

Д. А. ДЕМИДЕНКО, Д. А. КРУГЛИКОВ

**радиоловительские  
измерительные  
приборы  
на транзисторах**

**Д. А. ДЕМИДЕНКО, Д. А. КРУГЛИКОВ**

**РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
ПРИБОРЫ  
НА ТРАНЗИСТОРАХ**

**МОСКВА  
ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА» ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ СССР  
1977**



6Ф2.08  
Д30

**Демиденко Д. А. и Кругликов Д. А.**

**Д30** Радиололюбительские измерительные приборы на транзисторах. М., ДОСААФ, 1977.

143 с. с ил.

В книге рассматриваются вопросы, связанные с конструированием и налаживанием радиололюбительских приборов различной степени сложности, приводятся описания конкретных радиололюбительских конструкций, выполненных на полупроводниковых приборах, и особенно их практического применения.

Книга рассчитана на широкий круг радиололюбителей, кружки ДОСААФ и школ, а также может представлять интерес для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и разработкой измерительной радиоэлектронной аппаратуры.

Д  $\frac{30405-007}{072(02)-77}$  79-77

6Ф2.08

## Глава I

### ПРИБОРЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

---

#### 1. ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ ИНДИКАТОРА НЕОНОВЫХ ЛАМП И ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

Вольтметр — один из основных измерительных приборов в практике радиолюбителя. Помимо прямого назначения — измерения напряжения — его можно использовать для измерения косвенными методами тока, сопротивления, а также и для некоторых других целей.

Зачастую радиолюбители, особенно начинающие, не имеют возможности приобрести хороший стрелочный вольтметр или магнитоэлектрическую головку с достаточно малым током полного отклонения стрелки, на базе которой можно было бы собрать такой вольтметр. Именно поэтому для них большой интерес представляют практические конструкции приборов, в которых в качестве индикатора используются неоновые лампы или лампы накаливания.

Основным требованием, предъявляемым к вольтметрам любого класса, является их большое входное сопротивление. Это объясняется тем, что при измерении напряжения в той или иной цепи вольтметр шунтирует ее и вносит определенные ошибки в измерение истинного напряжения. Чем выше входное сопротивление вольтметра, тем меньше вносимая ошибка.

Неоновую лампу в качестве индикатора можно применить потому, что она начинает светиться только в том случае, когда напряжение на ее электродах достигает напряжения зажигания, при котором возникает тлеющий разряд. До достижения этого напряжения неоновая лампа практически не потребляет электрического

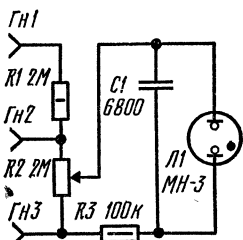


Рис. 1. Принципиальная схема вольтметра с неоновой лампой

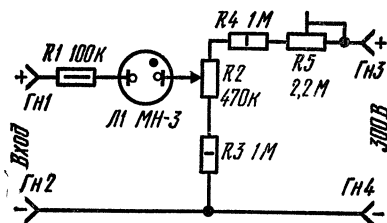


Рис. 2. Принципиальная схема вольтметра для измерения малых напряжений постоянного тока

тока. Напряжение зажигания неоновых ламп находится в пределах 50—150 В в зависимости от типа ламп. Наиболее низкое напряжение зажигания 50—60 В у самых распространенных ламп типа МН-3. Необходимо помнить, что это напряжение у разных ламп разное. Кроме того, со временем оно меняется и особенно резко в течение первых 50 ч работы. В связи с этим неоновую лампу, выбранную в качестве индикатора, целесообразно в течение 50—55 ч подвергнуть тренировке. Для этой цели ее подключают через ограничивающий резистор к сети переменного тока напряжением 220 В. Сопротивление этого резистора выбирают таким, чтобы оно обеспечивало номинальный ток, который у большинства неоновых ламп не превышает 1—3 мА.

Наиболее простой вольтметр (рис. 1) позволяет измерять напряжение постоянного и переменного тока на двух шкалах: 50—250 В и 100—500 В; при этом предусмотрены разные шкалы для постоянного и переменного тока. Разница в показаниях на переменном токе объясняется тем, что амплитудное значение переменного напряжения, при котором зажигается лампа, в 1,41 раза больше его эффективного значения, измеряемого эталонным вольтметром.

С помощью щупов, соединенных с гнездами ГН2 и ГН3, вольтметр подключают к источнику измеряемого напряжения. Перемещая движок переменного резистора R2 снизу вверх (по схеме), добиваются зажигания неоновой лампы. Величину измеряемого напряжения определяют по шкале переменного резистора. Резистор R3 ограничивает ток, протекающий через неоновую

лампу, предотвращая пробой между электродами при подаче на них высокого напряжения. Конденсатор  $C1$  способствует более яркому свечению лампы в момент ее зажигания. Подключив щупы к гнездам  $\Gamma n1$  и  $\Gamma n3$ , переходят на второй предел измерения напряжения; при этом последовательно с резистором  $R2$  включается резистор  $R1$  и цена каждого деления шкалы удваивается. Градуировку шкал производят с помощью эталонного вольтметра, подавая на вход различные напряжения постоянного тока, а затем и переменного. Подав на вход определенное напряжение, перемещают движок переменного резистора до момента зажигания неоновой лампы и делают соответствующую отметку на шкале прибора.

Усложнив схему прибора (рис. 2), можно производить измерения малых напряжений постоянного тока. В состав прибора входит либо специальный выпрямитель, либо батареи, дающие напряжение около 200—300 В.

Градуировку шкалы производят следующим образом. Закорачивают входные гнезда  $\Gamma n1$  и  $\Gamma n2$  и, перемещая движок переменного резистора  $R2$ , добиваются зажигания неоновой лампы. После этого входные зажимы замыкают и подают на них небольшое напряжение от измеряемого источника. Неоновая лампа гаснет. Повышая компенсационное напряжение с помощью переменного резистора  $R5$ , вновь добиваются зажигания лампы, что произойдет, когда приращение компенсационного напряжения сравняется с величиной измеряемого напряжения. Отсчет измеряемого напряжения производят по шкале переменного резистора  $R5$  в момент зажигания лампы.

