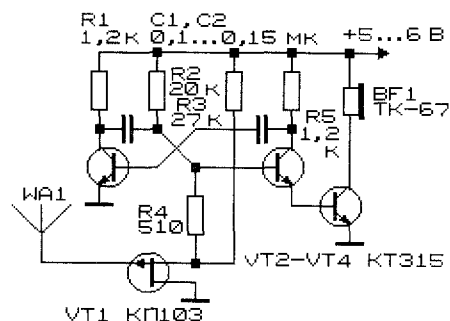


Рис. 20.2

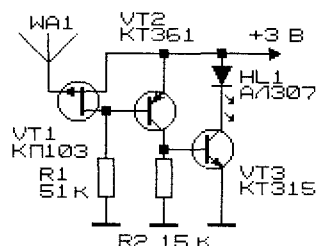


Рис. 20.3

Следующие две конструкции по схемам Д. Болотника и Д. Приймака (рис. 20.3 и 20.4) предназначены для поиска неисправностей в новогодних электрических гирляндах [Р 11/88-56]. Индикатор (рис. 20.3) в целом представляет собой резистор с управляемым сопротивлением. Роль такого сопротивления опять же играет канал сток — исток полевого транзистора, дополненного двухкаскадным усилителем постоянного тока. Индикатор (рис. 20.4) выполнен по схеме управляемого низкочастотного генератора. Он содержит пороговое устройство, усилитель и детектор сигнала, наведенного в антенне переменным электрическим полем. Все эти функции выполняет один транзистор — VT1. На транзисторах VT2 и VT3 собран генератор низкой частоты, работающий в ждущем режиме. Как только антенну устройства приближают к источнику электрического поля, транзистор VT1 включает звуковой генератор.

## 20. Индикаторы электрических и магнитных полей

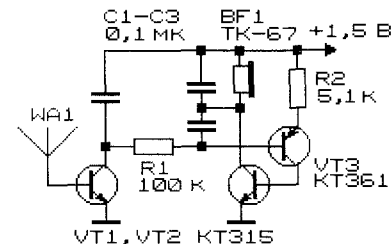


Рис. 20.4

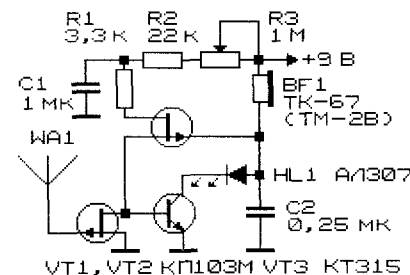


Рис. 20.5

Индикатор электрического поля (рис. 20.5) предназначен для поиска скрытой проводки, электрических цепей, находящихся под напряжением, индикации приближения к зоне высоковольтных проводов, наличия переменных или постоянных электрических полей [РаЭ 8/00-15].

В устройстве использован заторможенный генератор светозвуковых импульсов, выполненный на аналоге инжекционно-полевого транзистора (VT2, VT3). При отсутствии электрического поля высокой напряженности сопротивление сток — исток полевого транзистора VT1 невелико, транзистор VT3 закрыт, генерация отсутствует. Ток, потребляемый устройством, составляет единицы, десятки мкА. При наличии постоянного или переменного электрического поля высокой напряженности сопротивление сток — исток полевого транзистора VT1 возрастает, и устройство начинает вырабатывать светозвуковые сигналы. Так, если в качестве антенны использован вывод затвора транзистора VT1, индикатор реагирует на приближение сетевого провода на расстояние около 25 мм.

## 20. Индикаторы электрических и магнитных полей

Потенциометром R3 регулируется чувствительность, резистор R1 задает длительность светозвуковой посылки, конденсатор C1 — частоту их следования, а C2 определяет тембр звукового сигнала.

Для повышения чувствительности в качестве антенны может быть использован отрезок изолированного провода или телескопическая антенна. Для защиты транзистора VT1 от пробоя параллельно переходу затвор — исток стоит подключить стабилитрон или высокоомный резистор.

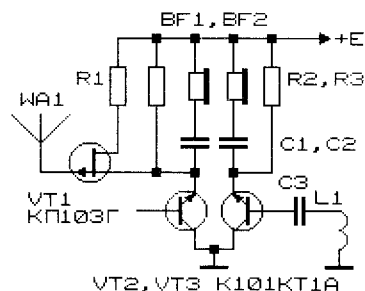


Рис. 20.6

Индикатор электрических и магнитных полей (рис. 20.6) содержит релаксационный генератор импульсов. Он выполнен на биполярном лавинном транзисторе (транзистор микросхемы K101КТ1А, управляемый электронным ключом на полевом транзисторе типа КП103Г), к затвору которого подключена антенна. Для задания рабочей точки генератора (срыв генерации в отсутствии индицируемых электрических полей) используют резисторы R1 и R2. Генератор импульсов через конденсатор C1 нагружен на высокоомные головные телефоны. При наличии переменного электрического поля (или перемещении предметов, несущих электростатические заряды) на антенне и, соответственно, затворе полевого транзистора появляется сигнал переменного тока, что приводит к изменению электрического сопротивления перехода сток — исток с частотой модуляции. В соответствии с этим релаксационный генератор начинает генерировать пакеты модулированных импульсов, а в головных телефонах будет прослушиваться звуковой сигнал.

Чувствительность прибора (дальность обнаружения токонесящего провода сети 220 В 50 Гц) составляет 15...20 см. В

## 20. Индикаторы электрических и магнитных полей

качестве антенны использован стальной штырь 300x3 мм. При напряжении питания 9 В ток, потребляемый индикатором в режиме молчания, составляет 100 мкА, в рабочем режиме — 20 мкА.

Индикатор магнитных полей (рис. 20.6) выполнен на втором транзисторе микросхемы. Нагрузкой второго генератора является высокоомный головной телефон. Сигнал переменного тока, снимаемый с индуктивного датчика магнитного поля L1, через переходной конденсатор C1 подается на базу лавинного транзистора, не связанную по постоянному току с другими элементами схемы («плавающая» рабочая точка). В режиме индикации переменного магнитного поля напряжение на управляющем электроде (базе) лавинного транзистора периодически изменяется, изменяется также и напряжение лавинного пробоя коллекторного перехода и, в связи с этим, частота и продолжительность генерации.

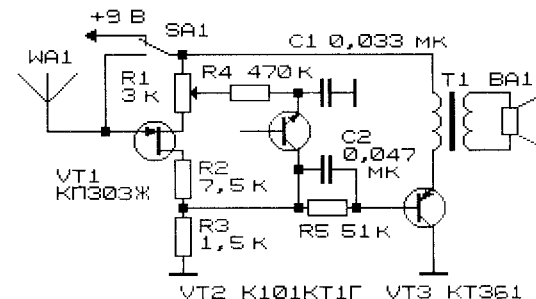


Рис. 20.7

Индикатор (рис. 20.7) изготовлен на основе делителя напряжения, одним из элементов которого является полевой транзистор VT1, сопротивление перехода сток — исток которого определяется потенциалом управляющего электрода (затвора) с подключенной к нему антенной [Рк 6/00-19]. К резистивному делителю напряжения подключен релаксационный генератор импульсов на лавинном транзисторе VT2, работающий в ждущем режиме. Уровень начального напряжения (порог срабатывания), подаваемого на релаксационный генератор импульсов, устанавливается потенциометром R1.

Для предотвращения пробоя управляющего перехода полевого транзистора в схему введена защита (при отключении источника питания цепь затвор — исток закорочена). Повышение уровня громкости звукового сигнала достигается введением

## 20. Индикаторы электрических и магнитных полей

усилителя на биполярном транзисторе VT3. В качестве нагрузки выходного транзистора VT3 можно использовать низкоомный телефонный капсюль.

Для упрощения схемы высокоомный телефонный капсюль, например, ТОН-1, ТОН-2 (либо «среднеомный» — ТК-67, ТМ-2) может быть включен вместо резистора R3. В этом случае необходимость в использовании элементов VT3, R4, C2 отпадает. Разъем, в который включается телефон, для снижения габаритов устройства, может одновременно служить выключателем питания.

При отсутствии входного сигнала сопротивление перехода сток — исток полевого транзистора составляет несколько сотен Ом, и напряжение, снимаемое с движка потенциометра на питание релаксационного генератора импульсов, мало. При появлении сигнала на управляющем электроде полевого транзистора сопротивление перехода сток — исток последнего возрастает пропорционально уровню входного сигнала до единиц, сотен кОм. Это приводит к увеличению напряжения, подаваемого на релаксационный генератор импульсов до величины, достаточной для возникновения колебаний, частота которых определяется произведением  $R4C1$ . Потребляемый устройством ток при отсутствии сигнала — 0,6 мА, в режиме индикации — 0,2...0,3 мА. Дальность обнаружения токонесущего провода сети 220 В 50 Гц при длине штыревой антенны 10 см составляет 10...100 см.

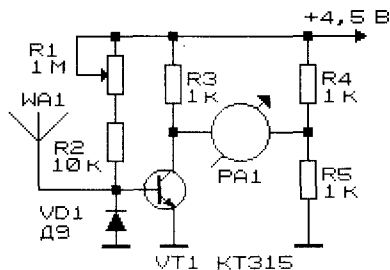


Рис. 20.8

Индикатор высокочастотного электрического поля (рис. 20.8) [МК 2/86-13] отличается от аналога (рис. 20.1) тем, что его выходная часть выполнена по мостовой схеме, имеющей повышенную чувствительность. Резистор R1 предназначен для балансировки схемы (установки стрелки прибора на ноль).

## 20. Индикаторы электрических и магнитных полей

Ждущий мультивибратор (рис. 20.9) использован для индикации сетевого напряжения [МК 7/88-12]. Индикатор работает при приближении его антенны к сетевому проводу (220 В) на расстояние 2...3 см. Частота генерации для приведенных на схеме номиналов близка к 1 Гц.

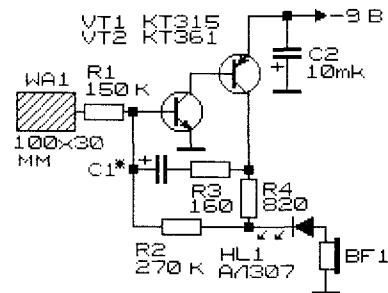


Рис. 20.9

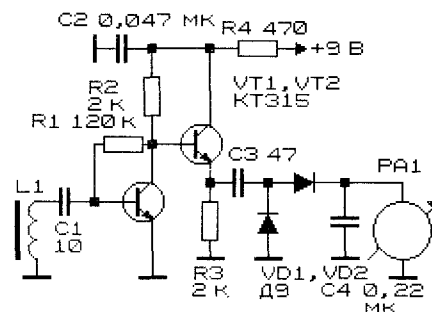


Рис. 20.10

Индикаторы магнитных полей по схемам, представленным на рис. 20.10 — 20.13, имеют индуктивные датчики, в качестве которых может быть использован телефонный капсюль без мембраны, либо многовитковая катушка индуктивности с железным сердечником.

Индикатор (рис. 20.10) выполнен по схеме радиоприемника 2-V-0. Он содержит датчик, двухкаскадный усилитель, детектор с удвоением напряжения и показывающий прибор.

Индикаторы (рис. 20.11, 20.12) имеют светодиодную индикацию и предназначены для качественной индикации магнитных полей [Р 8/91-83; Р 3/85-49].

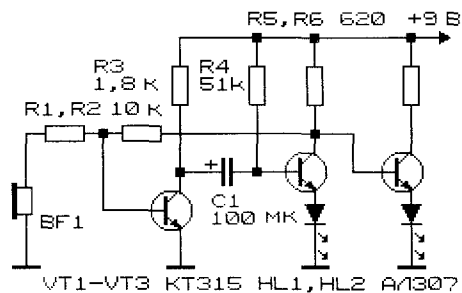


Рис. 20.11

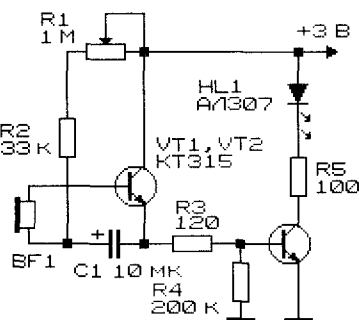


Рис. 20.12

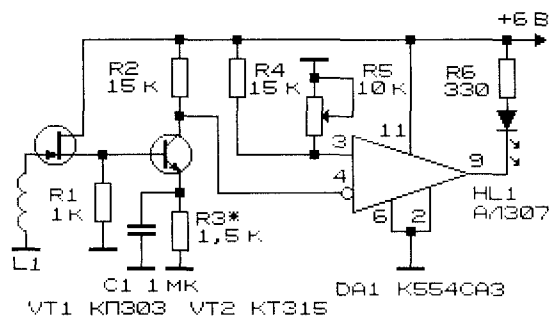


Рис. 20.13

Более сложную конструкцию имеет индикатор по схеме И.П. Шелестова, изображенный на рис. 20.13. Датчик магнитного поля

подключен к управляющему переходу полевого транзистора, в цепь истока которого включено сопротивление нагрузки R1. Сигнал с этого сопротивления усиливается каскадом на транзисторе VT2. Далее в схеме использован компаратор на микросхеме DA1 типа K554CA3. Компаратор сравнивает уровни двух сигналов: напряжения, снимаемого с регулируемого резистивного делителя R4, R5 (регулятора чувствительности) и напряжения, снимаемого с коллектора транзистора VT2. На выходе компаратора включен светодиодный индикатор.

## 21. Металлоискатели

Металлоискатели, как это следует из самого названия, предназначены для поиска металлических предметов и используются по достаточно узкому назначению. Однако способы их реализации достаточно разнообразны и составляют целое направление в радиоэлектронике.

Металлоискатель по схеме *Н. Мартынюка* (рис. 21.1) выполнен на основе миниатюрного радиопередатчика, излучение которого модулировано звуковым сигналом [Рл 8/97-30]. Модулятор — низкочастотный генератор выполнен по хорошо известной схеме симметричного мультивибратора. Сигнал с коллектора одного из транзисторов мультивибратора подается на базу транзистора высокочастотного генератора (VT3). Рабочая частота генератора располагается в области частот *УКВ-ЧМ* радиовещательного диапазона (64...108 МГц). В качестве катушки индуктивности колебательного контура использован отрезок телевизионного кабеля в виде витка диаметром 15...25 см.

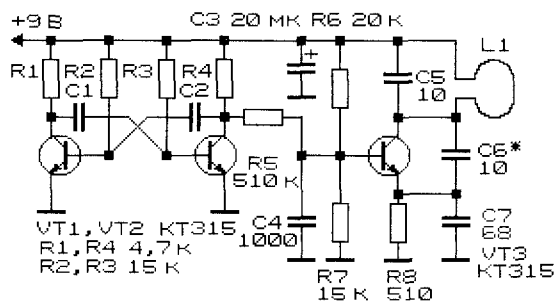


Рис. 21.1

Если к катушке индуктивности колебательного контура приблизить металлический предмет, частота генерации заметно изменится. Чем ближе поднесен предмет к катушке, тем больше будет уход частоты. Для регистрации изменения частоты используется обычный *ЧМ*-радиоприемник, настроенный на частоту *ВЧ* генератора. Систему автоподстройки частоты приемника следует отключить. В отсутствие металлического предмета из громкоговорителя приемника слышен громкий звуковой сигнал.

Если к катушке индуктивности поднести кусок металла, то частота генерации изменится, а громкость сигнала снизится. Недостатком устройства является его реакция не только на металлические, но и на любые другие токопроводящие предметы.

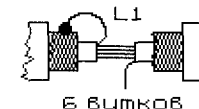


Рис. 21.2

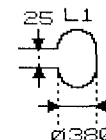


Рис. 21.3

На рис. 21.2 — 21.4 показана схема металлоискателя с другим принципом действия, основанным на использовании низкочастотного LC-генератора (например, по схеме, в главе 12) и мостового индикатора изменения частоты. Поисковая катушка металлоискателя выполнена в соответствии с рис. 21.2, 21.3 (с коррекцией числа витков). Выходной сигнал с генератора поступает на мостовую измерительную схему. В качестве нуль-индикатора моста использован высокоомный телефонный капсюль *ТОН-1* или *ТОН-2*, который можно заменить стрелочным или иным внешним измерительным прибором переменного тока. Генератор работает на частоте  $f_1$ , например, 800 Гц. Мост перед началом работы балансируют на нуль подстройкой конденсатора  $C^*$  колебательного контура поисковой катушки. Частоту  $f_2=f_1$ , при которой мост будет сбалансирован, можно определить из выражения:

$$f_2 = \frac{1}{2 \times \pi \times C1 \times R4}.$$

Изначально в телефонном капсюле звук отсутствует. При внесении в поле поисковой катушки  $L_1$  металлического предмета, частота генерации  $f_1$  изменится, произойдет разбалансировка моста, в телефонном капсюле будет слышен звуковой сигнал.

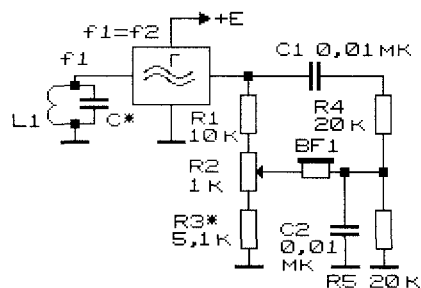


Рис. 21.4

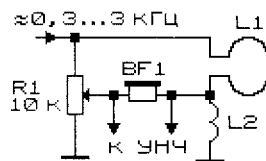


Рис. 21.5

Мостовая схема металлоискателя с использованием поисковой катушки, изменяющей свою индуктивность при приближении металлических предметов, представлена на рис. 21.5. На мост подается сигнал звуковой частоты от низкочастотного генератора. Потенциометром R1 мост балансируют на отсутствие звукового сигнала в телефонном капсюле. Для повышения чувствительности схемы и повышения амплитуды сигнала разбаланса моста к его диагонали может быть подключен усилитель низкой частоты. Индуктивность катушки L2 должна быть сопоставима с индуктивностью поисковой катушки L1.

Металлоискатель, работающий совместно с радиовещательным супергетеродинным радиоприемником средневолнового диапазона, можно собрать по схеме, показанной на рис. 21.6 [Р 10/69-48]. В качестве поисковой катушки может быть использована конструкция, изображенная на рис. 21.2. Устройство представляет собой обычный генератор высокой частоты, работающий на частоте 465 кГц (промежуточная частота любого АМ-радиовещательного приемника). В качестве генератора можно использовать схемы, представленные в главе 12.

В исходном состоянии частота генератора ВЧ, смешиваясь в близкорасположенном радиоприемнике с промежуточной

частотой принимаемого приемником сигнала, приводит к образованию сигнала разностной частоты звукового диапазона. При изменении частоты генерации (при наличии в поле действия поисковой катушки металла), тональность звукового сигнала меняется пропорционально количеству (объему) металлического предмета, его удалению, природе металла (одни металлы повышают частоту генерации, другие, напротив, понижают).

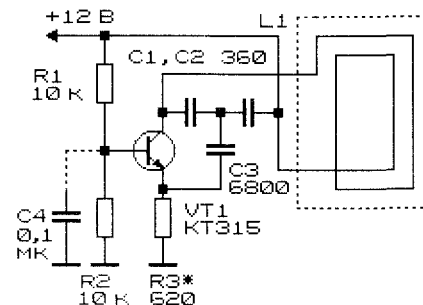


Рис. 21.6

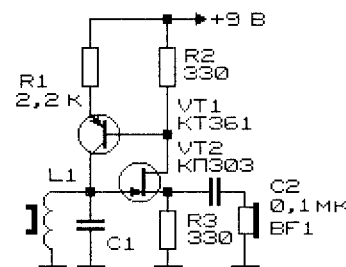


Рис. 21.7

Схема простого металлоискателя представлена на рис. 21.7. В устройстве использован низкочастотный LC-генератор, частота которого зависит от индуктивности поисковой катушки L1. При наличии металлического предмета частота генерации изменяется, что можно услышать с помощью телефонного капсюля BF1. Чувствительность такой схемы невысока, т.к. на слух определять малые изменения частоты достаточно сложно.

Металлоискатель малых количеств магнитного материала может быть выполнен по схеме на рис. 21.8. В качестве датчика

такого устройства использована универсальная головка от магнитофона. Для усиления слабых сигналов, снимаемых с датчика, необходимо использовать высокочувствительный усилитель низкой частоты, выходной сигнал которого поступает на телефонный капсюль.

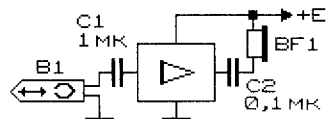


Рис. 21.8

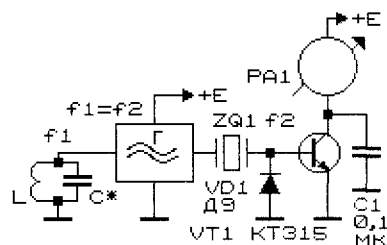


Рис. 21.9

Иной метод индикации наличия металла использован в устройстве по схеме на рис. 21.9. Устройство содержит высокочастотный генератор с поисковой катушкой индуктивности и работает на частоте  $f_1$ . Для индикации величины сигнала использован простейший высокочастотный милливольтметр. Он выполнен на диоде VD1, транзисторе VT1, конденсаторе C1 и микроамперметре (микроамперметре) PA1. Между выходом генератора и входом высокочастотного милливольтметра включен кварцевый резонатор. Если частота генерации  $f_1$  и частота кварцевого резонатора  $f_2$  совпадают, стрелка прибора будет на нуле. Стоит частоте генерации измениться в результате внесения металлического предмета в поле поисковой катушки, стрелка прибора отклонится.

Рабочие частоты таких металлоискателей обычно находятся в диапазоне 0,1...2 МГц. Для начальной установки частоты генерации этого и других приборов подобного назначения используют конденсатор переменной емкости или подстроечный конденсатор, подключенный параллельно поисковой катушке индуктивности.

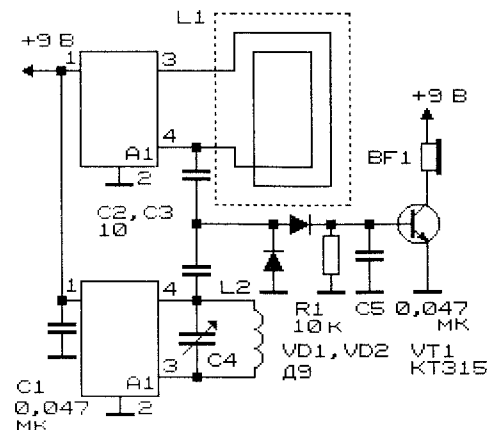


Рис. 21.10

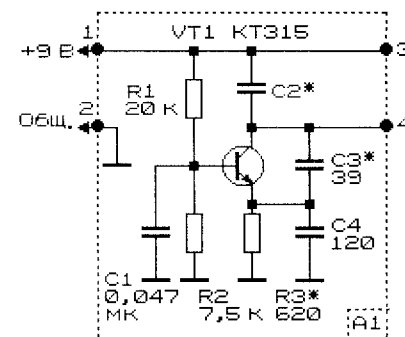


Рис. 21.11

На рис. 21.10 приведена типовая схема самого распространенного металлоискателя. Его принцип действия основан на биениях частот эталонного и поискового генераторов. Однотипный узел, общий для обоих генераторов, показан на рис. 21.11. Генератор выполнен по общеизвестной схеме «емкостной трехточки». На рис. 21.10 показана полная схема устройства. В качестве поисковой катушки L1 применяется конструкция, представленная на рис. 21.2 и 21.3. Начальные частоты генераторов должны быть одинаковы. Выходные сигналы с генераторов через конденсаторы C2, C3 (рис. 21.10) подаются на смеситель, выделяющий разностную частоту.

Выделенный звуковой сигнал через усилительный каскад на транзисторе VT1 поступает на телефонный капсюль BF1.

Металлоискатель может работать и на принципе срыва частоты генерации. Схема такого устройства изображена на рис. 21.12. При выполнении определенных условий (частота кварцевого резонатора равна резонансной частоте колебательного LC-контура с поисковой катушкой) ток в цепи эмиттера транзистора VT1 минимален. Если резонансная частота LC-контура заметно изменится, то генерация сорвется, а показания прибора значительно возрастут. Параллельно измерительному прибору рекомендуется подключить конденсатор емкостью 1...100 нФ.

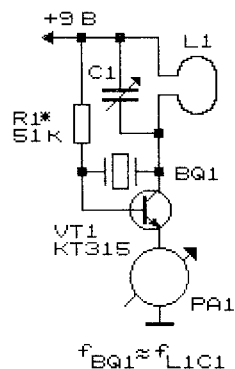


Рис. 21.12

Искатели металла, предназначенные для поиска небольших металлических предметов в быту, могут быть собраны по представленным на рис. 21.13 — 21.15 схемам.

Такие металлоискатели работают также на принципе срыва генерации: генератор, в состав которого входит поисковая катушка индуктивности, работает в «критическом» режиме. Режим работы генератора установлен подстроечными элементами (потенциометрами) так, что малейшее изменение условий его работы, например, изменение индуктивности поисковой катушки, приведет к срыву колебаний. Для индикации наличия/отсутствия генерации использованы светодиодные индикаторы уровня (наличия) переменного напряжения.

Катушки индуктивности L1 и L2 в схеме на рис. 21.13 содержат, соответственно, 50 и 80 витков провода диаметром

0,7...0,75 мм [Fs 8/75]. Катушки намотаны на ферритовом сердечнике 600НН диаметром 10 мм и длиной 100...140 мм. Рабочая частота генератора около 150 кГц.

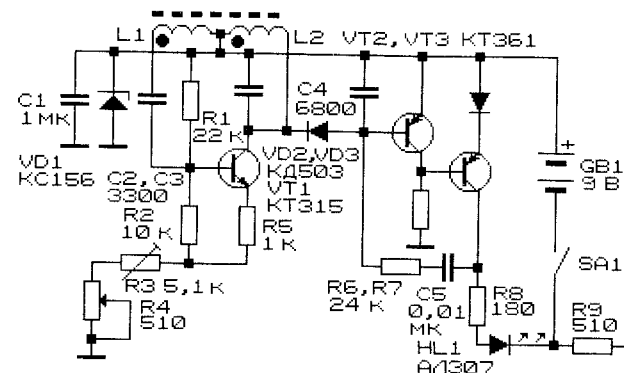


Рис. 21.13

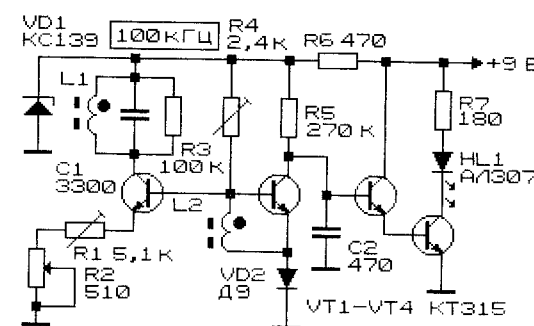


Рис. 21.14

Катушки индуктивности L1 и L2 другой схемы (рис. 21.14), выполненной в соответствии с патентом ФРГ (№ 2027408, 1974 г.), имеют 120 и 45 витков, соответственно, при диаметре провода 0,3 мм [P 7/80-61]. Использован ферритовый сердечник 400НН или 600НН диаметром 8 мм и длиной 120 мм.

Бытовой искатель металла (БИМ) (рис. 21.15), выпускавшийся ранее заводом «Радиоприбор» (г. Москва), позволяет обнаружить мелкие металлические предметы на удалении до 45 мм. Намоточные данные его катушек индуктивности неизвестны,

## 21. Металлоискатели

однако при повторении схемы можно ориентироваться на данные, приводимые для приборов аналогичного назначения (рис. 21.13 и 21.14).

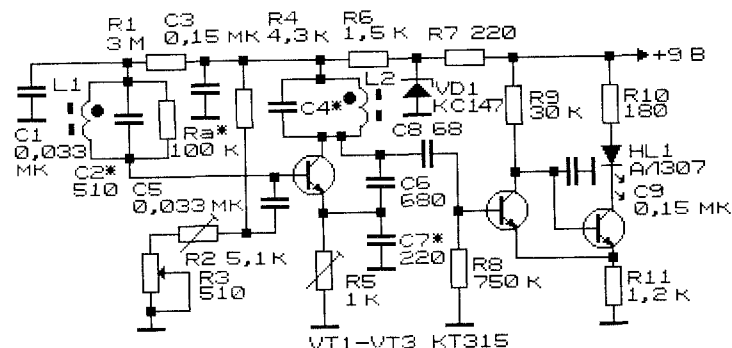


Рис. 21.15

## 22. Кодовые замки

Обычные механические замки имеют невысокую степень защиты в силу ограниченного числа комбинаций. Также возможна потеря ключа или снятие с него слепок. Электронные кодовые замки позволяют обеспечить индивидуальный или коллективный доступ в помещения, к оборудованию, сейфам и другим объектам без применения традиционных механических замков и ключей.

В электронных кодовых замках, как и в механических, часто используют принцип совпадения признаков. Очевидно, что наиболее простой и, соответственно, предельно надежной схемой совпадений является заданная пользователем последовательность включения элементов коммутации.

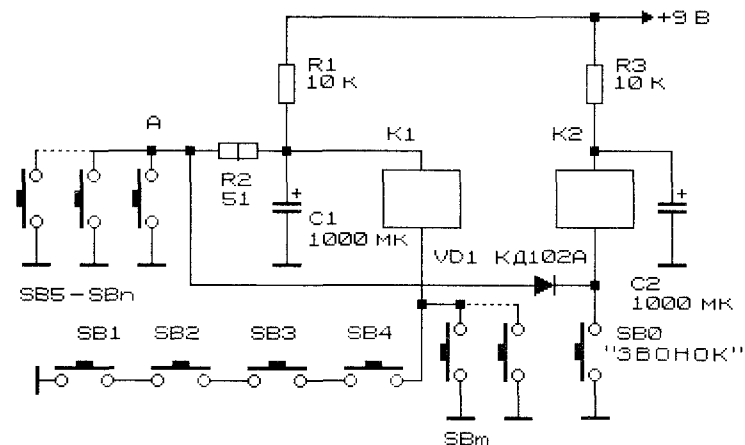


Рис. 22.1

На рис. 22.1 показана одна из простейших схем кодового замка с использованием электромагнитного запорного устройства [Рл 9/99-24]. Схема питания электромагнитного замка и его конструкция не приводятся. Для включения исполняющего устройства (электромагнитного замка) предназначено реле K1, а реле K2 включает звонок, конкретная схема которого также не приводится. Кнопки наборного поля SB1 — SBn, а также кнопку SB0 «Звонок» устанавливают на входной двери.

Кнопки SBm устанавливают внутри помещения в разных местах, что позволяет хозяину открывать дверь, не подходя к ней. Активными для набора кодовой комбинации являются кнопки SB1 — SB4. Их число может быть увеличено или уменьшено по усмотрению пользователя.

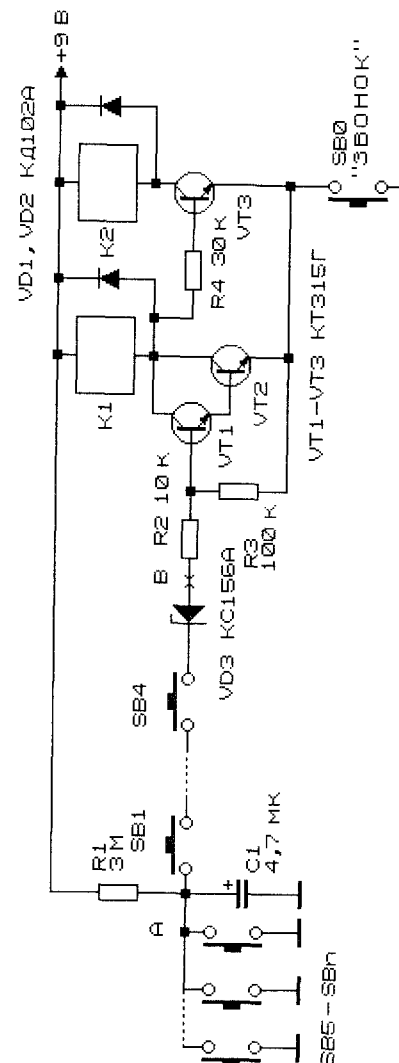
Устройство работает следующим образом: при подаче питания конденсаторы C1 и C2 заряжаются за 10 сек, и электронный замок готов к работе. Реле K1 срабатывает на время разряда конденсатора C1 через обмотку (на 2...3 сек) только при одновременном нажатии кнопок SB1 — SB4, и, соответственно, не реагирует на их последовательное поочередное нажатие. Если будет ошибочно нажата любая из кнопок SB5 — SBn, произойдет мгновенный разряд конденсатора C1 через резистор R2, и устройство придет в рабочее состояние только через 10 сек (после заряда конденсатора C1). В это время даже правильный набор кода не сможет открыть замок.

Схема питания реле K2 звонковой цепи также использует времязадающую цепь — R3, C2. Это исключает частую подачу сигналов (чаще чем через 10 сек и длительностью свыше 2...3 сек), что не создает лишнего шума и не позволяет пережевать обмотку звонка.

Кнопка звонка SB0 соединена через диод VD1 и резистор R2 с конденсатором C1 кодового замка. При попытке проникновения в помещение злоумышленники зачастую проверяют наличие в нем хозяев — нажимают на кнопку звонка, а затем пытаются открыть дверь. Нажатие на звонковую кнопку SB0 приводит к разряду конденсатора C1, что делает невозможным открытие замка на время задержки даже при наборе правильной комбинации.

На рис. 22.2 показана схема кодового замка с использованием иного способа защиты: замок срабатывает только при одновременном нажатии кнопок SB1 — SB4 и кнопки SB0 «Звонок» [Рл 9/99-24]. Если кнопка SB0 будет нажата до одновременного нажатия кнопок SB1 — SB4, включается звонок, что позволяет привлечь внимание хозяев (если они дома) или сторонних лиц.

Как и в предыдущем случае, нажатие на любую из кнопок SB5 — SBm вызовет разряд времязадающего конденсатора C1. Повторный набор будет возможен только через 10 сек, когда



напряжение на обкладках конденсатора превысит напряжение пробоя стабилитрона VD3, включенного в базовую цепь составного транзистора VT1, VT2. Реле K1 (управление электромагнитным замком) является нагрузкой составного транзистора, а реле K2 («Звонок») — нагрузкой транзистора VT3.

Если набран правильный код и активизировано реле K1, транзистор VT3 закрыт, и реле K2 (управление звонковой цепью) будет обесточено, нажатие кнопки SB0 «Звонок» вызовет срабатывание реле K1 (управление электромагнитом замка). Как вариант может быть использовано иное подключение реле K1, K2 (рис. 22.3). Кнопки SBm предназначены для дистанционного открытия замка изнутри помещения. При нажатии на кнопку SB0 («Звонок») произойдет разряд конденсатора C1.

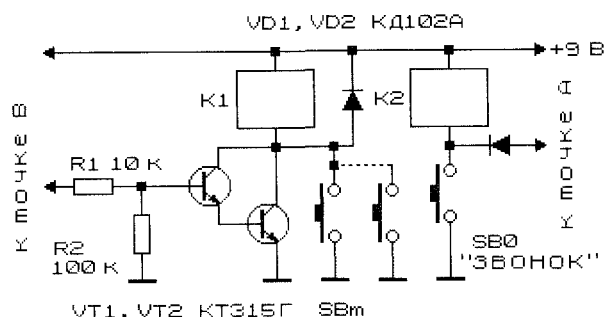


Рис. 22.3

Сочетанием схем, приведенных на рис. 22.1 — 22.3, может быть получен другой вариант схемы (рис. 22.4).

По схеме на рис. 22.5 может быть реализован электронный кодовый замок иного принципа действия [Рл 9/99-24]. Особенностью замка является строго обусловленная последовательность нажатия кнопок. В результате этого, сначала происходит заряд конденсатора C3, а потом его подключение последовательно с заряженным конденсатором C2. Удвоенное напряжение этого «источника напряжения» через стабилитрон VD3 поступает на базу составного транзистора VT1, VT2, который управляет реле K2 (электромагнит).

Для срабатывания этого устройства необходимо: одновременно нажать на кнопки SB2 и SB4, затем, отпустив эти кнопки, одновременно нажать на кнопки SB1 и SB3. При нажатии на

любую из кнопок SB5 — SBm или SB0 «Звонок» произойдет разряд конденсатора C2 и отсрочка на 10 сек времени повторной попытки набора. Для усложнения условий набора кода может быть использована цепочка элементов (рис. 22.6) вместо конденсатора C3. Эта цепочка задает время (продолжительность) нажатия на кнопки при заряде и определяет время саморазряда конденсатора C3.

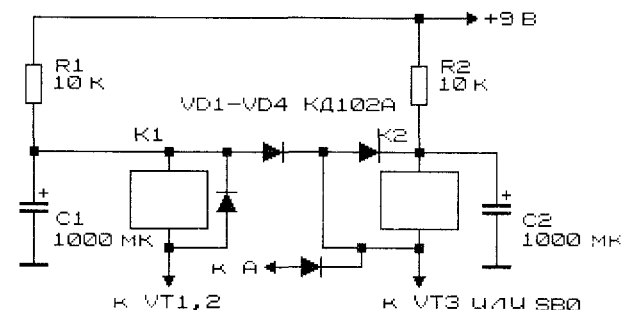


Рис. 22.4

Приведенные выше схемы работают при одновременном нажатии нескольких кнопок. Число возможных комбинаций при четырехкнопочном наборе кода и кодовом поле 3x3 (9 кнопок) составляет 3024, при кодовом поле 4x4 — 43680, при 5x5 — 303600.

Местоположение кнопок в наборном поле определяет пользователь. Периодически рекомендуется менять код набора. Тем самым снижается вероятность подбора кода посторонними лицами путем последовательного перебора комбинаций. При неизменном коде наиболее часто используемые кнопки загрязняются и демаскируют себя. Кнопки должны включаться без щелчка, чтобы нельзя было на слух определить число нажатий. При наборе кода замков, выполненных по схемам рис. 22.1 — 22.4, рекомендуется имитировать последовательное нажатие кнопок. В любом случае нажимаемые кнопки не должны быть видны посторонним.

Электронный замок следует разместить в металлическом закрытом корпусе как для снижения влияния на работу замка сетевых наводок, так и для ограничения или исключения возможности визуального установления кода замка (при снятии крышки устройства). Для повышения надежности работы

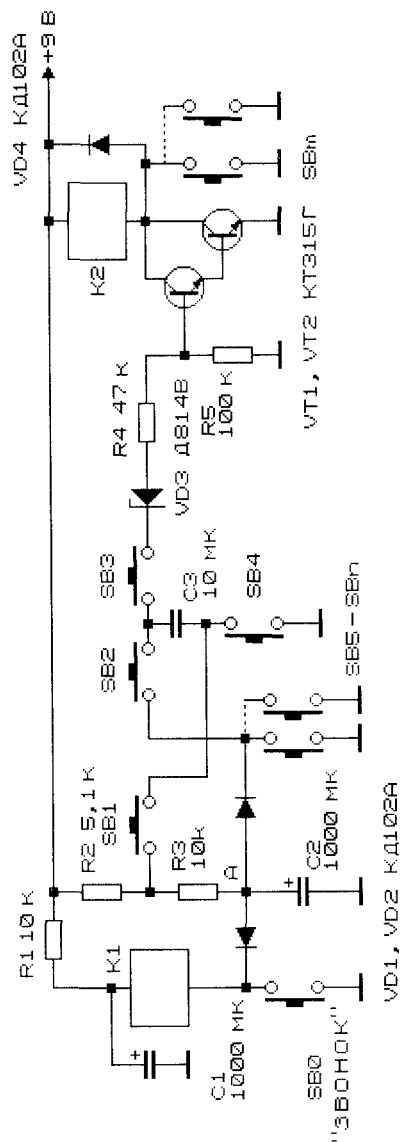


Рис. 22.5

устройства желательно предусмотреть резервированное аккумуляторное питание.

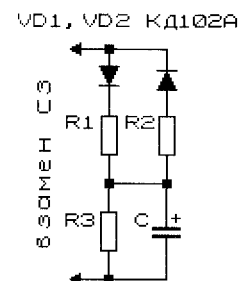


Рис. 22.6

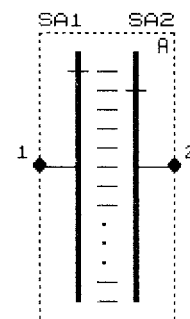


Рис. 22.7

Предельно простые кодовые замки и их элементы показаны на рис. 22.7 и 22.8. Работа замка основана на последовательном и единственно правильном соединении переключателей. На рис. 22.7 изображен один из элементов кодового замка, представляющий собой двойной многопозиционный переключатель. Подобные устройства используют в камерах хранения вокзалов. В кодовом замке другого типа использована последовательность таких элементов (рис. 22.8). Чем больше число элементов, тем выше степень секретности замка: она возрастает пропорционально числу позиций переключателя SA2 (SA1) в степени  $n$ , где  $n$  — число типовых элементов кодового замка.

Внутренними (скрытыми от постороннего взора) переключателями SA2 (цепочкой типовых элементов) устанавливают требуемый цифровой и/или буквенный код. После этого дверь

камеры захлопывают, и устройство переходит в режим охраны. Для того чтобы дверцу можно было открыть, на внешних переключателях SA1 необходимо установить «правильный» код и нажать кнопку подачи питания на исполнительный механизм. Если был набран неверный код, включится сигнал тревоги. Подробности выполнения такого варианта схемы мы специально не приводим, полагаясь на то, что читатель сумеет самостоятельно или с помощью наставника решить эту задачу.

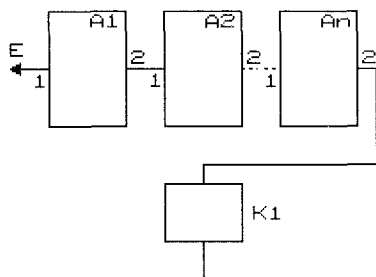


Рис. 22.8

Для настройки и экспериментов со схемами в качестве нагрузок устройств вместо обмоток реле могут быть использованы генераторы звуковых частот либо светоизлучающие диоды (с токоограничивающим резистором величиной 330...560 Ом). Так, вместо реле («Звонок») во всех схемах можно включить генератор звуковых сигналов, см., например, схемы в главе 11. В качестве нагрузки можно использовать и высокочастотные генераторы малой мощности, что позволит осуществлять дистанционное управление различными приборами или сигнализировать о попытках проникновения в помещение.