Входное сопротивление вольтметра, собранного по первой схеме, определяется сопротивлением резистора  $R2$  или суммой сопротивлений резисторов  $R2$  и  $R1$ ; входное сопротивление вольтметра, собранного по второй схеме, значительно выше и определяется лишь утечкой между выводами неоновой лампы. В момент зажигания лампы это сопротивление резко падает.

Используя указанный принцип, можно разработать ряд схем вольтметров с использованием неоновых ламп. При желании начинающий радиолюбитель сможет это сделать самостоятельно:

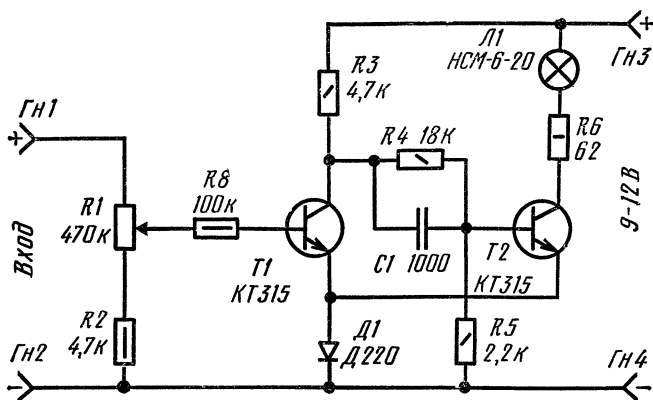


Рис. 3. Принципиальная схема вольтметра с лампой накаливания и триггером Шмитта

Несложные вольтметры получаются и с использованием в качестве индикатора ламп накаливания. Однако эти лампы в отличие от неоновых не имеют резкого порога срабатывания. В связи с этим в схемы вводят специальные пороговые устройства, управляющие моментом загорания лампы при подаче измеряемого напряжения определенной величины. В качестве такого устройства можно применить триггер Шмитта.

Вольтметр (рис. 3) собран на двух транзисторах, одном кремниевом диоде, семи резисторах, одном конденсаторе и лампе накаливания. Он позволяет измерять напряжение постоянного тока в диапазоне 1—50 В. Если транзисторы имеют коэффициент передачи тока, равный 40—50, входное сопротивление в момент индикации будет не менее 20 кОм/В. На транзисторах *T1* и *T2* собран триггер Шмитта.

При отсутствии входного напряжения положительной полярности первый транзистор закрыт благодаря положительному смещению на эмиттере 0,5—0,7 В, возникающему за счет прохождения тока через открытый транзистор *T2* и кремниевый диод *Д1*. Индикаторная лампа горит. Как только на вход вольтметра (гнезда *ГН1* и *ГН2*) подается положительное напряжение, превышающее на 0,1—0,3 В падение напряжения на диоде,

первый транзистор отпирается и напряжение на его коллекторе падает, что приводит к запираанию второго транзистора и погасанию лампы накаливания. Для ускорения процесса переключения транзисторов в схему введен конденсатор  $C1$  небольшой емкости.

Измерение напряжений с помощью этого вольтметра сводится к перемещению движка переменного резистора  $R1$  до погасания лампы накаливания. Значение измеренного напряжения считывают со шкалы потенциометра. При тщательной градуировке с использованием эталонного вольтметра класса точности не хуже 1% погрешность прибора в интервале температур 10—35°C не превышает 5%. Другими словами, точность измерения и входное сопротивление практически такие же, как у наиболее распространенных стрелочных измерительных приборов. Единственный недостаток вольтметра — большой потребляемый ток в промежутках между измерениями. Питание можно осуществлять от нестабилизированного источника напряжением 9—12 В. Дополнительная погрешность за счет разброса питающего напряжения не превышает 1%.

Наиболее приемлемыми для радиолюбителей вольтметрами с лампами накаливания являются те, в которых в качестве порогового устройства применены схемы на однопереходных транзисторах. Такой транзистор, или, как его называют, двухбазовый диод, обладает свойством порогового переключателя. При достижении на его эмиттере напряжения, равного напряжению сравбатывания (ток эмиттера должен превышать ток включения), транзистор переходит из состояния с большим сопротивлением в состояние с отрицательным сопротивлением. Для возвращения транзистора в первоначальное состояние необходимо либо уменьшить напряжение на его базе до напряжения выключения, либо уменьшить ток эмиттера до тока выключения. Для отечественных однопереходных транзисторов напряжение включения составляет 0,5—0,85 напряжения между базами.

В предлагаемой схеме (рис. 4) на однопереходном транзисторе  $T1$  собран релаксационный генератор, а на транзисторе  $T2$  — усилитель постоянного тока, в коллекторную цепь которого включена лампа накаливания. Если измеряемое напряжение положительной полярности отсутствует, транзистор  $T1$  находится в выключен-



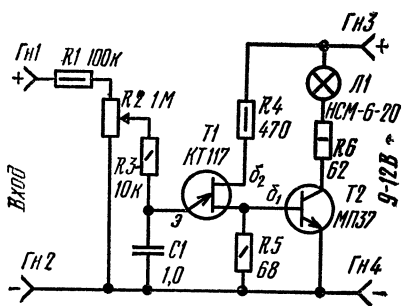


Рис. 4. Принципиальная схема вольтметра постоянного тока с лампой накаливания и однопереходным транзистором

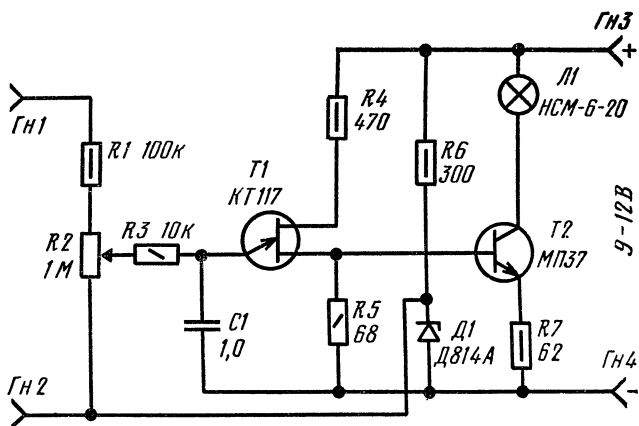


Рис. 5. Принципиальная схема вольтметра для измерения малых напряжений с лампой накаливания и однопереходным транзистором

ном положении, напряжение на его нижней базе равно нулю и транзистор  $T_2$  закрыт. Индикаторная лампа не светится. При подключении вольтметра к измеряемой цепи и перемещении движка переменного резистора  $R_2$  напряжение на конденсаторе  $C_1$  и эмиттере транзистора  $T_1$  возрастает. Как только напряжение достигнет напряжения переключения транзистора  $T_1$ , последний включается и конденсатор  $C_1$  начинает разряжаться через базу  $B_1$ . В результате этого на резисторе  $R_5$ , включенном в цепь этой базы, выделяется положительный сигнал, открывающий транзистор  $T_2$ . При разрядке конденсатора до напряжения выключения транзистор  $T_1$  закрывается и конденсатор начинает заряжаться до прило-

женного напряжения, после чего процесс повторяется. Лампа накаливания начинает периодически вспыхивать. По моменту начала этого вспыхивания и определяют величину измеряемого напряжения, пользуясь шкалой переменного резистора  $R_2$ .

Вольтметр обладает входным сопротивлением не менее 20 кОм/В и обеспечивает измерение постоянного напряжения от 5 В (определяется параметрами примененного транзистора) до 50 В. При питании напряжением 10 В потребляемый ток в процессе измерения не превышает 2—3 мА, а между измерениями — 0,5 мА, что позволяет практически не отключать химический источник питания в течение всего срока его годности (ресурса электрической емкости).

Если требуется снизить нижний предел измерения до 0,1—0,5 В, схему вольтметра следует несколько изменить. Новая схема (рис. 5) отличается от предыдущей только введением компенсирующего напряжения, снимаемого с параметрического стабилизатора, собранного на стабилитроне  $Д1$  и резисторе  $R_6$ . При налаживании вольтметра предварительно определяют напряжение включения однопереходного транзистора  $T1$  и подбирают стабилитрон с напряжением стабилизации при прямом токе 1 мА на 0,1—0,5 В меньше, чем напряжение включения. Измерение напряжений производится так же, как и ранее рассмотренным вольтметром.

Для измерения напряжения переменного тока схемы необходимо усложнить за счет введения простейшего выпрямителя и соответствующего переключателя.

Если нет возможности приобрести однопереходный транзистор, его можно заменить двумя обычными транзисторами с различными типами проводимости. В схеме вольтметра (рис. 6) роль однопереходного транзистора выполняют транзисторы  $T1$  и  $T2$ , а в остальном она полностью идентична схеме, приведенной на рис. 4.

Работа такого составного транзистора происходит следующим образом. При достижении на конденсаторе  $C1$  и на эмиттере транзистора  $T1$  напряжения, превышающего напряжение на его базе, транзистор отпирается, что, в свою очередь, приводит к отпираанию транзистора  $T2$ . Напряжение на базе транзистора  $T2$ , а следовательно, и на базе транзистора  $T1$  снижается. Конденсатор  $C1$  быстро разряжается до минимального напря-

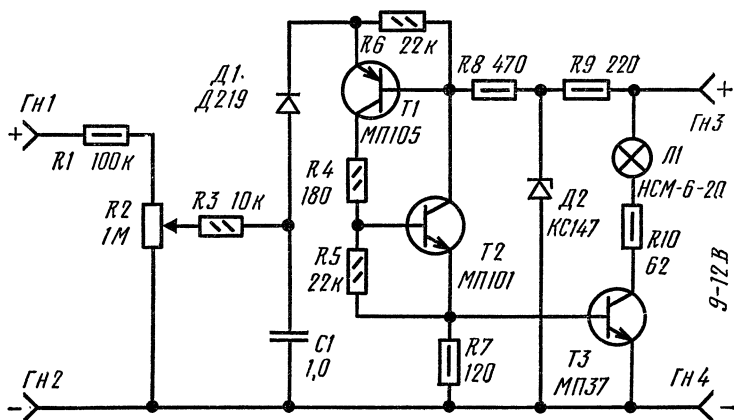


Рис. 6. Принципиальная схема вольтметра с лампой накаливания и обычным транзистором

жения, определяемого параметрами транзисторов (в основном напряжением насыщения транзисторов), после чего они снова запираются и процесс повторяется сначала. Минимальное напряжение, измеряемое таким вольтметром, приблизительно равно напряжению коллектора транзистора  $T2$ . В остальном параметры вольтметра ничем не отличаются от параметров вольтметра, собранного на однопереходном транзисторе.

В рассмотренных конструкциях можно применить следующие детали. Все постоянные резисторы — типа МЛТ-0,25, переменные резисторы — типа СПО-1 или СП-1, конденсаторы — типа МБМ. Транзисторы должны иметь коэффициент передачи тока не менее 40.

## 2. МНОГОПРЕДЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ СО СТРЕЛОЧНЫМИ ИНДИКАТОРАМИ

Несмотря на достаточно высокую стоимость и трудности, связанные с приобретением стрелочных микроамперметров, большинство промышленных и особенно радиолюбительских приборов, предназначенных для измерения напряжений, токов и сопротивлений, основано на использовании именно таких индикаторов. Эти при-

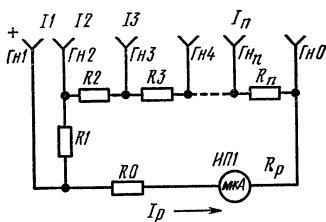


Рис. 7. Принципиальная схема многопредельного амперметра

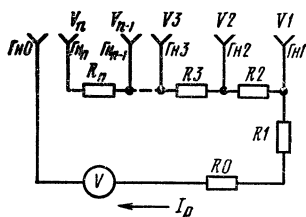


Рис. 8. Принципиальная схема многопредельного вольтметра постоянного тока

боры позволяют более оперативно производить измерения, а точность измерений определяется их классом и точностью постоянных резисторов, используемых в качестве шунтов и добавочных сопротивлений, расширяющих пределы измерений.