При использовании в схемах реле, их следует отбирать по напряжению срабатывания ниже напряжения питания, причем рабочий ток реле должен быть таков, чтобы времяограничивающие конденсаторы, включенные параллельно обмотке реле, успевали полностью разряжаться за 2...3 сек.

Для дальнейшего повышения надежности кодовых замков перспективно использование магнитоуправляемых контактов (герконов) — герметичных контактов, заключенных в запаянную стеклянную ампулу. Контакт срабатывает при поднесении к нему постоянного магнита даже через разделяющую их пластинку из

немагнитного материала. Это значительно повысит долговечность и скрытность замка.

Конструирование кодовых замков полезно не только в связи с их практической значимостью, но, главным образом, в плане развития творческой инициативы, безграничного совершенствования устройств различного, порой неповторимого принципа действия.

На приводимых ниже схемах показаны варианты схем кодовых замков с использованием тиристоров и КМОП-коммутаторов [Рк 5/00-21, Рл 9/99-24].

На рис. 22.9 показан типовой наборный элемент кодового замка, применяемый для этих схем (рис. 22.10 — 22.13). Такие элементы могут быть установлены в атташе-кейсах, индивидуальных сейфах, камерах хранения, системах управления сложным техническим оборудованием, предназначенным для выполнения ответственных работ.

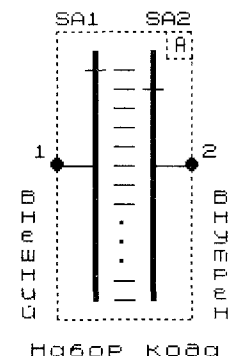


Рис. 22.9

После набора внутреннего кода (установки переключателей SA2 в положение, определяемое пользователем) дверцу захлопывают. Замок автоматически защелкивается. Число возможных вариантов кодовых сочетаний равно числу позиций переключателей SA1 и SA2, возведенных в степень, равную числу типовых наборных элементов.

Для того чтобы открыть замок, необходимо на типовых наборных элементах кодового замка набрать требуемый код. Последовательность типовых элементов замка представляет собой простейшую схему совпадения.



несколько мгновений позже. Это и позволяет пользователю убедиться в том, что дверца захлопнута, и замок закрыт.

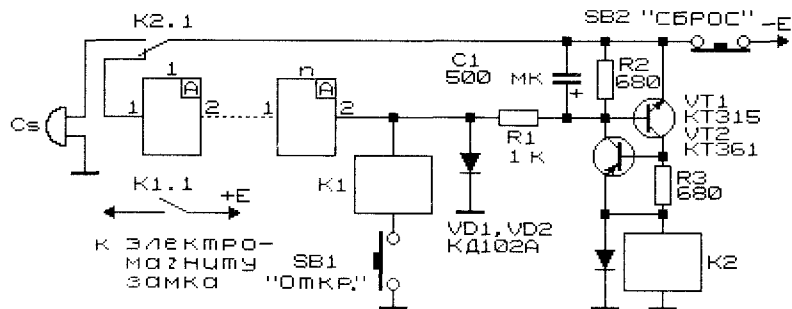


Рис. 22.12

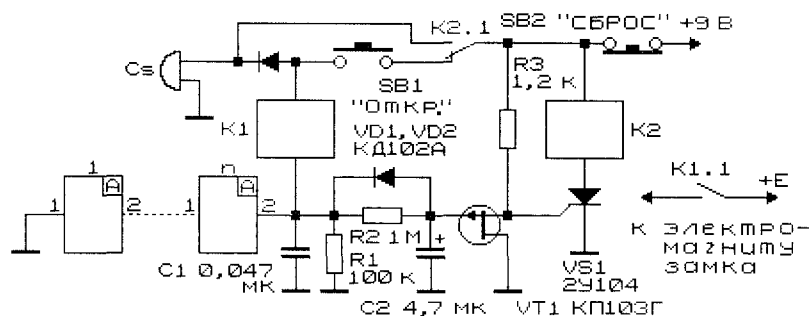


Рис. 22.13

Несколько иной принцип действия использован в схеме кодового замка, изображенной на рис. 22.13.

Как и в предыдущих случаях, при правильном наборе кода последовательно включенные типовые элементы кодового замка обеспечат подачу напряжения питания на обмотку реле K1 при нажатии на кнопку SB1 «Откр.». Одновременно кратковременно включается звонок Cs, звучит звуковой сигнал, предупреждающий об открытии замка. Блокировки действия звукового сигнализатора в этом случае не происходит.

В исходном состоянии сопротивление канала исток — сток полевого транзистора невелико, управляющий электрод тиристора «закорочен» на общий провод, тиристор закрыт.

При неправильном наборе кода и нажатии на кнопку SB1 «Откр.» также звучит звуковой сигнал. Поскольку обмотка реле K1 соединена последовательно с резистором R1 (100 кОм), ток через его обмотку мал, и реле не срабатывает. В то же время напряжение питания поступает через обмотку реле K1 и резистор R2 на конденсатор C2 и заряжает его примерно за 5 сек.

Если кнопка SB1 «Откр.» нажата свыше 5 сек, или производятся попытки подбора кода с периодическим подергиванием дверцы (замыканием кнопки SB1), конденсатор C1 зарядится. Сопротивление исток — сток полевого транзистора VT1 резко возрастет, тиристор VS1 включится. Реле K2 — нагрузка тиристора — своими контактами K2.1 разомкнет цепь набора кода и включит звуковую или иную сигнализацию.

Следующее обращение к замку будет возможно лишь после деблокировки схемы — нажатии кнопки SB2 «Сброс». Время задержки срабатывания (в секундах) определяется параметрами элементов RC-цепочки (C2R2), где емкость выражена в микрофарадах, а сопротивление — в МОм. Для варьирования этого времени можно предусмотреть использование в качестве резистора R2 потенциометра, позволяющего устанавливать любое, на усмотрение пользователя, время задержки срабатывания от 0 до нескольких секунд. Диод VD2 предназначен для мгновенного разряда конденсатора C2 при «правильном» наборе кода и не является обязательным элементом.

Электронный кодовый замок с кнопочным управлением (рис. 22.14) использует КМОП-коммутаторы (микросхема DA1 K561КТ3) и выходной каскад на транзисторе VT1 с исполнительным реле K1 [Пл 9/99-24].

Приведенные ранее схемы работают при одновременном нажатии нескольких кнопок. Электронный замок (рис. 22.14) срабатывает при последовательном или одновременном нажатии «правильных» кнопок SB1 — SB4. Нажатие кнопки SB1 вызывает подачу высокого уровня на управляющий вход ключа DA1.1 (вывод 13 микросхемы) и запоминание этого уровня на конденсаторе C1. Включается ключ DA1.1. Замыкание ключа DA1.1 позволяет при нажатии кнопки SB2 подать напряжение высокого уровня на управляющий вход следующего ключа и т.д. — по цепочке.

Конденсаторы C1 — C4 запоминают состояние «высокого уровня» на время в несколько секунд, определяемое величинами

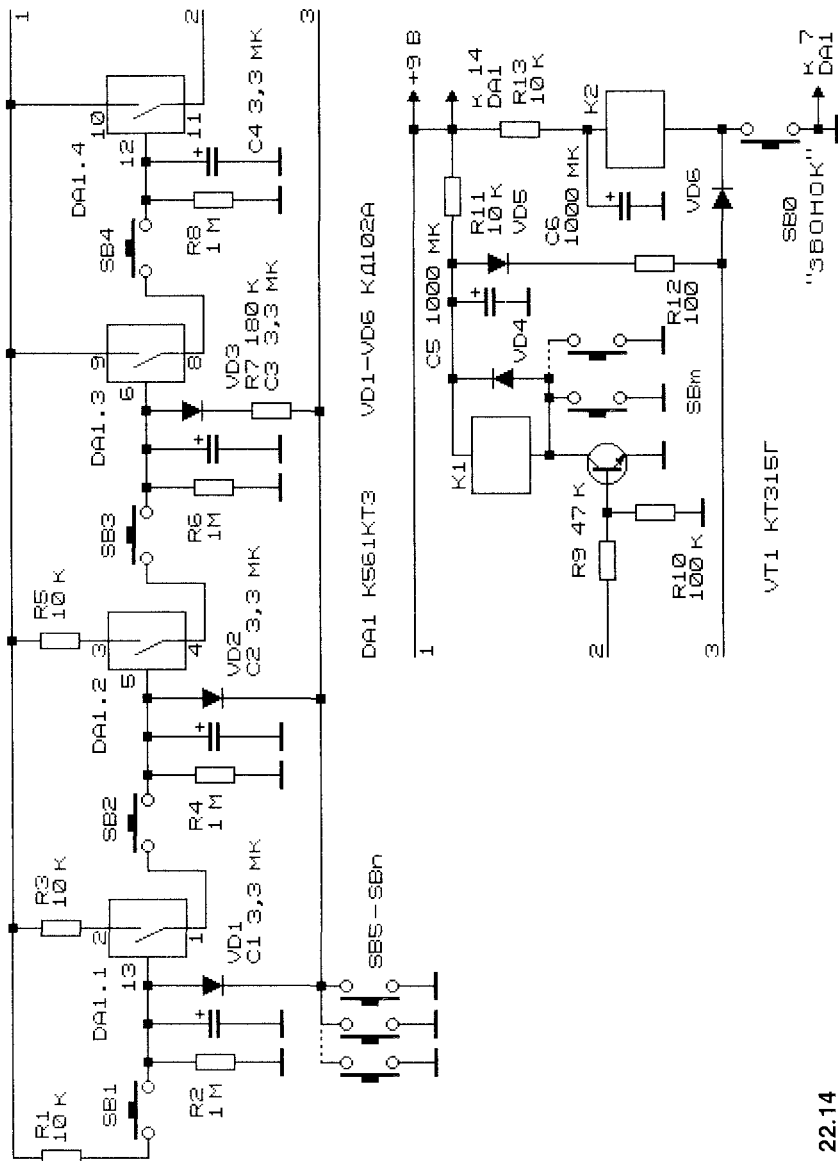


Рис. 22.14

резисторов R2, R4, R6, R8, включенных параллельно этим конденсаторам. Если в процессе набора кода будет ошибочно нажата кнопка SB5 — SBm или время набора кода будет велико, конденсаторы C1 — C4 разрядятся. Ключи коммутатора (коммутаторов) разомкнутся, что не позволит открыть замок.

Как и в предыдущих схемах, неправильный набор кода или нажатие кнопки звонка вызовет разряд конденсатора C5 и воспрепятствует дальнейшему набору кода. Вместо кнопок SB1 — SB4 в схеме (рис. 22.14) могут быть установлены типовые наборные элементы (рис. 22.1). В этом случае замок утрачивает свойство защиты от подбора кода. Как вернуть ему это свойство, рекомендуется решить самостоятельно.

## 23. Имитаторы звуков, электро- и цветомузыка, электронные игрушки

**Имитаторы звуков.** Схема сенсорного звонка конструкции Ю. Доценко, издающего «соловьиные» трели, изображена на рис. 23.1 [Р 7/83-34]. При замыкании пальцем сенсорных контактов E1 и E2 генератор на транзисторах VT1 и VT2 включится, а телефонный капсюль издаст звук относительно высокой тональности. Колебания генератора будут периодически срываться, и звук станет напоминать трели соловья. Это происходит из-за периодической зарядки конденсатора C2 и его последующей разрядки через резистор R2, эмиттерный переход транзистора VT2, диод VD1. Периодичность трелей зависит от емкости конденсатора C1. Начальная частота генерации определяется емкостью конденсатора C2, величиной сопротивления R2 и межэлектродным сопротивлением. Для изменения характера звука можно изменять емкости конденсаторов C1 и C2, а также тип диода VD1. Диод можно заменить транзистором в диодном включении (его переходом). Последовательно с этим диодом можно также попробовать включить конденсатор емкостью от 200 пФ до 10 мкФ.

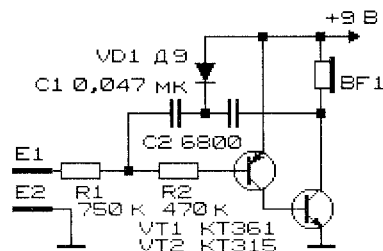


Рис. 23.1

Генератор трелей соловья, выполненный на асимметричном мультивибраторе, собран по схеме, приведенной на рис. 23.2 [Р 5/90-67]. Низкочастотный колебательный контур, образованный телефонным капсюлем и конденсатором C3, периодически возбуждается импульсами, вырабатываемыми мультивибратором. В итоге формируются звуковые сигналы, напоминающие соловьиные трели. В отличие от предыдущей схемы звучание этого

имитатора не управляемое и, следовательно, более однообразное. Тембр звучания можно подбирать, меняя емкость конденсатора C3.

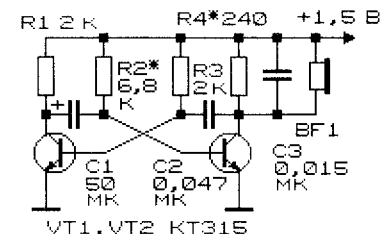


Рис. 23.2

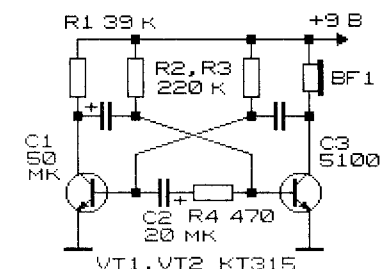


Рис. 23.3

Электронный подражатель пения канарейки описан в книге Б.С. Иванова (рис. 23.3). В его основе также асимметричный мультивибратор. Основное отличие от предыдущей схемы — это RC-цепочка, включенная между базами транзисторов мультивибратора. Однако это несложное нововведение позволяет радикально изменить характер генерируемых звуков.

Имитатор кряканья утки (рис. 23.4), предложенный Е. Бригиневицем, как и другие схемы имитаторов, реализован на асимметричном мультивибраторе [Р 6/88-36]. В одно плечо мультивибратора включен телефонный капсюль BF1, а в другое — последовательно соединенные светодиоды HL1 и HL2. Обе нагрузки работают поочередно: то издается звук, то вспыхивают светодиоды — глаза «утки». Тональность звука подбирается резистором R1. Выключатель устройства желательно выполнить на основе магнитоуправляемого контакта, можно самодельного.

## 23. Имитаторы звуков, электронные игрушки

Тогда игрушка будет включаться при поднесении к ней замаскированного магнита.

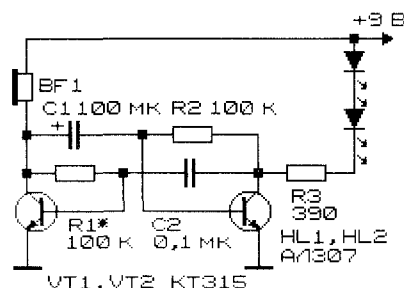


Рис. 23.4

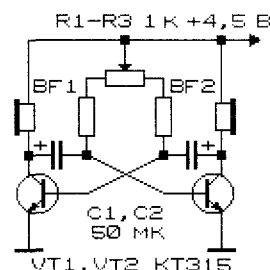


Рис. 23.5

Генератор «шума дождя», описанный в монографии В.В. Мацкевича (рис. 23.5), вырабатывает звуковые импульсы, поочередно воспроизводимые в каждом из телефонных капсулей. Эти щелчки отдаленно напоминают падение капель дождя на подоконник. Для того чтобы придать случайность характеру падения капель, схему (рис. 23.5) можно усовершенствовать, введя, например, последовательно с одним из резисторов канал полевого транзистора. Затвор полевого транзистора будет представлять собой антенну, а сам транзистор будет являться управляемым переменным резистором, сопротивление которого будет зависеть от напряженности электрического поля вблизи антенны.

**Электро- и цветомузыка.** Электронный барабан — схема, генерирующая звуковой сигнал соответствующего звучания при

## 23. Имитаторы звуков, электронные игрушки

прикосновении к сенсорному контакту (рис. 23.6) [МК 4/82-7]. Рабочая частота генерации находится в пределах 50...400 Гц и определяется параметрами RC-элементов устройства. Подобные генераторы могут быть использованы для создания простейшего электромузыкального инструмента с сенсорным управлением.

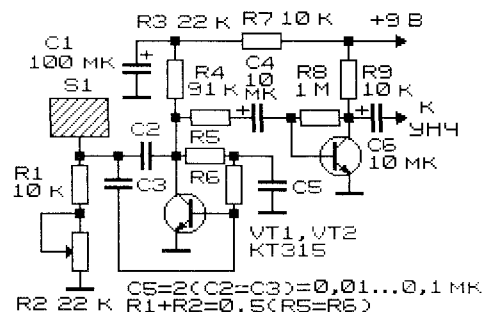


Рис. 23.6

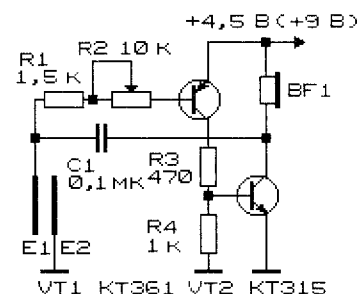


Рис. 23.7

Электронная «скрипка» сенсорного типа представлена схемой, приведенной в книге Б.С. Иванова (рис. 23.7). Если к сенсорным контактам «скрипки» приложить палец, включается генератор импульсов, выполненный на транзисторах VT1 и VT2. В телефонном капсюле раздастся звук, высота которого определяется величиной электрического сопротивления участка пальца, приложенного к сенсорным пластинкам. Если сильнее прижать палец, его сопротивление понизится, соответственно возрастет высота звукового тона. Сопротивление пальца зависит также от его влажности. Изменяя степень прижатия пальца

к контактам, можно исполнять незамысловатую мелодию. Начальную частоту генератора устанавливают потенциометром R2.

Известно, что когда человек волнуется, жжет, то усиливается потоотделение, изменяется кровенаполнение тканей, изменяется их электрическое сопротивление. В таких случаях вновь может пригодиться устройство, схема которого приведена на рис. 23.7. Оно может быть использовано в качестве «детектора лжи». Если к выходу генератора (рис. 23.7) подключить цифровой измерительный прибор (частотомер) или самопишущее устройство с ЧМ-детектором или аналоговым частотомером (см., например, рис. 32.10), можно легко контролировать реакции человеческого организма на внешние и внутренние раздражители.

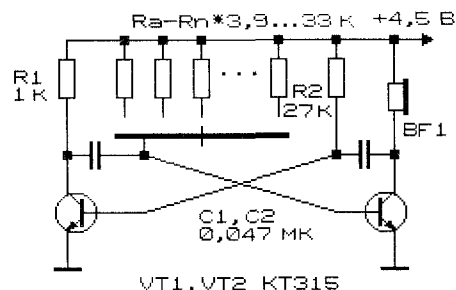


Рис. 23.8

Электромusикальный инструмент на основе мультивибратора [В.В. Мацкевич] вырабатывает электрические импульсы прямоугольной формы, частота которых зависит от величины сопротивления  $R_a — R_n$  (рис. 23.8). При помощи подобного генератора можно синтезировать звуковую гамму в пределах одной-двух октав. Звучание сигналов прямоугольной формы очень напоминает органную музыку. На основе этого устройства может быть создана музыкальная шкатулка или шарманка. Для этого на диск, вращаемый ручкой или электродвигателем, наносят по окружности контакты различной длины. К этим контактам напаивают предварительно подобранные резисторы  $R_a — R_n$ , которые определяют частоту импульсов. Длина контактной полоски задает длительность звучания той или иной ноты при скольжении общего подвижного контакта.

Схема простого электромusикального инструмента на КМОП-микросхеме приведена в главе 27 (рис. 27.7).

Устройство цветомузыкального сопровождения с разноцветными светодиодами, так называемая «мигалка», украсит музыкальное звучание дополнительным эффектом (рис. 23.9). Входной сигнал звуковой частоты простейшими частотными фильтрами разделяется на три канала, условно называемые низкочастотным (светодиод красного свечения); среднечастотным (светодиод зеленого свечения) и высокочастотным (желтый светодиод). Высокочастотная составляющая выделяется цепочкой C1 и R2. «Среднечастотная» компонента сигнала выделяется LC-фильтром последовательного типа (L1, C2). В качестве катушки индуктивности фильтра можно использовать старую универсальную головку от магнитофона, либо обмотку малогабаритного трансформатора или дросселя. В любом случае при настройке устройства потребуется индивидуальный подбор емкости конденсаторов C1 — C3. Низкочастотная составляющая звукового сигнала беспрепятственно проходит через цепь R4, C3 на базу транзистора VT3, управляющего свечением «красного» светодиода. Токи «высокой» частоты закорачиваются конденсатором C3, т.к. он имеет для них крайне малое сопротивление.

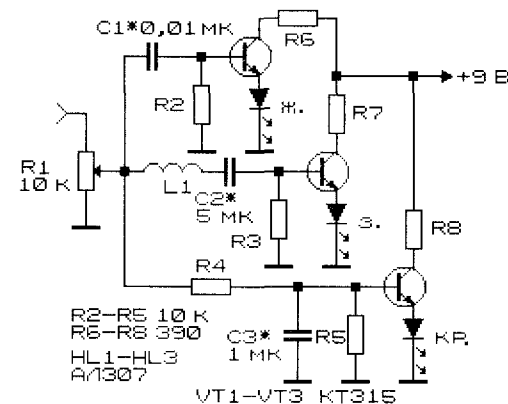


Рис. 23.9

**Электронные игрушки.** Электронный автомат предназначен для отгадывания цвета включившегося светодиода (рис. 23.10) [Б.С. Иванов]. Устройство содержит генератор импульсов — мультивибратор на транзисторах VT1 и VT2, связанный с триггером на транзисторах VT3, VT4. Триггер, или

устройство с двумя устойчивыми состояниями, поочередно переключается после каждого из пришедших на его вход импульсов. Соответственно, поочередно высвечиваются и разноцветные светодиоды, включенные в каждое из плеч триггера в качестве нагрузки. Поскольку частота генерации достаточно высока, мигание светодиодов при включении генератора импульсов (нажатии на кнопку SB1) сливается в непрерывное свечение. Если отпустить кнопку SB1, генерация прекращается. Триггер устанавливается в одно из двух возможных устойчивых состояний. Поскольку частота переключений триггера была достаточно велика, заранее предсказать, в каком состоянии окажется триггер, невозможно. Хотя из каждого правила есть исключения. Играющим предлагается определить (предсказать), какой именно цвет появится после очередного запуска генератора. Либо предлагается угадать, какой цвет загорится после отпускания кнопки. При большом наборе статистики вероятность равновесного, равновероятного высвечивания светодиодов должна приблизиться к значению 50:50. Для малого числа попыток это соотношение может не выполняться.

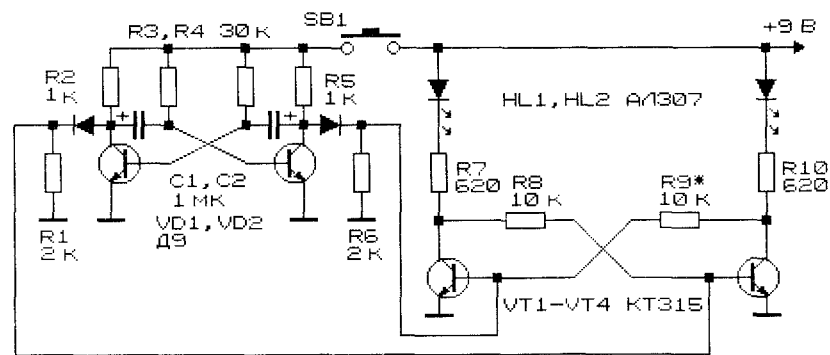


Рис. 23.10

Электронное устройство, позволяющее сопоставить скорость реакции двух испытуемых [Б.С. Иванов], может быть собрано по схеме, приведенной на рис. 23.11. Первым высвечивается индикатор — светодиод того, кто первый нажмет «свою» кнопку. В основе устройства триггер на транзисторах VT1 и VT2. Для повторного тестирования скорости реакции питания устройства следует кратковременно отключить дополнительной кнопкой.

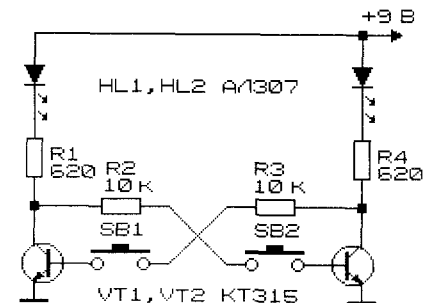


Рис. 23.11

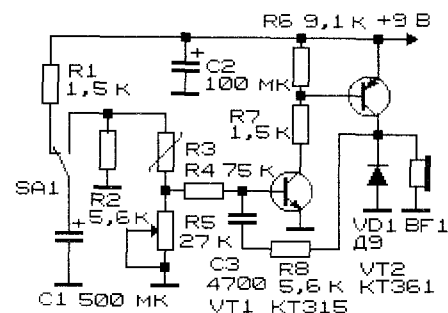


Рис. 23.12

Светотир С. Гордеева (рис. 23.12) позволяет не только играть, но и тренироваться [Р 6/83-36]. Фотоэлемент (фотосопротивление, фотодиод — R3) направляют на светящуюся точку или солнечный зайчик и нажимают спусковой крючок (SA1). Конденсатор C1 разряжается через фотоэлемент на вход генератора импульсов, работающего в ждущем режиме. В телефонном капсюле раздается звук. Если наводка неточна, и сопротивление резистора R3 велико, то энергии разряда недостаточно для запуска генератора. Для фокусировки света необходима линза.

## 24. Устройства для поиска и диагностики биологически активных точек

Для безмедикаментозной коррекции состояния организма широко используют методы стимуляции биологически активных точек (БАТ), точек акупунктуры. Определенные трудности, особенно на ранних этапах применения этого метода, вызывает процесс правильного определения местонахождения БАТ на теле.

К настоящему времени известно достаточно много устройств и способов диагностики БАТ. Контролируя свойства этих точек, в частности, сопротивление постоянному току, можно проследить за изменением состояния внутренних органов, определять эффективность приема медикаментозных средств и проведения лечебных процедур, а также оптимизировать их. Можно наблюдать динамику болезни и выздоровления с количественной оценкой степени отклонения от нормального состояния, скорости возвращения в состояние нормы.

Одним из наиболее достоверных и наглядных методов диагностики патологии внутренних органов считается метод Р. Фолля и его модификации.

В соответствии с этим методом предполагается, что при измерении электрического сопротивления определенного набора БАТ можно по косвенным данным (изменению электрического сопротивления) контролировать изменение состояния этих органов. Каждому жизненно важному органу соответствует «свой» набор БАТ.

Считается, что при «нормальном» состоянии организма электрическое сопротивление между точками акупунктуры (БАТ) и общим электродом должно находиться в некоторых допустимых пределах. Чем больше значение электрического сопротивления контролируемой точки, отвечающей за состояние определенного органа, отличается от допустимого значения, тем более выражен патологический процесс. Например, сопротивление, превышающее норму, соответствует развитию процессов деградации, старения, угасания жизненных функций организма, понижению его тонуса. Пониженное сопротивление предполагает развитие воспалительных процессов, связанных с острым

периодом болезни. Допустимые значения сопротивления контролируемой точки для каждого конкретного человека сугубо индивидуальны и определяются его конституцией (телосложением), а также электропроводностью тканей.

При помощи описываемых ниже устройств и наработке определенного опыта можно диагностировать состояние людей, следить за изменениями состояния внутренних органов в ходе болезни на количественном уровне, а также своевременно корректировать его, контролируя правильность выбора лекарственного препарата, выбрать из перечня различных медикаментов наиболее эффективное для конкретного больного лекарство.

На рис. 24.1 приведена схема устройства со стрелочным индикатором для диагностики БАТ [Рл 11/97-30]. Устройство выполнено на микросхеме К122УД1А (К118УД1А). Внутренняя начинка этой микросхемы (усилителя) представлена на рис. 24.2. Сравнение схем (рис. 24.1 и 24.2) показывает, насколько может упроститься монтаж устройства, если его выполнять не из отдельно взятых элементов, а на основе микросхемы, содержащей готовые узлы и элементы более сложной схемы.

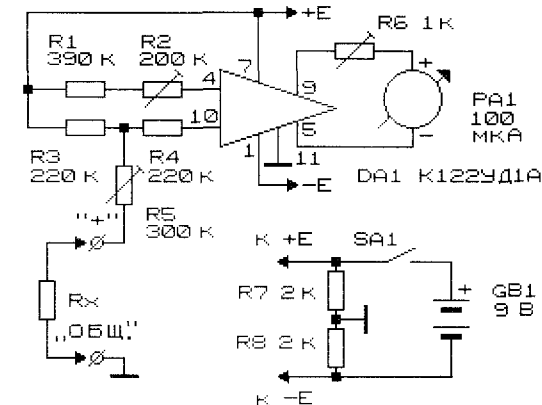


Рис. 24.1

На входе дифференциального усилителя (микросхемы) включен двойной Т-образный резистивный мост. Цепочки резисторов R1+R2 и R3+R4 при разомкнутой измерительной цепи определяют балансировку схемы (при помощи R2 стрелку измерительного прибора устанавливают на нуле). Величину

максимального тока (50...100 мкА) через рамку измерительного прибора ограничивает резистор R6, а через измерительную цепь — резистор R5.

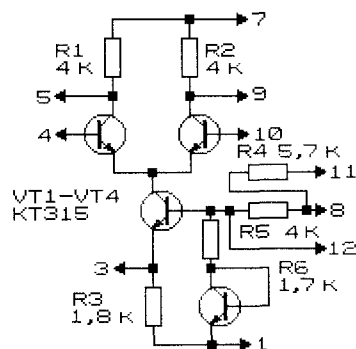


Рис. 24.2. Аналог микросхемы K122УД1

Для диагностического устройства (рис. 24.1) максимальное падение напряжения на объекте измерения составляет около 2 В при токе через измерительную цепь не более 10 мкА. Данное устройство может быть применено также для измерения электрических и неэлектрических величин с использованием соответствующих датчиков (сопротивления, напряжения, температуры, влажности, интенсивности светового потока и т.д.).

Контролируемую цепь подключают к входным зажимам устройства с помощью общего и поискового электродов. Общий электрод изготовлен в виде цилиндра из нержавеющей стали или алюминия диаметром 15 мм и длиной 60 мм и зажимается в ладони диагностируемого. Поисковый электрод из проволоки с радиусом закругления 0,3...0,4 мм выполнен из нержавеющей стали, и им касаются с дозированным нажимом контролируемой БАТ. Замер сопротивления каждой из БАТ необходимо проводить не менее трех раз. Вся шкала принимается за 100%.

На рис. 24.3 приведен типичный вид диаграммы замеров по 12-ти классическим «энергетическим каналам» (меридианам), обозначенным римскими цифрами. Они соответствуют различным внутренним органам: легким, толстому кишечнику, желудку, селезенке и поджелудочной железе, сердцу, тонкому кишечнику, мочевому пузырю (мочеполовой системе), почкам, перикарду

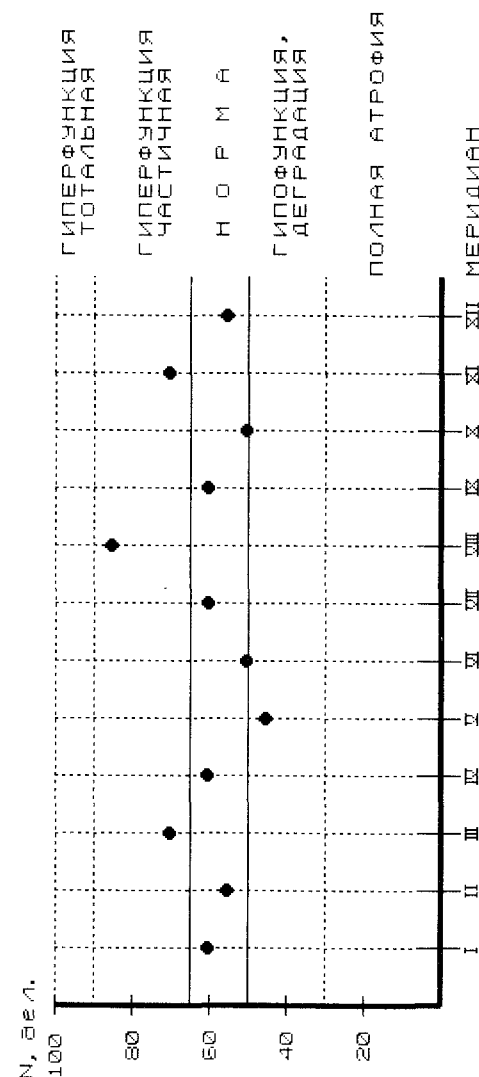


Рис. 24.3

(сосудистой системе), «тройному обогревателю (эндокринной системе), желчному пузырю, печени. Конкретное местонахождение БАТ, связанных с определенными органами, может быть определено по специальной литературе. Кроме того, при наличии выраженного заболевания, «точки-глашатаи» могут быть найдены и самостоятельно, опытным путем.

Для контроля изменения состояния БАТ (состояния здоровья) небольшой группы людей достаточно систематически заносить результаты замеров по контролируемым каналам на график (электрическое сопротивление — канал — дата), рис. 24.3. Выход измеряемого значения за допустимые пределы свидетельствует о развитии или наличии заболевания.

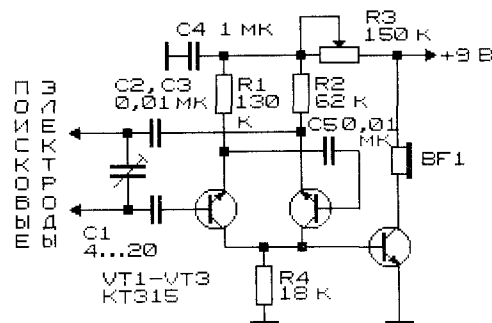


Рис. 24.4

Устройство, предназначенное для одновременного поиска и стимуляции БАТ, состоит из генератора импульсов и усилителя мощности (рис. 24.4) [Рл 9/91-7]. Генератор импульсов содержит регулируемую времязарядную RC-цепочку (R3 и C4). Параллельно конденсатору C4 RC-цепочки подключен мультивибратор на транзисторах VT1 и VT2 (KT315). Эти транзисторы работают в инверсном включении (при другой полярности питающего напряжения). Базы транзисторов по постоянному току не связаны с другими элементами схемы. Мультивибратор нагружен на резистор R4. Конденсаторы C1 — C3, C5 обеспечивают наличие положительной обратной связи; параллельно конденсатору C1 подключены поисковые электроды. Сигнал с мультивибратора поступает на усилитель мощности на транзисторе VT3 и преобразуется в звук электродинамической головкой (телефонным капсюлем BF1).

Если объект измерения отсутствует (поисковые электроды разомкнуты), частота генерации мультивибратора находится в ультразвуковой области. При подключении поисковых электродов к телу человека и последующем поиске БАТ цепь положительной обратной связи мультивибратора через конденсаторы C1 — C3 замыкается. При этом частота генерации резко понижается за счет существенных отличий от обычных (типовых) значений сопротивления и емкости кожного покрова в окрестностях БАТ. Это позволяет уверенно выявлять биологически активные точки.

Если необходимо расширить возможности прибора (обеспечить воздействие на акупунктурные точки) взамен телефонного капсюля включают согласующий (повышающий) трансформатор, а к его выводам присоединяют электроды активного воздействия. Цепь положительной обратной связи (поисковые электроды) закорачивают, генерируемый мультивибратором сигнал усиливается усилителем мощности на транзисторе VT3. Частота генерации варьируется изменением сопротивления R3. Амплитуду сигнала можно регулировать, включив вместо резистора R4 потенциометр. Движок потенциометра соединяют с базой транзистора VT3.

Устройство может быть использовано также в качестве универсального пробника электрических цепей, для исследования динамики процессов, протекающих в живых организмах, создания комбинированных измерительных систем «устройство — человек», в качестве генератора импульсов для настройки радиоэлектронной аппаратуры и т.д.

Прибор для поиска или стимуляции БАТ (рис. 24.5) представляет собой простейший омметр [Прибор «Ледия», Латвия]. Последовательно с источником питания включен стрелочный прибор PA1 и токоограничивающие резисторы R2 и R3. Одновременно описываемый прибор можно использовать для воздействия на БАТ, контролируя при этом силу тока. Для смены полярности подаваемого на электроды напряжения предназначен переключатель SA1.

Электроакупунктурный стимулятор с омметром (рис. 24.6), предложенный М. Цаковым и модернизированный В. Козловым, выполнен на КМОП-микросхеме типа K561ЛЕ5 и транзисторном ключе VT1 [Рл 10/92-24]. При помощи конденсатора C3 и диода VD4 формируются импульсы, амплитуда которых близка к удвоенному напряжению питания. Переводить устройство из режима

поиска БАТ в режим стимуляции позволяет переключатель SA1. В режиме поиска омметр на транзисторах VT1 и VT2 (усилитель постоянного тока) подключают к исследуемому участку тела. При касании электродом БАТ загорается светодиод HL1.

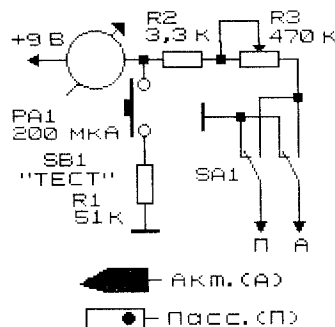


Рис. 24.5

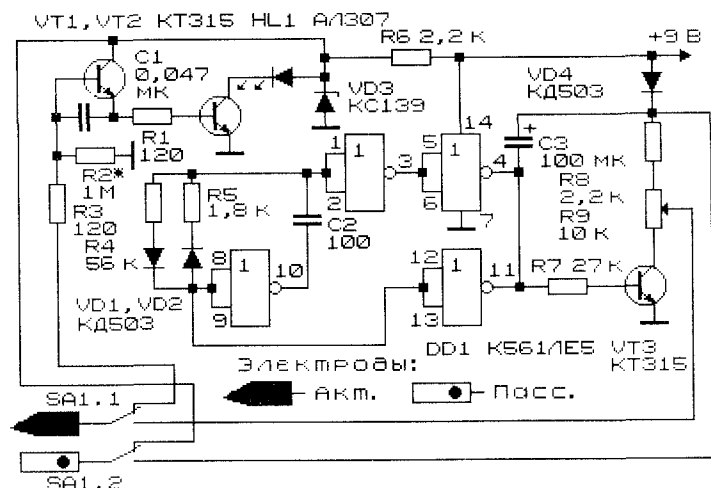


Рис. 24.6

## 25. Ионаторы воды

Со времен походов Александра Македонского было замечено, что питьевая вода превосходно сохраняется в сосудах из серебра. В средние века желудочно-кишечные инфекции стороной обходили дома зажиточных людей, использующих серебряную посуду.

Ионированная вода, в частности, вода с ионами серебра, обладает уникальными свойствами. Активированная ионами серебра вода способна годами сохранять свои свойства без ухудшения качества. В быту «серебряная вода» может применяться для консервирования, дезинфекции посуды и предметов обихода и т.п. Вода с ионами серебра сохраняется длительное время: срок хранения консервированных напитков из цитрусовых и фруктовых соков по данным академика Л.А. Кульского увеличивается с 7 суток до одного года. В «серебряной» воде при концентрации ионов серебра 0,2...0,5 мг/л уже через 0,5...2 ч погибают болезнетворные микроорганизмы и вирусы.

Обычно «серебряную воду» получают пропусканием через воду постоянного тока с использованием серебряных электродов. Для обеспечения равномерности и повышения эффективности растворения электродов рекомендуется периодически изменять полярность напряжения на электродах и перемешивать раствор. При достижении необходимой концентрации ионов серебра необходимо своевременно отключить ток.

На рис. 25.1 — 25.4 представлены схемы ионаторов с таймерами.

На рис. 25.1 таймер ионатора выполнен на транзисторе VT1. При кратковременном нажатии на кнопку SB1 («Пуск») транзистор VT1 открывается, и положительная обкладка конденсатора C2 оказывается подключенной через сопротивление канала полевого транзистора к положительной шине питания. Отрицательная обкладка конденсатора C2 через цепочку резисторов R1 — R3 соединяется с общей шиной. Происходит заряд конденсатора, в процессе которого транзистор VT1 остается открытым. Напряжение на истоке полевого транзистора (выходе таймера) примерно равно напряжению питания. Светодиод HL1 красного цвета индицирует работу таймера. По мере разряда конденсатора C2

транзистор VT1 закрывается, светодиод HL1 гаснет, начинает светиться светодиод HL2 зеленого цвета, индицирующий готовность таймера к последующему запуску, а также то, что прибор включен. Потенциометром R2 можно задавать время от 30 до 1000 сек.

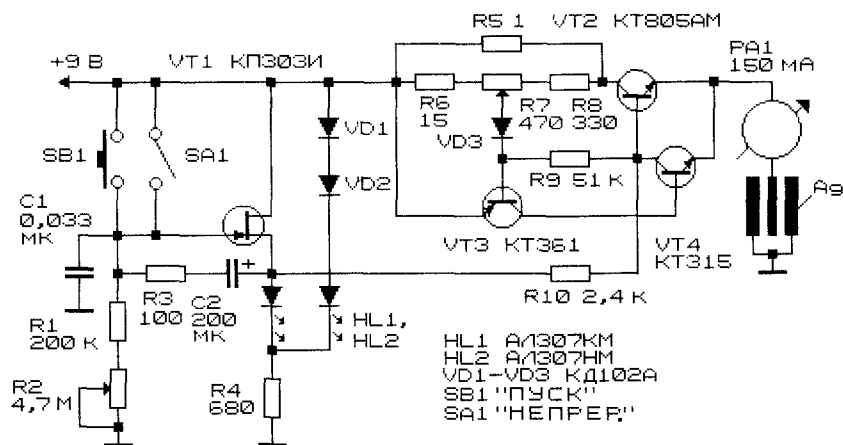


Рис. 25.1

Стабилизатор-ограничитель тока нагрузки выполнен на транзисторах VT2 — VT4. Управление им (включение — выключение) осуществляется через резистор R10 подачей высокого или низкого уровня напряжения с выхода таймера. Предельный ток через сопротивление нагрузки (активируемую жидкость) устанавливают потенциометром R7. Максимальный ток стабилизатора-ограничителя тока не превышает 150...170 мА (при коротком замыкании нагрузки). Контроль тока через нагрузку осуществляется измерительным прибором PA1, который не является обязательным элементом схемы. Шкалу ориентировочных значений тока можно нанести на указателе потенциометра R7.