Рассмотрим методику выбора величин резисторов для расширения пределов измерения токов. Типовая схема включения шунтирующих резисторов для обеспечения « $n$ » пределов измерения тока приведена на рис. 7, где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  — резисторы универсального шунта,  $R_0$  — добавочный резистор, включенный последовательно с рамкой микроамперметра,  $R_p$  — сопротивление его рамки,  $I_1, I_2, \dots, I_n$  — новые пределы измерения постоянного тока.

Шунты применяют тогда, когда требуемый наименьший предел измерения тока  $I_1$  превышает ток полного отклонения стрелки микроамперметра  $I_0$ . При подаче тока  $I_1$  падение напряжений на универсальном шунте и клеммах микроамперметра с учетом сопротивления добавочного резистора  $R_0$  оказываются одинаковыми:

$$(I_1 - I_p) R_{\text{общ}} = I_p (R_0 + R_p), \text{ где } R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

Отсюда получают выражения для определения сопротивлений резисторов универсального шунта:

$$R_1 = \frac{I_p}{I_1} (R_0 + R_p + R_{\text{общ}}) - (R_n + R_{n-1} + R_2)$$

$$R_{n-1} = \frac{I_p}{I_{(n-1)}} (R_0 + R_p + R_{\text{общ}}) - R_n;$$

$$R_n = \frac{I_p}{I_n} (R_0 + R_p + R_{\text{общ}}).$$

Расчет величин резисторов шунта производят начиная с верхнего предела измерения.

Если стрелочный микроамперметр используют в качестве вольтметра, то для расширения пределов измерения напряжений последовательно с ним включают дополнительные резисторы (рис. 8), где  $R_0$  — добавочное сопротивление, включаемое последовательно с рамкой микроамперметра, а  $R_1, R_2, \dots, R_n$  — добавочные резисторы. Зная ток полного отклонения используемого микроамперметра  $I_p$ , сопротивление его рамки  $R_p$  и сопротивление выбранного резистора  $R_0$ , определяют сопротивление добавочных резисторов из следующих выражений для заданных пределов измерения напряжений постоянного тока:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_p} - (R_p + R_0);$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_p} - (R_p + R_0 + R_1);$$

$$R_n = \frac{U_n}{I_p} - (R_p + R_0 + R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1}).$$

При конструировании стрелочных измерительных приборов, предназначенных для измерения в цепях постоянного тока, в их состав вводят и измеритель сопротивлений резисторов. Как видно из схемы (рис. 9), основой омметра является обычный многопредельный амперметр, в состав которого дополнительно введены добавочные резисторы  $R'_1, R'_2, \dots, R'_n$ , источник постоянного тока  $Б1$  и переменный резистор  $R$ . В связи с введением этого резистора упрощается компенсация уменьшения напряжения батареи при ее разрядке. Расчет сопротивлений добавочных резисторов производят по следующей формуле:

$$R'_i = \frac{U_{\text{мин}}}{I_i} - R_{ui}$$

где  $R_{ui}$  — результирующее сопротивление амперметра на  $i$  пределе измерений, равно:

$$R_{ui} = \frac{(R_0 + R_p + R_1 + R_2 + \dots + R_{i-1})(R_i + R_{i+1} + \dots + R_n)}{R_0 + R_p + R_1 + R_2 + \dots + R_i + \dots + R_n}.$$

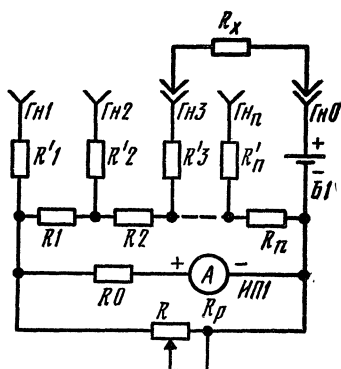


Рис. 9. Принципиальная схема многопредельного омметра

Влиянием переменного резистора  $R$  можно пренебречь, так как результирующее сопротивление амперметра существенно меньше сопротивления этого резистора.

Изложенную методику расчета сопротивлений шунтов и добавочных резисторов проиллюстрируем на примере многопредельных амперметра, вольтметра и омметра. Пусть имеется стрелочный микроамперметр типа М-24 с током полного отклонения  $100 \text{ мкА}$  и сопротивлением рамки  $680 \text{ Ом}$ . Требуется сконструировать измерительный прибор со следующими пределами измерений:

амперметр —  $0-1 \text{ мА}$ ;  $0-10 \text{ мА}$ ;  $0-100 \text{ мА}$  и  $0-1 \text{ А}$ ;

вольтметр —  $0-1 \text{ В}$ ;  $0-10 \text{ В}$ ;  $0-100 \text{ В}$  и  $0-1000 \text{ В}$ ;

омметр —  $0,1-10 \text{ Ом}$ ;  $1-100 \text{ Ом}$ ;  $10-1000 \text{ Ом}$  и  $0,1-10 \text{ кОм}$ .

Для упрощения расчета выберем сопротивление резистора  $R_0$ , равное  $320 \text{ Ом}$ . Тогда общее сопротивление универсального шунта на самом чувствительном пределе измерения будет равным:

$$R_{\text{общ}} = \frac{I_p (R_0 + R_p)}{I_{\text{мА}} - I_p} = \frac{0,110^{-3} (680 + 320)}{(1 - 0,1) 10^{-3}} = 111,11 \text{ Ом}.$$

Зная сопротивление  $R_{\text{общ}}$ , определим сопротивления резисторов универсального шунта для остальных пределов измерений:

$$R_{1\text{А}} = \frac{I_p (R_0 + R_p + R_{\text{общ}})}{I_{1\text{А}}} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3} (680 + 320 + 111,11)}{1} = 0,11 \text{ Ом};$$

$$R_{100 \text{ мА}} = \frac{I_p (R_0 + R_p + R_{\text{о6щ}})}{I_{100 \text{ мА}}} - R_{1 \text{ мА}} =$$

$$= \frac{0,1 \cdot 10^{-3} (680 + 320 + 111,11)}{0,1} - 0,11 = 1 \text{ Ом};$$

$$R_{10 \text{ мА}} = \frac{I_p (R_0 + R_p + R_{\text{о6щ}})}{I_{10 \text{ мА}}} - (R_{1 \text{ А}} + R_{100 \text{ мА}}) =$$

$$= \frac{0,1 \cdot 10^{-3} (680 + 320 + 111,11)}{0,01} - (0,11 + 1) = 10 \text{ Ом};$$

$$R_{1 \text{ мА}} = \frac{I_p (R_0 + R_p + R_{\text{о6щ}})}{I_{1 \text{ мА}}} - (R_{1 \text{ А}} + R_{100 \text{ мА}} + R_{10 \text{ мА}}) =$$

$$= \frac{0,1 \cdot 10^{-3} (680 + 320 + 111,11)}{10^{-3}} - (0,11 + 1 + 10) = 100 \text{ Ом}.$$