Ионатор, выполненный на КМОП-коммутаторе DA1 типа K561KT3, имеет таймер с индикатором включения — выключения (рис. 25.2). Необходимый для активации максимальный ток через нагрузку величиной до 30 мА устанавливают потенциометром R6.

Наиболее простая схема ионатора с параллельным включением ключей КМОП-коммутатора и максимальным током нагрузки 40 мА представлена на рис. 25.3. Пределы установки времени таймера во всех схемах (рис. 25.1 — 25.3) одинаковы. Режим

непрерывной работы устройств (ручное управление) во всех схемах задается тумблером SA1.

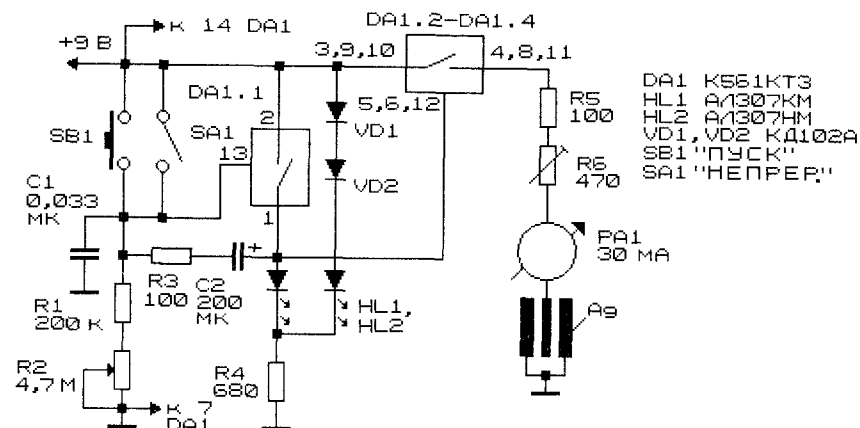


Рис. 25.2

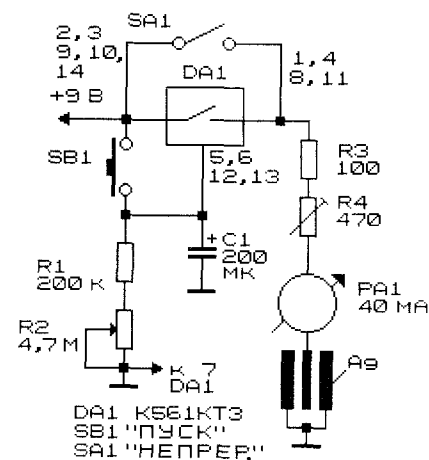
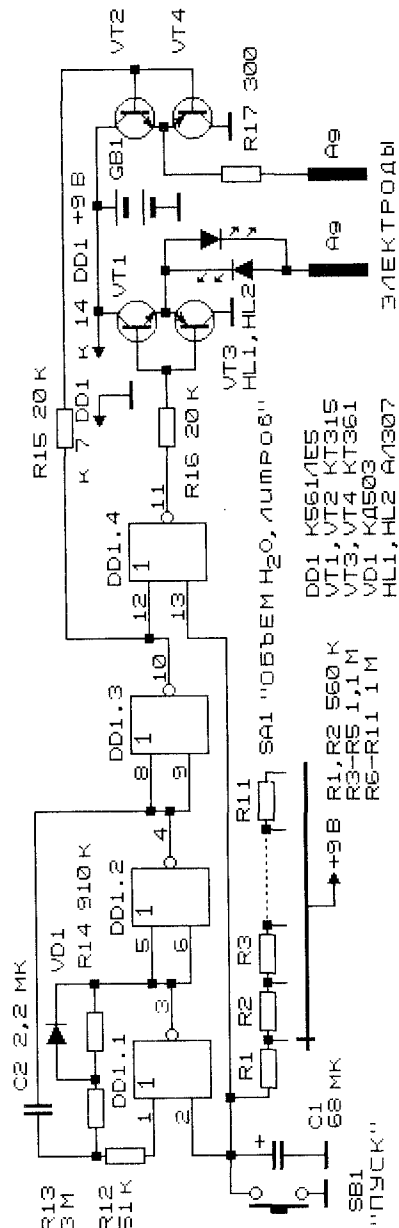


Рис. 25.3

Устройство, представленное на рис. 25.4, периодически меняет полярность напряжения, приложенного к электродам. Одновременно в схеме имеется таймер, отключающий устройство через заданное время [Рл 6/95-19]. Для удобства пользования



задают не временной интервал (для достижения концентрации ионов серебра  $0,25 \text{ мг Ag/л}$ ), а объем активируемой жидкости. В частности, переключателем SA1 может быть задан объем активируемой жидкости от 0,5 до 10 л (на каждый литр прохождения тока должно составлять 1 мин, т.е. время активации составит, соответственно, 0,5...10 мин).

Ионатор воды содержит генератор импульсов (микросхема DD1), таймер и усилитель мощности на транзисторах VT1 — VT4. Генератор вырабатывает прямоугольные импульсы, длительность которых задается элементами C2, R13 и R14. При нажатии кнопки «Пуск» времязадающий конденсатор C1, заряженный изначально от источника питания через цепочку резисторов R1 — R11, разряжается, на входах логических элементов DD1.1 и DD1.4 устанавливается значение логического нуля, схема начинает генерировать прямоугольные импульсы, поступающие на усилитель мощности. К его выходу подключены серебряные электроды.

Для индикации наличия тока через нагрузку использованы светодиоды HL1 и HL2, они же показывают полярность напряжения на электродах. Максимальный выходной ток устройства (3 мА) ограничен резистором R17. Это значение тока соответствует оптимальной концентрации серебра в 1 л воды за 1 мин ( $0,25 \text{ мг Ag/л}$ ). Если конструкция электродов (площадь, межэлектродное расстояние или иные причины) не позволяет достичь требуемого значения тока, может быть соответственно подобрана величина резистора R17. При необходимости можно также провести перерасчет дозировки, например, 6 мА — 2 л/мин, а 1,5 мА — 0,5 л/мин.

Далее по мере заряда конденсатора C1 напряжение на нем достигает такого значения, когда на входах элементов DD1.1, DD1.4 устанавливается значение логической единицы: генератор и усилитель мощности отключаются, ток через нагрузку прекращается. Цепочкой резисторов R1 — R11 и переключателем SA1 ступенчато задается интервал времени. Выключатель питания в схеме может отсутствовать: ток, потребляемый устройством без нагрузки, составляет единицы микроампер. Поскольку устройство достаточно экономично (максимальный ток потребления не превышает 3...4 мА), для питания может быть использована батарея «Крона», ресурсов которой хватит для активации двух кубометров воды.

На рис. 25.5 приведен вид печатной платы ионатора, на рис. 25.6 — внешний вид устройства. К некоторым недостаткам, вполне приемлемым для столь простой схемы, следует отнести изменение скважности генерируемых импульсов в процессе зарядки конденсатора С1, что сказывается на неравномерности износа электродных пластин. Частично устранить эту погрешность удается за счет введения цепочки R14, VD1, задающей начальную асимметрию импульсов.

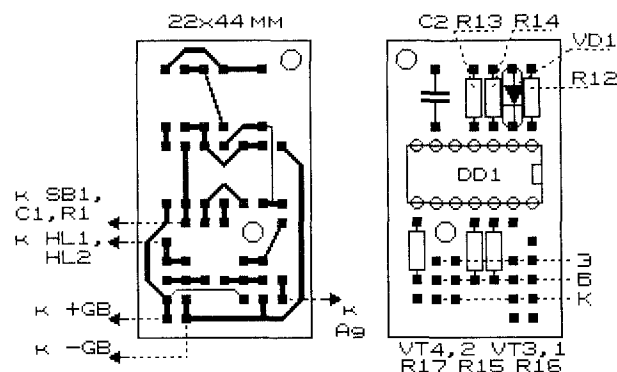


Рис. 25.5

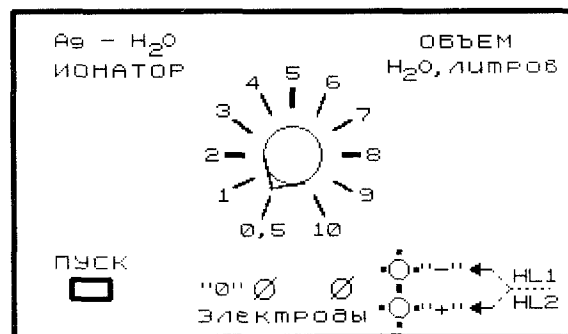


Рис. 25.6

В качестве электродов надлежит использовать серебро 999,9 пробы (для применения воды в медицинской или пищевой промышленности); для санитарно-технических нужд, обеззараживания питьевой или минеральной воды допускается использование серебра 875 пробы. Растворяемый электрод — анод. В

соответствии с рекомендациями академика Л.А. Кульского оптимальное межэлектродное расстояние должно быть 5...12 мм, плотность тока — 0,15...5,0 мА/см<sup>2</sup>, а подводимое напряжение — 3...12 В.

Концентрацию ионов серебра (С, мг/л) в 1 л воды с погрешностью до 20% можно определить по формуле:

$$C \text{ [мг/л]} = I \text{ [А]} \times t \text{ [сек]} \quad (C < 20 \dots 30 \text{ мг/л}).$$

Конкретное значение расстояния между электродами рекомендуется подбирать экспериментально. Величина тока (I) зависит от многих факторов: площади электродов, чистоты (качества) воды, ее температуры, а также межэлектродного расстояния и т.д. При систематическом употреблении «серебряной воды» в качестве питьевой концентрацию ионов серебра в растворе необходимо снизить до 0,05 мг/л (рекомендации ГОСТа), а для дезинфекции посуды, тары, овощей, фруктов концентрацию ионов серебра следует увеличить на порядок.

Отметим, что схемы, приведенные на рис. 25.1 — 25.3, могут быть использованы в качестве простейших таймеров, например, для фотопечати. В то же время, в качестве ионаторов жидкостей можно использовать более простые технические устройства и схемы, например, устройства для воздействия на биологически активные точки (рис. 24.5), не имеющие таймера.

В экспериментах по выращиванию различного рода культур с внесением добавок микроэлементов в качестве электродов ионатора могут быть использованы и другие металлы.

Кроме того, описанные выше устройства (рис. 25.1 — 25.3) можно использовать для нанесения гальванических покрытий дозированной толщины.

## 26. Основные элементы цифровой логики

Цифровая логика, элементы, ее представляющие, работают с так называемыми цифровыми сигналами. В отличие от аналоговых, цифровые сигналы принимают два возможных значения: логическая единица и логический ноль. Логическая единица обозначается для краткости «1» или, в некоторых случаях, «высоким» уровнем («В»). Логический ноль, соответственно, обозначается «0» или «низким» уровнем («Н»). Логические элементы, или элементы цифровой логики, построены на биполярных и полевых транзисторах, работающих в режимах насыщения и отсечки.

Наибольшее распространение получили проверенные временем цифровые логические элементы на основе биполярных транзисторов — *ТТЛ*-элементы (транзисторно-транзисторная логика) и на основе полевых транзисторов — *КМОП*-элементы (комплементарные, на основе переходов металл-окисел-полупроводник).

Логические элементы *ТТЛ*, ассортимент которых насчитывает до 200 наименований различной степени интеграции и функционального назначения, работают при напряжении питания 5 В. Эти микросхемы способны работать до частот 20...100 МГц и потребляют от источника питания значительный ток.

*КМОП*-элементы работают в широком диапазоне напряжений питания 5...15 В, иногда от 3 В. Это исключительно экономичные элементы, которые можно использовать совместно с *ТТЛ* логикой. Заметный и малоустраняемый недостаток большинства этих элементов — относительно низкие рабочие частоты, не превышающие 1...5 МГц.

Ниже будут рассмотрены основные логические элементы цифровой логики.

Поскольку история цифровых логических элементов насчитывает не столь уж много лет, условные символы, используемые для обозначения логических элементов в разных странах мира, заметно отличаются. Поэтому, в порядке сравнения, и для того, чтобы можно было уверенно разбираться в схемах, опубликованных в отечественных и зарубежных источниках информации,

приведены условные обозначения, принятые у нас и в ряде англоговорящих стран (*Великобритания, США*).

**Повторитель (Repeater)** — логический элемент, выполняющий функцию повторителя. Элемент может быть реализован на основе эмиттерного (рис. 3.2, 3.5) или истокового (рис. 3.8) повторителей. Переходные конденсаторы (рис. 3.2, 3.5) следует исключить из схемы. Входной сигнал подается на базу транзистора (рис. 3.2, 3.5) через резистор R1 (10 кОм). Номинал резистора R2 — 1 кОм. При подаче на вход такого элемента управляющего сигнала А, на выходе элемента формируется сигнал Y, полностью идентичный входному.

**НЕ (NOT)** — логический элемент, называемый также инвертором, может быть изготовлен на основе схем, показанных на рис. 3.1, 3.4, 3.7. Выходной сигнал Y является «зеркальной» или «перевернутой» копией входного: когда на входе элемента логическая единица, на выходе — логический ноль, и наоборот.

**ИЛИ (OR)** — в этом элементе выходной сигнал Y принимает значение логической единицы при наличии на хотя бы одном из его нескольких входах сигнала логической единицы. Если на этих входах логический ноль, на выходе элемента также логический ноль.

**ИЛИ-НЕ (OR-NOT)** — представляет собой последовательное включение элементов ИЛИ (OR) и НЕ (NOT). Выходной сигнал Y схемы ИЛИ-НЕ при наличии на его входах логического нуля принимает значение логической единицы. Стоит хотя бы одному из входных сигналов принять значение логической единицы, выходной сигнал Y переключится на логический ноль.

**И (AND)** — этот элемент выполняет функцию схемы совпадения. Его эквивалентную схему можно представить в виде двух или нескольких (по числу входов) последовательно включенных электрических ключей (выключателей): выходной сигнал будет иметь значение логической единицы только в том случае, если на все входы этого логического элемента будет подан уровень логической единицы.

**И-НЕ (AND-NOT)** — как следует из названия элемента, это устройство представляет собой последовательно включенные элементы И (AND) и НЕ (NOT). При одновременной подаче на входы этого элемента уровней логической единицы на выходе Y элемента будет уровень логического нуля. Если хотя бы на одном из

| ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ              | УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ | ГРАФИКИ СИГНАЛОВ |
|---------------------------------|----------------------|------------------|
|                                 | РОССИЯ               | ЗАРУБЕЖН.        |
| ПОВТОРИТЕЛЬ<br>Repeater         |                      |                  |
| НЕ<br>NOT                       |                      |                  |
| ИЛИ<br>OR                       |                      |                  |
| ИЛИ-НЕ<br>OR-NOT                |                      |                  |
| И<br>AND                        |                      |                  |
| И-НЕ<br>AND-NOT                 |                      |                  |
| ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ<br>Equivalence  |                      |                  |
| ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ<br>Excluding OR |                      |                  |

Рис. 26.1

| СХЕМНЫЙ<br>ЭКВИВАЛЕНТ | ТАБЛИЦА<br>ИСТИННОСТИ |   |   | ПРИМЕРЫ ЭЛЕМЕНТОВ<br>ЗАРУБЕЖНЫХ<br>РОССИЙСКИХ<br>ТТЛ КМОП |                       |                    |
|-----------------------|-----------------------|---|---|-----------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|
|                       | A                     | Y |   | 7407<br>K155/1H4                                          | CD4010<br>K176ПУ3     |                    |
|                       | 0                     | 0 |   |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 1 |   |                                                           |                       |                    |
|                       | A                     | Y |   | 7404<br>K155/1H1                                          | CD4049<br>K176/1H2    |                    |
|                       | 0                     | 1 |   |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 0 |   |                                                           |                       |                    |
|                       | A                     | B | Y | 7432<br>K155/1/1                                          |                       |                    |
|                       | 0                     | 0 | 0 |                                                           |                       |                    |
|                       | 0                     | 1 | 1 |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 0 | 1 |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 1 | 1 |                                                           |                       |                    |
|                       | A                     | B | Y | 7402<br>K155/1E1                                          | CD4001<br>K176/1E5    |                    |
|                       | 0                     | 0 | 1 |                                                           |                       |                    |
|                       | 0                     | 1 | 0 |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 0 | 0 |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 1 | 0 |                                                           |                       |                    |
|                       | A                     | B | Y | 7408<br>K155/1H1                                          | CD4081B<br>KP1561/1H2 |                    |
|                       | 0                     | 0 | 0 |                                                           |                       |                    |
|                       | 0                     | 1 | 0 |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 0 | 0 |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 1 | 1 |                                                           |                       |                    |
|                       | A                     | B | Y | 7400<br>K155/1A3                                          | 4011<br>K176/1A7      |                    |
|                       | 0                     | 0 | 1 |                                                           |                       |                    |
|                       | 0                     | 1 | 1 |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 0 | 1 |                                                           |                       |                    |
|                       | 1                     | 1 | 0 |                                                           |                       |                    |
|                       | A                     | B | C | Y                                                         |                       |                    |
|                       | 0                     | 0 | 0 | 1                                                         |                       |                    |
|                       | 0                     | 0 | 1 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 0                     | 1 | 0 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 0                     | 1 | 1 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 1                     | 0 | 0 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 1                     | 0 | 1 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 1                     | 1 | 0 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 1                     | 1 | 1 | 1                                                         |                       |                    |
|                       | A                     | B | C | Y                                                         | 7486<br>K155/1П5      | CD4030<br>K176/1П2 |
|                       | 0                     | 0 | 0 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 0                     | 0 | 1 | 1                                                         |                       |                    |
|                       | 0                     | 1 | 0 | 1                                                         |                       |                    |
|                       | 0                     | 1 | 1 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 1                     | 0 | 0 | 1                                                         |                       |                    |
|                       | 1                     | 0 | 1 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 1                     | 1 | 0 | 0                                                         |                       |                    |
|                       | 1                     | 1 | 1 | 0                                                         |                       |                    |

входов элемента сигнал примет уровень логической единицы, сигнал на выходе устройства немедленно переключится с «нуля» на «единицу».

**Эквивалентность (Equivalence)** — представляет собой более сложный по структуре логический элемент. Это логическое устройство имеет на выходе логическую единицу только в том случае, когда все без исключения сигналы на его входах будут иметь один и тот же (т.е. одинаковый, эквивалентный) логический уровень, причем не имеет значения, «ноль» это или «единица».

**Исключающее ИЛИ (Excluding OR)** — выходной сигнал  $Y$  этого логического элемента принимает значение логической единицы только в том случае, когда на одном из его входов присутствует логическая единица, а на всех остальных — логический ноль. Стоит нарушить это условие, сигнал на выходе элемента примет значение логического нуля.

На основе простейших элементов цифровой логики могут быть синтезированы практически любые и сколь угодно более сложные устройства цифровой логики — триггеры, счетчики, шифраторы, дешифраторы и другие. В то же время из более сложных элементов могут быть получены более простые. В этом можно легко убедиться умозрительно, анализируя информацию, приведенную на рис. 26.1, либо экспериментально. Так, например, соединив вместе входы  $A$  и  $B$  элементов ИЛИ-НЕ или И-НЕ, можно получить элемент НЕ.

Отметим попутно, что чаще всего «лишние» неиспользуемые входы логических элементов объединяют с другими выводами, либо соединяют с общей «земляной» шиной или шиной питания (для  $TTL$ -микросхем соединение незадействованного входа с шиной питания лучше выполнять через резистор сопротивлением  $1...2\text{ кОм}$ ).

Для наглядного представления соотношения уровней сигналов на входах и выходах логических элементов приведены соответствующие графики (рис. 26.1).

Для имитации, моделирования и изучения показаны простейшие схемные эквиваленты логических элементов, выполненные на обычных переключателях. Подача сигнала логической единицы соответствует замыканию соответствующего ключа (или переключению вдвоенного ключа для схем, имитирующих функцию элементов Эквивалентность и Исключающее ИЛИ). В порядке

изучения логических элементов рекомендуется самостоятельно собрать и исследовать работу схемных эквивалентов, используя в качестве индикатора логического уровня авометр.

**Таблица истинности** в дополнение к графикам сигналов и схемным эквивалентам дает представление о взаимосвязи процессов на входах и выходах логических элементов. В других литературных источниках «1» может иметь обозначение «H» — «High», а «0» — обозначение «L» — «Low».

Примеры существующих зарубежных логических элементов серии  $TTL$  ( $TTL$ ) и  $KМОП$  ( $CMOS$ ) и их отечественных аналогов также имеются на рис. 26.1.

Цифровые микросхемы могут быть использованы в качестве аналоговых. Примеры нетрадиционного использования цифровых микросхем в аналоговой технике приведены в главе 29.

В то же время существуют микросхемы, способные работать как с аналоговыми, так и с цифровыми сигналами. К таким микросхемам можно отнести коммутаторы аналоговых и цифровых сигналов, выполненные на  $KМОП$ -элементах (микросхемы  $K176КТ1$ ,  $K561КТ3$ ,  $K564КТ3$  — четырехканальные коммутаторы) и селекторы-мультиплексоры (многоканальные многопозиционные переключатели, например,  $K561КП1$ ,  $K561КП2$ ).

Для перехода от цифровых сигналов к аналоговым и обратно используют аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи ( $АЦП$  и  $ЦАП$ ).

## 27. Электронные устройства на КМОП-микросхемах

Как уже отмечалось ранее, существуют десятки и сотни самых разнообразных цифровых микросхем. Живописному описанию каждой из них можно было бы посвятить немало страниц. Однако в целях экономии бумаги и для демонстрации неограниченных возможностей применения всего одной микросхемы из множества других ниже будут рассмотрены простейшие устройства, использующие только одну микросхему — *K561ЛЕ5*.

Сенсорный пульт управления, позволяющий включать/выключать нагрузку, разработан *И.А. Нечаевым* (рис. 27.1) [Р 1/85-49]. Устройство содержит генератор, вырабатывающий импульсы частотой 300...500 Гц. Их скважность (отношение длительности импульса к паузе) составляет 1:40 и определяется отношением сопротивлений *R1* и *R2*. Если к сенсорной пластинке *E1* приложить палец, начнет заряжаться конденсатор *C2*. Скорость и время заряда этого конденсатора зависит от сопротивления между контактами. В соответствии с зарядно-разрядными процессами будет изменяться величина управляющего сигнала, проходящего через схему управления.

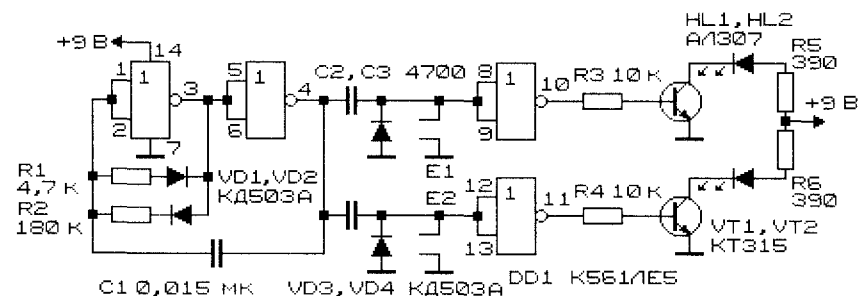


Рис. 27.1. Схема сенсорного пульта управления

Изменяя силу и время прижатия пальцев к сенсорным площадкам *E1* и *E2*, можно управлять уровнем выходных сигналов, интенсивностью свечения светодиодов *HL1* и *HL2*. Для настройки схемы при использовании сенсорных площадок

различной конфигурации и площади, возможно, придется подобрать емкости конденсаторов *C2* и *C3*.

Несложный цветорегулятор можно собрать используя генератор импульсов управляемой скважности (рис. 27.2). Изменяя соотношение пауза/импульс с помощью потенциометра *R2* можно управлять средней силой тока, протекающего через светодиоды *HL1* и *HL2*. Если эти светодиоды отличаются по цвету свечения, объединив их под общим светособирающим экраном, можно добиться плавного изменения цвета суммарного свечения. В качестве нагрузки можно включить лампы накаливания, получив таким образом регулятор света. Для этого придется выполнить выходные каскады на более мощных транзисторах.

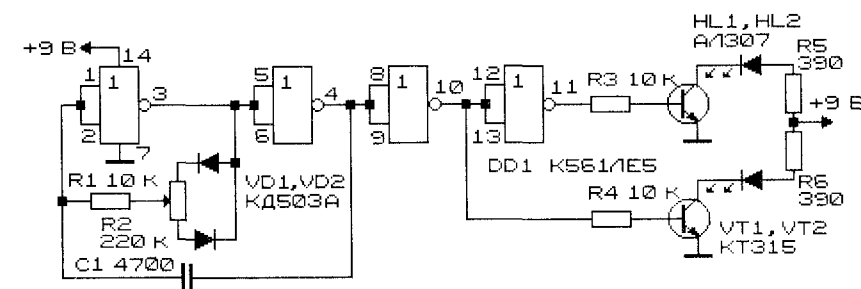


Рис. 27.2. Схема цветорегулятора

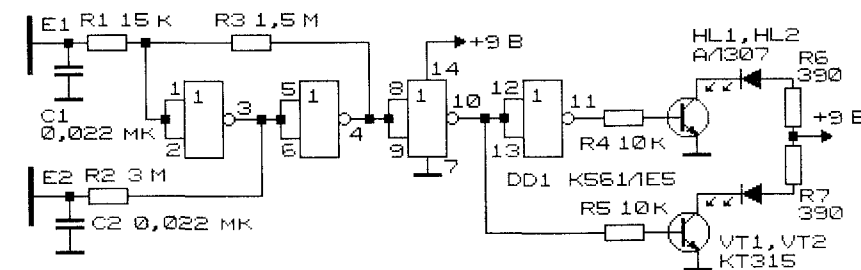


Рис. 27.3. Схема сенсорного выключателя

На рис. 27.3 показана схема сенсорного выключателя конструкции *И.А. Нечаева* [Р 4/89-62]. Прикосновение к площадкам *E1* и *E2* позволяет включать или выключать ток в нагрузке (светодиоды *HL1* и *HL2*).

Работает сенсорный выключатель следующим образом: в момент включения питания конденсаторы  $C1$  и  $C2$  разряжены, на входах соответствующих логических элементов устанавливаются логический ноль (выводы 1, 2 микросхемы DD1) и логическая единица (выводы 3, 5, 6 микросхемы DD1). Соответственно, на выходе второго логического элемента установится логический ноль, а на выходе третьего — логическая единица, четвертого — снова ноль. Следовательно, один из элементов нагрузки — светодиод — будет включен, другой — выключен.

Резистор  $R3$  создает цепь положительной обратной связи, обеспечивающей устойчивое состояние сенсорного выключателя. Для того чтобы переключить нагрузку, достаточно коснуться пальцем до сенсорных площадок  $E1$  и  $E2$ . С конденсатора  $C2$  уровень логической единицы окажется поданным через сопротивление пальца и резистор  $R1$  на вход первого логического элемента. Поскольку на входе первого элемента устанавливается значение логической единицы, все остальные логические элементы одновременно изменят свое состояние. Выходные каскады переключаются.

На конденсаторе  $C1$  установится значение логической единицы, на конденсаторе  $C2$  — логического нуля. Для повторного переключения элементов схемы необходимо снова прикоснуться к сенсорным площадкам. Это прикосновение приведет к очередной перезарядке конденсаторов  $C1$  и  $C2$  и переключению схемы в другое устойчивое состояние.

Сенсорный выключатель устойчиво работает в диапазоне питающих напряжений от 6 до 12 В. Взамен светодиодных индикаторов или параллельно им может быть включена и иная нагрузка, например, обмотка реле, управляющего работой бытовой техники, генератор звуковых или световых сигналов и т.п.

Модель электронного светофора (рис. 27.4) позволяет поочередно переключать разноцветные светодиоды, имитируя работу настоящего светофора [Рл 10/98-15]. Времязадающая цепь генератора ( $R2$ ,  $C2$ ) определяет частоту переключения зеленого и красного светодиодов, а цепь  $R1$ ,  $C1$  определяет время свечения желтого светодиода. Продолжительность свечения зеленого и красного светодиодов составляет около 10 сек и определяется постоянной времени  $R2C2$ , где сопротивление выражено в МОм, а емкость — в мкФ.

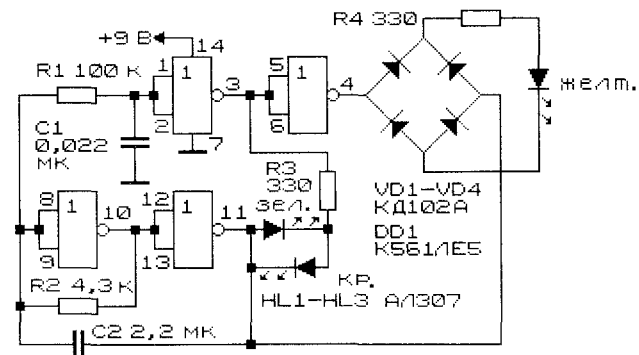


Рис. 27.4. Схема «светофора»

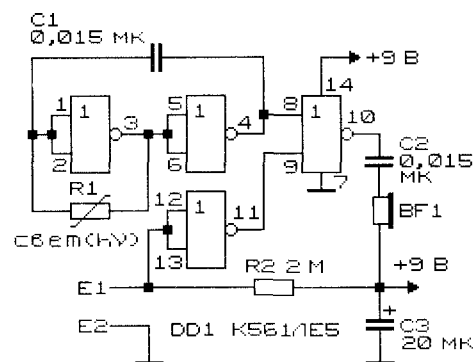


Рис. 27.5. Схема светфона

Светофон (рис. 27.5) представляет собой электронную игрушку — звуковой генератор [Р 1/90-60]. Частота генерации определяется уровнем освещенности чувствительного к свету ( $h\nu$ ) элемента  $R1$  (фотосопротивления, фотодиода) при приближении к нему руки. Для того чтобы звучание происходило по желанию «музыканта», включение звука происходит при отпускании пальца от сенсорных площадок  $E1$  и  $E2$ .

При использовании фоточувствительных приборов различного типа вероятно потребуется подбор емкости конденсатора  $C1$ , а также включение параллельно (или последовательно) фоточувствительному элементу (фотосопротивлению, фотодиоду) резисторов, задающих диапазон изменения генерируемой звуковой частоты.

Отметим попутно, что при самостоятельной доработке устройства в качестве управляющего элемента (рис. 27.5) можно использовать термосопротивление, имеющее малую тепловую инерцию, например, бусинкового типа. Устройство, полученное при этом, можно назвать термофоном или эолофоном (от греческого *aíolos* — ветер и *phone* — голос, звук) — оно будет изменять частоту звука при обдувании терморезистора. Электромusикальный прибор, управляемый наэлектризованным предметом (электрофонон), можно получить, включив полевой транзистор вместо резистора R1.

Идея терменвокса была предложена в эпоху раннего «средневековья» радиоэлектроники — на рубеже 20-30-х годов XX века изобретателем и музыкантом *Львом Терменом*. В основу действия этого электромusикального инструмента заложен принцип сопоставления (вычитания) частот двух генераторов. Один из генераторов является эталонным, второй — управляется приближением (удалением) ладони руки. Чем ближе ладонь, тем заметнее уход частоты второго генератора, тем выше звук на выходе устройства.

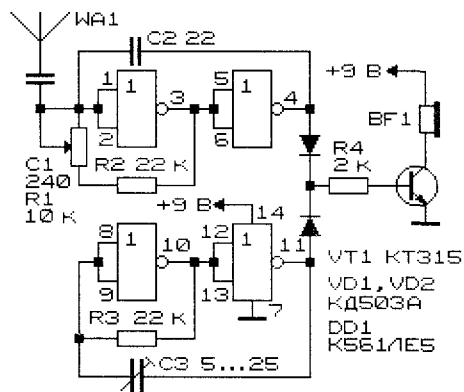


Рис. 27.6. Схема терменвокса

Модель терменвокса, одного из самых первых электромusикальных инструментов, может быть собрана по схеме на рис. 27.6. Это устройство является упрощенной модификацией схемы Э. *Апрелева* [М 6/92-28]. Сигналы двух генераторов вычитаются в специальном смесителе сигналов. Разностная частота поступает на звукоизлучатель или усилитель низкой частоты.

Исходная частота работы генераторов близка к 90 кГц. Антенной устройства является медный или алюминиевый прут диаметром 2...4 мм длиной 25...40 мм.

Разумеется, представленная на рис. 27.6 схема формирования звука заметно упрощена. В частности, для «реального» инструмента обязательно необходима регулировка громкости звучания инструмента. Для этого обычно используют аналогичный второй канал.

Изображенная на рис. 27.6 наиболее упрощенная модель терменвокса построена на основе двух генераторов, выполненных на КМОП-микросхеме. Начальная частота генерации обоих генераторов одинакова и устанавливается конденсатором C3 и потенциометром R1. Выходные сигналы с генераторов через диоды VD1 и VD2 поступают на вход усилителя низкой частоты (транзистор VT1). При приближении руки к антенне WA1 изменяется частота работы верхнего по схеме генератора, что вызывает появление звука изменяющейся тональности в телефонном капсюле.

Оригинальный металлоискатель, реагирующий на появление металлического (токопроводящего) предмета в поле антенны устройства также может быть собран по схеме на рис. 27.6. В сочетании с обычным металлоискателем (см. главу 21 и рис. 27.12) это позволит более уверенно распознавать различные предметы (магнитные, диамагнитные, токопроводящие и токонепроводящие), попадающие в поле действия поисковой катушки или электрода.

На микросхеме DD1 K561LE5 (рис. 27.7) может быть собран электромusикальный инструмент [Рл 9/97-28]. Генератор импульсов на трех инверторах микросхемы DD1 управляется ключами S1 — Sn. Генератор прямоугольных импульсов будет работать на частоте, определяемой подключаемыми к общей шине резисторами R1 — Rn (десятки, сотни кОм). Ключи-клавиши S1 — Sn и ключ S2 должны замыкаться одновременно (зависимо). Как упростить коммутацию, исключив ключ SA2, следует подумать самостоятельно. Сигнал звуковой частоты через усилительный каскад (транзистор VT1) поступает на телефонный капсюль BF1 или внешний усилитель.

Индикатор электрического поля простейшего типа может быть собран по схемам, представленным на рис. 27.8 и 27.11 [Рл 9/98-16]. Входы неиспользуемых инверторов КМОП-микросхем

## 27. Электронные устройства на КМОП-микросхемах

необходимо соединить с общим проводом или шиной питания (рис. 27.8). При приближении индикатора к сетевому проводу в первой схеме вырабатываются звуковые сигналы, воспроизводимые пьезокерамическим излучателем, во второй схеме устройство реагирует на переменное электрическое поле звуковыми сигналами.

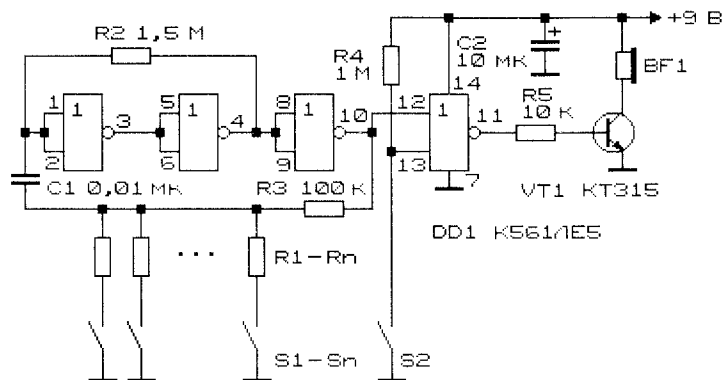


Рис. 27.7. Схема электромузыкального инструмента

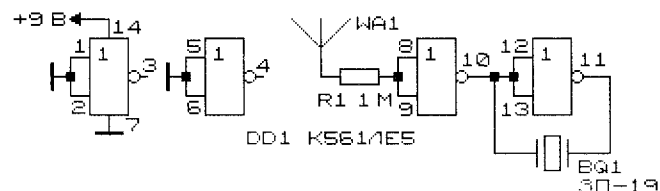


Рис. 27.8. Схема искателя электропроводки

Фото- или термореле может быть выполнено по схеме, приведенной в книге Л.Д. Пономарева и А.Н. Евсеева (рис. 27.9). Устройство содержит регулируемый резистивный делитель напряжения, состоящий из резистора-датчика R1 и потенциометра R2. К средней точке этого делителя подключен вход триггера Шмитта, составленный из двух логических элементов КМОП-микросхемы. К выходу триггера подсоединены эмиттерный повторитель и тиристорный коммутатор постоянного тока. Вместо тиристора может быть использован его транзисторный аналог.

При изменении сопротивления датчика триггер Шмитта переключается из одного устойчивого состояния в другое.

## 27. Электронные устройства на КМОП-микросхемах

Соответственно, выходной сигнал через согласующий эмиттерный повторитель подается на управляющий электрод тиристора VS1. Происходит включение тиристора, срабатывает реле K1 или иная нагрузка. Для отключения нагрузки необходимо «сбросить» состояние тиристора, т.е. кратковременно отключить питание.

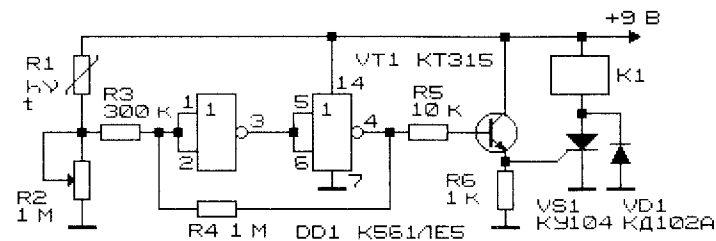


Рис. 27.9. Схема фото- (термо-) реле

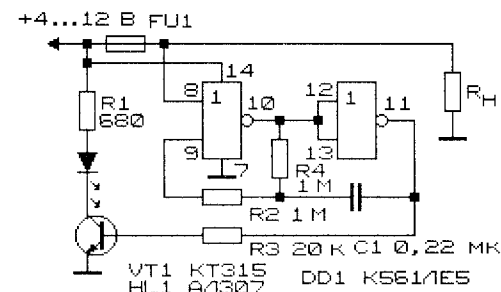


Рис. 27.10. Схема индикатора перегорания предохранителя

Такая схема может быть использована для контроля технологических и иных процессов, предупреждения критических и аварийных ситуаций, оповещения персонала о нештатном режиме работы оборудования и т.д. Для того чтобы устройство самостоятельно включалось и отключалось, вместо тиристора следует установить кремниевый транзистор, рассчитанный на ток нагрузки.

Индикатор перегорания предохранителя Л. Тесленко (рис. 27.10) содержит генератор импульсов на КМОП-микросхеме и светодиодный индикатор [Р 11/85-44]. Когда предохранитель цел, на вход инвертора (вывод 8 микросхемы DD1) подается

## 27. Электронные устройства на КМОП-микросхемах

напряжение высокого уровня, запрещающее работу генератора. Стоит перегореть предохранителю, вывод 8 через сопротивление нагрузки оказывается присоединенным к общей шине. Генератор начнет работать, при этом светодиод мигает с частотой около 5 Гц. Для индикации перегорания предохранителя при «оборванной» нагрузке параллельно сопротивлению нагрузки желательно включить резистор величиной около 1 МОм.

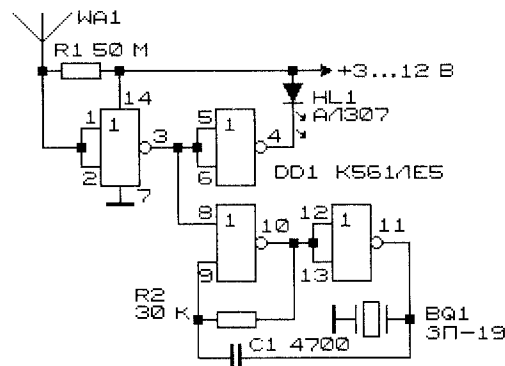


Рис. 27.11. Схема индикатора электрического поля

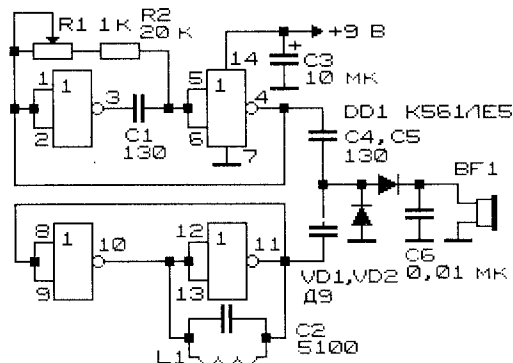


Рис. 27.12. Схема металлоискателя

Металлоискатель на КМОП-микросхеме DD1 K561LE5, выполненный по традиционной схеме сравнения частот опорного и поискового генераторов [Р 8/89-65], показан на рис. 27.12.

Частота опорного генератора определяется емкостью конденсатора C1 и суммарным сопротивлением резисторов R1 и R2.

## 27. Электронные устройства на КМОП-микросхемах

Частота поискового генератора зависит от параметров LC-контура поисковой катушки (L1, C2). При приближении поисковой катушки к металлическому предмету ее индуктивность меняется, изменяя частоту генерации поискового генератора.

Сигналы с обоих генераторов через развязывающие конденсаторы C4 и C5 поступают на диодный детектор, выполненный по схеме удвоения напряжения. Нагрузкой детектора является высокоомный телефонный капсюль BF1, и в нем выделяется сигнал разностной частоты. При использовании низкоомного телефонного капсюля может потребоваться дополнительный каскад усиления. Конденсатор C6 шунтирует на общий провод высокочастотные составляющие смешиваемых сигналов.

Поисковая катушка размещена внутри алюминиевого или медного незамкнутого кольца диаметром 200 мм. Диаметр трубки — 8 мм. Для намотки использован провод, например, ПЭЛШО диаметром 0,5 мм. Количество витков определяется по принципу «сколько войдет». Выводы катушки присоединяют к схеме, а саму трубку соединяют с общей шиной.