Далее определим величины добавочных резисторов для вольтметра:

$$R_{1 \text{ В}} = \frac{U_{1 \text{ В}}}{I_p} - (R_0 + R_p) = \frac{1}{0,1 \cdot 10^{-3}} - (680 + 320) =$$

$$= 9 \text{ кОм};$$

$$R_{10 \text{ В}} = \frac{U_{10 \text{ В}}}{I_p} - (R_0 + R_p) = \frac{10}{0,1 \cdot 10^{-3}} - (680 + 320) =$$

$$= 99 \text{ кОм};$$

$$R_{100 \text{ В}} = \frac{U_{100 \text{ В}}}{I_p} - (R_0 + R_p) = \frac{100}{0,1 \cdot 10^{-3}} - (680 + 320) =$$

$$= 999 \text{ кОм};$$

$$R_{1000 \text{ В}} = \frac{U_{1000 \text{ В}}}{I_p} - (R_0 + R_p) = \frac{1000}{0,1 \cdot 10^{-3}} - (680 + 320) =$$

$$= 9,999 \text{ МОм}.$$

Рассчитав сопротивления резисторов универсального шунта амперметра, для схемы омметра определим сопротивления дополнительных резисторов, учитывая, что питание омметра будет производиться от одного элемента типа 373 с минимальным напряжением  $U_{\text{мин}}$ , равным 1 В.

Для этого предварительно определим результирующее сопротивление амперметра на каждом пределе измерений:

$$R_{U\ 1A} = \frac{(R_0 + R_p + R_{1\text{ mA}} + R_{10\text{ mA}} + R_{100\text{ mA}}) R_{1A}}{R_0 + R_p + R_{1\text{ mA}} + R_{10\text{ mA}} + R_{100\text{ mA}} + R_{1A}} =$$

$$= \frac{(680 + 320 + 100 + 10 + 1) \cdot 0,11}{680 + 320 + 100 + 10 + 1 + 0,11} = 0,1\ \text{Ом};$$

$$R_{U\ 100\text{ mA}} = \frac{(R_0 + R_p + R_{1\text{ mA}} + R_{10\text{ mA}}) (R_{1A} + R_{100\text{ mA}})}{R_0 + R_p + R_{1\text{ mA}} + R_{10\text{ mA}} + R_{100\text{ mA}} + R_{1A}} =$$

$$= \frac{(680 + 320 + 100 + 10) (0,11 + 1)}{680 + 320 + 100 + 10 + 1 + 0,11} = 1,109\ \text{Ом};$$

$$R_{U\ 10\text{ mA}} = \frac{(R_0 + R_p + R_{1\text{ mA}}) (R_{1A} + R_{100\text{ mA}} + R_{10\text{ mA}})}{R_0 + R_p + R_{1\text{ mA}} + R_{10\text{ mA}} + R_{100\text{ mA}} + R_{1A}} =$$

$$= \frac{(680 + 320 + 100) (0,11 + 1 + 10)}{680 + 320 + 100 + 10 + 1 + 0,11} = 11\ \text{Ом};$$

$$R_{U\ 1\text{ mA}} = \frac{(R_0 + R_p) (R_{1A} + R_{100\text{ mA}} + R_{10\text{ mA}} + R_{1\text{ mA}})}{R_0 + R_p + R_{1\text{ mA}} + R_{10\text{ mA}} + R_{100\text{ mA}} + R_{1A}} =$$

$$= \frac{(680 + 320) (0,11 + 1 + 10 + 100)}{680 + 320 + 100 + 10 + 1 + 0,11} = 100\ \text{Ом}.$$

И, наконец, рассчитаем сопротивления дополнительных резисторов для пределов измерения:

$$0,1 - 10\ \text{Ом} \quad R'_{1A} = \frac{U_{\text{мин}}}{I_{1A}} - R_{U\ 1A} = \frac{1}{1} - 0,1 = 0,9\ \text{Ом};$$

$$1 - 100\ \text{Ом} \quad R'_{100\text{ mA}} = \frac{U_{\text{мин}}}{I_{100\text{ mA}}} - R_{U\ 100\text{ mA}} = \frac{1}{0,1} - 1,109 =$$

$$= 8,890\ \text{Ом};$$

$$10 - 1000\ \text{Ом} \quad R'_{10\text{ mA}} = \frac{U_{\text{мин}}}{I_{10\text{ mA}}} - R_{U\ 10\text{ mA}} = \frac{1}{0,01} - 11 =$$

$$= 89\ \text{Ом};$$

$$0,1 - 10\ \text{кОм} \quad R'_{1\text{ mA}} = \frac{U_{\text{мин}}}{I_{1\text{ mA}}} - R_{U\ 1\text{ mA}} = \frac{1}{0,001} - 100 =$$