Налаживание прибора заключается в установке частоты опорного генератора до появления в телефонном капсюле звуковых сигналов низкой частоты. При этом, возможно, придется подобрать емкость конденсатора C1 или C2.

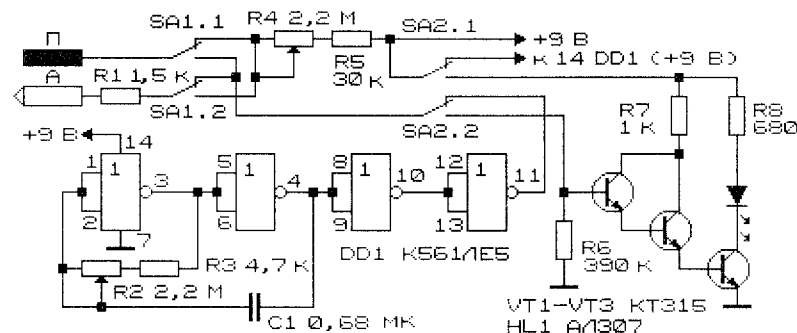


Рис. 27.13. Схема прибора для рефлексотерапии

Схема прибора — электронного устройства для рефлексотерапии, разработанного И. Скулкиным — показана на рис. 27.13 [Рл 2/97-26]. Узел поиска биологически активных точек (БАТ) содержит усилитель на составном транзисторе VT1 — VT3 и генератор импульсов на КМОП-микросхеме DD1.

Поисковый (активный) электрод (А) представляет собой закругленную иглу диаметром 1 мм. Пассивный электрод (П) состоит из отрезка телескопической антенны. При поиске БАТ на теле человека этот электрод зажимают в руке. Когда поисковый электрод попадает на БАТ, сопротивление участка кожи резко уменьшается, а устройство реагирует на это включением светодиода.

Полярность напряжения, прикладываемого к биологически активной точке, можно изменять переключателем SA1, а переключатель SA2 переводит устройство из режима поиска БАТ в режим воздействия на них. Частоту и ток воздействия задают потенциометры R2 и R4, соответственно.

Для проверки готовности прибора к работе следует в режиме «Поиск» (SA2) установить максимальный ток воздействия и замкнуть электроды. При этом должен загореться светодиод HL1.

Электронный телеграфный ключ на одной микросхеме K561ЛЕ5 (рис. 27.14) выполнен по традиционной для таких ключей схеме [Рл KB и УКВ 1/96-23]. Релаксационный генератор собран на логических элементах с разными RC-цепями, ответственными за формирование посылок тире и точек.

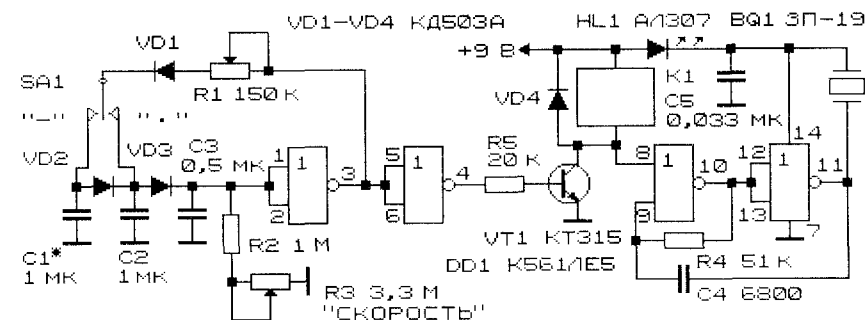


Рис. 27.14. Схема электронного телеграфного ключа

При нажатии на телеграфный ключ (замыкании зарядной цепи) заряжается группа конденсаторов C1 — C3 (тире) или C2, C3 (точка). Когда напряжение на входе логического элемента DD1.1 превысит определенный пороговый уровень, произойдет его переключение, и на выходе установится значение логического нуля. Процесс заряда конденсаторов прервется, и они начнут разряжаться через сопротивления R2 и R3. При снижении

напряжения на конденсаторах ниже определенного значения первый логический элемент вновь переключится, и процесс зарядки/разрядки конденсаторов повторится. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока замкнута контактная группа телеграфного манипулятора. Длительность точек и тире определяется постоянными времени зарядных и разрядных цепей (RC). Конденсаторы C1 — C3 должны иметь малые токи утечки.

Для звуковой индикации генерируемых телеграфных сигналов предназначен генератор, выполненный на третьем и четвертом элементах микросхемы. Генератор нагружен на пьезокерамический излучатель типа 3П-19. При использовании индуктивного излучателя (телефонного капсюля) последовательно с ним необходимо включить разделительный конденсатор емкостью более 0,1 мкФ. Одновременно со звуковой, в схему введена световая индикация на светодиоде HL1 (АЛ307), что позволяет визуально контролировать наличие телеграфных посылок. Для коммутации цепей передающего устройства использован буферный каскад на транзисторе VT1 (КТ315), нагруженный на реле.

Как и для других простейших телеграфных ключей, использующих подобный способ формирования точек и тире, данной конструкции присущи те же недостатки: необходимость подстройки соотношения продолжительности точек/тире сопротивлением R1 при изменении скорости передачи. Механическая часть манипулятора может быть изготовлена из отрезка ножовочного полотна с примыкающими к нему контактными группами. В качестве таких контактов можно воспользоваться контактами разобранного крупногабаритного реле.

«Многоголосый» имитатор звука, описанный М. Холодовым (рис. 27.15), содержит два последовательно включенных и управляемых генератора [Р 7/87-34]. Один из них работает на частоте 1...3 Гц, второй вырабатывает колебания частотой 0,2...2 кГц. Если в цепь управления (клеммы XS1 и XS2) подключить резистивно-емкостной датчик, то на выходе устройства можно получить различные звуковые эффекты, разнообразие проявления которых ограничено только фантазией экспериментатора. Если ко входу имитатора подключить переменное сопротивление 100 кОм и вращать его ручку, на выходе устройства звук будет напоминать трели соловья, затем щебетание воробья, крик утки, кваканье лягушки...

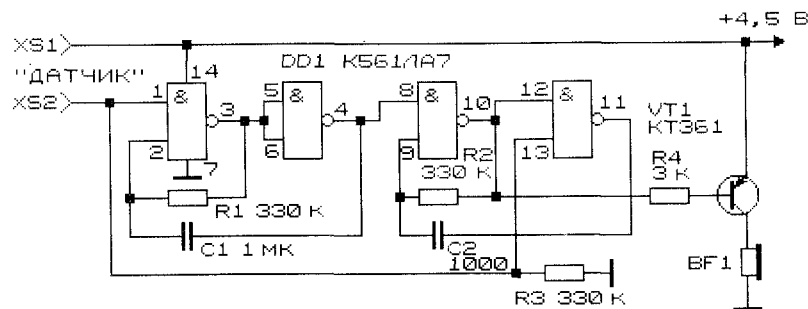


Рис. 27.15. Схема многоголосого имитатора звуков

Устройство собрано на микросхеме *K561ЛА7* (элементы И-НЕ). Имитатор при желании можно выполнить и на элементах ИЛИ-НЕ (*K561ЛЕ5*). Для этого потребуется самостоятельная переработка схемы.

## 28. Звукосигнальные охранные системы и устройства

Для индивидуальной защиты населения предназначены сирены личной охраны или звукошковые персональные устройства. Они могут быть использованы в системах охранной сигнализации, при защите автотранспортных средств, а также багажа: вмонтированы в атташе-кейсы и чемоданы [Рл 3/95-18, Рл 1/97-28].

Базовый элемент (рис. 28.1) устройств на рис. 28.2 и 28.3 на микросхеме типа *K561ЛЕ5* содержит генератор субгерцового диапазона и генератор, управляемый напряжением.

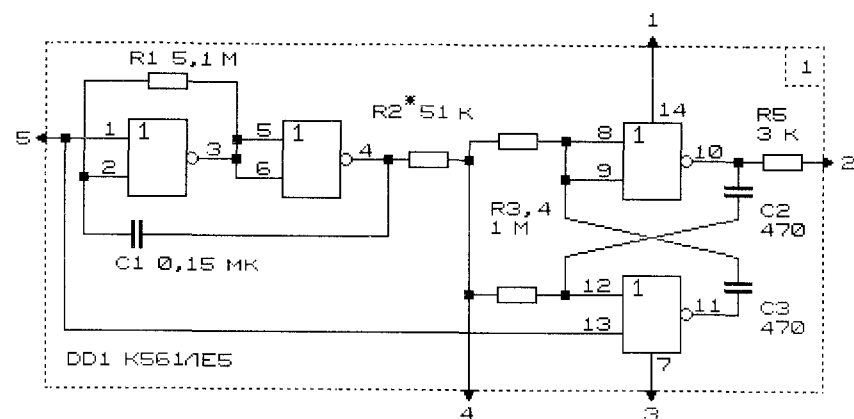


Рис. 28.1

На рис. 28.2 показана схема сирены личной охраны. Сирена включается при кратковременном замыкании контактов кнопки SB1. В схеме может быть также задействована кнопка SB2, при нажатии и удержании которой более десяти секунд сирена срабатывает и отключается лишь через 2...3 мин. Переключатель SA1 задает характер звуковых сигналов: от периодического завывания до двухтональных звуковых посылок. В ждущем режиме устройство практически не потребляет энергии, поэтому не нуждается в выключателе. Понизить выходную мощность можно, если исключить из схемы мощный транзистор VT2 типа *KT805*, при этом громкость звукового сигнала и потребляемый

## 28. Звукосигнальные охранные системы

устройством ток понизится в несколько раз. Громкоговоритель в этом случае желательно подключать через трансформатор. Можно использовать радиотрансляционный репродуктор.

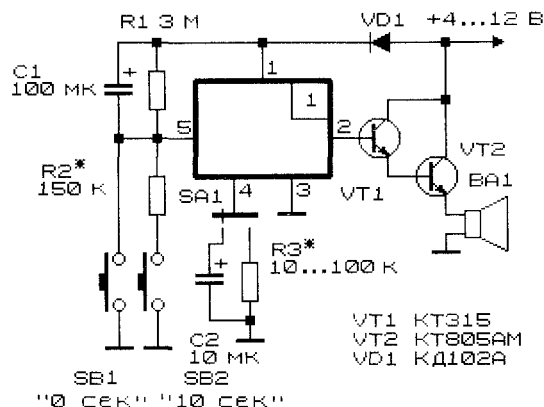


Рис. 28.2

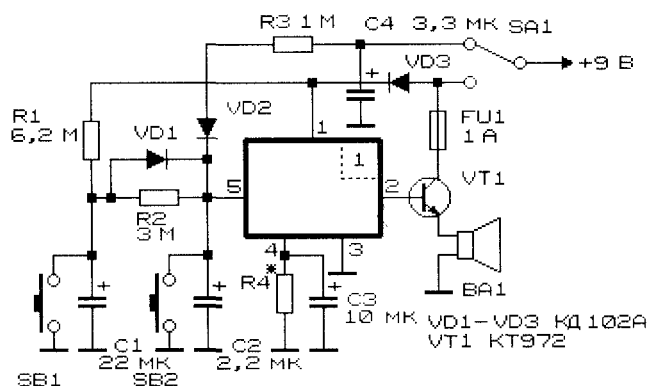


Рис. 28.3

На рис. 28.3 приведена схема охранно-сторожевого устройства с использованием сирены. В исходном состоянии конденсаторы C1, C2 и C4 заряжены от источника питания, схема сигнализации выключена. Кнопка SB1 установлена, например, на двери водителя, кнопка SB2 (или кнопки) — на других дверях, капоте и багажнике автомобиля. При установке устройства в режим

## 28. Звукосигнальные охранные системы

охраны включается тумблер SA1, после чего водитель за время до 5 сек покидает автомобиль (кратковременно замыкается кнопка SB1).

Конденсатор C1 при замыкании кнопки разряжается, но напряжение на конденсаторе C2 остается в пределах логической единицы за счет подпитки от конденсатора C4, и включения сирены не происходит. Затем устройство в течении 3 мин входит в сторожевой режим: конденсаторы C1 и C2 заряжаются до напряжения питания. Если до истечения заданного времени кратковременно замкнуть кнопку SB1, сирена включится через 1...10 сек, а если замыкание кнопки произойдет после выхода на режим охраны, задержка времени срабатывания составит 10 сек, что дает возможность водителю отключить сигнализацию. Нажатие кнопки SB2 в любом случае приведет к немедленному включению сирены. Время звучания сирены составляет 1...1,5 мин. После окончания звучания сирены устройство автоматически вновь переходит в сторожевой режим. Сирена работает непрерывно, если двери открыты (кнопки SB1 или SB2 замкнуты — наиболее неблагоприятный для охраняемого объекта режим).

Для придания звуку сирены наибольшего подобия звуку сигналов спецслужб может потребоваться подбор сопротивления, включаемого параллельно конденсатору задатчика характера звучания (конденсатор C2 на рис. 28.2 и конденсатор C3 на рис. 28.3). Величина сопротивления, подключенного параллельно этому конденсатору, — десятки кОм.

Переключатель SA1 (рис. 28.3) должен быть установлен скрытно, желательно применить геркон типа КЭМ-3 и включать/отключать его с помощью магнита. При использовании устройств в составе охранной сигнализации автомобиля (см, например, рис. 28.5), в качестве кнопки SB1 могут быть применены маятниковые охранные реле, инерционные датчики качания и т.д.

На рис. 28.4 представлена схема сирены персональной охраны, выполненная на микросхеме типа К561ЛН2 и трех транзисторах. Устройство содержит два генератора: генератор ультранизкой частоты, определяющий характер модуляции звукового сигнала, и управляемый генератор низкой частоты. Для усиления звукового сигнала используется незадействованные элементы микросхемы и составной транзистор VT1 и VT2, в коллекторную цепь которого включен низкоомный громкоговоритель. В устройстве можно использовать одну-две микросхемы типа К561ЛЕ5

или K561ЛА7. Такая доработка предполагается для развития самостоятельного творчества.

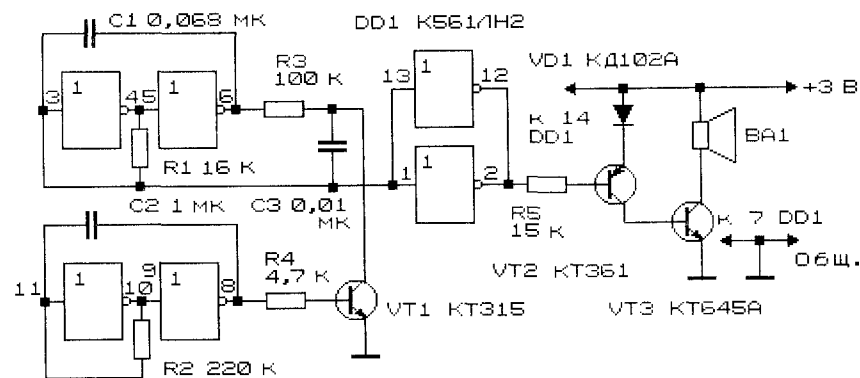


Рис. 28.4

В качестве выключателя питания применяется специальный ключ на шнурке. Сирена включается при выдергивании ключа, тогда контакты выключателя замыкаются. Отключить устройство можно только ключом хозяина. При подаче напряжения питания сигнал с генератора, поступая на базу модулирующего транзистора VT1, вызывает изменение (модуляцию) частоты генератора звуковой частоты. Модулированный сигнал («переливающийся» звук) поступает на усилительный и оконечный каскады на транзисторах VT2, VT3. Выходной транзистор работает в импульсном режиме и, благодаря малому остаточному напряжению коллектор — эмиттер, нагревается незначительно, следовательно может быть установлен без теплоотвода.

Устройство звукосигнализации (рис. 28.5) выполнено на одной микросхеме K561ЛЕ5 и двух транзисторах и может быть использовано в качестве сирены персональной охраны, переносного охранного устройства типа «охранного устройства путешественника», а также для светодиодной подсветки замочной скважины. Это многофункциональное устройство обеспечивает: режим немедленной сигнализации; режим отсроченной сигнализации; самоотключение после устранения причины срабатывания и автоматический выход на режим охраны; наличие предупредительной звуковой посылки; возможность пользования устройством как фонариком (одновременно контроль пригодности элементов питания). Звукосигнализация, состоящая из

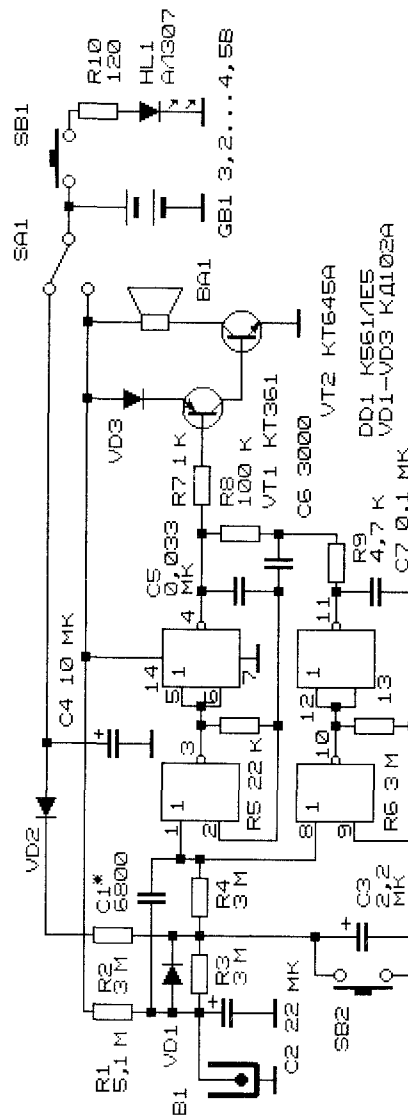


Рис. 28.5

двух генераторов и усилителя, питается от двух-трех элементов питания с общим напряжением 3,2...4,5 В. Вырабатываемый звуковой сигнал — двухтональный.

Устройство работает следующим образом. В отключенном состоянии напряжение питания от батареи GB1 через цепочку VD2 и R2 поддерживает уровень логической единицы на входах 1 и 8 микросхемы DD1. Потребляемый при этом ток составляет единицы микроампер, разряд батареи практически отсутствует. При включении переключателя SA1 специальным ключом (см. выше), устройство переводится в режим сторожевой сигнализации. В этом случае оно немедленно сработает при замыкании кнопки (или датчика) SB2 с последующим самоотключением через определенный интервал времени (десятки секунд), только если устранена причина срабатывания датчика. Срабатывание датчика B1 сопровождается коротким предупредительным звуковым сигналом, длительность и громкость которого определяется элементами R4 и C1. Сирена включится, если устройство в течение 6...10 сек (определяется постоянной времени R3C3) не будет отключено хозяином. Если не будет повторных срабатываний датчиков, через несколько десятков секунд (60...90 сек, что определяется постоянной времени R1C2) звуковой сигнал отключится и устройство выйдет снова на режим охраны объекта. Потребляемый при этом ток составляет доли миллиампера. Максимальный ток, потребляемый устройством при звуковой сигнализации, составляет 200...300 мА.

В качестве датчика B1 используется контактная группа маятниково-пружинного типа, состоящая из внешнего металлического стакана (цилиндр диаметром около 10 мм), внутри которого через диэлектрическую прокладку установлена пружина, свитая из неизолированного проводника. Датчик регулируют таким образом, чтобы при любом положении устройства конец пружины не замыкался на внешний электрод (цилиндр), в то же время даже малое покачивание устройства должно вызывать замыкание контактной группы.

Для подсветки, например, замочной скважины, а также для проверки годности элементов питания используется светодиодный излучатель HL1.

Охранные устройства с прерывистой светозвуковой сигнализацией (рис. 28.6, 28.7) выполнены с использованием генераторов на аналогах инжекционно-полевых транзисторов [Ра 6/00-27].

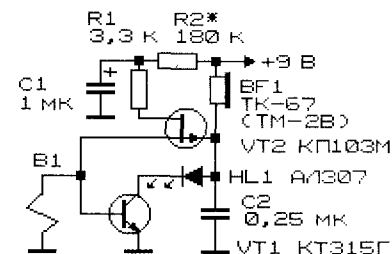


Рис. 28.6

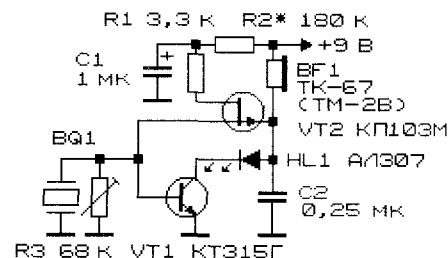


Рис. 28.7

В первом из устройств (рис. 28.6) шлейф охранной сигнализации B1 включен параллельно переходу эмиттер — база транзистора VT1. При исправном состоянии шлейфа транзистор VT1 закрыт, устройство потребляет от источника питания ток не более 20 мкА. В случае, если шлейф B1 будет разорван, генератор импульсов на транзисторах VT1 и VT2 начнет синхронно вырабатывать короткие звонкие посылки звука (BF1) и яркие вспышки света (HL1).

Средний ток, потребляемый устройством в режиме тревожной сигнализации, составляет 2 мА при частоте следования светозвуковых посылок 1...3 Гц. Резистор R2 определяет частоту следования светозвуковых посылок — от непрерывного звучания и свечения до долей Гц.

В устройстве (рис. 28.7) в качестве датчика использован пьезокерамический преобразователь BQ1 (излучатель типа ЗПЗ). Если он наклеен на поверхность стекла или иную гладкую поверхность, то легкое постукивание по стеклу вызовет срабатывание светозвуковой сигнализации — следует короткая светозвуковая посылка. Потенциометром R3 регулируют порог срабатывания устройства.

## 29. Аналоговое применение цифровых микросхем

Логические микросхемы, как правило, предназначены только для работы в «цифровой» технике, допускающей лишь два вида сигналов: логический ноль и логическую единицу. Такие устройства большей частью не требуют индивидуальной подборки элементов схемы и работают более надежно.

В то же время большой практический интерес представляют схемные решения, позволяющие применить «цифровые» микросхемы в аналоговой технике. Такой подход расширяет наши представления о возможном и невозможном в мире электроники, заставляет более продуктивно работать фантазию. Открывается широкое поле для экспериментов, творчества, совершенствования своих познаний в области радиоэлектроники.

Особенно перспективно использование в «аналоговом» режиме «цифровых» микросхем серий КМОП. Они выполнены на полевых транзисторах, имеют высокое входное сопротивление, экономичны и неприхотливы к напряжению питания: могут работать в широком его диапазоне. Недостаток микросхем этой серии — низкие рабочие частоты (для микросхем серии К561 обычно не выше 1...3 МГц).

На рис. 29.1 — 29.3 показаны довольно простые УНЧ. Усилитель (рис. 29.1) при напряжении питания 9 В и  $R_2=1\text{ кОм}$  имеет параметры, приведенные в таблице 29.1 [F 8/82-381].

Таблица 29.1

| $R_1, \text{МОм}$ | $K_{\text{ус}}$ | $F_{\text{нижн}}, \text{Гц}$ | $F_{\text{верхн}}, \text{кГц}$ | $R_{\text{вх}}, \text{кОм}$ | $R_{\text{вых}}, \text{кОм}$ |
|-------------------|-----------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 0,1               | 40              | 450                          | 15                             | 3                           | 50                           |
| 1                 | 65              | 95                           | 8                              | 15                          | 70                           |
| 10                | 70              | 8                            | 8                              | 120                         | 70                           |

При разных значениях питающего напряжения +Е и  $R_1=1\text{ МОм}$ ,  $R_2=0\text{ кОм}$  параметры усилителя (рис. 29.1) изменяются (см. табл. 29.2).

## 29. Аналоговое применение цифровых микросхем

Таблица 29.2

| +Е ( $U_{\text{пит.}}$ ), В | $I_{\text{потр.}}$ , мА | $K_{\text{ус}}$ | $F_{\text{нижн}}, \text{Гц}$ | $F_{\text{верхн}}, \text{кГц}$ | $R_{\text{вх}}, \text{кОм}$ | $R_{\text{вых}}, \text{кОм}$ |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 6                           | 1                       | 80              | 180                          | 2,5                            | 12                          | 150                          |
| 9                           | 4                       | 52              | 80                           | 13                             | 16                          | 40                           |
| 12                          | 9                       | 40              | 55                           | 28                             | 25                          | 20                           |

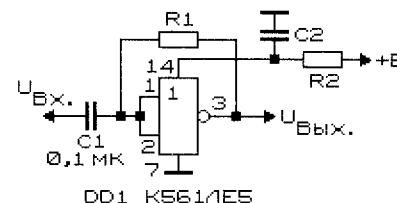


Рис. 29.1. Схема усилителя

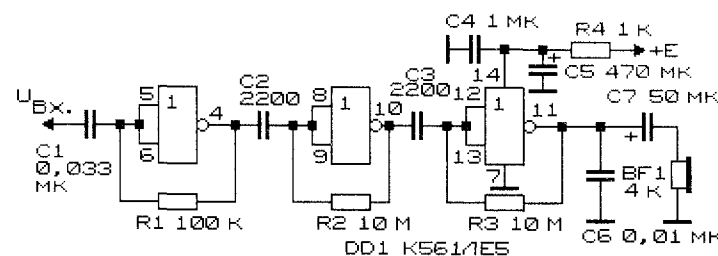


Рис. 29.2. Схема усилителя

Телефонный усилитель (рис. 29.2) на основе последовательного включения трех таких каскадов имеет усиление порядка 86 дБ в полосе частот 600...1400 Гц (напряжение питания 9 В, потребляемый ток 2 мА).

Для усилителя (рис. 29.3) коэффициент усиления определяется отношением  $R_2$  к  $R_1$  и для указанных на схеме номиналов равен 100 [В.Л. Шило]. Выходное напряжение может достигать 90% от напряжения питания: при напряжении питания 9 В напряжение переменного тока на выходе усилителя достигает 8 В. Число логических элементов для реализации режима усиления должно быть нечетным: 1, 3, 5 и т.д. Четное число логических элементов в устройстве образует генератор. Поэтому

## 29. Аналоговое применение цифровых микросхем

схемное решение с переключаемым числом логических элементов можно использовать, например, при организации проводной связи для перевода устройства из режима усиления в режим вызова абонента.

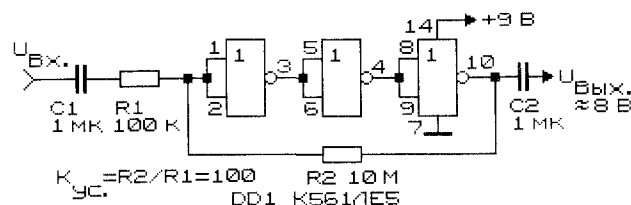


Рис. 29.3. Схема усилителя

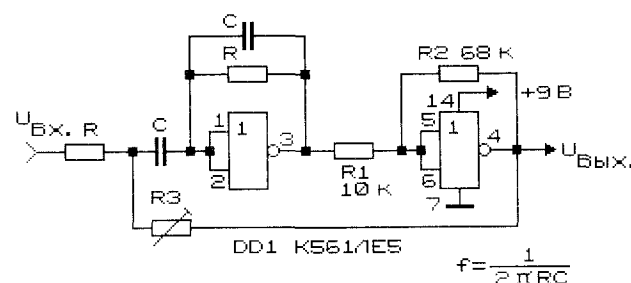


Рис. 29.4. Схема фильтра

На рис. 29.4 приведен пример использования КМОП-микросхемы в качестве узкополосного НЧ фильтра [Fs 8/79-134]. Рабочая частота фильтра определяется как  $f=1/2\pi RC$ , где  $R$  и  $C$  — параметры резисторов и конденсаторов. Добротностью фильтра (крутизной, остротой спада или подъема сигнала от частоты) можно управлять, перестраивая потенциометр  $R3$ .

На основе нескольких подобных фильтров, настроенных на разные частоты, может быть собрано устройство цветомузыкального сопровождения. Для этого достаточно на выходе фильтров включить простейшие усилители постоянного (или переменного) тока, нагруженные на светоизлучающие приборы (светодиоды, лампы накаливания). Выделенные фильтрами низкочастотные сигналы можно также через согласующие каскады подавать на управляющие электроды тиристоров или симисторов. Питает тиристоры пульсирующим током, симисторы — переменным.

## 29. Аналоговое применение цифровых микросхем

Устройство конструкции И.А. Нечаева (рис. 29.5) можно использовать в качестве индикатора низкочастотных сигналов, амплитуда которых превышает 2...3 В [Р 10/90-83]. При подаче на пробник такого сигнала он выпрямляется и поступает на цепь питания пробника. Одновременно выпрямленный сигнал управляет работой внутренних генераторов устройства: вырабатываются звуковые сигналы, свидетельствующие о наличии на его входе надпорогового напряжения переменного тока. Сила звука пропорциональна амплитуде тестируемого сигнала.

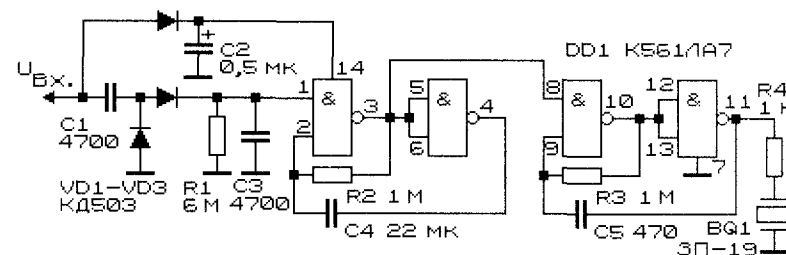


Рис. 29.5. Схема пробника

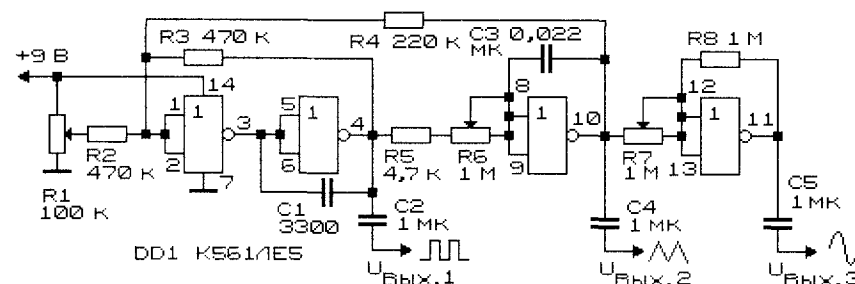


Рис. 29.6. Схема функционального генератора

На основе КМОП-микросхемы может быть собран функциональный генератор (рис. 29.6) [В.Л. Шило]. К таким генераторам относят устройства, вырабатывающие синхронно изменяющиеся во времени сигналы разной формы. Устройство вырабатывает сигналы прямоугольной формы (выход 1), треугольной формы (выход 2) и синусоидальный сигнал (выход 3).

На первых двух инверторах выполнен обычный генератор прямоугольных импульсов. Соотношение пауза — длительность импульса регулируется потенциометром  $R1$ . Следующий каскад

является интегратором. На его выходе синтезируется сигнал, по форме приближающийся к треугольному. Форма этого сигнала регулируется в некоторых пределах потенциометром R6. Последний, четвертый инвертор микросхемы работает в режиме усиления (см. рис. 29.3). За счет неидеальности передачи сигнала треугольной формы (его сглаживания) на выходе усилителя форма сигнала приближается к синусоиде. Большую степень приближения к синусоиде можно получить после простейшего фильтра, выделяющего первую и подавляющего высшие гармоники.

Недостатком функциональных генераторов является сложность перестройки их по частоте, т.к. условия формирования сигналов необходимой формы с изменением частоты меняются, неизменным по форме остается только сигнал прямоугольной формы.

На базе логических элементов КМОП могут быть созданы и другие радиоэлектронные устройства, например, радиоприемник прямого усиления (рис. 29.7) [Р 6/82-51]. Радиоприемник способен работать в диапазоне длинных волн, и, с ухудшением чувствительности — в диапазоне средних волн. Чувствительность этого приемника, как и других приемников прямого усиления невысока.

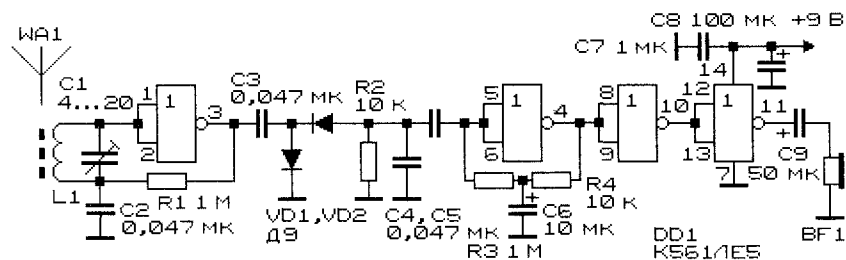


Рис. 29.7. Схема радиоприемника

Входной каскад приемника выполнен на первом инверторе микросхемы. В качестве входного колебательного контура, определяющего частоту приема, могут быть использованы элементы входной цепи любого старого (транзисторного или лампового) радиоприемника, катушки индуктивности или магнитные антенны совместно с конденсатором переменной емкости, см. также главу 14. Для повышения громкости приема к колебательному контуру

приемника рекомендуется подключить наружную антенну, а также заземление.

Выделенный входным колебательным контуром и усиленный первым каскадом сигнал поступает на амплитудный детектор, выполненный на диодах VD1 и VD2 по схеме удвоения напряжения. Далее сигнал низкой частоты выделяется на сопротивлении R2, а высокочастотная составляющая шунтируется «на землю» конденсатором C4. Сигнал звуковой частоты через конденсатор C5 поступает на трехкаскадный УНЧ. Выход УНЧ через разделительный конденсатор C8 нагружен на телефонный капсюль BF1. Звуковой сигнал может быть дополнительно усилен, если к выходу радиоприемника подключить внешний УНЧ (см. главу 4).

На основе логических элементов могут быть созданы и устройства, позволяющие осуществить переход от аналоговых сигналов к цифровым. Подобные устройства именуются формирователями импульсов и применяются для создания различного рода технических устройств, например, устройств голосового управления, для управления релейными схемами от источника звукового сигнала (радиоприемника, магнитофона, проигрывателя, телефонной линии и пр.).

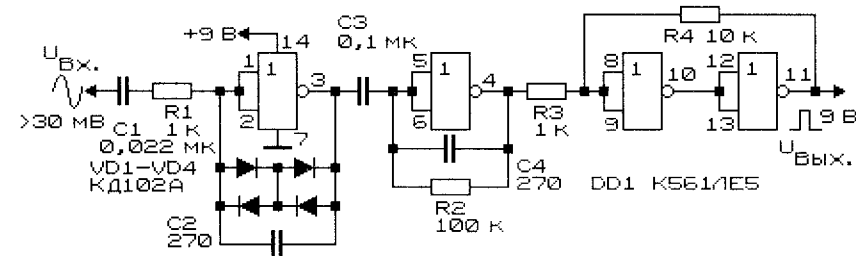


Рис. 29.8. Схема формирователя импульсов

Формирователь импульсов (рис. 29.8) имеет высокую чувствительность [Рл 7/92-11]. При амплитуде аналогового сигнала на входе, превышающей 30 мВ, на выходе формируется сигнал прямоугольной формы с амплитудой, близкой к напряжению источника питания (9 В). Первый каскад устройства представляет собой усилитель-ограничитель импульсов. Ограничение импульсов по амплитуде происходит за счет использования включенных встречно-параллельно кремниевых диодов. Последующие каскады формируют выходной сигнал прямоугольной формы.

## 30. Линейно-инверсный мост и мост модулированного тока

Для измерения параметров RLC-элементов традиционно используют мостовые измерительные схемы — мост Уитстона (рис. 30.1). В зависимости от используемой разновидности мостовой схемы шкалы приборов имеют линейный либо нелинейный характер (с растянутой частью шкалы). Общий недостаток линейных мостовых схем — узкий диапазон измерений.

Мостовая схема, сочетающая возможность измерения параметров RLC как в схеме линейного, так и в схеме инверсного моста (рис. 30.1 — 30.3), позволяет заметно расширить диапазоны измеряемых значений [Рл 3/01-30].

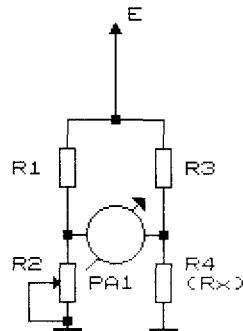


Рис. 30.1. Схема линейного моста

На рис. 30.1 и 30.2 показаны, соответственно, схемы линейного и инверсного мостов, в таблице 30.1 — основные соотношения элементов мостов и расчетные формулы для определения искомого значения (на примере определения  $R_x$ ). Множитель диапазона  $K$  кратен десяти. В качестве элемента балансировки моста должен быть использован специальный потенциометр. Это может быть многооборотный (десятиоборотный) потенциометр со счетчиком оборотов и линейной зависимостью изменения сопротивления от угла поворота, либо однооборотный проволочный потенциометр с редуктором, либо магазин сопротивлений (двух, трехдекадный набор последовательно включаемых эталонных

сопротивлений). Шкала градуируется от 0 до 1,00 с дискретностью отсчета не хуже 0,01 ед. Для решения учебно-исследовательских задач в качестве такого потенциометра допустимо использовать однооборотный потенциометр с линейной зависимостью изменения сопротивления от угла поворота.

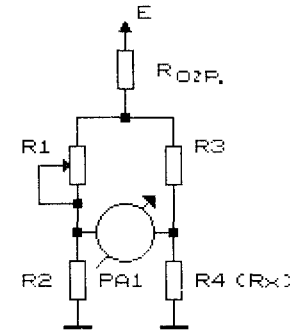


Рис. 30.2. Схема инверсного моста

Для повышения точности отсчета при создании прибора для измерений с повышенной точностью желательно использовать но-ниусную шкалу (как на микрометрах или штангенциркулях).

Таблица 30.1

|                            |                    |                    |                                               |                         |                                                    |
|----------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|
| Линейный мост (рис. 30.1)  | $R1, R3$ — прециз. | $R_x = R4 \leq R3$ | $R2_{\max} = R1;$<br>$R2 = (0 \dots 1,00) R1$ | $R_x = \frac{R2R3}{R1}$ | $R_x = (0 \dots 1,00) KR1;$<br>$K = 10^N$          |
| Инверсный мост (рис. 30.2) | $R2, R3$ — прециз. | $R_x = R4 \geq R3$ | $R1_{\max} = R2;$<br>$R1 = (0 \dots 1,00) R2$ | $R_x = \frac{R2R3}{R1}$ | $R_x = \frac{K}{(0 \dots 1,00) R2};$<br>$K = 10^N$ |

На рис. 30.3 приведен фрагмент практической блок-схемы линейно-инверсного моста. Переключатель SA1 выполняет одновременно несколько функций: позволяет отключать источник питания, а также переключать измерительный мост на питание от внешнего источника постоянного или переменного тока, внутреннего генератора переменного тока или источника постоянного тока. Резистор  $R_{огр}$  (рис. 30.2, 30.3) служит для ограничения тока короткого замыкания при измерении малых сопротивлений. Переключатель SA2 предназначен для изменения режима работы

моста с линейного на инверсный. Для измерения параметров  $L$  и  $C$  (рис. 30.3) эталонный и неизвестный элементы включают вместо элементов  $R3$  и  $R4$  моста. В качестве нуль-индикатора  $PA1$  может быть использован внешний измерительный прибор — милливольтметр переменного тока.

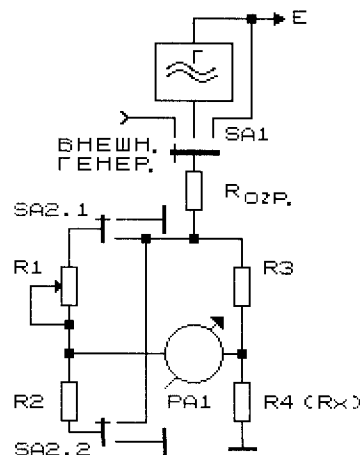


Рис. 30.3

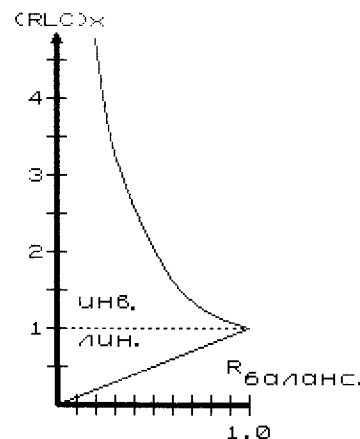


Рис. 30.4

На рис. 30.4 показаны возможные пределы измерения мостовой схемы в зависимости от угла поворота оси (в долях или

процентах) балансировочного потенциометра в линейном и инверсном включении моста. Использование инверсного включения моста позволяет расширить диапазон измерений параметров  $RLC$  на один, два порядка в сторону больших значений при сохранении возможности измерения меньших значений относительно эталонного значения в режиме линейного моста. Это позволяет заметно упростить конструкцию моста и сократить вдвое количество дорогостоящих дефицитных прецизионных (имеющих малое отклонение от номинала) элементов.

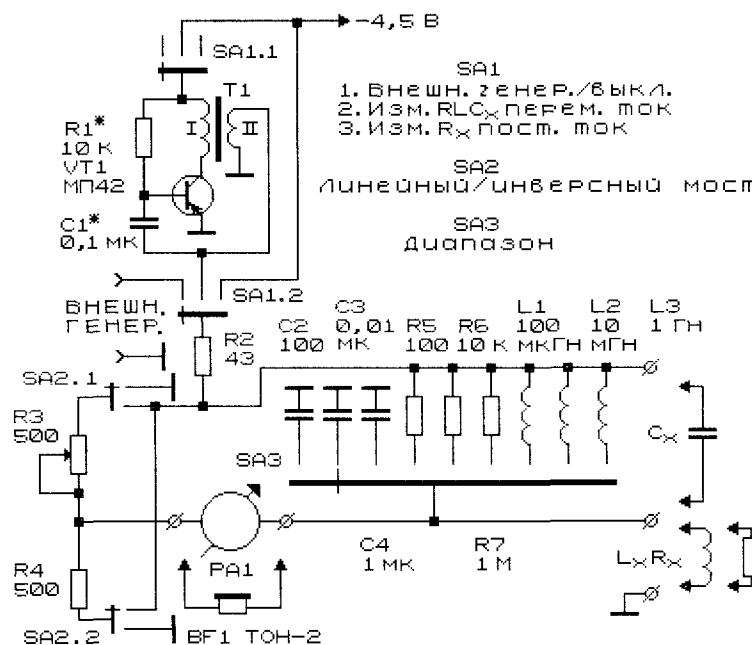


Рис. 30.5

На рис. 30.5 приведена практическая схема линейно-инверсного моста, способного работать как на переменном, так и на постоянном токе от внутреннего или внешнего источника (генератора). В качестве внутреннего генератора звукового диапазона используется блокинг-генератор на транзисторе  $VT1$ . В генераторе может быть использован кремниевый транзистор типа  $KT361$ . В случае отсутствия генерации выводы одной из обмоток трансформатора следует поменять местами. Частота

генерации блокинг-генератора определяется свойствами трансформатора и постоянной времени  $R_1C_1$ , поэтому желателен подбор этих элементов.

Переключатель (выключатель) SA1 позволяет подавать питание на мост от внешнего генератора (источника постоянного или переменного тока), от внутренних звукового генератора или источника постоянного тока напряжением 4,5 В.

Переключатель SA2 переводит устройство в режим линейного или инверсного моста. В устройстве использовано минимальное количество прецизионных RLC-элементов. Эти элементы могут быть отобраны или составлены из обычных резисторов или конденсаторов с контролем полученной величины по цифровому измерительному прибору.

Диапазоны измерений линейного-инверсного моста составляют: от 1 Ом до 100 МОм, от 1 пФ до 100 мкФ, от 1 мкГн до 100 Гн.

В качестве индицирующего прибора при измерении на переменном токе желательно использовать высокоомные головные телефоны ТОН-1/ТОН-2; на постоянном токе — высокоомные измерительные приборы магнитоэлектрической системы. Кроме того, в качестве нуль-индикаторов можно подключить внешние измерительные приборы, например, милливольтметр переменного тока.

В качестве трансформатора Т1 можно использовать выходной или согласующий трансформатор от портативного радиоприемника.

На рис. 30.6 показана мостовая измерительная схема — мост модулированного тока. Питание моста осуществляется модулированным постоянным током, что позволяет использовать в качестве нуль-индикаторов измерительные и индикаторные приборы, чувствительные как к переменному, так и к постоянному току.

При использовании моста модулированного тока появляется возможность одновременного контроля параметров реактивных и активных элементов на постоянном и на переменном токе. Переключатель SA1 позволяет питать мост как от внешнего источника переменного и/или постоянного напряжения (внешнего генератора), так и от внутреннего блокинг-генератора на

транзисторе VT1. Переключатель SA1 одновременно является выключателем устройства.

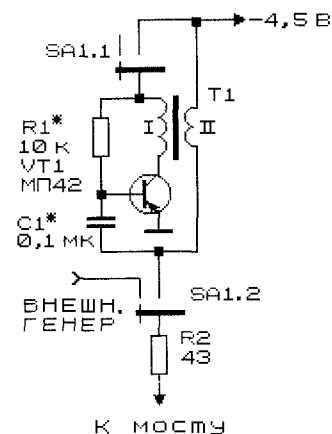


Рис. 30.6

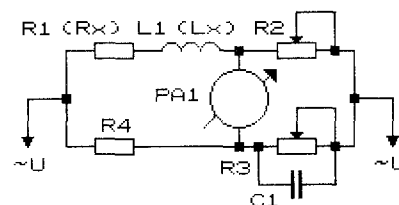


Рис. 30.7. Схема моста переменного тока *Максвелла*

Мост Уитстона, рис. 30.1, является далеко не единственной мостовой схемой, предназначенной для измерения сопротивлений, индуктивностей или емкостей. Для сопоставления на рис. 30.7 — 30.10 приведены мостовые схемы *Максвелла* (рис. 30.7), *Хэя* (рис. 30.8), *Соти* (рис. 30.9), *Вина* (рис. 30.10), названные так в честь предложивших их исследователей. При помощи этих приборов можно получить также сведения о тангенсе угла диэлектрических потерь конденсаторов, измерить величину добротности катушек индуктивности. Обозначения элементов моста условны. Для выполнения условия балансировки моста (нулевые показания индикатора) должно выполняться равенство соотношения элементов плеч моста.

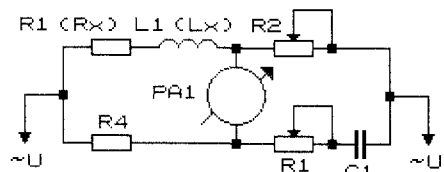


Рис. 30.8. Схема моста переменного тока *Хейя*

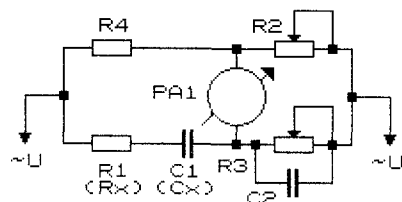


Рис. 30.9. Схема моста переменного тока *Сотти*

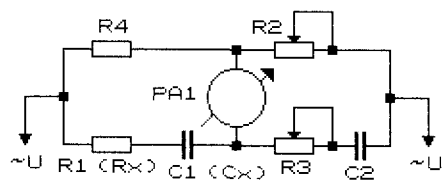


Рис. 30.10. Схема моста переменного тока *Вина*

Общий принцип действия мостов переменного тока — подача питающего переменного напряжения и последующая балансировка моста при помощи регулируемых элементов. Стрелка измерительного прибора, милливольтметра переменного тока, при балансировке должна быть на нуле. Если в качестве индикатора баланса используются головные телефоны, в телефонах не должен прослушиваться звуковой сигнал.

Для нахождения неизвестного (определяемого) значения емкости, индуктивности, сопротивления регулируемые элементы мостов — потенциометры R2 и R3, либо заменяющие их наборы переключаемых эталонных резисторов, должны быть откалиброваны. Калибровочные значения могут быть нанесены на лимбы ручек регулирующих элементов.

Мостовые схемы, процесс их балансировки, а также принципы, заложенные в этом методе измерения, широко используют

в радиоэлектронике: например, в балансных модуляторах, в измерительных приборах и преобразователях. В этой связи рекомендуется подробно изучить различные варианты мостовых схем, оценить перспективы их использования в своих последующих самостоятельных конструкциях.

## 31. Многодиапазонные измерительные приборы

Универсальные измерительные приборы — ампервольтметры (авометры) — позволяют измерять при относительно простой схеме все необходимые в практике радиолюбителя электрические величины: напряжение, ток, сопротивление. На рис. 31.1, 31.2 и 31.5 показаны типичные схемы авометров без использования активных элементов (транзисторов) [Рл 3/97-10]. На рис. 31.1 и 31.2 номиналы элементов, входящих в схему, не указаны. Обозначены лишь значения диапазонов измерения. Сделано так потому, что при расчете значений элементов схем отталкиваются от параметров используемого электроизмерительного прибора (его чувствительности или тока полного отклонения и значения электрического сопротивления).

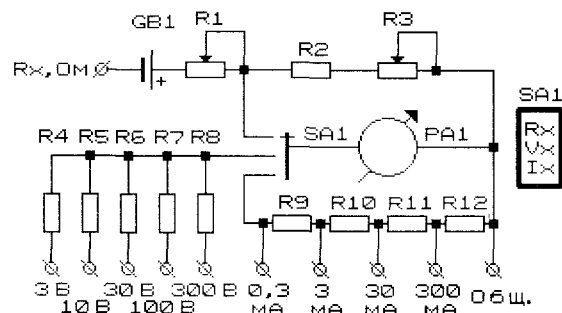


Рис. 31.1

Расчет резистивных элементов авометров несложен, однако он не укладывается в короткое описание. Поэтому схемы (рис. 31.1 и 31.2) приведены лишь для примера, а для схемы авометра (рис. 31.5) значения указаны для измерительной головки магнитоэлектрического типа с током полного отклонения 100 мкА и внутренним сопротивлением 1 кОм.

Для схем на рис. 31.1 и 31.2 подобрать экспериментально значения элементов схемы можно следующим образом. Вначале при помощи вспомогательного милли- или микроамперметра определяют ток, при котором стрелка измерительного прибора отклоняется на 100% (ток полного отклонения). Для этого приборы

включают последовательно, соблюдая полярность. Кроме того, последовательно с приборами включают пару сопротивлений, одно из которых ограничивает максимальный ток в цепи (1...10 кОм), а второе является переменным (10...100 кОм). Полученную цепь подключают к батарейке и, с помощью потенциометра, устанавливают такое значение тока, чтобы ни один из приборов не зашкаливал. Например, если эталонный прибор показывает 50 мкА, а стрелка «аттестуемого» прибора отклонилась на 50% шкалы, то его чувствительность составляет 100 мкА.

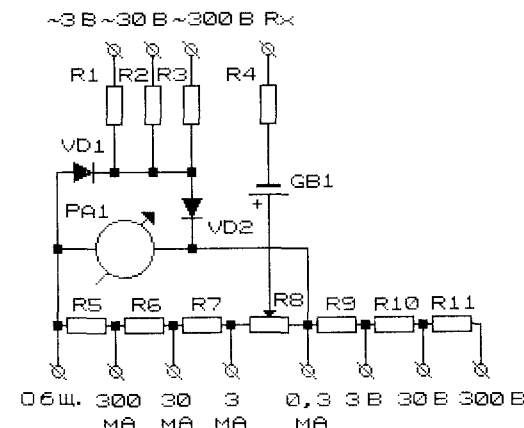


Рис. 31.2

Переключатель SA1 (рис. 31.1) устанавливают в нижнее по схеме положение (амперметр). Параллельно PA1 подключают потенциометр (реостат) сопротивлением до 100...1000 Ом, вновь собирают измерительную цепь (см. выше), устанавливают ток в цепи 300 мкА и регулировкой потенциометра добиваются полного (на всю шкалу) отклонения стрелки настраиваемого прибора. После отпайки потенциометра измеряют его сопротивление  $R_{\Pi}$ . Тогда значение сопротивления  $R_9$  равно 90% от  $R_{\Pi}$ ;  $R_{10}$  — 9% от  $R_{\Pi}$ ;  $R_{11}$  — 0,9% от  $R_{\Pi}$ ;  $R_{12}$  — 0,1% от  $R_{\Pi}$ .

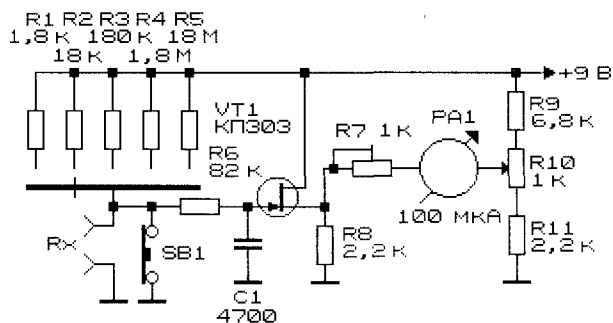
Для выбора величины сопротивлений  $R_4$  —  $R_8$  переключатель SA1 переводят в среднее положение (вольтметр). Вместо резистора  $R_4$  подключают потенциометр (реостат) сопротивлением 1...10 кОм, на вход прибора подают напряжение 3 В и, вращая ручку потенциометра, добиваются установки стрелки прибора на конец шкалы. Затем, после отпайки потенциометра,

## 31. Многодиапазонные измерительные приборы

измеряют его сопротивление и заменяют постоянным резистором, имеющим то же сопротивление. Если подобрать сопротивление по номиналу не удастся, его можно составить из двух, трех последовательно соединенных сопротивлений. Аналогично подбирают (определяют) остальные сопротивления. Зачастую их значения соотносятся как 1:10:100, либо как 1:3:10:30:100 (см. рис. 31.1 — 31.5).

В режиме измерения сопротивлений (переключатель SA1 в верхнем по схеме положении) шкала измерительного прибора нелинейна, поэтому, подобрав значения сопротивлений R1 — R3, шкалу прибора калибруют (маркируют), используя набор сопротивлений известной величины.

Авометр (рис. 31.2) отличается тем, что позволяет дополнительно измерять напряжение переменного тока. Шкала прибора, особенно в начальной ее части, при измерении переменных напряжений довольно нелинейна. Это обусловлено нелинейностью вольт-амперных характеристик диодов выпрямителя VD1 и VD2. Для получения более линейной шкалы в качестве этих диодов желательно использовать германиевые диоды, способные работать при пониженных напряжениях.



**Рис. 31.3**

На рис. 31.3 показана схема «линейного» омметра, позволяющего измерять сопротивления по единой линейной шкале на диапазонах  $0 \dots 100 \text{ Ом}$ ;  $0 \dots 1 \text{ кОм}$ ;  $0 \dots 10 \text{ кОм}$ ;  $0 \dots 100 \text{ кОм}$ ;  $0 \dots 1 \text{ МОм}$  [F 10/85-483]. Резисторы R1 — R5 задают стабильный ток: падение напряжения на измеряемом сопротивлении не превышает 5% от значения питающего напряжения (9 В). Поэтому напряжение на измеряемом сопротивлении прямо пропорционально

### 31. Многодиапазонные измерительные приборы

величине его сопротивления. Транзисторно-мостовая схема с использованием полевого транзистора позволяет с высокой степенью точности измерять напряжение на входе прибора (при нажатой кнопке SB1). Стрелку измерительного прибора устанавливают на нуль потенциометром R10, а регулировкой потенциометра R7 — на конец шкалы (100%) при измерении эталонного сопротивления, например, 1 кОм.

Авометр на полевых транзисторах (рис. 31.4) предназначен для измерения напряжения постоянного и переменного (до 1 кГц) тока, постоянного тока, сопротивления, емкости электролитических конденсаторов [АТС 3/98-38]. На всех диапазонах шкала измерительного прибора линейна.

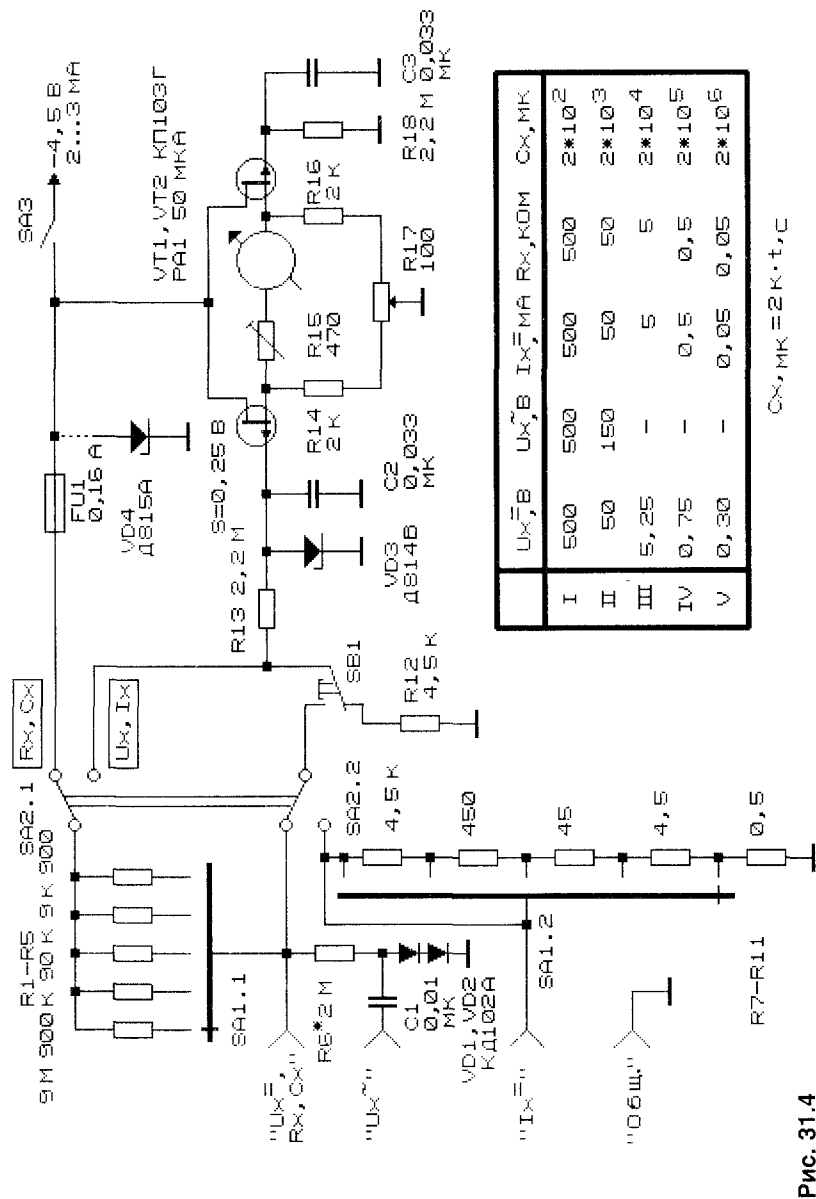
Авометр содержит: входные цепи (переключатель диапазонов, переключатель режима измерения, делители напряжения и т.д.), элементы защиты прибора от перегрузок и наводок (R13, VD1, VD2, C2, FU1, VD3), балансно-мостовой усилитель постоянного тока на полевых транзисторах VT1, VT2 и измерительный прибор PA1.

Переключатель SA1 задает предел измерений, SA2 — вид измерений; SA3 — отключает питание прибора. Кнопка SB1 — временно нажимается при измерении постоянного тока, а также сопротивлений после подключения объекта измерений к клеммам прибора.

В режиме измерения напряжений постоянного тока входной сигнал через резисторы R1 — R5, а при измерении напряжения переменного тока через пиковый детектор C1, диоды VD1, VD2 и резистор R6, подается на образцовый (эталонный) резистор R12. Чувствительность по входу усилителя постоянного тока при токе полного отклонения измерительного прибора магнитоэлектрической системы 50 мкА составляет 0,25 В.

При измерении постоянного тока входной сигнал подается и снимается с резистивного делителя R7 — R11 и, при нажатии на кнопку SB1, поступает на вход усилителя.

Измерение сопротивлений осуществляется по падению напряжения на измеряемом сопротивлении при заданной величине протекающего через объект измерения тока. В качестве задатчиков тока использованы резисторы R1 — R5. Максимальная погрешность в конце шкалы не превышает 5%.



Емкость электролитических конденсаторов измеряют по времени в режиме измерения сопротивления (скорости их заряда постоянным током до определенного напряжения). Измерения проводят при нажатой кнопке SB1. Значение емкости определяют по формуле:

$$C_X [\text{мкФ}] = 2k \times T_N [\text{сек}],$$

где:

$k$  — множитель диапазона;

$T_N$  — время в секундах, в течение которого конденсатор зарядится до 0,125 В (50% от шкалы измерительного прибора).

Входное сопротивление авометра при измерении напряжений постоянного тока составляет 15...20 кОм/В.

Прибор имеет следующие пределы измерений:

- напряжение постоянного тока: 0,3 В, 0,75 В, 5,25 В, 50 В и 500 В;
- напряжение переменного тока: 150 В и 500 В (с частотой до 1 кГц);
- постоянный ток: 0,05 мА, 0,5 мА, 5 мА, 50 мА и 500 мА;
- сопротивление: 0,05 кОм, 0,5 кОм, 5 кОм, 50 кОм и 500 кОм;
- емкость: от 200 мкФ до 2 Ф.

Для регулировки чувствительности прибора предназначен резистор R15 (устанавливается полное значение шкалы прибора при подаче на вход усилителя постоянного тока эталонного напряжения 0,25 В). Резистор R17 служит для балансировки, т.е. установки стрелки прибора на нулевую отметку.

Авометр питается от батареи напряжением 4,5 В и потребляет в режиме измерения малых сопротивлений (до 50 Ом) ток 7...8 мА, а в остальных режимах 2...3 мА.

Авометр (рис. 31.5) (Р. Сворень) позволяет помимо основных электрических измерений (напряжения переменного и постоянного тока, силы постоянного тока, сопротивления) определять значения коэффициента передачи тока в пределах от 1 до 300 для транзисторов структуры  $p-n-p$  и  $n-p-n$ .

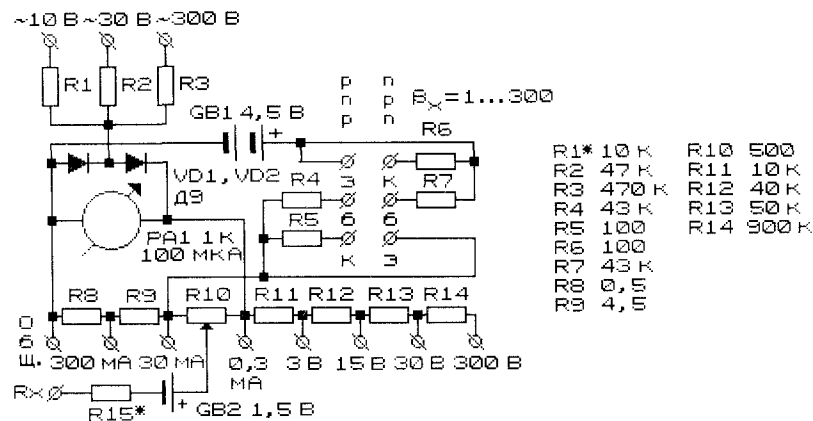


Рис. 31.5

## 32. Простые измерительные приборы, измерители емкости конденсаторов, проверка электронных компонентов

**Измерители емкости.** Измерение емкости конденсатора зачастую производят по времени разряда или заряда до определенного значения напряжения [Рл 2/95-23].

Известно, что конденсатор заряжается по закону:

$$U_C(t) = E \times [1 - \exp(-T/t)].$$

Разряд конденсатора описывается выражением:

$$U_C(t) = E \exp(-T/t),$$

где:

$U_C$  — напряжение на конденсаторе;

$E$  — напряжение источника, от которого происходит зарядка конденсатора (либо начальное напряжение на конденсаторе при его разряде);

$\exp=2,718$ ;

$T=RC$  — постоянная времени зарядной (разрядной) цепи;

$t$  — текущее время.

В случае, если соотношение напряжений  $E$  и  $U_C$  составляет 2,718, а  $t=T$  (или  $t=RC$ ), то по значению времени  $t$ , при котором выполняется указанное соотношение, при неизменном и известном (заданном) значении  $R$ , можно определить емкость конденсатора  $C$ .

Емкость электролитических конденсаторов может быть определена с достаточно высокой точностью при помощи устройства (рис. 32.1), в качестве элемента индикации которого использован светодиод [Рл 2/95-23]. Устройство работает следующим образом: испытываемый конденсатор  $C_X$  после подключения к устройству заряжается через ограничитель тока короткого замыкания — резистор  $R1$  до напряжения питания (9 В). Затем конденсатор подключается к измерительной схеме переключателем  $SA1$ , одновременно запускается секундомер или таймер, например, наручных часов. Конденсатор  $C_X$

разряжается в течение определенного времени через входную цепь устройства, и этот процесс будет сопровождаться свечением индикатора HL1. По этому времени можно определить емкость конденсатора с использованием калибровочного графика (рис. 32.2) или пересчетной формулы:

$$C_x [\text{мкФ}] = 33 \times t [c].$$

Наличие в разрядной цепи устройства стабилитрона с напряжением стабилизации 3,3 В позволяет реализовать соотношение  $E/U_C = 9/3,3 = 2,718$  (см. выше) и обеспечить тем самым линейную зависимость продолжительности свечения светодиода от емкости конденсатора. Положительным свойством такой схемы измерения является и то, что измеряемое значение не зависит от величины начального заряда конденсатора.

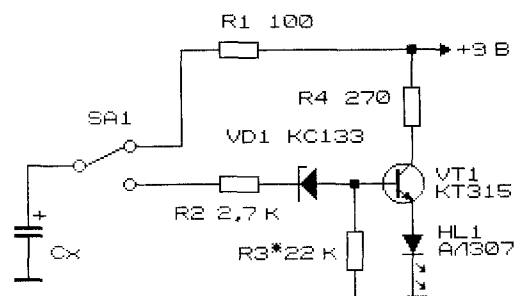


Рис. 32.1

В связи с тем, что напряжение питания устройства составляет 9 В, испытывать конденсаторы с меньшим рабочим напряжением не следует. Для обеспечения необходимого угла наклона графика (рис. 32.2) или пересчетного коэффициента (см. формулу) подбирают резистор R3. При других параметрах разрядной цепи (подборе резистора R3 — изменении скорости разряда, угла наклона калибровочной линии — рис. 32.2) можно измерять емкость конденсаторов на нескольких диапазонах.

На рис. 32.3 приведена схема простого устройства, позволяющего измерять емкость конденсаторов в пределах от 0,1 до 1000 мкФ [Рл 4/99-38]. Устройство выполнено по традиционной схеме мультивибратора. При равенстве емкостей конденсаторов C1 и Cx генератор становится симметричным и вырабатывает прямоугольные импульсы со скважностью, равной двум (длительность импульса равна длительности паузы между импульсами).

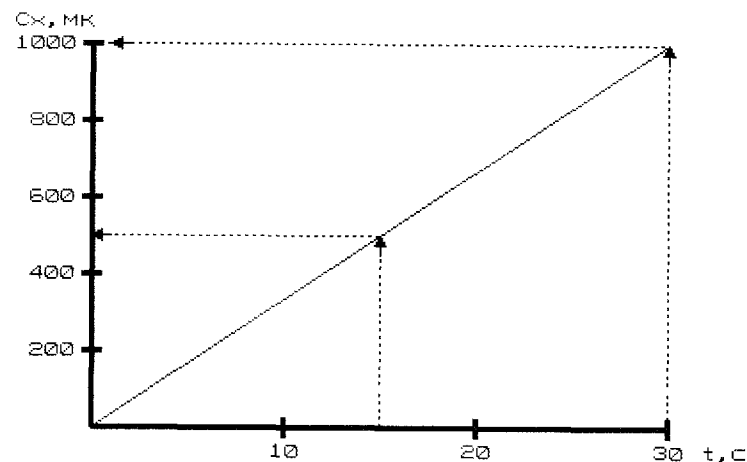


Рис. 32.2

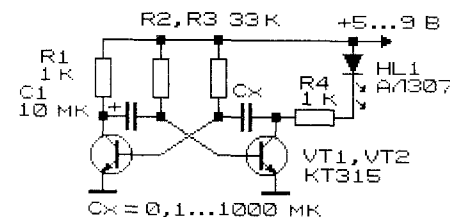


Рис. 32.3

Если емкость  $C_x$  изменять в пределах двух порядков (увеличить или уменьшить до сотни раз), изменится, соответственно, и соотношение между продолжительностью импульса и паузы между ними. Это изменение отчетливо выразится в характере мигания сигнального светодиода HL1, что позволит оценить значение емкости неизвестного конденсатора. Отметим, что подобное устройство легко может быть преобразовано в прибор для измерения емкости конденсаторов методом цветодинамической индикации (см. главу 33). Для этого последовательно с резистором R1 следует включить светодиод, цвет которого отличается от цвета свечения светодиода HL1, а рабочую частоту генерации повысить изменением параметров C1, R2, R3. Светодиоды необходимо будет установить рядом и закрыть матовым стеклом для суммирования их цвета.

## 32. Простые измерительные приборы

Прибор для измерения параметров конденсаторов небольшой емкости может быть изготовлен по схеме рис. 32.4 [Н.А. Дробница]. Основа прибора — также мультивибратор, с выходов которого через интегрирующие RC-цепочки C1R1 и C3R7 сигналы поступают на стрелочный измерительный прибор PA1. При равенстве емкостей C2 и C<sub>x</sub> и балансировке схемы потенциометром R4 стрелка прибора устанавливается на нуле. Стоит изменить баланс схемы, включив в цепь измерения конденсатор неизвестной емкости, изменится соотношение пауза — длительность импульса, схема разбалансируется, и стрелка прибора отклонится пропорционально соотношению емкостей эталонного (C2) и неизвестного (C<sub>x</sub>) конденсаторов.

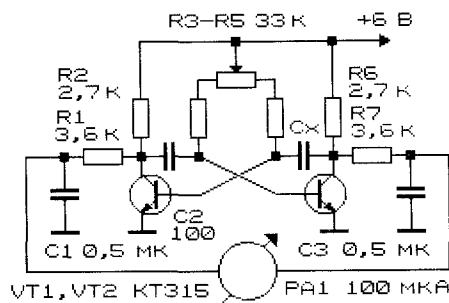


Рис. 32.4

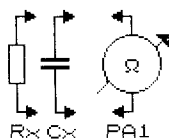


Рис. 32.5

**Проверка электронных компонентов.** Для проверки резисторов и конденсаторов может быть использован обычный омметр (рис. 32.5). Если использование омметра для измерения или оценки величины неизвестного сопротивления идет по «прямому» назначению, то проверка конденсаторов является функцией, не свойственной омметру, но характерной для него. Поясним это подробнее. Очевидно, что измерение омического сопротивления конденсатора при помощи омметра позволяет сразу выявить такой дефект конденсатора, как пробой изоляции

## 32. Простые измерительные приборы

(низкое сопротивление тестируемого элемента, короткое замыкание), либо повышенное сопротивление утечки (низкое, порядка десятков, сотен кОм, сопротивление тестируемого элемента).

Для проверки конденсаторов с количественной оценкой их емкости ( $C_x > 0,1 \text{ мкФ}$ ) конденсатор вначале разряжают, замкнув его выводы. Затем к конденсатору подключают омметр (килоомметр) так, чтобы полярности конденсатора и прибора «не совпадали». Стрелка прибора резко отклонится вправо и затем медленно вернется на отметку бесконечного сопротивления. Величина минимального сопротивления, которое зафиксирует прибор при подключении конденсатора, будет пропорциональна емкости конденсатора. Рекомендуется самостоятельно построить калибровочную зависимость и в дальнейшем использовать ее для экспресс-диагностики электролитических конденсаторов. Чем больше емкость, тем медленнее стрелка прибора вернется к исходному значению (нулю). При измерении не следует касаться выводов конденсатора, т.к. в этом случае параллельно конденсатору будет подключено сопротивление тела человека. Если при касании щупами прибора выводов конденсатора стрелка его зашкалит, это будет свидетельствовать о том, что конденсатор перед измерением был заряжен, либо о том, что прибор подключен к конденсатору в неверной полярности.

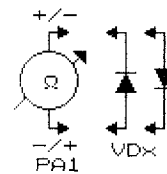


Рис. 32.6

Полупроводниковые приборы (диоды, транзисторы) также можно проверить «аналоговым» омметром (килоомметром) (рис. 32.6, 32.7), меняя полярность подключения прибора. В одном случае прибор покажет «бесконечность», в другом — «ноль». Рекомендуется потренироваться на измерении переходов полупроводниковых приборов различного типа, кремниевых и германиевых.

Полевые транзисторы проверяют так: к выводам исток — сток подсоединяют омметр (килоомметр), рис. 32.8. Свободной

рукой следует взять расческу и наэлектризовать ее о волосы. Если размахивать заряженной расческой на расстоянии до полуметра от транзистора, его сопротивление будет изменяться в широких пределах. Напомним, что полевые транзисторы очень чувствительны к электростатическим полям и зарядам, поэтому могут быть легко повреждены при тестировании. Во время испытаний нельзя касаться вывода затвора транзистора, а после испытаний необходимо нейтрализовать избыточный электрический заряд, прикоснувшись к массивному металлическому предмету. Для исключения повреждения полевых транзисторов хранить их следует с закороченными выводами.

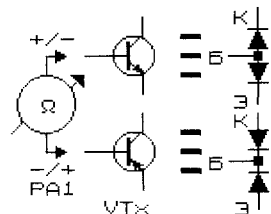


Рис. 32.7

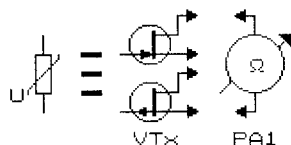


Рис. 32.8

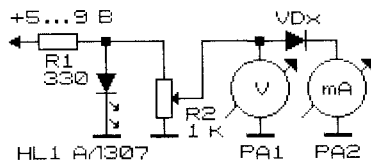


Рис. 32.9

Для изучения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов можно воспользоваться схемой на рис. 32.9 [Р 1/92-59]. Рекомендуется самостоятельно измерить ток через исследуемый полупроводниковый прибор в зависимости

от величины приложенного напряжения и построить график ВАХ аналогично приведенному на рис. 1.1.

На рис. 32.10 показана одна из возможных схем для измерения частоты следования прямоугольных импульсов или определения емкости конденсатора  $C_x$ . В качестве ГПИ (генератора прямоугольных импульсов) можно использовать хорошо известную схему симметричного мультивибратора. При неизменной частоте импульсов показания прибора будут прямо пропорциональны емкости конденсатора  $C_x$ , а при неизменной емкости конденсатора — прямо пропорциональны частоте следования импульсов.

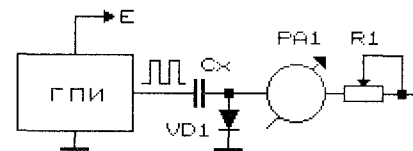


Рис. 32.10

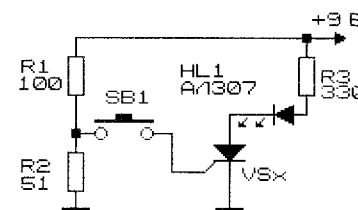


Рис. 32.11

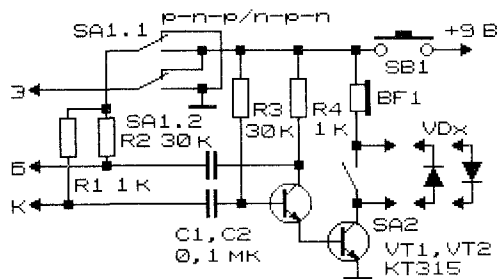
Тиристоры могут быть проверены с использованием схемы на рис. 32.11 [Рл 12/96-32]. При включении светодиод HL1 не горит, а после нажатия на кнопку SB1 светится. Отключить тиристор (погасить светодиод) можно только кратковременным отключением питания.

Определение работоспособности транзисторов можно проводить в режиме генерации (рис. 32.12 и рис. 32.13) [Р 1/80-45, Рл 4/99-11, Б.Е. Алгинин]. Если транзистор исправен, в телефонном капсюле слышен звуковой сигнал. Устройство по рис. 32.12 можно использовать и для проверки диодов, которые включают в цепь нагрузки генератора, разомкнув при этом переключатель SA2.

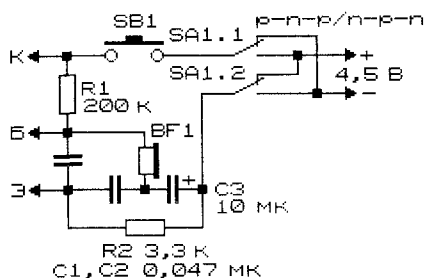
Проверить исправность трансформатора можно при помощи омметра (рис. 32.14) [Р 11/85-51]. При «правильном»

## 32. Простые измерительные приборы

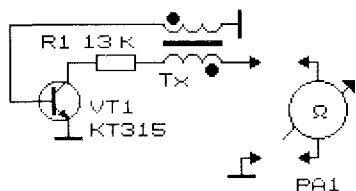
подключении источника питания (батареи омметра) генератор возбуждается, ток через устройство невелик. Если генерации не возникает (не верна фазировка обмотки, в трансформаторе обрыв или межвитковое замыкание, неверно подано питание от омметра), показания прибора будут заметно отличаться. Убедиться, что ток в цепи (показания омметра) при срыве генерации заметно изменится, можно, если закоротить обмотку трансформатора в цепи базы.



**Рис. 32.12**



**Рис. 32.13**



**Рис. 32.14**

### 33. Цветодинамические измерительные приборы

В электроизмерительных приборах непосредственной оценки чаще всего используются подвижные указатели, перемещение которых напрямую связано со значением измеряемой величины. Это приборы электромагнитной, электродинамической, электростатической, магнитоэлектрической, тепловой и т.п. систем. Весь диапазон измеряемых значений обычно укладывается в 30 — 100 делений шкалы измерительного механизма. Разрешающая способность электроизмерительного прибора, а также точность измерения зависит от его габаритов. Неустранимым недостатком подобных систем индикации является невозможность работы в темноте. В условиях тряски, при наличии ускорений, магнитных полей, при изменении угла наклона и т.д. точность показаний значительно ухудшаются.

Принцип действия цветодинамических измерительных приборов основан на визуальном представлении измеряемой величины в виде оттенка цвета [Рл 4/98-32, F 10/00-1085]. Известно, что глаз среднестатистического человека способен различать около 10 ступеней (градаций) серого цвета. Глаза жителей *Крайнего Севера*, где освещенность понижена, а цветовая палитра крайне бедна, могут различать до 200 оттенков серого. Существенно изменяется положение при переходе на цветовую гамму. Нетренированный глаз обычного человека способен безошибочно различать до 300 оттенков цвета, тренированный — до нескольких тысяч оттенков. Следовательно, изменяя окраску индикатора, включенного на выходе измерительного прибора, можно распознавать уже не 30 — 100 делений шкалы, а на порядок выше — более 300.

Простейшие приборы для цветодинамических измерений могут быть реализованы с использованием разноцветных светоизлучающих диодов (*СИД*) и общего светособирающего экрана (рис. 33.1, 33.2) [Рл 4/98-32]. При плавном изменении уровня входного сигнала происходит изменение коллекторного тока входного транзистора. Изменяется и ток, протекающий через *СИД*, включенный в его коллекторную цепь. Поскольку суммарный ток *СИД* HL1 и HL2 (рис. 33.1) определяется

### 33. Цветодинамические измерительные приборы

генератором стабильного тока (в простейшем случае это может быть резистор R2), происходит перераспределение токов между СИД, изменяется соотношение цветовых составляющих в суммарном спектре свечения. Диод VD1 или их цепочка обеспечивает начальное смещение в точке А и предназначен для компенсации падения напряжения на открытом транзисторе VT1.

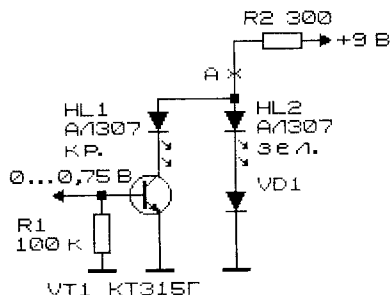


Рис. 33.1

В качестве СИД могут быть использованы светодиоды типа АЛ307 красного (HL1) и зеленого или желтого (HL2) цвета свечения. Можно применить двухцветный светодиод-матрицу АЛС331 с общим катодом, однако это потребует изменения полярности питания, включения диодов, использования транзистора *p-n-p* структуры (КТ361). Вместо диода VD1 может быть включен СИД, установленный отдельно (дополнительная яркостная ахроматическая индикация уровня сигнала), либо совместно с HL1 и HL2 под общим светособирающим экраном.

В измерительном приборе (рис. 33.2) уровень входного сигнала влияет на соотношение токов между светодиодами HL1 и HL2 [Рх 6/99-53]. В этой схеме может быть также использован генератор стабильного тока или его аналог, но поскольку для светодиодов разного цвета свечения напряжения прямого смещения для обеспечения требуемой яркости различаются, предпочтительнее использовать отдельные резисторы R2 и R3.

Изменение цветовой гаммы в измерительных приборах (рис. 33.1 и 33.2) происходит при подаче входного сигнала от 0 (зеленое или желтое свечение) до 0,75 В (красное свечение).

Для последовательного переключения трех СИД в зависимости от величины входного сигнала может быть использован

### 33. Цветодинамические измерительные приборы

модифицированный нуль-индикатор К. Мечкова (рис. 33.3, 33.4) [МК 8/83-3, Рл 4/98-32]. В схеме на рис. 33.3 плавное последовательное переключение СИД будет происходить при изменении уровня входного сигнала от 0,5 до 0,65 В, а в схеме на рис. 33.4 — от 0 до 1,5 В.

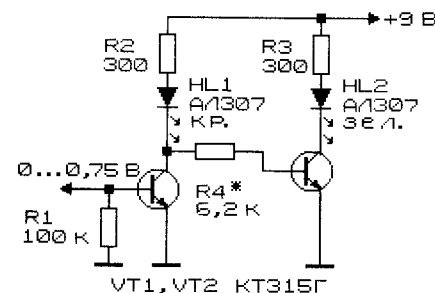


Рис. 33.2

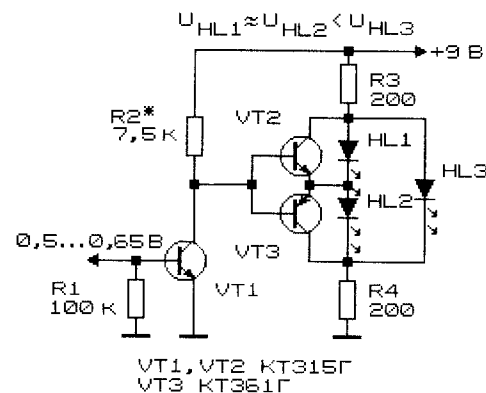


Рис. 33.3

Основной проблемой управления разноцветными светодиодами является выраженное неравенство значений прямых смещений ( $U_{\text{ПС}}$ ), при которых наблюдается заметное свечение СИД: чем короче длина волны излучения светодиода —  $\lambda$ , — тем больше это напряжение. Определить значение прямого смещения на светодиоде можно по приближенной формуле:  $U_{\text{ПС}}(B) = 1236/\lambda$  (нм), см. также главу 1 [Рл 4/98-32]. Искусственно уравнивать значения напряжений прямого смещения светодиодов в сторону их увеличения

### 33. Цветодинамические измерительные приборы

можно за счет включения дополнительных германиевых, кремниевых диодов или их цепочек последовательно с СИД.