$$= 900\ \text{Ом}.$$

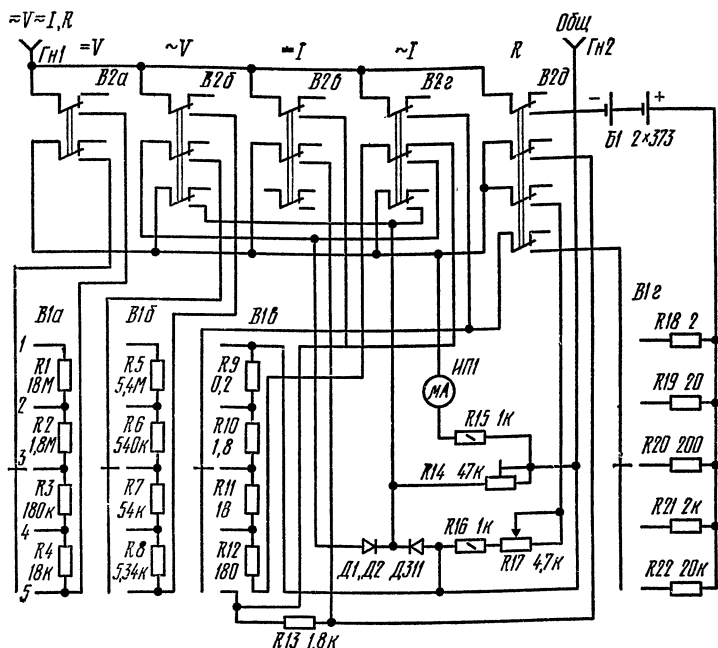
В заключение выбираем сопротивление переменного резистора из условия:

$$R \geq (50 - 100) R_{\text{общ}} = (50 - 100) 111,1 \approx 5 - 10\ \text{кОм}.$$



1. 0-1000 В; 0-1 А; 0,2-20 Ом
2. 0-100 В; 0-0,1 А; 2-200 Ом
3. 0-10 В; 0-10 мА; 20-2000 Ом
4. 0-1 В; 0-1 мА; 0,2-20 кОм
5. 0-0,1 В; 0-0,1 мА; 2-200 кОм

Рис. 10. Принципиальная схема авометра



Рассматриваемый универсальный измерительный прибор (рис. 10) помимо измерений в цепях постоянного тока позволяет производить измерения переменного напряжения и тока. Методика расчета шунтов и дополнительных резисторов при измерениях в цепях переменного тока остается прежней, изменяются лишь чувствительность стрелочного микроамперметра и его полное сопротивление за счет включения выпрямителя переменного тока. Этот выпрямитель ограничивает и высшую частоту измеряемого переменного тока.

Технические характеристики прибора следующие. Измерение постоянного и переменного напряжения про-

изводится на шкалах 0—0,1; 0—1; 0—10; 0—100; 0—1000 В, входное сопротивление при измерении постоянного напряжения составляет 20 кОм/В, а переменного — 6,6 кОм/В. Постоянный ток измеряется на шкалах 0—0,1; 0—1; 0—10; 0—100 мА и 0—1 А, а переменный — 0—1; 0—10; 0—100 мА и 0—1 А. Погрешность измерений постоянного напряжения и тока не превышает  $\pm 2\%$ , а переменного (кроме шкал 0—0,1 В и 0—1 мА, где погрешность доходит до 15%)  $\pm 4\%$ .

Измерение сопротивлений резисторов осуществляется на шкалах 2—200; 20—2000 Ом; 0,2—20 и 2—200 кОм с погрешностью, не превышающей  $\pm 5\%$ . Прибор может работать и в режиме пробника для измерения целости электрических цепей током до 1 А. Питание пробника и омметра осуществляется от встроенной батареи, состоящей из двух элементов типа 373.

Изменение пределов измерения производится с помощью переключателя *B1*, а рода работы — переключателем *B2*. Постоянные резисторы *R1—R4* и *R5—R8* являются дополнительными при измерении соответственно постоянного и переменного напряжений. Резисторы *R9—R13* — сопротивления универсального шунта для измерения постоянного и переменного токов. Максимальное падение напряжения при измерении постоянного тока не превышает 0,2, а переменного — 0,6 В. Резисторы *R18—R22* являются дополнительными в схеме омметра. С помощью резистора *R15* увеличивается входное сопротивление рамки микроамперметра до  $2000 \pm 10$  Ом. Выпрямление переменного напряжения производится диодами *D1* и *D2*, а калировка требуемой чувствительности при измерениях в цепях переменного тока — подстроечным резистором *R14*. Переменный резистор *R17* предназначен для установки стрелки микроамперметра на начальное деление шкалы при измерении сопротивлений, а резистор *R16* ограничивает диапазон изменения чувствительности омметра.

В универсальном приборе применены следующие детали. Все постоянные резисторы, за исключением *R16*, — типов УЛИ-0,25 или БЛП-0,25 с допуском  $\pm 0,5\%$ , резистор *R16* — типа МЛТ-0,25. Подстроечный резистор *R14* — типа СПЗ-16, а переменный *R17* — типа СПО-0,5. Переключатель пределов измерения *B1* — типа

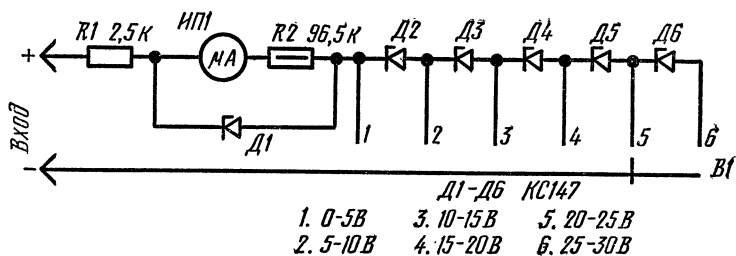


Рис. 11. Принципиальная схема вольтметра постоянного тока с растянутыми шкалами

5П4Н-ПМ, а переключатель рода работ — кнопочный П2К.

При тщательном подборе резисторов и правильно выполненном монтаже налаживание сводится к подбору резистора  $R15$ , что обеспечивает полное сопротивление рамки микроамперметра, равное 2000 Ом, и установлению требуемой чувствительности при измерении в цепях переменного тока. Для этого переключатель  $B2$  ставят в положение измерения переменного напряжения, а переключатель  $B1$  — в положение «10 В». На вход прибора подают напряжение 10 В частотой 50—400 Гц и, вращая движок подстроечного резистора  $R14$ , устанавливают стрелку прибора на последнее деление шкалы. Окончательной операцией является градуировка шкалы омметра. Ее лучше всего выполнять с помощью эталонного магазина сопротивлений. В качестве микроамперметра использован прибор типа М-24 с током полного отклонения 50 мкА и сопротивлением рамки 1000 Ом.