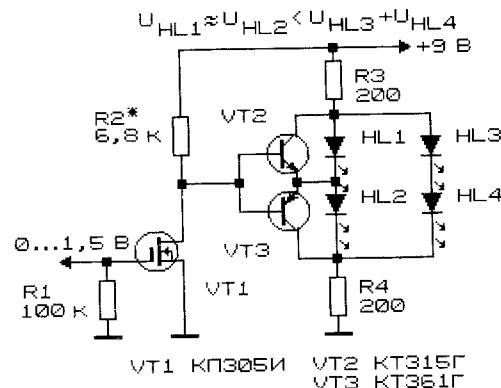


Рис. 33.4

Для работы устройств (рис. 33.3 и 33.4) необходимо выполнение условий:

$$U_{\text{ПС}} \text{ HL1} \approx U_{\text{ПС}} \text{ HL2} < U_{\text{ПС}} \text{ HL3} \text{ (рис. 33.3), или}$$

$$U_{\text{ПС}} \text{ HL1} \approx U_{\text{ПС}} \text{ HL2} < (U_{\text{ПС}} \text{ HL3} + U_{\text{ПС}} \text{ HL4}) \text{ (рис. 33.4).}$$

Так, экспериментально установлено, что  $U_{\text{ПС}}$  СИД АЛ307 красного свечения при 20 мА составляет 1,65 В, зеленого — около 2 В. Для цветовой индикации сигнала во всем видимом диапазоне длин волн в качестве HL2 необходимо использовать синий, HL3 — зеленый (желтый), HL1 — красный СИД (рис. 33.3) и, соответственно, HL2 — синий, HL3+HL4 — зеленый (желтый), HL1 — красный СИД (рис. 33.4) с выполнением вышеприведенного условия.

Цветодинамический измерительный прибор с цифровым широтно-импульсным управлением может быть собран по схеме на рис. 33.5 [Рл 4/98-32]. Перераспределение суммарной окраски свечения СИД происходит при изменении входного сигнала от 0 до 1 В (рис. 33.6). Вместо полевого транзистора в схему можно включить термо-, фоторезистор или иной резистивный датчик с максимальным сопротивлением до 10 кОм. Ко входу (затвору) полевого транзистора можно подключить и антенну. Таким образом, цветодинамический измерительный прибор можно будет использовать для индикации электрических и неэлектрических величин.

### 33. Цветодинамические измерительные приборы

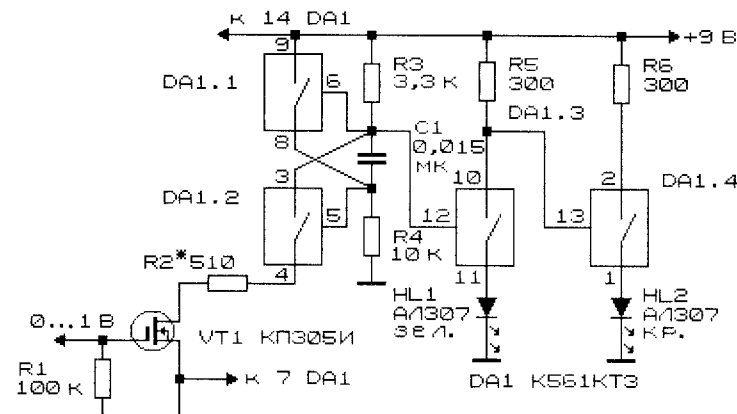


Рис. 33.5

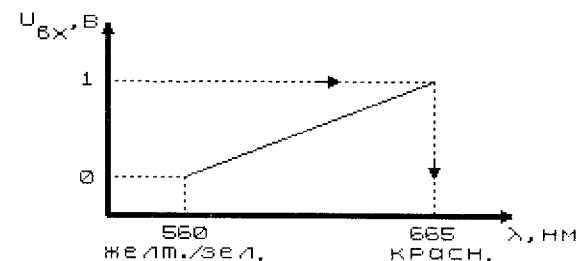


Рис. 33.6

На рис. 33.7 приведена схема, пригодная для цветодинамической индикации величины входного сигнала. Устройство работает в широком диапазоне входных частот и может быть использовано для индикации настройки радиоприемника на частоту принимаемого сигнала [Р 1/88-53]. Этот же индикатор применим для балансировки измерительного моста; для оценки напряженности электрических или магнитных полей в составе приборов и индикаторов, рассмотренных в главе 20. Вход индикатора подключают к выходному каскаду индикатора поля.

Цветодинамические приборы без каких-либо переделок можно использовать в качестве устройств цветомузыкального сопровождения: индикатор (индикаторы) подключают к выходу

### 33. Цветодинамические измерительные приборы

(выходам) УНЧ магнитофона, электропроигрывателя, радиоприемника, телевизора, CD-плеера. Взамен СИД можно использовать разноцветные слаботочные лампы накаливания, однако при этом требуется подключение дополнительных усилителей тока. Баллоны ламп следует окрасить спиртовыми растворами паст шариковых ручек. Допустимо использовать пленочные или стеклянные светофильтры.

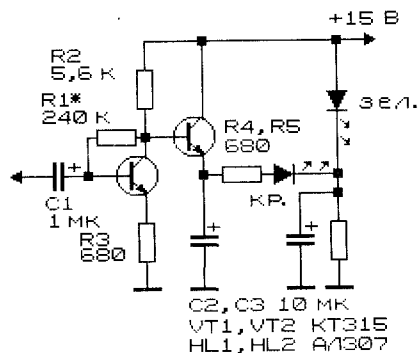


Рис. 33.7

Наиболее дефицитными элементами, ограничивающими применение цветодинамических измерительных приборов в области спектра от синего до красного цвета, являются СИД синего цвета свечения. Для синтеза цветовой гаммы в пределах от 470 до 660 нм могут быть использованы светодиоды синего (470 нм) свечения, поставляемые фирмой *Conrad Electronic* (Германия) —  $U_{\text{ПС}}=2,7...3,2$  В при токе 20 мА; трехцветные диоды той же фирмы: на основе *GaAsP*  $U_{\text{ПС}}=1,7$  В при 20 мА — 660 нм (красный цвет), *GaP* — 2,2 В, 565 нм (зеленый цвет), *SiC* — 3,0 В, 470 нм (синий цвет). Синие светодиоды (440 нм) производства США работают при токе 20 мА и напряжении 3,0...3,7 В (*Ledtronics Inc.*, CA и *Cree Research Inc.*, N.C.). Синие светодиоды (446 нм) российского производства КЛД901А на основе *GaN* имеют рабочее напряжение 12 В при токе 6 мА.

Для количественного определения входного напряжения (уровня измеряемого сигнала) рядом со светосуммирующим экраном прибора следует наклеить полоску цветовой гаммы со шкалой — указателем соответствия каждому напряжению оттенка цвета (типа лакмусовой бумаги). При этом получается

### 33. Цветодинамические измерительные приборы

своеобразный аналог мостового измерения: излучение неизвестного спектрального состава сопоставляется со шкалой эталонных значений цветовой гаммы. Полоску цветового спектра можно изготовить на цветном принтере. Растяжка переходов от тенгов цвета и определение границ используемой цветовой гаммы может быть выполнена в графическом редакторе на ПЭВМ.

Цветомодулированные индицирующие приборы могут быть использованы для передачи данных по оптоволоконным линиям, открытым оптическим каналам связи, при дистанционном вводе информации в ПЭВМ, для обучения животных.

## 34. Индикаторы «фазы» на светодиодах

Пробники, используемые для индикации «фазы», наличия высокого напряжения, известны уже несколько десятилетий. Обычно в их состав входят последовательно включенные щуп- жало отвертки, ограничитель тока — резистор сопротивлением  $0,47...1\text{ МОм}$  с малой емкостью между подводящими электродами (резисторы типа *BC-0,5*, *МЛТ-1,0*, *МЛТ-2,0*), неоновая лампа и сенсорная площадка. При однополярном подключении отвертки к токнесущему «фазовому» проводнику и касании пальцем сенсорной площадки неоновая лампа светится, сигнализируя о наличии напряжения. Напряжение, которое можно контролировать подобным индикатором, составляет  $90...380\text{ В}$ , реже от  $70$  до  $1000\text{ В}$  при частоте  $50\text{ Гц}$ .

Длительное время считалось, что заменить неоновую лампу другим элементом индикации невозможно. Действительно, емкостной ток, протекающий от источника переменного тока частотой  $50\text{ Гц}$  и напряжением  $100...400\text{ В}$  через цепь индикации и тело человека на «землю» при эквивалентной емкости тела человека около  $300\text{ пФ}$  (экспериментальная оценка автора), составляет  $10...40\text{ мкА}$ , что на два порядка ниже величины тока, необходимого для свечения светодиодов. Тем не менее, применяя специальные схемные решения, можно использовать для индикации «фазы» светодиоды, пьезокерамические зуммеры и другие излучатели [Рл 3/95-26, F 11/97-1313].

Оценим мощность, потребляемую неоновой лампой при ее непрерывном свечении: при напряжении на лампе типа *МН-3*, равном  $65\text{ В}$ , и токе  $10...40\text{ мкА}$  подводимая мощность не превышает  $0,5...2\text{ мВт}$ . Значение подводимой мощности оказывается достаточным, чтобы светодиод мог светиться, однако напрямую обеспечить необходимую величину тока невозможно. Поэтому требуется использование своеобразных «трансформаторов времени»: во сколько раз уменьшается время непрерывного свечения светодиода, во столько раз возрастает сила тока, протекающего через него. В результате получается не непрерывное свечение индикатора, а импульсное, с сохранением величины подводимой мощности. Для реализации такого «трансформатора времени» прекрасно подойдут релаксационные генераторы импульсов,

работающие по принципу накопления и кратковременного сброса энергии: периодический заряд конденсатора от слаботочного источника тока до напряжения пробоя порогового элемента и последующий разряд на низкоомную нагрузку — светодиод. Разрядный ток при этом достаточен, чтобы вызвать яркую вспышку светодиода.

Таким образом, подобное устройство должно содержать накопительный конденсатор, имеющий малый ток утечки и рассчитанный на рабочее напряжение, превышающее напряжение пробоя порогового элемента, и сам пороговый элемент с малыми токами утечки при напряжении ниже пробойного и небольшим сопротивлением при пробое. Этим требованиям отвечают лавинные транзисторы и их аналоги. На рис. 34.1 — 34.3, 34.6 приведены схемы индикаторов «фазы», выполненные на основе релаксационных генераторов на лавинных транзисторах типа *K101KT1* структуры *n-p-n* (либо *K162KT1* структуры *p-n-p*). Транзисторы должны быть включены инверсно.

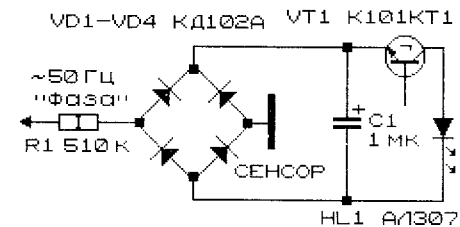


Рис. 34.1

Индикатор (рис. 34.1) содержит ограничитель тока, выпрямитель по мостовой схеме, и, собственно, релаксационный генератор импульсов. Частота вспышек светодиода при напряжении сети  $220\text{ В}$  около  $3\text{ Гц}$ : увеличение емкости (бумажного или электролитического конденсатора с малой утечкой) приводит к повышению яркости вспышек и уменьшению частоты. Минимальное напряжение, которое позволяет обнаружить подобный индикатор, составляет  $45\text{ В}$ . Частота вспышек при этом равняется  $0,3\text{ Гц}$ . Для сравнения: индикаторы на неоновых лампах позволяют индцировать напряжения не ниже  $65...90\text{ В}$ .

Индикаторы (рис. 34.2 и 34.3) используют другие схемы выпрямителей с сохранением основного назначения. В этих схемах продемонстрирована также возможность подключения сенсорных площадок к другим элементам схемы.

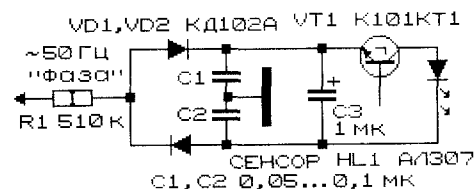


Рис. 34.2

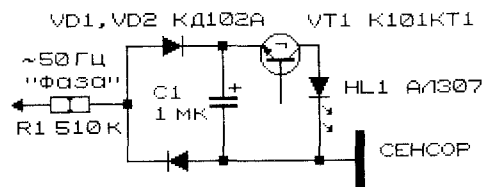


Рис. 34.3

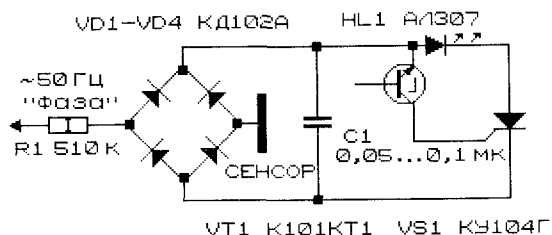


Рис. 34.4

Устройство (рис. 34.4) выполнено на основе составного лавинного тиристора. В схеме генератора импульсов (рис. 34.5) используется аналог лавинного транзистора с напряжением переключения (пробоя) 12 В. Для транзисторов микросхемы K101КТ1 при инверсном включении это напряжение около 8 В.

Индикатор «фазы» (рис. 34.6) собран по мостовой RC-схеме с лавинным транзистором в диагонали моста в качестве порогового элемента.

Схема индикатора (рис. 34.7) также содержит RC-мост, однако в ней использованы транзисторы разной (*n-p-n* и *p-n-p*) структуры: при заряде конденсаторов C2 и C3 до определенного значения транзисторы мгновенно переключаются из состояния «выключено» в состояние «включено». Происходит разряд конденсатора C1 на светодиод HL1, и процесс повторяется.

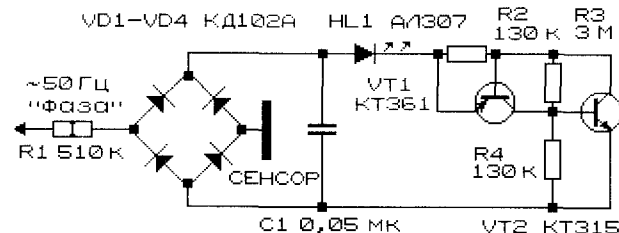


Рис. 34.5

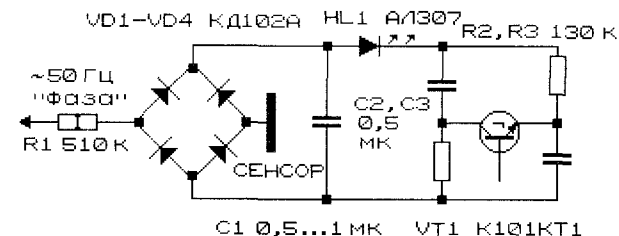


Рис. 34.6

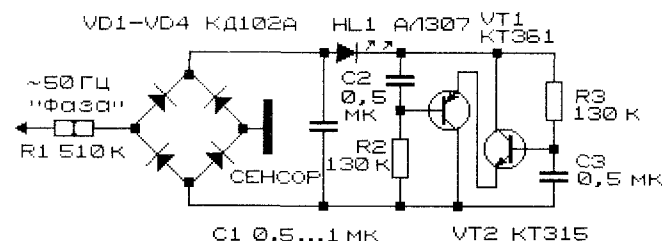


Рис. 34.7

В индикаторах «фазы» без использования внешних источников питания могут быть применены и другие виды генераторов. Например, на рис. 34.8 показана схема индикатора с генератором на двух транзисторах разного типа проводимости. При варьировании параметров элементов могут быть получены частые, но неяркие вспышки светодиода, либо яркие, но редкие вспышки. Следует отметить, что при увеличении емкости накопительного конденсатора C1 (для всех схем) возрастает и «мертвое время» — с момента подключения индикатора к сети до момента первой вспышки (доли, единицы секунд).

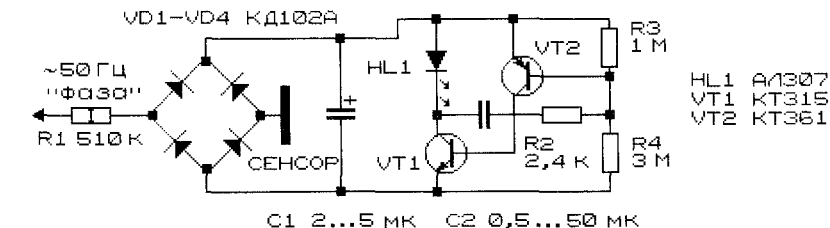


Рис. 34.8

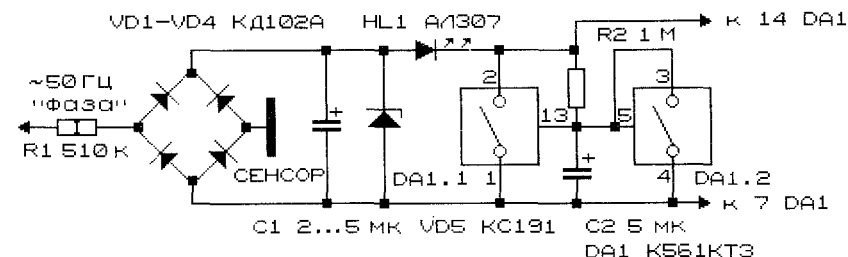


Рис. 34.9

На рис. 34.9 и 34.10 представлены схемы индикаторов «фазы» с генератором импульсов на КМОП-микросхемах. Генератор импульсов (рис. 34.9) выполнен на основе КМОП-коммутатора. Он вырабатывает пилообразные импульсы, поэтому яркость свечения светодиода плавно нарастает и плавно снижается. Работает генератор следующим образом: конденсатор C2 заряжается через резистор R2 до напряжения включения коммутаторов тока (элементы DA1.1 и DA1.2); при срабатывании коммутаторов ключевой элемент DA1.1 разряжает через светодиод накопительный конденсатор C1, а DA1.2 разряжает конденсатор C2, после чего процесс повторяется.

Устройство (рис. 34.10) основано на двух генераторах импульсов, первый из которых определяет длительность и частоту следования световых вспышек и звуковых посылок, второй — частоту звука. Поскольку в процессе заряда конденсатора C1 устройство потребляет на несколько порядков меньший ток, чем в режиме индикации, оно, фактически работает по описанному ранее принципу «включено/выключено».

Индикаторы «фазы» (рис. 34.11 и 34.12) также содержат токоограничивающий резистор R1, мостовой выпрямитель VD1 —

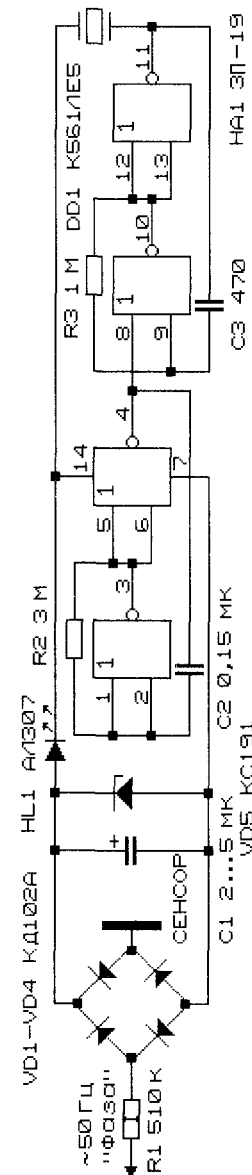


Рис. 34.10

VD4 и генератор слаботочных импульсов. В схеме на рис. 34.11 он выполнен на аналоге биполярного лавинного транзистора (транзисторы VT1, VT2) [МЭСХ 4/98-23], а в схеме на рис. 34.12 на несимметричном мультивибраторе на транзисторах VT1 и VT2 [EWWW 6/00-459]. Отличаются эти схемы от вышеописанных тем, что помимо светодиодной индикации используют и звуковой сигнал. В первом индикаторе использован пьезокерамический звукоизлучатель, одновременно играющий роль времязадающего конденсатора релаксационного генератора импульсов. У второго — для звуковой индикации использован телефонный капсюль сопротивлением 40...60 Ом.

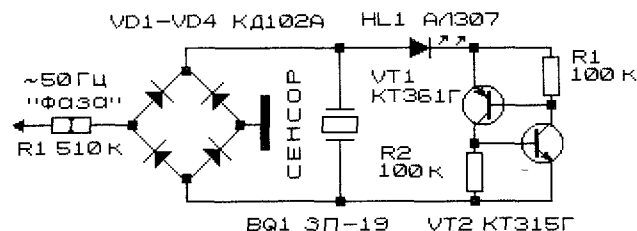


Рис. 34.11

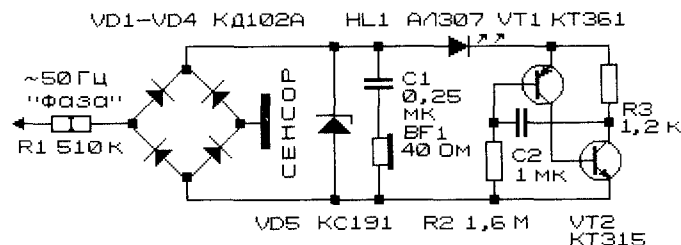


Рис. 34.12

В схемах могут быть применены светодиоды типов АЛ307, АЛ336 и другие индикаторы, которые желательно подобрать по максимальному свечению при минимальном токе. Особенно пригодны для этих целей так называемые сверхяркие светодиоды зарубежного производства. Поскольку падение напряжения на элементах схем (исключая резистор R1) определяется напряжением пробоя порогового элемента (8 В и более), в них могут быть использованы низковольтные кремниевые диоды и транзисторы с малыми обратными токами *n-p* переходов.

Индикаторы дают возможность проверять на токонесущих элементах наличие напряжения, превышающего 45...50 В (при частоте 50 Гц), в том числе индицировать различные наводки; позволяют оценивать качество заземления и возможность его использования; проверять наличие напряжений на трубах отопления и т.д. Эти устройства можно использовать и в цепях с повышенной частотой, например, для индикации напряжения в сети 400 Гц, хотя следует учитывать, что емкостной ток через тело человека возрастает при этом пропорционально частоте тока. Чувствительность индикаторов можно легко понизить включением высокоомных делителей напряжения, неинверсным включением лавинных транзисторов, подключением стабилитронов и их цепочек и другими методами.

Вместо отвертки к индикаторам может быть подключена внешняя антенна. В этом случае индикаторы «фазы» преобразуются в индикаторы переменного электрического поля. Они дистанционно, бесконтактно и без использования источников питания сигнализируют о наличии высокого напряжения. Верхняя граничная частота работы таких индикаторов будет определяться частотными свойствами диодов выпрямителя и может достигать сотен МГц.

## 35. Выпрямители, фильтры, стабилизаторы

Источники питания были и остаются важнейшей и незаменимой составляющей любой радиоэлектронной схемы. Для обеспечения схем необходимыми напряжениями используют либо автономные источники питания — батареи, аккумуляторы, либо, при питании радиоаппаратуры от сети переменного тока, — сетевые источники. Для того, чтобы понизить напряжение сети с 220 В до приемлемых для питания транзисторных схем значений и обеспечить надежную защиту пользователя от поражения электрическим током, используют понижающий трансформатор (рис. 35.1, 35.16). В исключительно редких случаях используют бестрансформаторные питающие устройства, однако в этом случае все управляющие элементы устройства (ручки, выключатели и пр.) и корпус должны быть надежно изолированы от сети. **При пользовании такими устройствами необходимо строжайшее соблюдение правил техники безопасности!**

Ниже будут рассмотрены основные варианты схем питания радиоэлектронной аппаратуры.

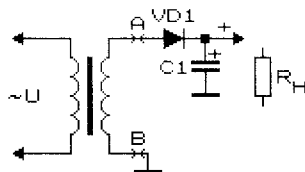


Рис. 35.1

Простейший выпрямитель — преобразователь переменного тока в постоянный — показан на рис. 35.1, 35.6. К вторичной (понижающей) обмотке трансформатора подключен один полупроводниковый диод VD1. Этот диод пропускает только одну полуволну переменного напряжения (однополупериодное выпрямление), поэтому для сглаживания пульсаций тока на выходе выпрямителя необходимо включать электролитический конденсатор C1 большой емкости. Параллельно ему подключается сопротивление нагрузки. Недостатки такого выпрямителя очевидны: повышенные пульсации выпрямленного напряжения, невысокий

КПД. Величина пульсаций будет тем выше, чем меньше емкость сглаживающего пульсации напряжения конденсатора C1 и чем меньше величина сопротивления нагрузки. Величина выходного напряжения такого выпрямителя при работе без нагрузки составляет  $1,41 \times U_{AB}$ .

На рис. 35.2 показана схема простейшего выпрямителя — формирователя двуполярного выходного напряжения. Коэффициент полезного действия такого выпрямителя выше, а все приводимые ранее рассуждения полностью распространяются и на эту схему.

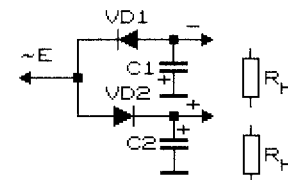


Рис. 35.2

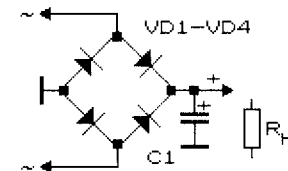


Рис. 35.3

Мостовая схема выпрямителя содержит четыре диода и представлена на рис. 35.3. Такая схема подключается к источнику переменного тока, например, к точкам А и В разделительного трансформатора (рис. 35.1). Выпрямитель имеет более высокий КПД, токи в ветвях моста распределяются равномерно. Недостатком схемы являются удвоенные потери на последовательно включенных диодах выпрямителя (за счет «прямого» напряжения). Выходное напряжение мостовой схемы выпрямителя при работе без нагрузки также составляет  $1,41 \times U_{AB}$ .

Для выпрямления и умножения выходного напряжения применяют схемы, показанные на рис. 35.4 и 35.5. Часто подобные схемы используют в преобразователях напряжения, в том числе бестрансформаторных, а также в схемах получения высокого

## 35. Выпрямители, фильтры, стабилизаторы

напряжения (до десятков киловольт) в телевизионных приемниках, озонаторах, уловителях пыли.

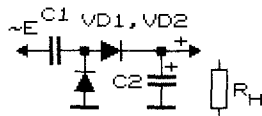


Рис. 35.4

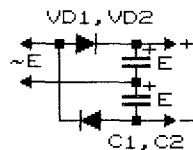


Рис. 35.5

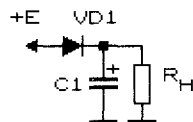


Рис. 35.6

В большинстве случаев выпрямленное напряжение надлежит тщательным образом отфильтровать от пульсаций сети переменного тока. При плохой фильтрации в динамиках будет слышна не радующая душу музыка или речь, а низкочастотный гул или рокот, так называемый «фон» переменного тока. Чем выше качество питающего напряжения, тем лучше будет работать радиоаппаратура. Нефильтрованное питание допустимо использовать лишь для электродвигателей постоянного тока, осветительных и нагревательных приборов.

Для сглаживания выходного напряжения выпрямителей предназначены LC- и RC-фильтры. Простейший из них ( $L=0$ ,  $R=0$ ) — емкостный — показан на рис. 35.1 и 35.6. Схема эта, действительно, крайне проста. Однако увеличивать до бесконечности емкость фильтрующего конденсатора невозможно: растут габариты и стоимость конденсатора, снижается надежность устройства в целом. Существует опасность того, что в момент включения устройства в сеть произойдет повреждение диода VD1 либо обмотки трансформатора: ведь незаряженный конденсатор представляет

## 35. Выпрямители, фильтры, стабилизаторы

в момент включения короткозамкнутый элемент. Через обмотку трансформатора и диод в этот момент протекает ток короткого замыкания, многократно превышающий допустимые значения и вызывающий их повреждение.

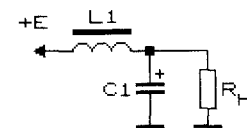


Рис. 35.7

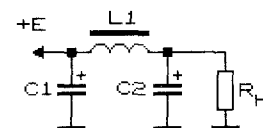


Рис. 35.8

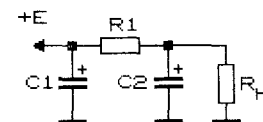


Рис. 35.9

Для уменьшения переменной составляющей на выходе выпрямителя используют индуктивные (дрессельные) и резистивно-емкостные Г- и П-образные фильтры (рис. 35.7 — 35.9), а также их последовательное соединение. Напомним, если активное сопротивление (резистор) представляет собой одинаковое сопротивление как для постоянного, так и для переменного тока, то конденсатор для постоянного тока является разрывом цепи, а для переменного тока, в идеале, служит коротким замыканием (см. также главу 3). В свою очередь, индуктивность (дрессель), также в идеале, представляет собой бесконечно малое сопротивление постоянному току и бесконечно большое сопротивление переменному току. Следовательно, использование в качестве элемента фильтра дросселей вместо резисторов предпочтительнее. Однако дроссели имеют значительные габариты, массу и цену, являются более дефицитными и менее надежными элементами по сравнению с обычными резисторами.

В радиоаппаратуре используют и транзисторные фильтры (рис. 35.10). Радиолюбителю предлагается самостоятельно

## 35. Выпрямители, фильтры, стабилизаторы

испытать и сравнить различные виды выпрямителей и фильтров при разных параметрах входящих в них элементов. Для контроля «качества» выходного напряжения может быть использован УНЧ или осциллограф, на вход которых через разделительный конденсатор подается выпрямленное напряжение. Питание усилитель должен получать от батарей (аккумулятора) либо от иного источника питания с хорошей фильтрацией выходного напряжения. В качестве простейшего тестера качества фильтрации можно использовать и телефонный капсюль, также подключаемый к выходу выпрямителя или фильтра через разделительный конденсатор.

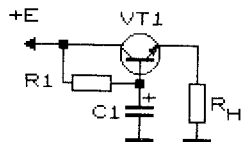


Рис. 35.10

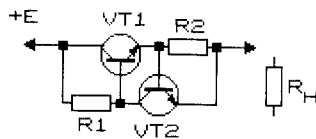


Рис. 35.11

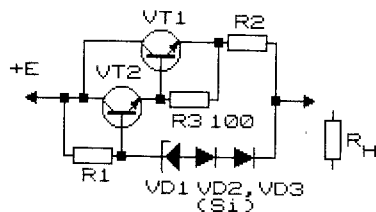


Рис. 35.12

Далее будут рассмотрены простые стабилизаторы тока (рис. 35.15 — 35.15) и напряжения (рис. 35.16 — 35.20). Схемы стабилизации тока зачастую используют в генераторах импульсов для заряда постоянным током времязадающих конденсаторов, а также в измерительной технике, например, при измерении

## 35. Выпрямители, фильтры, стабилизаторы

сопротивлений. На рис. 35.11 и 35.12 показаны схемы стабилизаторов тока [МК 5/86-XVI]. При увеличении напряжения на таком двухполюснике (рис. 35.11) происходит самоограничение тока через него. Величину резисторов R1 и R2 можно определить как:

$$R2 = \frac{0,65}{I_{\text{СТАБ.}}} ; R1 = \frac{(E - R_H I_{\text{СТАБ.}} - 1,3) h_{213(VT1)}}{1,2 I_{\text{СТАБ.}}},$$

где:

R1 и R2 — в кОм;

E — напряжение питания, В;

I<sub>СТАБ.</sub> — ток стабилизации, мА;

R<sub>H</sub> — сопротивление нагрузки (его максимальное значение), кОм;

h<sub>213(VT1)</sub> — коэффициент передачи по току транзистора VT1.

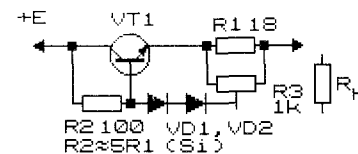


Рис. 35.13

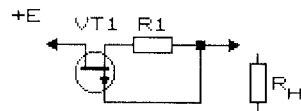
На рис. 35.12 и 35.13 представлены другие схемы ограничения и стабилизации тока. При возрастании тока через датчик тока R2 (рис. 35.12) или R1 и включенный ему параллельно потенциометр R3 (рис. 35.13) [F 1/76-21] уменьшается смещение на базе транзистора VT2 (рис. 35.12) или VT1 (рис. 35.13), соответственно. Транзисторы плавно, пропорционально протекающему через резисторы току, запираются, и ток стабилизируется. В определенных пределах ток ограничения (рис. 35.13) плавно регулируется потенциометром R3.

На рис. 35.14 показана схема стабилизатора тока на основе полевого транзистора. При увеличении тока через резистор R1 меняется смещение на управляющем (З — И) переходе транзистора, он плавно запирается, ограничивая ток нагрузки.

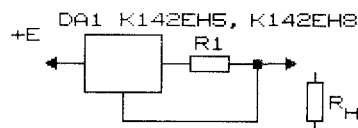
Стабилизатор тока на основе микросхемы, в состав которой входит несколько десятков элементов (рис. 35.15), может обеспечить широкий диапазон токов нагрузки [Дж. Уитсон]. Популярная микросхема стабилизатора напряжения может стабилизировать

## 35. Выпрямители, фильтры, стабилизаторы

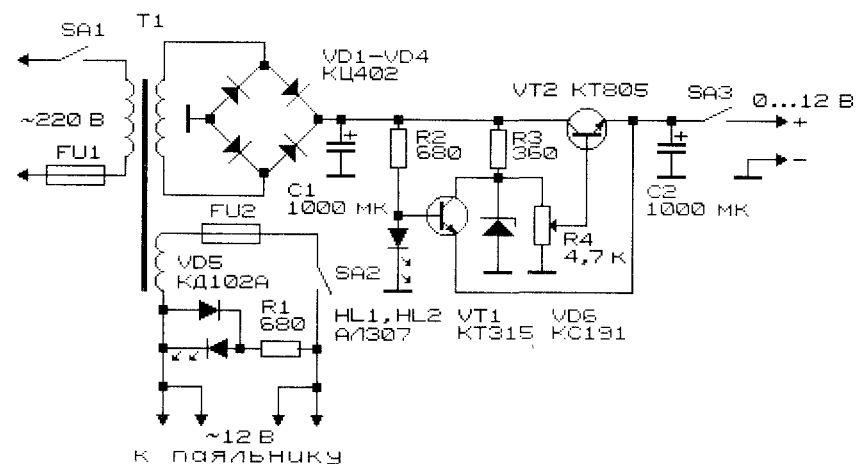
еще и ток. Величина стабилизируемого тока в нагрузке рассчитывается следующим образом:  $I_H = (U_{BbIX} / R1) + 10 \text{ мА}$ , где  $I_H$  — в мА;  $U_{BbIX}$  — в В;  $R1$  — в кОм.



**Рис. 35.14**



**Рис. 35.15**

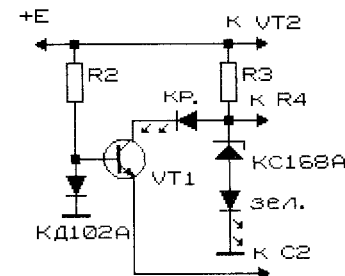


**Рис. 35.16**

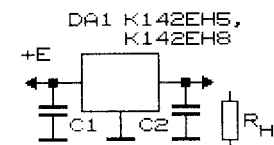
На рис. 35.16 представлена схема несложного стабилизированного источника питания. Он содержит понижающий трансформатор, мостовой выпрямитель, конденсаторный фильтр и полупроводниковый стабилизатор напряжения. Схема стабилизатора напряжения позволяет плавно регулировать выходное напряжение в пределах от 0 до 12 В и защищена от коротких замыканий на выходе. Для питания низковольтного паяльника, а

## 35. Выпрямители, фильтры, стабилизаторы

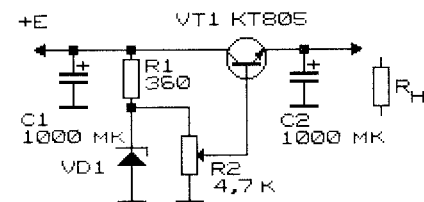
также для экспериментов с переменным электрическим током предусмотрена дополнительная обмотка трансформатора. Имеется индикация постоянного напряжения (светодиод HL2) и переменного (светодиод HL1). Для включения всего устройства используется тумблер SA1, а паяльника — SA2. Нагрузку отключает SA3. Для защиты цепей переменного тока от перегрузок предусмотрены предохранители FU1 и FU2. На ручке регулятора выходного напряжения (потенциометр R4) нанесены значения выходных напряжений.



**Рис. 35.17**



**Рис. 35.18**



**Рис. 35.19**

На рис. 35.17 показан фрагмент схемы модифицированного стабилизатора (рис. 35.16) с индикацией короткого замыкания в нагрузке. В нормальном режиме светится зеленый светодиод, при замыкании нагрузки — красный.

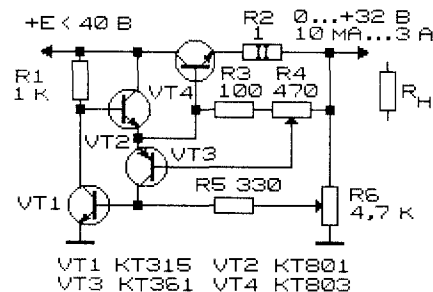


Рис. 35.20

Очень простой и высококачественный стабилизатор на специализированной микросхеме серии *K142EH* изображен на рис. 35.18. Транзисторные стабилизаторы показаны на рис. 35.19 и 35.20 [Р 4/81-61]. При значительных токах нагрузки транзистор VT4 (рис. 35.20) следует закрепить на теплоотводящей пластине из цветного металла.

## 36. Индикаторы отключения источника питания

Отключение источника электроэнергии может послужить причиной сбоя в работе радиоэлектронной аппаратуры, повреждения технических устройств бытового и производственного назначения. В частности, при отключении холодильника возможно размораживание и порча продуктов, что требует принятия неотложных мер, исключающих неприятные последствия.

Для контроля состояния источника питания (наличия сетевого напряжения, его величины) зачастую используют индикаторы на неоновых лампах или электроизмерительные приборы.

Менее распространены индикаторы аварийного отключения источника питания, индикаторы обрыва предохранителя. Наличие таких устройств позволяет оперативно реагировать на аварийную ситуацию, предпринимать своевременные действия по устранению неполадок.

Обычно устройства подобного назначения содержат мало-надежные батарейные или аккумуляторные источники резервного питания, сложную схему формирования сигналов индикации, систему автоматического отключения элементов питания. Приходится также использовать трансформаторы, развязывающие высоковольтную и низковольтную части устройства. Во избежание разряда элементов питания необходимо автоматическое отключение резервного источника через определенное время.

Индикатор отключения источника питания (рис. 36.1) выполнен на микросхеме *K561ЛЕ5* [Рл 12/96-21]. Устройство питается от сети переменного тока напряжением 220 В, хотя легко может быть преобразовано для индикации отключения источника питания постоянного или переменного тока напряжением 9...300 В. Потребляемый от сети ток не превышает 0,5 мА. В качестве источника резервного питания использован электролитический конденсатор С2 большой емкости (1000 мкФ).

Устройство работает следующим образом: при включении в сеть на управляющие входы (выводы 6 и 8 микросхемы DD1) генератора звуковых/световых импульсов подается уровень логической единицы, запрещающий работу генераторов. Напряжение

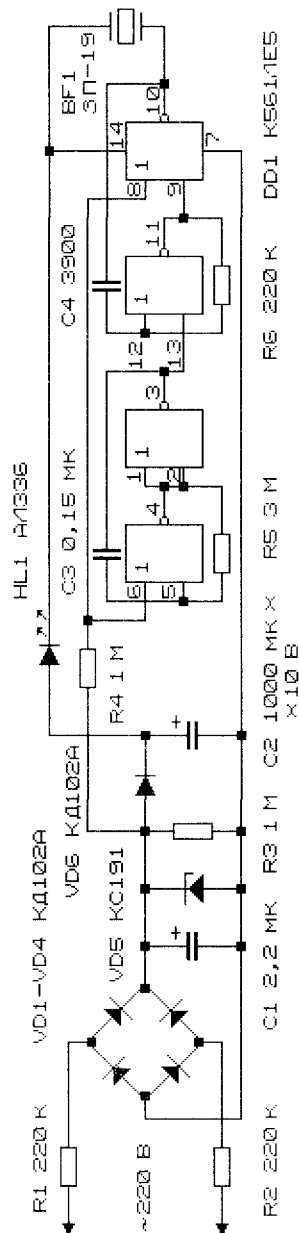


Рис. 36.1

питания микросхемы составляет 9 В и ограничено стабилитроном VD5. Примерно через 10 мин резервный источник питания (конденсатор C2) зарядится до 9 В. При отключении сетевого напряжения происходит следующее: генератор микросхемы DD1 получает питание от резервного источника (конденсатор C2), а управляющие входы генераторов оказываются подключенными через резисторы R4 и R3 к общей шине, т.е. на них поступает уровень логического нуля, разрешающий работу генераторов. В результате совместной работы генераторов импульсов одновременно и синхронно вырабатываются звуковые и световые сигналы. В качестве светоизлучающего диода HL1 используется АЛ336 (направленный световой поток высокой интенсивности), либо АЛ307 (рассеянное излучение). В качестве звукового излучателя BF1 использован пьезоизлучатель ЗП-19. Благодаря тому, что ток, потребляемый устройством в режиме аварийной сигнализации, невелик, энергии конденсатора хватает на 5 мин работы звуковой и световой индикации. При подаче сетевого напряжения индикация немедленно выключается.

Индикатор может быть размещен непосредственно в сетевой вилке (или розетке) и установлен в виде заглушки в сетевую розетку. Для повышения громкости звукового сигнала параметры времязадающей RC-цепочки генератора могут быть подобраны для получения максимальной громкости сигнала в пьезоизлучателе (по резонансу). Увеличить продолжительность индикации можно за счет большей емкости конденсатора C2, а также за счет изменения скважности генерируемых сигналов. Конденсатор C1 обеспечивает двухсекундную задержку срабатывания устройства после отключения электроэнергии. При установке устройства в холодильник индикатор может быть подключен параллельно выключателю лампы внутренней подсветки. В этом случае дополнительная функция устройства будет заключаться в индикации неплотно закрытой дверцы холодильника.

Устройство на рис. 36.2 также предназначено для световой индикации отключения источника электроэнергии [F 2/98-173]. Оно потребляет от сети не более 100 мВт. Индикатор работает следующим образом: конденсатор большой емкости C1 через резисторы R1, R2, диодный мост VD1 — VD4 и диод VD5 заряжается до напряжения стабилизации стабилитрона VD6 (9 В). Время полного заряда около 10 мин. К конденсатору C1 подключен генератор импульсов, выполненный на кремниевых транзисторах p-n-p и

*n-p-n* структуры (VT1, VT2) и работающий в ждущем режиме. Нагрузкой генератора является светодиод HL1. В стационарном («нормальном») режиме генератор выключен, поскольку на его управляющий вход через резистор R3 подается запирающее напряжение.

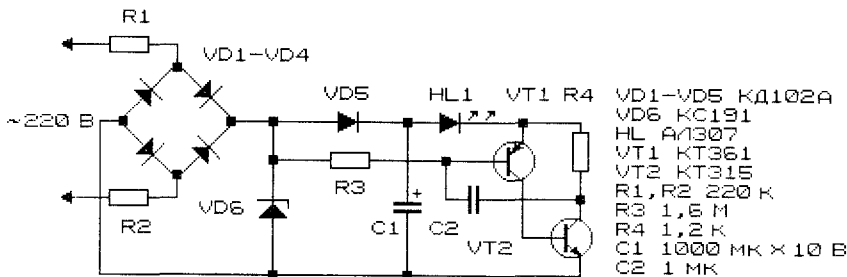


Рис. 36.2

После пропадания напряжения в сети управляющий вход генератора импульсов через резистор R3 и стабилитрон VD6 оказывается подключенным к «общей шине», генератор начинает вырабатывать короткие мощные вспышки света. Дiode VD5 обеспечивает развязку цепи управления генератора и источника резервного питания (конденсатор C1). Генерация продолжается 1,5...2 мин до полного разряда конденсатора C1. Частота вспышек составляет примерно 0,67 Гц.

Для управления внешними силовыми цепями, например, системой автоматического резервирования источника питания, в качестве светодиода или последовательно с ним может быть включен светодиод оптронной пары.

Контроллеры сетевого питания (рис. 36.3, 36.4) предназначены для аудиовизуального контроля наличия/отсутствия сетевого напряжения, а также для индикации перегорания предохранителя.

Устройства (рис. 36.3, 36.4) состоят из трех узлов, работающих независимо друг от друга [F 6/99-652].

**Индикатор отключения сетевого напряжения** (рис. 36.3) содержит генератор импульсов, выполненный на аналоге инжекционно-полевого транзистора (VT1, VT2). При включении питания устройства через диоды VD1, VD3, VD4 и резистор R3 происходит заряд конденсатора C1. Стабилитрон VD2 защищает элементы схемы от превышения напряжения. Генерации импульсов не

происходит, поскольку управляющий переход транзистора VT1 подключен к прямосмещенному диоду VD1. Конденсатор C4 сглаживает пульсации и исключает отпирание транзистора VT1. Заряд конденсатора C1 продолжается несколько минут. При отключении сетевого напряжения транзистор VT1 открывается, разрешая работу генератора импульсов. Источником резервного питания, обеспечивающего работу генератора импульсов, является конденсатор C1. Короткие импульсы света и звука следуют через 7...8 сек.

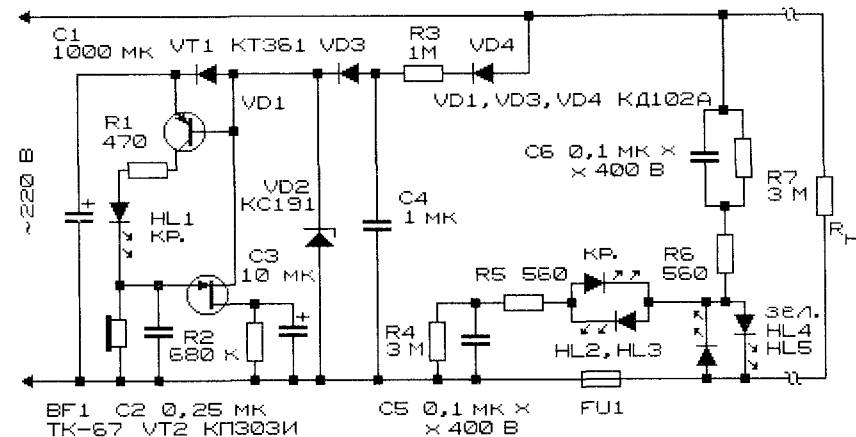


Рис. 36.3

Индикатор (рис. 36.4) собран на основе несимметричного мультивибратора, принцип работы которого (включение/выключение) близок к описанному ранее.

В зависимости от разброса параметров используемых элементов, а также их качества (сопротивления утечки конденсатора резервного питания) светозвуковая индикация продолжается 8...13 мин (рис. 36.3). Частота следования импульсов определяется постоянной времени RC-цепочки R2C3. При уменьшении этой величины время индикации пропорционально снижается, а частота следования светозвуковых посылок растет.

**Индикатор сетевого напряжения** (рис. 36.3) содержит последовательно соединенные гасящий конденсатор C6, резисторы R6 и R7, светодиоды зеленого свечения HL4 и HL5. При исправном предохранителе через эти светодиоды протекает ток около 7 мА, светодиоды ярко светятся зеленым цветом.

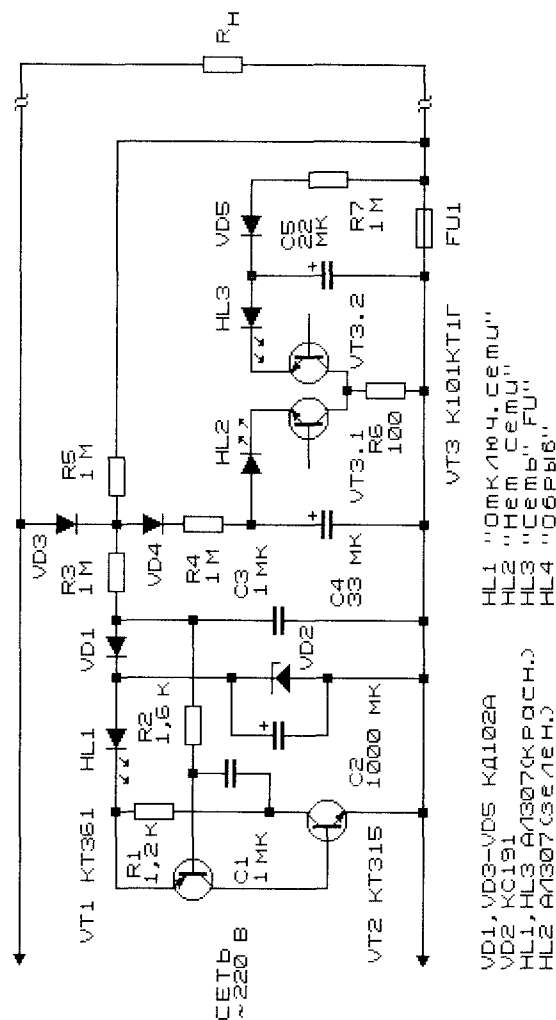


Рис. 36.4. Схема контроллера сетевого питания

Индикатор (рис. 36.4) выполнен на основе релаксационного генератора импульсов на лавинном транзисторе VT3.1. Период вспышек светодиода HL2 близок к 0,9 сек.

**Индикатор перегорания предохранителя** (рис. 36.3) также содержит последовательно соединенные гасящий конденсатор C5, резисторы R4 и R5, светодиоды красного свечения HL2 и HL3. Эта цепь подключена параллельно предохранителю FU1. При перегорании предохранителя и обрыве нагрузки ток величиной до 3,5 мА протекает через параллельную цепь; светодиоды HL2 и HL3 светятся красным цветом. При перегорании предохранителя и коротком замыкании нагрузки светятся все светодиоды (протекает ток до 7 мА).

Индикатор в схеме на рис. 36.4 выполнен на основе релаксационного генератора импульсов, причем его времязадающую цепь шунтирует предохранитель FU1, поэтому устройство начинает работать только после его перегорания. Устройство вырабатывает вспышки света (светодиод HL3) как при обрыве, так и при коротком замыкании нагрузки. При коротком замыкании нагрузки частота следования импульсов повышается, максимальный ток через короткозамкнутую нагрузку ограничен сопротивлением R7 и не превышает 0,22 мА. Лавинные транзисторы VT1.1 и VT1.2 могут быть заменены аналогами (рис. 36.5). Индикация перегорания предохранителя происходит и при обрыве сопротивления нагрузки: ток через генератор импульсов протекает по цепи VD3, R5.

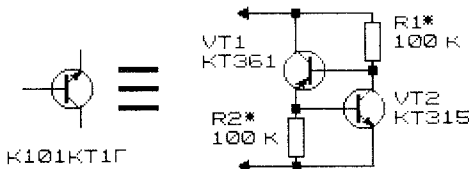


Рис. 36.5. Аналог лавинного транзистора

## 37. Схемы... на микросхемах

**Цветомузыкальные установки (ЦМУ)** содержат обычно не более трех-четырех каналов разделения частот, условно подразделяемые на низкочастотный, среднечастотные и высокочастотный. Каждому из каналов соответствует один из цветов спектра: красный, желтый, зеленый и синий.

На рис. 37.1 приведена схема 12-ти канальной ЦМУ с использованием специализированной микросхемы управления светодиодной шкалой (*UAA180*, *UL1980N*, *A277D*, *K1003ПП1*) [Рх 1/99-43]. Эта микросхема представляет собой амплитудный мультиплексор (переключатель) и позволяет переключать выходные ключи устройства при изменении входного управляющего напряжения в установленных пользователем пределах.

Входной сигнал звуковой частоты поступает на формирователь прямоугольных импульсов — компаратор *DA1* (*K554CA3*). С выхода компаратора сигналы прямоугольной формы поступают на преобразователь частота — амплитуда (*C3*, *VD1*, *VD2*, *R9*, *C6*), см. также рис. 32.10, и, затем, на управляющий вход микросхемы *DA2*. Переключение с 1 по 12 канал индикации происходит в пределах изменения амплитуды управляющего сигнала 0...6 В, что соответствует диапазону частот преобразования от 0 до 6 кГц и выше.

Одновременно входной сигнал амплитудой до 1...1,5 В поступает на детектор НЧ-сигнала (*C4*, *VD4*, *VD5*, *R12*, *C5*). На выходе детектора формируется управляющий сигнал амплитудой от 0 до 2 В. Этот сигнал поступает на вход управления яркостью свечения светодиодов (позволяет устанавливать ток нагрузки выходных ключей микросхемы *DA2* с максимальным током до 10 мА являющихся резисторы *R14* — *R25* и управляющие *n-p* переходы выходных транзисторов *VT2* — *VT13*, установленных на общей теплоотводящей шине. В эмиттерные цепи этих транзисторов включены разноцветные малоинерционные слаботочные лампы накаливания *EL1* — *EL12*. Таким образом, при изменении частоты входного сигнала происходит переключение канала индикации, а при изменении амплитуды входного сигнала изменяется яркость свечения ламп накаливания.

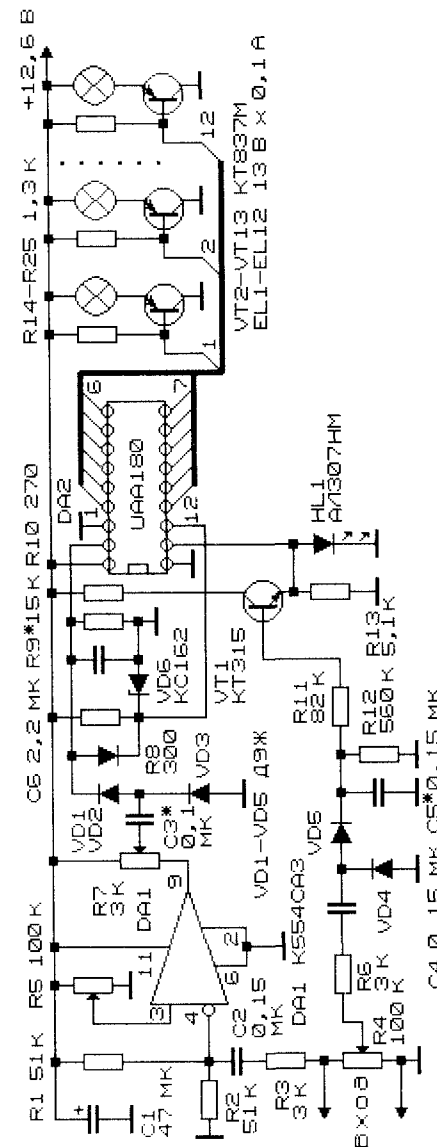


Рис. 37.1. Схема многоканальной ЦМУ

Для стабилизации опорного напряжения и установки максимального уровня управляющего сигнала (6...6,2 В) предназначен стабилитрон VD6. Диод VD3 защищает вход управления светодиодной шкалой от перенапряжения, а светодиод HL1, соответственно, защищает вход управления яркостью свечения, ограничивая максимальное значение сигнала величиной 2 В. Потенциометр R5 задает порог срабатывания компаратора (ед. мВ), R7 — определяет диапазон реакции устройства на изменение частоты входного сигнала, R4 — величину сигнала управления яркостью.

**Панорамный индикатор-радиоприемник УКВ диапазона** (рис. 37.2) предназначен для обзорного наблюдения занятости диапазона, приема УКВ-ЧМ радиостанций с индикацией частоты приема или уровня сигнала по светодиодной шкале [Рл.6/01-29]. Предусмотрены режимы автосканирования по диапазону и ручного поиска сигналов радиостанций.

Устройство состоит из УКВ-ЧМ радиоприемника и сканера с коммутируемым индицирующим блоком. УКВ-ЧМ приемник выполнен на основе специализированной микросхемы DA1 (KXA058). УНЧ — на микросхеме DA2 (K237УН1) с окончательным каскадом на транзисторах VT1 и VT2.

Сканер и индицирующее устройство (светодиодная 12-точечная шкала — «S-метр») содержит генератор пилообразного напряжения (транзисторы VT3 и VT4), светодиодный индикатор уровня сигнала на микросхеме DA3 типа UAA180 (аналоги A277D, K1003ПП1 или UL1980N), выпрямитель (диоды VD4 и VD5), а также схему коммутации, которая позволяет переводить устройство из режима автоматической развертки в режим ручной перестройки по диапазону (переключатель SA1) и из режима индикации частоты в режим индикации уровня принимаемого сигнала — «S-метр» («Strong-meter») — переключателем SA2.

При установке переключателей SA1 в положение «Сканер» и SA2 в положение «Частота» пилообразный сигнал, снимаемый с конденсатора C12 через цепочку R11, C11, подается на варикап гетеродина приемника. Происходит периодическое изменение частоты гетеродина. Одновременно пилообразный сигнал поступает на вход микросхемы DA3, которая управляет светодиодной шкалой (HL1 — HL12). По мере заряда конденсатора C12 происходит поочередное переключение светодиодов.

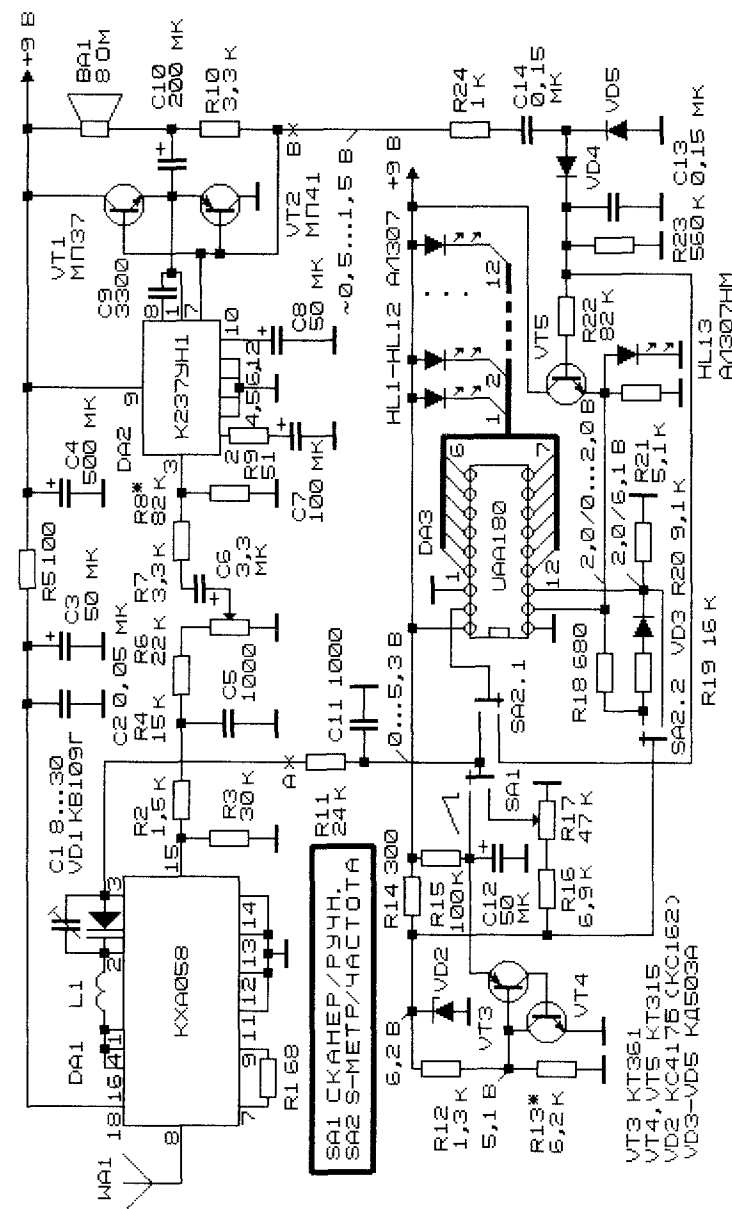


Рис. 37.2. Схема панорамного УКВ индикатора-радиоприемника

Когда напряжение на конденсаторе C12 превысит напряжение на резистивном делителе R12, R13, транзисторы VT3 и VT4 откроются, и произойдет разряд конденсатора C12. Затем заряд — разряд конденсатора C12 периодически повторяется с частотой, определяемой постоянной времени R15C12. С выхода УНЧ сигнал звуковой частоты поступает на выпрямитель (диоды VD4, VD5) и, затем, на базу транзистора VT5, управляющего яркостью свечения светодиодов. При малом уровне НЧ-сигнала транзистор VT5 закрыт, напряжение на резисторе R21 (входе регулятора яркости — вывод 2 микросхемы DA3) близко к нулю, светодиоды шкалы не светятся. По мере увеличения амплитуды НЧ-сигнала транзистор VT5 приоткрывается, напряжение на входе регулятора яркости растет, возрастает и яркость свечения светодиодов шкалы. При наличии сигналов радиопередающих устройств в пределах полосы обзора на выходе УНЧ и, значит, на входе регулятора яркости изменяется амплитуда сигнала, происходит включение светодиода, соответствующего частоте приема.

При переводе переключателя SA1 в режим ручной перестройки (потенциометром R17) устройство преобразуется в УКВ-ЧМ приемник со светодиодной индикацией частоты приема, при этом включается соответствующий светодиод, яркость свечения которого пропорциональна уровню сигнала.

Светодиодная шкала для индикации уровня сигнала может быть переведена переключателем SA2 в режим «S-метр». Светодиод HL13 индицирует работу шкалы в режиме «S-метра», одновременно на управляющем входе регулятора яркости (вывод 2 микросхемы DA3) устанавливается уровень 2 В (максимальная яркость). Предельное значение диапазона реакции «S-метра» на величину управляющего НЧ-сигнала задается делителем (R19, VD3 и R20) через переключатель SA2.2. На опорном входе установки максимального уровня микросхемы DA3 (вывод 3) устанавливается напряжение 2 В. НЧ-сигнал подается на вход управления светодиодной шкалой (вывод 17 микросхемы DA3) с выхода выпрямителя через переключатель SA2.1.

Налаживание устройства заключается в настройке приемника (УНЧ, затем ВЧ-части). Частоту приема определяют параметры L1, VD1 и C1. Для работы в диапазоне 64...74 МГц катушка L1 должна иметь 6 витков провода ПЭВ диаметром 0,56 мм. Внутренний диаметр катушки 4 мм, длина намотки 7 мм. Налаживание сканера сводится к подбору резистора R16 до совпадения границ

перестройки в ручном и автоматическом режимах. Период сканирования по диапазону составляет 2,5...3 сек и определяется инерционностью УНЧ.

Сканер и коммутационно-индицирующее устройство могут быть использованы совместно с любым другим радио- или телевизионным приемником, использующим электронную (управляемую напряжением) перестройку частоты приема. Вид модуляции значения не имеет, т.к. устройство реагирует на уровень выходного НЧ-сигнала. Приемник с электронной перестройкой частоты подключают к сканеру в точках А и В: А — в цепь управления варикапом (0...5,3 В), В — в НЧ выход радиоприемника (до 1...1,5 В).

**Оптический транслятор низкочастотных сигналов** предназначен для передачи звуковых и ультразвуковых сигналов по оптическому каналу на расстояние от десятков сантиметров до сотен метров [F 9/99-1002]. Оптические трансляторы могут быть применены для беспроводной односторонней или двусторонней связи, трансляции сигналов (моно- или стерео) сопровождения звуковоспроизводящей аппаратуры, для передачи информации с ПЭВМ и т.д.

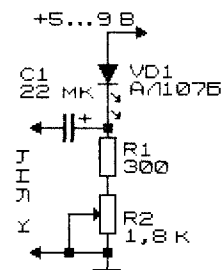


Рис. 37.3. Схема оптического транслятора НЧ-сигналов

На рис. 37.3 приведена схема передающего устройства, работающего в инфракрасном (ИК) диапазоне (930...950 нм). Выбор рабочего тока светоизлучающего диода (СИД) VD1 обеспечивается потенциометром R2. НЧ-сигнал амплитудой до 2 В снимается с выхода УНЧ и подается через разделительный конденсатор C1 на СИД: на постоянный ток накладывается низкочастотная составляющая. В качестве СИД можно использовать светодиоды, работающие в другом диапазоне длин волн (в видимой области спектра), хотя эффективность работы транслятора снижается. На

рис. 37.4 представлена схема передающего устройства с предусилителем на транзисторе VT1.

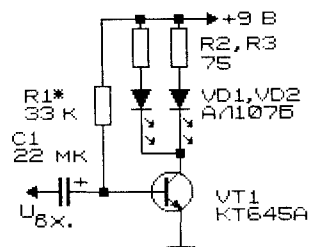


Рис. 37.4. Схема оптического транслятора НЧ-сигналов

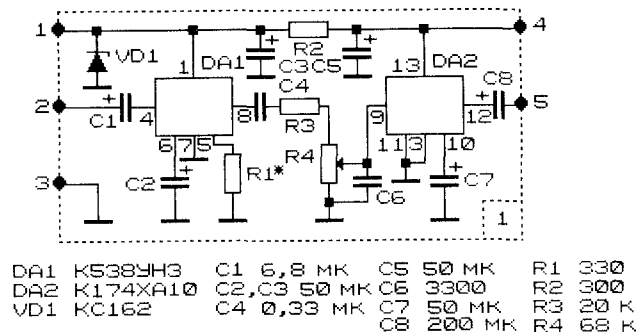


Рис. 37.5

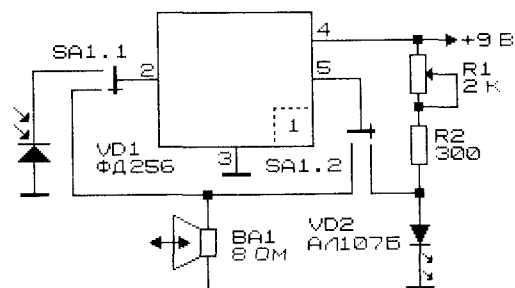


Рис. 37.6

Схема блока приемной части на микросхемах DA1 K538УН3 и DA2 A283D (K174ХА10) показана на рис. 37.5. Первый каскад в

зависимости от номинала резистора R1 обеспечивает усиление от 100 до 3000. Второй каскад способен обеспечить выходную мощность до 1...2 Вт.

На рис. 37.6 приведена практическая схема оптоэлектронного приемопередатчика. На входе устройства включен фотодиод VD1 типа ФД256, работающий в режиме генерации фото-ЭДС. При работе на прием громкоговоритель BA1 используется по основному назначению. При работе на передачу он выполняет функцию микрофона.

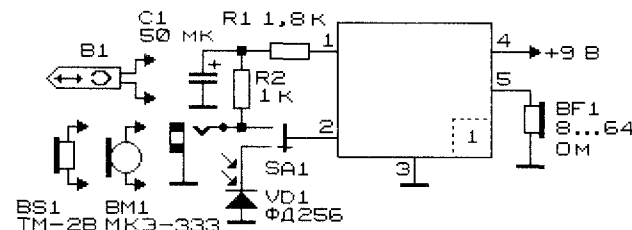


Рис. 37.7

На рис. 37.7 представлена схема многофункционального приемника. На его НЧ-вход переключателем SA1 может подаваться сигнал с фотодетектора (VD1), с электретного микрофона BM1 типа МКЭ-333 (МКЭ-332), с телефонного капсюля — звукоснимателя BS1 типа ТК-67 (ТМ-2В) — либо с универсальной головки магнитофона B1.

Оптические трансляторы позволяют передавать сигналы в полосе частот от десятков Гц до сотен кГц и выше.

## Приложение

В данном приложении приведены краткие характеристики радиоэлектронных компонентов, из которых может быть собрано 95% схем сборника.

### Резисторы и конденсаторы

Логарифмические ряды номиналов элементов определяются из выражений:

$$X = 10^{\frac{n-1}{N}}$$

где:

$X$  — номинальное значение,

$n$  — порядковый номер определяемого номинала ( $n \leq N$ ),

$N=6, 12$  или  $24$  для рядов E6, E12 или E24, соответственно.

Ряд E6: 1.0; 1.5; 2.2; 3.3; 4.7; 6.8.

Ряд E12: 1.0; 1.2; 1.5; 1.8; 2.2; 2.7; 3.3; 3.9; 4.7; 5.6; 6.8; 8.2.

Ряд E24: 1.0; 1.1; 1.2; 1.3; 1.5; 1.6; 1.8; 2.0; 2.2; 2.4; 2.7; 3.0; 3.3; 3.6; 3.9; 4.3; 4.7; 5.1; 5.6; 6.2; 6.8; 7.5; 8.2; 9.1.

Допустимые отклонения от номинальных значений составляют  $\pm 20\%$ ;  $\pm 10\%$  и  $\pm 5\%$ , соответственно.

### Полупроводниковые элементы

Первая буква (цифра) обозначения Г(1) — германий или К(2) — кремний.

#### Диоды:

| Наименование | $U_{пр.}, В$ | $I_{пр.}, МА$ | $U_{обр.}^{max}, В$ | $I_{пр.}^{max}, МА$ | $F_{max}, МГц$ | Примечание           |
|--------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| Д9Б — Ж      | 1,0          | 10...90       | 10...100            | 15...20             | >0,1           | Ge (высокочастотный) |
| Д223         | 1,0          | 50            | 50                  | 50                  | >20            | Si (высокочастотный) |
| КД503Б       | 1,2          | 10            | 30                  | 20                  | >100           | Si (импульсный)      |
| КД102Б       | 1,0          | 50            | 300                 | 100                 | >0,004         | Si (силовой, НЧ)     |

#### Светодиоды:

| Наименование    | $U_{пр.}, В$ | $I_{пр.}, МА$ | $U_{обр.}^{max}, В$ | $I_{пр.}^{max}, МА$ | $\lambda_{max}, нм$ | Примечание |
|-----------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------|
| АЛ307АМ, БМ, КМ | 2,0          | 20            | 2,0                 | 20                  | 665                 | красный    |
| АЛ307ДМ, ЕМ, ЖМ | 2,5          | 22            | 2,0                 | 22                  | 700 (560)           | желтый     |
| АЛ307ВМ, ГМ, НМ | 2,8          | 22            | 2,0                 | 22                  | 567                 | зеленый    |

#### Стабилитроны:

| Наименование | $U_{стаб.}^{номин}, В$ | $I_{стаб.}^{min}, МА$ | $I_{стаб.}^{номин}, МА$ | $I_{стаб.}^{max}, МА$ | $P_{max}, мВт$ | Аналог          |
|--------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| КС133А       | 3,3                    | 3                     | 10                      | 81                    | 300            | 2С133А          |
| КС147А       | 4,7                    | 3                     | 10                      | 58                    | 300            | 2С147А          |
| КС156А       | 5,6                    | 3                     | 10                      | 55                    | 300            | 2С156А          |
| КС162А       | 6,2                    | 3                     | 10                      | 22                    | 150            | 2С162А          |
| КС191А       | 9,1                    | 3                     | 5                       | 15                    | 150            | 2С191А          |
| Д808         | 7...8,5                | 3                     | 5                       | 33                    | 280            | КС168А — КС182А |
| Д814А — Д    | 7...14                 | 3                     | 5                       | <120                  | 340            | 2С468А — 2С515А |

#### Тиристоры:

| Наименование | $U_{упр.}^{max}, В$ | $I_{уп. отп.}, МА$ | $U_{пр. закр.}^{max}, В$ | $I_{закр.}^{max}, МА$ | $P_{ср.}^{max}, мВт$ | Аналог |
|--------------|---------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------|
| КУ101Г       | 0,25...10           | 0,05...7,5         | 80                       | 75                    | 150                  | 2У101Г |
| КУ104Г       | 2 (имп.)            | 15 (имп.)          | 100                      | 100                   | 20                   | 2У104Г |

#### Транзисторы биполярные и транзисторные сборки лавинных транзисторов:

| Наименование | $U_{з-к.}^{max}, В$ | $I_{к.}^{max}, МА$ | $P_{к.}^{max}, мВт$ | $\beta$  | $F_{max}, МГц$ | Примечание                   |
|--------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------|----------------|------------------------------|
| ГТ311Е, Ж, И | 12;<br>(10 — И)     | 50                 | 150                 | 20...300 | >300           | Ge-npn ВЧ,<br>аналог — 1Т311 |
| ГТ313А — В   | 15                  | 30                 | 100                 | 20...170 | >300           | Ge-npn ВЧ,<br>аналог — 1Т313 |
| КТ315А — К   | 15...60             | 50...100           | 100...150           | 30...350 | >100           | Si-npn<br>высокочастотный    |

## Приложение

| Наименование | $U_{3-к}^{max}, В$ | $I_K^{max}, МА$    | $P_K^{max}, МВт$ | $\beta$  | $F_{MAX}, МГц$ | Примечание                      |
|--------------|--------------------|--------------------|------------------|----------|----------------|---------------------------------|
| КТ361А — Е   | 20...40            | 50                 | 150              | 20...350 | >100           | Si-npn<br>высокочастотный       |
| КТ805АМ      | 130                | 10000              | 30000            | 20...125 | >8             | Si-npn мощный<br>низкочастотный |
| К101КТ1      | 8<br>(лавин.)      | 10<br>(1 — лавин.) | —                | —        | <0,1           | Si-npn сборка<br>2 транзистора  |
| К162КТ1      | 8<br>(лавин.)      | 15<br>(1 — лавин.) | —                | —        | <0,1           | Si-npn сборка<br>2 транзистора  |

### Транзисторы полевые:

| Наименование      | $U_{и-с}^{max}, В$ | $I_C^{max}, МА$ | $P_C^{max}, МВт$ | $S, МА/В$ | $F_{MAX}, МГц$ | Примечание            |
|-------------------|--------------------|-----------------|------------------|-----------|----------------|-----------------------|
| КП103А — Ж, И — М | 10...12            | —               | 7...120          | 0,4...4,4 | >3             | p-n-переход, p-канал  |
| КП303А — Е, Ж, И  | 25                 | 20              | 200              | 1...7     | >100           | p-n-переход, n-канал  |
| КП305А — Е, Ж, И  | 15                 | 15              | 150              | 4...10,5  | >250           | изол. затвор, n-канал |

### Микросхемы:

| Наименование | $U_{пит.}, В$ | $I_{нагр.}, МА$ | Характеристики                                 | $F_{MAX}, МГц$ | Примечание               |
|--------------|---------------|-----------------|------------------------------------------------|----------------|--------------------------|
| К561ЛЕ5      | 5...15        | <0,5            | $U_1 > 0,67U_{пит.}$ ;<br>$U_0 < 0,33U_{пит.}$ | <2             | DIP14;<br>аналог К564ЛЕ5 |
| К561КТ3      | 5...15        | <10             | $R_{ключа} = 50...100 Ом$                      | <2             | DIP14;<br>аналог К564КТ3 |
| К554СА3      | <30           | <50             | $K_{ус.} \geq 150000$                          | <3             | DIP14;<br>аналог К523СА3 |

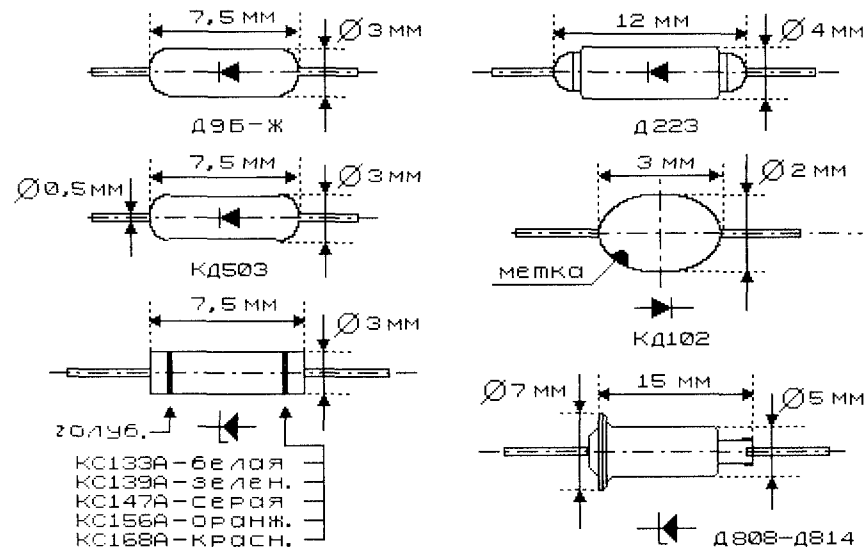
### Телефонные капсюли:

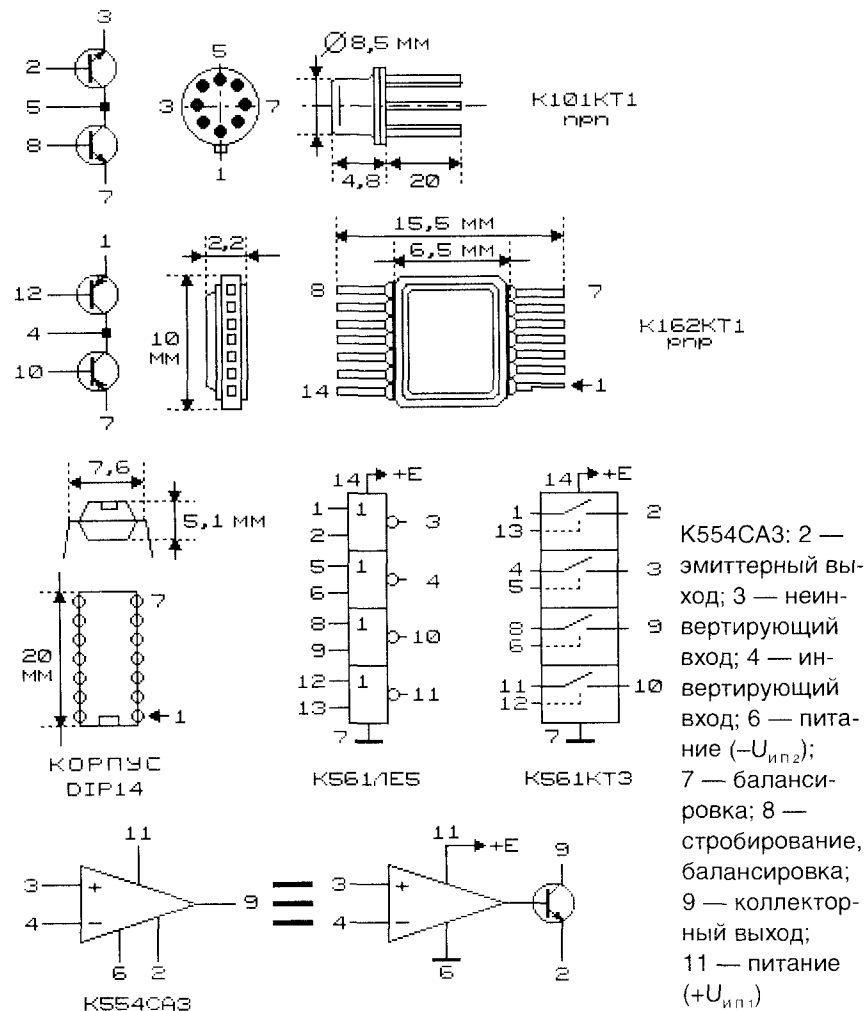
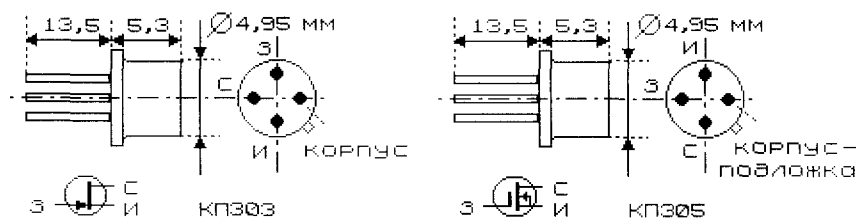
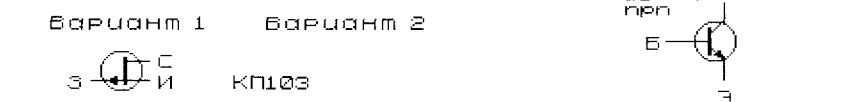
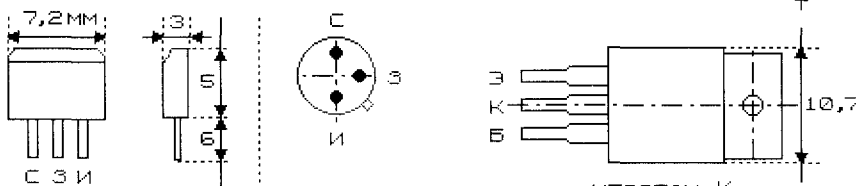
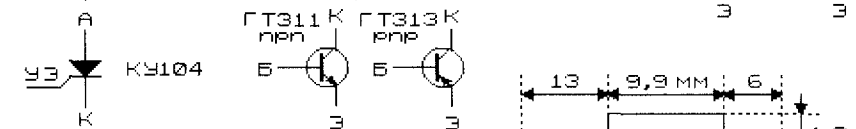
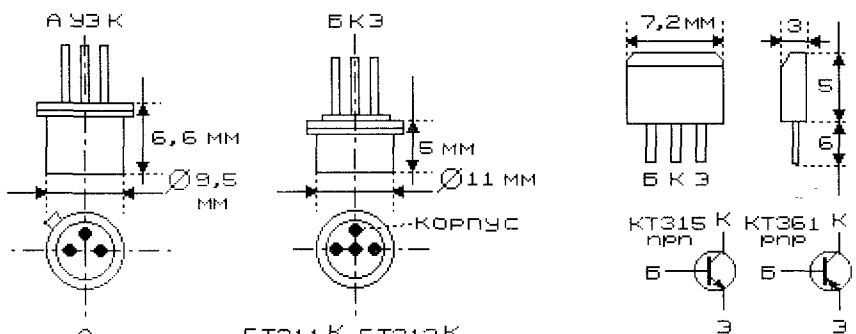
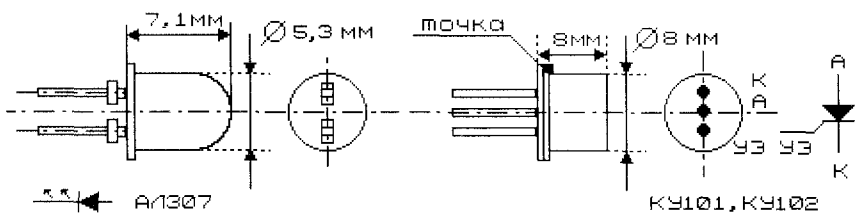
| Наименование | Полоса частот, Гц | Неравномерность, дБ | Полное эл. сопр. на $f=1 кГц, Ом$ | Сопр. пост. току, Ом | Ср. звук. давление, $Н/м^2$ | Применение             |
|--------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|
| ТА-4         | 300...4000        | 13                  | 400                               | 65                   | 15                          | Телеф. аппараты, связь |

## Приложение

| Наименование | Полоса частот, Гц | Неравномерность, дБ | Полное эл. сопр. на $f=1 кГц, Ом$ | Сопр. пост. току, Ом | Ср. звук. давление, $Н/м^2$ | Применение                   |
|--------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| ТА-47        | 300...3000        | 35                  | 130                               | —                    | >5,0                        | Связь                        |
| ТА-56М       | 300...3000        | 13                  | 300                               | —                    | 5,5...10                    | Телеф. аппараты, связь       |
| ТК-67 (-Н)   | 300...3400        | 10                  | 260                               | 40                   | 8...14                      | Телеф. аппараты, связь       |
| ТМ-2 (ТМ-4)  | 300...3000        | 27                  | 240...360                         | 80                   | >4,0                        | Слуховые аппараты            |
| ТОН-1        | 300...3000        | —                   | —                                 | 2200                 | —                           | Радиоприем                   |
| ТОН-2 (М)    | 300...3000        | 35                  | 6000                              | 1600                 | >4,0                        | Радиоприем, слухов. аппараты |
| ТОН-2А       | 300...3000        | 35                  | 182-338                           | —                    | >4,0                        | Радиоприем                   |
| ДЭМ-4М       | 200...3000        | 10                  | 600                               | —                    | 6...28                      | Микрофон — телефон           |

### Корпуса:





## Рекомендации по возможной замене элементов

Хотя при подготовке сборника были специально отобраны схемы, использующие самые распространенные, широко доступные и дешевые элементы, не лишним будет указать порядок использования и других элементов, равноценно или с большим успехом заменяющие отсутствующие.

При замене одного элемента на другой рекомендуется в первую очередь использовать справочную литературу. В кратком приложении при всем желании невозможно перечислить все возможные варианты замен элементов, ведь только одних наименований полупроводниковых диодов насчитывается не один десяток. Тем не менее, можно дать общий подход по возможному использованию одних элементов устройств вместо других.

Начнем с полупроводниковых диодов. Условно все используемые в сборнике полупроводниковые диоды разделены на германиевые маломощные высокочастотные (диоды типа *Д9Б* — *Д9Ж*), кремниевые импульсные (высокочастотные) маломощные — *КД503А* и кремниевые (низкочастотные) — *КД102А (Б)*. Буква в суффиксе (конце) обозначения элемента (*А*, *Б*, *В* и т.д.) означает вариант базовой модели, в чем-то отличающийся от остальных.