Рассмотрим еще одну конструкцию вольтметра с использованием стрелочного микроамперметра, имеющего растянутую шкалу и схему защиты от перегрузок. Такой прибор представит несомненный интерес для любителей. Он существенно облегчает подбор стабилитронов по необходимому напряжению стабилизации, налаживание транзисторных стабилизаторов напряжения, а также измерение небольших изменений напряжения относительно заданного уровня.

Вольтметр имеет шесть пределов измерения напряжения постоянного тока: 0—5, 5—10, 10—15, 15—20, 20—25 и 25—30 В, его входное сопротивление не менее 20 кОм/В. При желании число пределов измерения

можно увеличить, применив соответствующее количество элементов и переключатель поддиапазонов на большее число переключений. Вольтметр (рис. 11) состоит из измерительной цепи с ограничителем напряжения и цепи, сдвигающей начало шкал. Суммарную величину резисторов  $R1$  и  $R2$  выбирают из условия, чтобы при подаче напряжения постоянного тока 5 В через стрелочный микроамперметр проходил ток полного отклонения стрелки измерительного прибора. В приборе применен стрелочный микроамперметр М-24 с током полного отклонения стрелки 50 мкА и с сопротивлением рамки 1000 Ом. Отсюда суммарная величина сопротивлений резисторов  $R1$ ,  $R2$  и рамки прибора  $R$  составляет 100 кОм. Кремниевый стабилитрон  $Д1$  ограничивает ток, проходящий через микроамперметр, если входное напряжение превышает верхний предел измерения на установленной шкале. Сопротивление резистора  $R1$  выбирают исходя из допустимого значения тока стабилизации стабилитрона. Если, например, этот ток равен 10 мА при измерении напряжения 30 В, то на первом пределе измерений (0—5 В) сопротивление определяют по следующей формуле:

$$R1 = \frac{U_{\text{макс}} - U_{\text{пред 1}}}{I_{\text{макс}}}.$$

В нашем случае величина сопротивления резистора  $R1$  равна 2,5 кОм. Зная ее, определим сопротивление резистора  $R2$ :  $R2 = R - R1 - R_p = 96,5$  кОм, где  $R_p$  — сопротивление рамки стрелочного микроамперметра. В связи с тем что резистор  $R1$  является ограничительным, напряжение пробоя стабилитрона желательно выбрать равным:

$$U_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пред 1}}}{R1 + R2 + R_p} (R2 + R_p).$$

В рассматриваемой конструкции  $U_{\text{пр}} = 4,9$  В.

Заметим, что при изменении тока, проходящего через открытый стабилитрон, от 0 до  $I_{\text{макс}}$  падение напряжения на нем меняется менее чем на 5%, что на те же 5% приведет к перегрузке стрелочного микроамперметра. Если отсутствует схема защиты от перегрузки, то на первом пределе при подаче на вход напряжения 30 В перегрузка будет шестикратной.

Переключатель поддиапазонов *B1* в зависимости от установленного предела измерения подключает определенное число стабилитронов (*D2—D6*). Эти стабилитроны следует предварительно отбраковать по напряжению стабилизации. Оно должно быть 4,95—5,05 В, в противном случае погрешность измерения превысит указанную ранее. При необходимости или при наличии стабилитронов типа Д814В (Д810) пределы измерения напряжения можно сделать кратными 10 В.

### 3. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Освоение промышленностью и широкое применение полевых транзисторов, обладающих большими входными сопротивлениями, позволяет конструировать любительские измерительные приборы, не уступающие, например, широко распространенным ламповым вольтметрам, но обладающие гораздо меньшими размерами и массой. Уже сейчас сравнительно несложные высокостабильные источники постоянного тока позволяют конструировать любительскую измерительную аппаратуру с применением полевых транзисторов, обладающую более высокими техническими характеристиками, чем существующая промышленная аппаратура.

Рассмотрим любительский вольтметр (рис. 12), не уступающий по основным техническим характеристикам ламповым вольтметрам типов ВЛУ-2, А4-М2 и т. п.

В приборе измерение постоянного напряжения производится на поддиапазонах: 0—1; 0—3; 0—10; 0—30; 0—100; 0—300 и 0—1000 В — при входном сопротивлении не менее 9 мОм. С помощью выносных щупов можно измерять напряжение как высокочастотных, так и низкочастотных сигналов. Пределы измерения высокочастотных напряжений составляют: 0—1; 0—3; 0—10; 0—30 В. При использовании низкочастотного щупа пределы измерения переменного напряжения частотой 20 Гц—30 кГц те же самые, что и при измерении постоянного напряжения. Пределы измерения сопротивлений резисторов 100 Ом—10 МОм. Весь диапазон разбит на пять поддиапазонов: 1—100 Ом; 10—1000 Ом; 0,1—10 кОм; 10—100 кОм; 0,1—10 МОм. При измерении со-