В зарубежных изданиях часто диоды общего назначения обозначают единым образом: это универсальные германиевые или кремниевые диоды низкочастотные или высокочастотные. Если только в схеме не оговорены специальные требования к диодам, минимальные требования для них таковы:

Высокочастотные диоды германиевые или кремниевые — с максимальным обратным напряжением не ниже 30 В (применительно к схемам сборника — даже 15 В), прямым током не менее 10 мА. Рабочая частота — не ниже нескольких МГц.

Германиевые диоды высокочастотные: *Д9Б* — *Д9Ж*; *ГД402* (*1Д402*); *ГД507*; *ГД508*; *ГД511* и другие.

Кремниевые диоды импульсные: *КД503* (*2Д503*); *КД504*; *КД509* — *КД512*; *КД514*; *КД520* — *КД522* и другие.

Низкочастотные (силовые) диоды — с максимальным обратным напряжением не ниже 300 В, прямым током не менее 100 мА. Рабочая частота — не ниже нескольких кГц.

Кремниевые низкочастотные диоды: *КД102* — *КД105*; *Д226* и другие с рабочим напряжением, не ниже напряжения, используемого в конкретной схеме.

Разумеется, полупроводниковые приборы, имеющие более высокие показатели, и, зачастую, более дорогие (рассчитанные на больший рабочий ток, более высокую предельную частоту, большее обратное напряжение и т.д.) с успехом могут заменить рекомендуемый сборником диод, диод устаревшей модели.

При замене стабилитронов в первую очередь следует обращать внимание на напряжение стабилизации. Во всех схемах сборника используются преимущественно стабилитроны малой мощности. В настоящее время доступен большой ассортимент разнообразных стабилитронов, которые зачастую взаимозаменяемы без всяких оговорок. Как уже говорилось в одном из разделов книги, см. главу 1, стабилитрон на любое повышенное или нестандартное напряжение можно составить из последовательного включенных других стабилитронов, либо их сочетания с цепочкой прямосмещенных германиевых и (или) кремниевых диодов.

Вопросы полноценной замены полупроводниковых приборов рассмотрены также в главе 1.

При замене транзисторов следует руководствоваться следующим. Для этих приборов также существует деление на транзисторы кремниевые, германиевые, низкочастотные, высокочастотные, мощные, маломощные и т.д.

В настоящем сборнике чаще всего представлены самые распространенные транзисторы, выпускаемые промышленностью свыше 30 лет, это *КТ315* — кремниевые маломощные высокочастотные структуры *n-p-n*. Их структурные антонимы — *КТ361*. Из числа мощных кремниевых транзисторов это *КТ805* структуры *n-p-n*; германиевых маломощных высокочастотных — *ГТ311* (*1Т311*) *n-p-n* и их антонимы структуры *p-n-p* — *ГТ313* (*1Т313*). Основные характеристики этих транзисторов приведены выше.

У всех этих транзисторов, разумеется, существует большой выбор равноценных и родственных дублирующих полупроводниковых приборов, порой отличающихся от прототипа только названием.

Основные критерии замены таковы: предельное рабочее напряжение на коллекторе транзистора, предельный ток коллектора, предельная мощность, рассеиваемая на коллекторе, предельная рабочая частота, коэффициент передачи по току. Реже для схем, представленных в сборнике, значимыми являются величина остаточного напряжения коллектор — эмиттер, шумовые характеристики транзистора.

При замене одного транзистора на другой ни один из этих параметров не должен быть занижен, ухудшен. В то же время, по

сравнению с довольно древними моделями транзисторов, современные их разновидности автоматически и эволюционно выбрали в себя заведомо улучшенные, по сравнению с их дальними предками, свойства.

Так, например, транзисторы типа *КТ315* можно заменять более совершенными, имеющими заведомо лучшие характеристики транзисторами типа *КТ3102* (малошумящие высокочастотные кремниевые транзисторы), *КТ645* (более мощные малогабаритные высокочастотные транзисторы) и т.д.

Транзисторы *КТ361* могут быть заменены транзисторами типа *КТ3107* (малошумящие высокочастотные кремниевые транзисторы) или другими, аналогичными.

Мощные транзисторы типа *КТ805* (*2Т805*), используемые в схемах сборника преимущественно в выходных каскадах *УНЧ* и стабилизаторах напряжения, могут быть без ущерба для работы схем заменены аналогами, транзисторами серии *КТ8хх* (*2Т8хх*) структуры *n-p-n*, где *хх* — порядковый номер разработки. Исключением из этого ряда являются транзисторы *КТ809*, *КТ812*, *КТ826*, *КТ828*, *КТ838*, *КТ839*, *КТ846*, *КТ856* и т.п.

Следует отметить, что если в процессе работы транзистор заметно нагревается, значит его режим работы выбран неверно, использованы резисторы других номиналов, имеется ошибка в монтаже. Если работа транзистора при повышенном токе коллектора предусмотрена условиями работы конкретной схемы, и транзистор заметно нагревается, стоит подумать о замене этого элемента на более мощный или принять меры по его охлаждению. Обычно простой радиатор или использование вентилятора позволяет в 10...15 раз повысить допустимую рассеиваемую на полупроводниковом элементе (транзисторе или диоде) мощность.

Иногда один мощный полупроводниковый прибор (диод или транзистор) можно заменить маломощными приборами, включенными параллельно. Однако при таком включении необходимо учитывать следующее. Поскольку при изготовлении полупроводниковых приборов даже одной партии выпуска свойства их заметно разнятся, при простом параллельном включении нагрузка на них может распределиться крайне неравномерно, что вызовет очередное выгорание этих приборов. Для равномерного распределения токов в параллельно включенных диодах и транзисторах

последовательно с диодом или в цепь эмиттера транзистора следует включать резистор сопротивлением от нескольких до десятков *Ом*.

В случае необходимости применения полупроводникового диода, рассчитанного на повышенное напряжение, замену можно произвести путем последовательного включения нескольких однотипных диодов, рассчитанных на низкое напряжение. Как и ранее, для обеспечения равномерного распределения обратного, наиболее опасного для работы сборки диодов напряжения, параллельно каждому из диодов сборки следует включить резистор сопротивлением от нескольких сотен *кОм* до единиц *МОм*. Разумеется, известны схемы подобного включения и для транзисторов, однако используют их редко. Во всяком случае, для схем, представленных в сборнике, таких замен не потребуется, поскольку все схемы рассчитаны, преимущественно, на низковольтное питание.

При замене полевых транзисторов дело обстоит значительно сложнее. Хотя сами полевые транзисторы появились на страницах журналов и книг довольно давно, ассортимент их не столь представительен, а разброс параметров выражен в большей мере. Особенно сложной может оказаться замена полевых транзисторов зарубежного производства. Что же касается схем сборника, то, как это было сказано ранее, в нем использованы только самые доступные элементы, в том числе и полевые транзисторы.

В приводимых на страницах сборника схемах неоднократно встречается использование телефонных капсюлей по несколько непривычному назначению — одновременно в качестве низкочастотных колебательных контуров и звукоизлучателей. В основном, в качестве таких телефонных капсюлей использованы стандартные и широко распространенные изделия. Это телефонный капсюль типа *ТК-67*, применяющийся в телефонных аппаратах отечественного производства, и наушник типа *ТМ-2* (*ТМ-4*), обычно используемый в аппаратах для слабослышащих. Разумеется, эти телефонные капсюли могут быть заменены другими отечественными или зарубежными, имеющими близкие свойства, однако, в ряде случаев, возможно, потребуется подбор емкости конденсатора (например, если на этом телефонном капсюле выполнен низкочастотный резонансный колебательный контур).

## Список литературы

### Монографии

1. **Алгинин Б.Е.** Кругок электронной автоматики. — М.: Просвещение, 1990. — 192 с.
2. **Бартовский А.Л.** Простейшие транзисторные радиоприемники. — Киев: Вища школа, 1978.
3. **Бастанов В.Г.** 300 практических советов / Справочное пособие. — М.: Московский рабочий, 1989.
4. **Бессонов В.В.** Кругок радиоэлектроники. — М.: Просвещение, 1993. — 191 с.
5. **Бирюков С.А.** Цифровые устройства на интегральных микросхемах. — М.: Радио и связь, 1987.
6. **Бирюков С.А.** Цифровые устройства на МОП-интегральных микросхемах. — М.: Радио и связь, 1990.
7. **Богатырев А.Н.** Радиоэлектроника, автоматика и элементы ЭВМ. — М.: Просвещение, 1990. — 175 с.
8. **Бодиловский В.Г.** Полупроводниковые и электровакуумные приборы в устройствах автоматики, телемеханики и связи. — М.: Транспорт, 1986.
9. **Борисов В.Г.** Кругок радиотехнического конструирования. — М.: Просвещение, 1990. — 224 с.
10. **Борисов В.Г.** Кругок радиотехнического конструирования / Пособие для руководителей кругков. — М.: Просвещение, 1986.
11. **Борисов В.Г.** Практикум начинающего радиолюбителя. — М.: ДОСААФ СССР, 1984.
12. **Борисов В.Г.** Юный радиолюбитель. — М.: Радио и связь, 1986.
13. **Борисов В.Г., Фролов В.В.** Измерительная лаборатория начинающего радиолюбителя. — М.: Энергия, 1976. — 136 с.
14. **Борноволокнов Э.П., Фролов В.В.** Радиолюбительские схемы. — 3-е изд., перераб. и испр. — Киев: Техника, 1985.

15. **Булыч В.И.** Юному радиоконструктору. — М.: ДОСААФ, 1976. — 248 с.
16. **Булычев А.Л., Галкин В.И., Прохоренко В.А.** Аналоговые интегральные схемы: Справочник. — Минск: Беларусь, 1993. — 382 с.
17. **Бурлянд В.А., Грибанов Ю.И.** Радиолюбительские конструкции (указатель описаний). — М.: Энергия, 1977. — 216 с.
18. **Быстров Ю.А., Мироненко И.Г.** Электронные цепи и устройства: Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1989.
19. **Варламов Р.Г.** Мастерская радиолюбителя. — М.: Радио и связь, 1983.
20. **Величков П., Христов В.** Электроника за свободного време. — София: Техника, 1988. — 152 с.
21. **Верховцев О.Г., Лютов К.П.** Практические советы мастеру-любителю. — Л.: Энергоатомиздат, 1987.
22. **Виноградов Ю.А.** Радиолюбителю-конструктору. — М.: ДМК, 1999. — 240 с.
23. **Вишневский А.И., Руденко В.С., Платонов А.П.** Силовые ионные и полупроводниковые приборы. — М.: Высшая школа, 1975. — 343 с.
24. **Войцеховский Я.** Радиоэлектронные игрушки: Электроника дома, на работе, в школе. — М.: Советское радио, 1978. — 608 с.
25. **Горошков Б.И.** Радиоэлектронные устройства / Справочник. — М.: Радио и связь, 1985. — 400 с.
26. **Горошков Б.И.** Элементы радиоэлектронных устройств / Справочник. — М.: Радио и связь, 1988. — 176 с.
27. **Горский В.А.** Техническое творчество школьников. — М.: Просвещение, 1981. — 96 с.
28. **Граф Р.Ф., Шиитс В.** Энциклопедия электронных схем. Т. 7. Ч. I, II, III. — М.: ДМК, 2000.
29. **Дробница Н.А.** 60 схем радиолюбительских устройств. — М.: Радио и связь, 1988. — 120 с.
30. **Дробница Н.А.** Электронные устройства для радиолюбителей. — М.: Радио и связь, 1986.
31. **Дудич И.И.** Самодельные радиоэлектронные устройства. — Ужгород: Карпаты, 1973. — 272 с.

32. **Ерофеев Ю.М.** Импульсная техника / Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа. 1984.
33. **Иванов Б.С.** В помощь радиокружку. — М.: Радио и связь, 1990. — 128 с.
34. **Иванов Б.С.** Самоделки юнармейца. — М.: ДОСААФ, 1985. — 174 с.
35. **Иванов Б.С.** Электроника в самоделках. — М.: ДОСААФ, 1981. — 240 с.
36. **Иванов Б.С.** Электронные игрушки. — М.: Радио и связь, 1988. — 80 с.
37. **Иванов Б.С.** Электронные самоделки. — М.: Просвещение, 1985. — 143 с.
38. **Интегральные** микросхемы / Под ред. Б.В. Тарабрина. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
39. **Карлачук В.И.** Электронная лаборатория на IBM PC. — М.: Солон-Р, 2000. — 512 с.
40. **Колонтаевский Ю.Ф.** Радиоэлектроника. — М.: Высшая школа, 1988.
41. **Кублановский Я.С.** Тиристорные устройства. — М.: Радио и связь, 1987.
42. **Мальцева Л.А., Фромберг Э.М., Ямпольский В.С.** Основы цифровой техники. — М.: Радио и связь, 1987. — 128 с.
43. **Матлин С.Л.** Радиосхемы. — М.: ДОСААФ, 1974. — 88 с.
44. **Мацкевич В.В.** Занимательная радиоэлектроника в пионерлагере. — М.: ДОСААФ, 1986. — 141 с.
45. **Меерсон А.М.** Радиоизмерительная техника. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергия, 1977.
46. **Милехин А.Г.** Радиотехнические схемы на полевых транзисторах. — М.: Энергия, 1976. — 144 с.
47. **Назаров С.В.** Транзисторные стабилизаторы напряжения. — М.: Энергия, 1980.
48. **Основы** промышленной электроники / Под ред. В.Г. Герасимова: Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1986.
49. **Партин А.С., Борисов В.Г.** Введение в цифровую технику. — М.: Радио и связь, 1987.

50. **Пономарев Л.Д., Евсеев А.Н.** Конструкции юных радиолюбителей. — М.: Радио и связь, 1989. — 128 с.
51. **Путятин Н.М.** Радиоконструирование / Методическое пособие для руководителей радиокружков. — М.: ДОСААФ, 1975. — 222 с.
52. **Путятин Н.Н.** В помощь начинающему радиолюбителю. — М.: Энергия, 1980.
53. **Радиоавтоматика** / Учебное пособие для вузов. Под ред. В.А. Бесекерского. — М.: Высшая школа, 1985.
54. **Ронжин Ю.Н.** Полупроводниковая радиоэлектроника. — Киев: Радянська школа, 1982.
55. **Сворень Р.** Электроника: шаг за шагом. — М.: Детская литература, 1986. — 431 с.
56. **Смирнов А.Д.** Радиолюбители — промышленности. — М.: Энергия, 1973. — 144 с.
57. **Смирнов А.Д.** Радиолюбительские конструкции. — М.: Радио и связь, 1983. — 144 с.
58. **Справочник** по схемотехнике для радиолюбителей / Под ред. В.П. Боровского. — Киев: Техника, 1987.
59. **Справочник** радиолюбителя-конструктора / Сост. Р.М. Малинин. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1983.
60. **Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А.** Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя. — Киев: Наукова думка, 1988.
61. **Терещук Р.М., Терещук К.М., Чаплинский А.Б., Фукс Л.Б., Седов С.А.** Малогабаритная радиоаппаратура: Справочник радиолюбителя. — Киев: Наукова думка, 1975. — 560 с.
62. **Титце У., Шенк К.** Полупроводниковая схемотехника: Пер. с нем. — М.: Мир, 1983.
63. **Токхейм Г.** Цифровая электроника для начинающих: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988.
64. **Уитсон Дж.** 500 практических схем на ИМС. — М.: Мир, 1992. — 376 с.
65. **Фролов В.В.** Язык радиосхем. — М.: Радио и связь, 1988.
66. **Хокинс Г.** Цифровая электроника для начинающих: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986.

67. **Хоровиц П., Хилл У.** Искусство схемотехники: В 3 т. с дополн.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1993.
68. **Шелестов И.П.** Радиолюбителям: полезные схемы. Кн. 1, 2, 3, 4. — М.: Солон, 1998.
69. **Шило В.Л.** Популярные цифровые микросхемы / Справочник. — М.: Радио и связь, 1987.
70. **Шлейциг К., Штаммлер В.** Самодельные электронные устройства в быту. — М.: ДОСААФ, 1984.
71. **Якубовский С.В., Барканов Н.А., Ниссельсон Л.И. и др.** Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. — М.: Радио и связь, 1984. — 432 с.

## Периодическая литература

### К главе 1

- Р 11/83-40. **Гумеля Е.** Радиотракт для микрокассетной магнитолы // Радио. — 1983. — № 11. — С. 40 — 43.
- Рл 4/98-32. **Шустов М.А., Шустов А.М.** Цветодинамические измерительные приборы // Радиолюбитель. — 1998. — № 4. — С. 32 — 33.
- Р 9/74-62. **Наша** консультация // Радио. — 1974. — № 9. — С. 62.
- Р 10/76-46. **Зайцев В.** Транзисторы и диоды в качестве стабилизаторов // Радио. — 1976. — № 10. — С. 46 — 47.
- Р 12/89-65. **Горбачев И.** Аналог высоковольтного стабилизатора // Радио. — 1989. — № 12. — С. 65 — 66.
- Р 6/69-60. **Стабилизированные** источники низковольтных напряжений // Радио. — 1969. — № 6. — С. 60. (Electronic Design. — 1968. — № 9; Electronic Engineering. — 1968. — № 484.)
- ВРЛ 84-9. **Токарев Б., Дубовицкий М.** Многопредельный омметр повышенной точности // В помощь радиолюбителю. Вып. 84. — М.: ДОСААФ, 1978. — С. 7 — 13.
- Рл 1/94-33. **Козлов А.** Аналоги низковольтных стабилизаторов // Радиолюбитель. — 1994. — № 1. — С. 33.
- Р 10/95-55. **Борзенков В.** Низковольтный стабилизатор напряжения // Радио. — 1995. — № 10. — С. 55.
- Р 9/89-88. **Курский И. (Нечаев И.А.)** Аналог мощного стабилизатора // Радио. — 1989. — № 9. — С. 88.

- Р 9/86-32. **Лукьянов Д.** Регулируемый аналог стабилизатора // Радио. — 1986. — № 9. — С. 32.
- F 3/73-122. **Rohlaender W.** Justierbare Z-Diode kleiner dynamischer Impedanz // Funkamateur. — 1973. — Bd. 22. — H. 3. — S. 122.
- Э 9/91. **Инглиш М. Дж.** Ограничитель напряжения с регулируемыми порогами // Электроника. — 1991. — № 9.
- RFE 21/72. **Radio** Fernsehen Elektronik. — 1972. — № 21. (Стабилизатор низкого напряжения // Млад Конструктор. — 1986. — № 6. — С. 14.)

### К главе 2

- Р 11/73-40. **Крылов В.** Аналоги динистора в устройствах автоматики // Радио. — 1973. — № 11. — С. 40 — 41.
- Р 12/76-29. **Лыуров В., Садовщиков В.** Кольцевые счетчики на транзисторных аналогах динистора // Радио. — 1976. — № 12. — С. 29.
- Р 3/86-41. **Марьяш М.** Регулируемый аналог динистора // Радио. — 1986. — № 3. — С. 41 — 42.
- ПТЭ 4/83-127. **Пономаренко А.Г., Сурков А.С.** Аналоговые модели искровых разрядников // Приборы и техника эксперимента. — 1983. — № 4. — С. 127.
- РТЕ 9/87-35. **Цаков М.** «Лямбда-диод» с биполярными транзисторами // Радио, телевизия, электроника. — 1987. — № 9. — С. 35.
- ПТЭ 5/77-96. **Дьяконов В.П., Семенова О.В.** Переключающие устройства на лямбда-транзисторах // Приборы и техника эксперимента. — 1977. — № 5. — С. 96.
- Р 4/77-30. **Тележинский П.** Аналог туннельного диода // Радио. — 1977. — № 4. — С. 30.
- F 9/73-434. **Rohlaender W.** Synthetisierte Kapazitaetsdiode // Funkamateur. — 1973. — Bd. 22. — H. 9. — S. 434.
- ПТЭ 2/81-151. **Захаров Ю.В., Квитко И.Н., Райцис В.И.** Низкотемпературный автодин для измерителя неоднородности магнитного поля методом ядерного магнитного резонанса // Приборы и техника эксперимента. — 1981. — № 2. — С. 151.

### К главе 4

- Рл 3/00-14. **Шустов М.А.** Простые УЗЧ // Радиолюбитель. — 2000. — № 3. — С. 14.

- Р 9/70-60. **Наша** консультация // Радио. — 1970. — № 9. — С. 60.
- МК 2/86-15. **Пенев В.** Каскодный усилитель // Млад Конструктор. — 1986. — № 2. — С. 15.
- Рл 3/99-11. **Петров А.** Биполярные транзисторы и их применение // Радиолучитель. — 1999. — № 3. — С. 10 — 11.
- МК 5/83-XIV. **Акустическое** реле // Млад Конструктор. — 1983. — № 5. — С. XIV.

**К главе 5**

- Р 1/79-44. **Сырицо А., Соколов А.** Электронный регулятор громкости // Радио. — 1979. — № 1. — С. 43 — 46.
- Р 9/72-38. **Поскребышев П., Хлопов Б.** Усилительные приставки к осциллографу // Радио. — 1972. — № 9. — С. 38 — 39.
- Р 5/75-54. **Козлов Б.** Каскодные усилители на транзисторах // Радио. — 1975. — № 5. — С. 54 — 57.
- ПТЭ 1/78-88. **Добрецов А.И., Каржавин В.А., Туфлин Ю.А.** Широкополосный усилитель с большим коэффициентом усиления // Приборы и техника эксперимента. — 1978. — № 1. — С. 88.

**К главе 6**

- Р 5/85-54. **Цыбульский В.** Генератор переменной частоты // Радио. — 1985. — № 5. — С. 54.
- Р 10/76-60. **Генератор** с электронной перестройкой частоты // Радио. — 1976. — № 10. — С. 60. (Radio Fernsehen Elektronik. — 1976. — № 5.)

**К главе 7**

- Рл 6/98-33. **Шустов М.А., Шустов А.М.** Генераторы импульсов на триггере Шмитта // Радиолучитель. — 1998. — № 6. — С. 33.
- Рл 12/99-17. **Шустов М.А.** Усилители D-класса // Радиолучитель. — 1999. — № 12. — С. 17.
- Э 22/88-66. **Фрейден Дж.** Мультивибратор на аналоговых ключах // Электроника. — 1988. — № 22. — С. 66 — 67.
- Рл 7/98-23. **Шустов М.А.** Аппараты для ультратоновой терапии // Радиолучитель. — 1998. — № 7. — С. 23 — 24; 1999. — № 6. — С. 33. Радиоаматор — 1998. — № 10. — С. 40 — 41.
- Рл 6/99-39. **Шустов М.А.** Генератор импульсов на КМОП-коммутаторе // Радиолучитель. — 1999. — № 6. — С. 39.

**К главе 8**

- Рл 4/97-33. **Шустов М.А.** Генераторы импульсов на аналогах инжекционно-полевых транзисторов // Радиолучитель. — 1997. — № 4. — С. 33 — 34.
- Рл 2/01-17. **Шустов М.А.** Бипер на аналоге инжекционно-полевого транзистора // Радиолучитель. — 2001. — № 2. — С. 17.

**К главе 9**

- Рк 5/00-23. **Шустов М.А.** Светодиодные излучатели с ультранизким напряжением питания // Радиоконструктор. — 2000. — № 5. — С. 23.

**К главе 10**

- Р 7/93-27. **Копцев К.** «Оптический» генератор // Радио. — 1993. — № 7. — С. 27.
- Рл 9/91-7. **Шустов М.А.** Устройство для поиска биологически активных точек и воздействия на них // Радиолучитель. — 1991. — № 9. — С. 7.
- Рл 9/00-30. **Шустов М.А.** Оптоэлектронный генератор // Радиолучитель. — 2000. — № 9. — С. 30.
- Ра 5/00-29. **Шустов М.А.** Генераторы ИК-импульсов // Радиоаматор. — 2000. — № 5. — С. 29 — 30.

**К главе 11**

- Р 1/88-34. **Попов А.** По фигурам Лиссажу // Радио. — 1988. — № 1. — С. 34 — 36.
- Р 4/80-43. **Тюрин Е.** Повышение качества записи // Радио. — 1980. — № 4. — С. 43.
- Рл 10/96-27. **Шустов М.А.** Генераторы импульсов — элементы звуковой индикации // Радиолучитель. — 1996. — № 10. — С. 27.
- Р 1/88-51. **Мейер В.** Генератор стирания и подмагничивания // Радио. — 1988. — № 1. — С. 51 — 52.

**К главе 12**

- Р 7/90-68. **Паздников И.** Пробник для проверки катушек индуктивности // Радио. — 1990. — № 7. — С. 68 — 69.
- Рл 7/97-34. **Петин Г.** Высокостабильный двухточечный генератор // Радиолучитель. — 1997. — № 7. — С. 34.

- F 9/71-171. **Funkamateur**. — 1971. — Bd. 20. — Н. 9. — S. 171.
- F 3/85-131. **Schmidt P.** Zusatzgeraet fuer Zaehlfrequenzmesser // Funkamateur. — 1985. — Bd. 34. — Н. 3. — S. 131.
- P 9/76-52. **Аристов А.** Простой генератор ВЧ // Радио. — 1976. — № 9. — С. 52 — 53.
- P 3/77-53. **Аристов А., Волков П.** Простой генератор ВЧ // Радио. — 1977. — № 3. — С. 53.
- Рл 2/98-37. **Башкатов В.** Генератор шума // Радиолучитель. — 1998. — № 2. — С. 37.
- P 1/69-37. **Фарбер О.** Генераторы шума на стабилитронах // Радио. — 1969. — № 1. — С. 37.

### К главе 13

- Рл 10/99-40. **Волонцевич Д.** Радиомикрофон // Радиолучитель. — 1999. — № 10. — С. 40; Иванов А. УКВ-радиомикрофон // Радиолучитель. — 1999. — № 10. — С. 40.
- Рл 2/97-13. **Шустов М.А.** Микропередатчики УКВ-ЧМ диапазона // Радиолучитель. — 1997. — № 2. — С. 13 — 14; 1998. — № 2. — С. 19.
- P 10/96-19. **Иванов В.** Беспроводные телефоны // Радио. — 1996. — № 10. — С. 19.
- Рл 9/91-22. **Шустов М.А.** Простые ЧМ-радиомикрофоны // Радиолучитель. — 1991. — № 9. — С. 22.
- Рл 10/97-17. **Шустов М.А.** Датчики с прямым смещением в управляемых генераторах // Радиолучитель. — 1997. — № 10. — С. 17 — 18.
- Рл 3/99-8. **Роман Г.** Передатчик видеосигнала // Радиолучитель. — 1999. — № 3. — С. 8.

### К главе 14

- МК 10/83-11. **Средневолновый** радиоприемник // Млад Конструктор. — 1983. — № 10. — С. 11.
- P 4/94-29. **Прокопцев Ю.** Простой и удобный // Радио. — 1994. — № 4. — С. 29.
- М 7/95-14. **Прокопцев Ю.** «Радиокачели» // Моделист-Конструктор. — 1995. — № 7. — С. 14 — 16.

- P 9/99-52. **Прокопцев Ю.** Рефлексный для местного приема // Радио. — 1999. — № 9. — С. 52.
- Рл 3/99-19. **Солодовников Е.** Режим регенерации в сверхрегенеративном приемнике // Радиолучитель. — 1999. — № 3. — С. 19 — 20.
- Рл 9/95-12. **Григорьев И.** Регенеративный приемник или оптимальный смеситель // Радиолучитель. — 1995. — № 9. — С. 12 — 13.
- Рл 10/95-12. **Григорьев И.** Регенеративный приемник или оптимальный смеситель // Радиолучитель. — 1995. — № 10. — С. 12 — 13.
- P 12/85-28. **Захаров А.** УКВ ЧМ приемники с ФАПЧ // Радио. — 1985. — № 12. — С. 28 — 30.
- P 12/81-49. **Шульгин Г.** Радиоприемник с рамочной антенной // Радио. — 1981. — № 12. — С. 49.
- P 6/82-52. **Шульга Г.** Приемник прямого усиления с фиксированной настройкой на три программы // Радио. — 1982. — № 6. — С. 52 — 53.
- Рл 4/99-24. **Родионов Э.** УКВ-конвертер // Радиолучитель. — 1999. — № 4. — С. 24.
- P 4/95-19. **Беседин В.** Конвертер к радиовещательному приемнику // Радиолучитель. — 1995. — № 4. — С. 19.

### К главе 15

- P 7/84-39. **Пашанин Е.** Простой генератор звуковой частоты // Радио. — 1984. — № 7. — С. 39.
- P 2/73-48. **Даренский В.** Два независимых выключателя в двухпроводной линии // Радио. — 1973. — № 2. — С. 48.

### К главе 16

- МК 6/82-3. **Млад** конструктор. — 1982. — № 6. — С. 3.
- ВРЛ 83-24. **Юшин А.** Светодиоды и их применение // В помощь радиолучителю. Вып. 83. — М.: ДОСААФ, 1978. — С. 17 — 25.
- МК 2/86-20. **Русева Р.** Автоматично поливане на цветята // Млад конструктор. — 1986. — № 2. — С. 20 — 21.
- М 2/96-13. **Эюбов В.** Электронные барабаны // Моделист-конструктор. — 1996. — № 2. — С. 13 — 15; № 3. — С. 15 — 16.

## К главе 17

EW 4/01-299. **Shustov M.A.** Push-button thyristor operation // Electronics World. — 2001. — V. 107. — № 4 (1780). — P. 299.

## К главе 18

ВРЛ 61/72. **Коротаев Г.** Реле времени для стеклоочистителя // В помощь радиолюбителю. Вып. 61. — М.: ДОСААФ, 1978. — С. 72 — 75.

EW 4/01-297. **Shustov M.A.** Uses for CMOS switches // Electronics World. — 2001. — V. 107. — № 4 (1780). — P. 297.

## К главе 19

Рл 10/00-28. **Шустов М.А.** Градиентное реле // Радиолюбитель. — 2000. — № 10. — С. 28 — 29.

Рл 5/00-29. **Шустов М.А.** Преобразователь амплитуда-ширина импульса // Радиолюбитель. — 2000. — № 5. — С. 29.

## К главе 20

ВРЛ 80-28. **Малахов А.** Пробник-индикатор поля // В помощь радиолюбителю. Вып. 80. — М.: ДОСААФ, 1978. — С. 27 — 30.

Р 8/91-76. **Борисов А.** Искатель скрытой проводки // Радио. — 1991. — № 8. — С. 76.

Р 11/88-56. **Болотник Д.** Искатель неисправности гирлянды со световым индикатором // Радио. — 1988. — № 11. — С. 56 — 57; Приймак Д. Искатель неисправности гирлянды со звуковым индикатором // Радио. — 1988. — № 11. — С. 57.

РаЭ 8/00-15. **Шустов М.А.** Индикатор электрического поля на аналоге ИПТ // Радиоаматор-Электрик. — 2000. — № 8. — С. 15.

Рк 6/00-19. **Шустов М.А.** Индикатор электрического поля на управляемом негаваристоре // Радиоконструктор. — 2000. — № 6. — С. 19.

МК 2/86-13. **Прост** измервател на силата на електрическото поле // Млад Конструктор. — 1986. — № 2. — С. 13.

МК 7/88-12. **Бучков Е.** Кабелотърсач. I вариант // Млад Конструктор. — 1988. — № 7. — С. 12 — 13.

Р 8/91-83. **Иваненко Н.** Индикатор магнитного поля // Радио. — 1991. — № 8. — С. 83.

Р 3/85-49. **Савицкий Е.** Индикатор магнитного поля // Радио. — 1985. — № 3. — С. 49.

## К главе 21

Рл 8/97-30. **Мартынюк Н.** Простой металлоискатель // Радиолюбитель. — 1997. — № 8. — С. 30.

Р 10/69-48. **Ковалев А.** Приставка для обнаружения металлических предметов // Радио. — 1969. — № 10. — С. 48.

Fs 8/75. **Funkschau.** — 1975. — № 8.

Р 7/80-61. **Простой** металлоискатель // Радио. — 1980. — № 7. — С. 61. (Wuensche V. Einfaches Metallsuchgeraet // Funkamateuer. — 1980. — Bd. 29. — H. 1. — S. 30.)

## К главе 22

Рл 9/99-24. **Шустов М.А.** Кодовые замки // Радиолюбитель. — 1999. — № 9. — С. 24 — 26.

Рк 5/00-21. **Шустов М.А.** Кодовые замки на тиристорах // Радиоконструктор. — 2000. — № 5. — С. 21.

## К главе 23

Р 7/83-34. **Доценко Ю.** Сенсорный мелодичный звонок // Радио. — 1983. — № 7. — С. 34 — 35.

Р 5/90-67. **Илюшин Н.** Звуковой сигнализатор для «Славы» // Радио. — 1990. — № 5. — С. 67.

Р 6/88-36. **Бригиневич Е.** Имитатор кряканья утки // Радио. — 1988. — № 6. — С. 36 — 37.

МК 4/82-7. **Электронный** барабан // Млад Конструктор. — 1982. — № 4. — С. 7.

Р 6/83-36. **Аристов А., Гордеев С.** Поиски и находки // Радио. — 1983. — № 6. — С. 34 — 37.

## К главе 24

Рл 11/97-30. **Шустов М.А.** Устройства для диагностики биологически активных точек // Радиолюбитель. — 1997. — № 11. — С. 30 — 31.

Рл 9/91-7. **Шустов М.А.** Устройство для поиска биологически активных точек и воздействия на них // Радиолюбитель. — 1991. — № 9. — С. 7.

Рл 10/92-24. **Козлов В.** Электроакупунктурный стимулятор с омметром // Радиолучитель. — 1992. — № 10. — С. 24; Цаков М. Электропунктурный стимулятор // Радио, телевизия, електроника. — 1990. — № 3. — С. 38.

### К главе 25

Рл 6/95-19. **Шустов М.А.** Ионатор воды // Радиолучитель. — 1995. — № 6. — С. 19 — 20.

### К главе 27

Р 1/85-49. **Нечаев И.А.** Сенсорный пульт управления // Радио. — 1985. — № 1. — С. 49.

Р 4/89-62. **Нечаев И.А.** Сенсорный выключатель // Радио. — 1989. — № 4. — С. 62 — 63.

Рл 10/98-15. **Разработки** кружка радиоэлектроники // Радиолучитель. — 1998. — № 10. — С. 15 — 16.

Р 1/90-60. **Нечаев И.А.** Электромузыкальный инструмент «Светофон» // Радио. — 1990. — № 1. — С. 60 — 61.

М 6/92-28. **Апрелев Э.** По мановению руки // Моделист-конструктор. — 1992. — № 6. — С. 28 — 30.

Рл 9/97-28. **Шустов М.А.** Устройство музыкального сопровождения // Радиолучитель. — 1997. — № 9. — С. 28 — 29.

Рл 9/98-16. **Разработки** кружка радиоэлектроники // Радиолучитель. — 1998. — № 9. — С. 16.

Р 11/85-44. **Тесленко Л.** Универсальный индикатор // Радио. — 1985. — № 11. — С. 44 — 45.

Р 8/89-65. **Яворский В.** Металлоискатель на микросхеме // Радио. — 1989. — № 8. — С. 65 — 66.

Рл 2/97-26. **Скулкин И.** Прибор для рефлексотерапии // Радиолучитель. — 1997. — № 2. — С. 26.

Рл. КВ и УКВ 1/96-23. **Шустов М.А.** CW — ключи на микросхемах // Радиолучитель. КВ и УКВ. — 1996. — № 1. — С. 23 — 26.

Р 7/87-34. **Холодов М.** «Многоголосый» имитатор звуков // Радио. — 1987. — № 7. — С. 34.

### К главе 28

Рл 3/95-18. **Шустов М.А.** Сирены личной охраны // Радиолучитель. — 1995. — № 3. — С. 18 — 19.

Рл 1/97-28. **Шустов М.А.** Звукосигнальные охранные устройства // Радиолучитель. — 1997. — № 1. — С. 28 — 29.

Ра 6/00-27. **Шустов М.А.** Простые охранные устройства // Радио-аматор. — 2000. — № 6. — С. 27.

### К главе 29

F 8/82-381. **Reichel J.** CMOS-IS als analoge NF-Schaltung // Funkamateur. — 1982. — Bd. 31. — H. 8. — S. 381 — 382.

Fs 8/79-134. **Селективный** фильтр с двумя КМОП-инверторами // Funkschau. — 1979. — H. 8. — S. 134.

Р 10/90-83. **Нечаев И.А.** Пробник логический без источника питания // Радио. — 1990. — № 10. — С. 83 — 84.

Р 6/82-51. **Смирнов Н., Стрюков В.** Приемник прямого усиления на логической микросхеме // Радио. — 1982. — № 6. — С. 51.

Рл 7/92-11. **Продеус А.** Формирователь сигнала для ПК ZX SPEC-TRUM // Радиолучитель. — 1992. — № 7. — С. 11.

### К главе 30

Рл 3/01-30. **Шустов М.А.** Линейно-инверсный мост и мост модулированного тока // Радиолучитель (московская версия). — 2001. — № 3. — С. 30 — 31.

### К главе 31

Рл 3/97-10. **Дасько А.** Простые измерительные приборы // Радиолучитель. — 1997. — № 3. — С. 10 — 12.

F 10/85-483. **Boettcher P.** Ohmmeter mit linearer Skale // Funkamateur. — 1985. — Bd. 34. — H. 10. — S. 483.

АТС 3/98-38. **Шустов М.А., Шустов А.М.** Многодиапазонный авометр // Автоматика, телемеханика и связь. — 1998. — № 3. — С. 38.

### К главе 32

Рл 2/95-23. **Шустов М.А.** Тестер электролитических конденсаторов // Радиолучитель. — 1995. — № 2. — С. 23.

Рл 4/99-38. **Пухличенко А.** Пробник для конденсаторов // Радиолучитель. — 1999. — № 4. — С. 38.

Р 1/92-59. **Сергеев Б.** Как снять характеристику диода // Радио. — 1992. — № 1. — С. 59 — 60.

Рл 12/96-32. **Пухличенко А.** Пробник для проверки тиристоров // Радиолюбитель. — 1996. — № 12. — С. 32.

Р 1/80-45. **Кирсанов В.** Прибор для проверки исправности транзисторов // Радио. — 1980. — № 1. — С. 45.

Рл 4/99-11. **Петров А.** Биполярные транзисторы и их применение // Радиолюбитель. — 1999. — № 4. — С. 11.

Р 11/85-51. **Сычев В.** Как проверить трансформатор // Радио. — 1985. — № 11. — С. 51.

### К главе 33

Рл 4/98-32. **Шустов М.А., Шустов А.М.** Цветодинамические измерительные приборы // Радиолюбитель. — 1998. — № 4. — С. 32 — 33.

F 10/00-1085. **Schustow M.A., Schustow A.M.** «Quasianaloge» Spannungseüberwachung mit LEDs // Funkamateureur. — 2000. — Bd. 49. — H. 10. — S. 1085.

Рх 6/99-53. **Шустов М.А.** Генератор цветовой гаммы // Радиолюб. — 1999. — № 6/Декабрь. — С. 53.

МК 8/83-3. **Мечков К.** Индикатор настройки на УКВ // Млад Конструктор. — 1983. — № 8. — С. 3.

Р 1/88-53. **Заряев А.** Индикатор уровня на двухцветном светодиоде // Радио. — 1988. — № 1. — С. 53.

### К главе 34

Рл 3/95-26. **Шустов М.А.** Индикаторы «фазы» на современной элементной базе // Радиолюбитель. — 1995. — № 3. — С. 26 — 27.

F 11/97-1313. **Schustow M.A., Schustow A.M.** LED-Spannungsindikator ohne Batterie // Funkamateureur. — 1997. — Bd. 46. — H. 11. — S. 1313.

МЭСХ 4/98-23. **Шустов М.А., Шустов А.М.** Светозвуковой индикатор фазы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1998. — № 4. — С. 23.

EWWW 6/00-459. **Shustov M.A.** Alternative neon tester // Electronics World Incorporating Wireless World. — 2000. — Vol. 106. — № 6 (1770). — P. 459.

### К главе 35

МК 5/86-XVI. **Попов Й.** Стабилизатор на ток // Млад Конструктор. — 1986. — № 5. — С. XVI.

F 1/76-21. **Kohlik R.** Strombegrenzung in der Siebkette // Funkamateureur. — 1976. — Bd. 25. — H. 1. — S. 21.

Р 4/81-61. **Регулятор** напряжения с ограничителем тока // Радио. — 1981. — № 4. — С. 61 (Wireless World. — 1980. — № 1 (1529).)

### К главе 36

Рл 12/96-21. **Шустов М.А.** Индикатор отключения источника питания // Радиолюбитель. — 1996. — № 12. — С. 21.

F 2/98-173. **Schustow M.A., Schustow A.M.** Energie-Ausschalt-Indikator // Funkamateureur. — 1998. — Bd. 47. — H. 2. — S. 173.

F 6/99-652. **Schustow M.A.** Audiovisuelle Betriebsspannungseüberwachung // Funkamateureur. — 1999. — Bd. 48. — H. 6. — S. 652.

### К главе 37

Рх 1/99-43. **Шустов М.А.** Многоканальная ЦМУ // Радиолюб. — 1999. — № 1/Февраль. — С. 43.

Рл 6/01-29. **Шустов М.А.** Панорамный УКВ-индикатор // Радиолюбитель (московская версия). — 2001. — № 6. — С. 29 — 30.

F 9/99-1002. **Schustow M.A.** Infrarotkoppler fuer NF Signale // Funkamateureur. — 1999. — Bd. 48. — H. 9. — S. 1002.

# Серия «Практическая схемотехника»

Данные издания содержат большое количество схем, как оригинальных, так и ставших своего рода стандартом в современной схемотехнике. Причем для каждой схемы приводится ее подробное описание, акцентируется внимание на достоинствах и недостатках данного решения. Каждая книга серии посвящена определенной области практической схемотехники.

**В настоящий момент вышли:**



**готовятся к выпуску:**

- «Полупроводниковые приборы и их применение»
- «Специализированные аналоговые микросхемы»
- «Цифровые устройства»
- «Усилители и генераторы электрических сигналов»
- «Любительская и профессиональная радиосвязь»