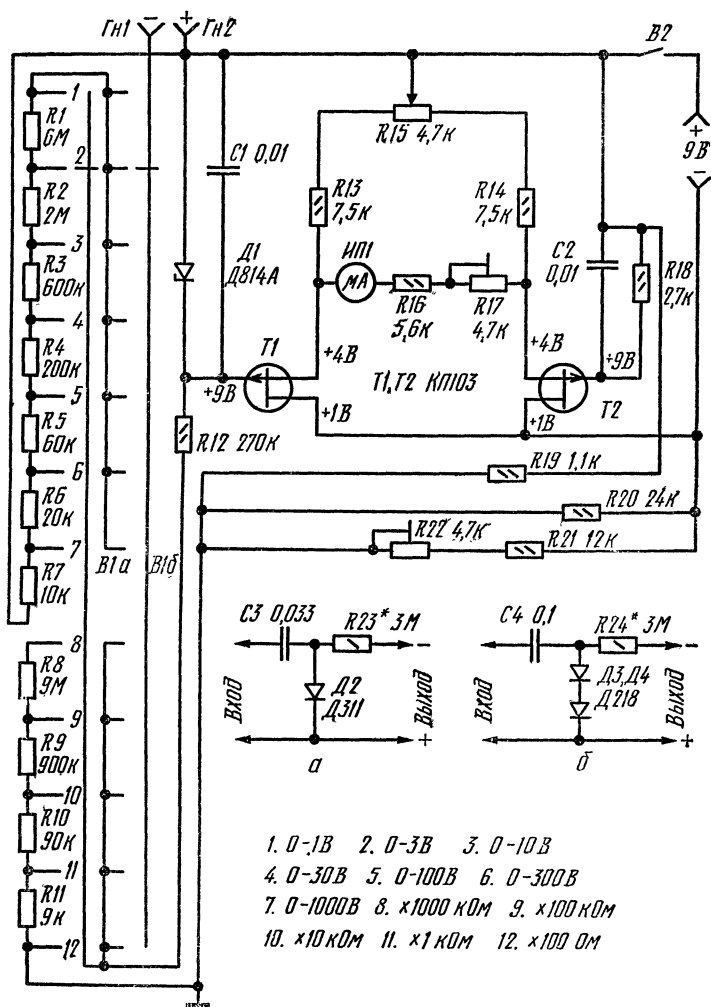


Рис. 12. Принципиальная схема комбинированного прибора на полевых транзисторах: а — выносной щуп для измерения напряжений высокой частоты; б — выносной щуп для измерения напряжений звуковых частот

противлений резисторов не требуется применять дополнительную батарею питания. Подбор резисторов позволяет свести погрешность вольтметра при измерении напряжения постоянного тока до  $\pm 2\%$ , переменного тока до  $\pm 4\%$ , а сопротивлений резисторов до  $5\%$ .

В схеме вольтметра установлены два истоковых повторителя на полевых транзисторах  $T1$  и  $T2$ . Сопротивлениями нагрузок являются резисторы  $R13$  и  $R14$ . С помощью переменного резистора  $R15$  производят установку стрелки измерительного прибора на нуль.

Измеряемое напряжение подается на затвор транзистора  $T1$  с входного делителя через цепочку, состоящую из резистора  $R12$ , стабилитрона  $D1$  и конденсатора  $C1$ . Эта цепочка ограничивает величину входного напряжения уровнем  $7\text{ В}$  независимо от положения входного делителя  $B1$ . Затвор транзистора  $T2$  подключен к источнику положительного напряжения через цепочку  $R18$  и  $C2$ . Стрелочный микроамперметр  $ИП1$  с добавочными резисторами  $R16$  и  $R17$  включен между истоками транзисторов  $T1$  и  $T2$ . Резисторы  $R19$ ,  $R20$ ,  $R21$  и переменный резистор  $R22$  представляют собой делитель, с выхода которого напряжение  $1\text{ В}$  снимается для питания схемы омметра. Резисторы подобраны таким образом, что выходное сопротивление делителя составляет  $1\text{ кОм}$ . Переход с одного поддиапазона на другой при измерении напряжений и сопротивлений резисторов осуществляется с помощью переключателя  $B1$ . Переменным резистором  $R22$  производится установка нуля омметра.

Все резисторы, входящие в состав переключателя поддиапазонов, имеют тип БЛП-0,25 или ПТМН-0,5 не хуже  $\pm 0,5\%$  класса. Переменные резисторы  $R15$  и  $R20$  — типа СПО-0,5. Остальные резисторы — типа МЛТ-0,25 с допуском  $\pm 5\%$ . Конденсаторы  $C1$  и  $C2$  — типа К10-7Б, конденсаторы  $C3$  — типа К10-7Б, а  $C4$  — типа МБМ на напряжение  $1500\text{ В}$ . Резисторы  $R23$ ,  $R24$  подбираются при налаживании выносных щупов высокочастотного напряжения и напряжения низкой частоты. В качестве транзисторов  $T1$  и  $T2$  можно применить транзисторы типа КП103 с любой буквой. Диод  $D1$  следует подбирать по обратному сопротивлению, которое должно быть не менее  $100\text{ МОм}$  при напряжении до  $3\text{—}4\text{ В}$ . Диоды  $D3$  и  $D4$  подбираются по одинаковому обратному току  $10\text{—}20\text{ мкА}$  при напряжении не менее

600 В. В качестве микроамперметра *ИП1* применен стрелочный прибор М24 с током полного отклонения 50 мкА и с сопротивлением рамки около 1000 Ом. При измерении напряжений пользуются шкалой микроамперметра, однако для удобства желательно нанести шкалу с делениями, кратными трем. Деления шкалы омметра определяют либо расчетным путем, либо в процессе градуировки с помощью магазина резисторов.

Переключатель поддиапазонов — галетного типа 12П2Н-ПМ, выключатель питания — микровыключатель типа МТ-1.

Проверку прибора начинают с отсоединения диода *Д1*. Если при включении не удастся установить стрелку измерительного прибора на нуль, необходимо подобрать полевые транзисторы с одинаковыми параметрами. Затем производят калибровку шкалы вольтметра. Переключатель поддиапазонов устанавливают на один из пределов, например «0—10 В», подают это напряжение на вход вольтметра и с помощью переменного резистора *R17* устанавливают стрелку на последнее деление шкалы. Вновь подключают диод *Д1*. Если показание вольтметра не изменяется, то обратное сопротивление этого диода достаточно велико. В противном случае необходимо произвести подбор диода. Далее переключатель поддиапазонов переводят в положение омметра « $\times 100$  Ом» и проверяют установку стрелки на нулевое положение при замкнутых щупах омметра.

Для измерения ВЧ напряжений включают щуп, схема которого приведена на рис. 12, а, подают напряжение 10 В частотой 100—1000 кГц и, подбирая величину резистора *R23*, добиваются отклонения стрелки прибора на последнее деление шкалы. Аналогично производят калибровку при измерении напряжения низких частот. В этом случае подбирают резистор *R24* в щупе, схема которого приведена на рис. 12, б. Для измерения токов как постоянного, так и переменного напряжения параллельно входным зажимам или щупам подключают эталонный резистор величиной, например, 1 Ом. Тогда, установив предел измерения 1 В, можно будет производить измерение тока на шкале 1 А.

Принципиальная схема второго варианта авометра на полевых транзисторах приведена на рис. 13. Основное отличие этого прибора от ранее рассмотренного —



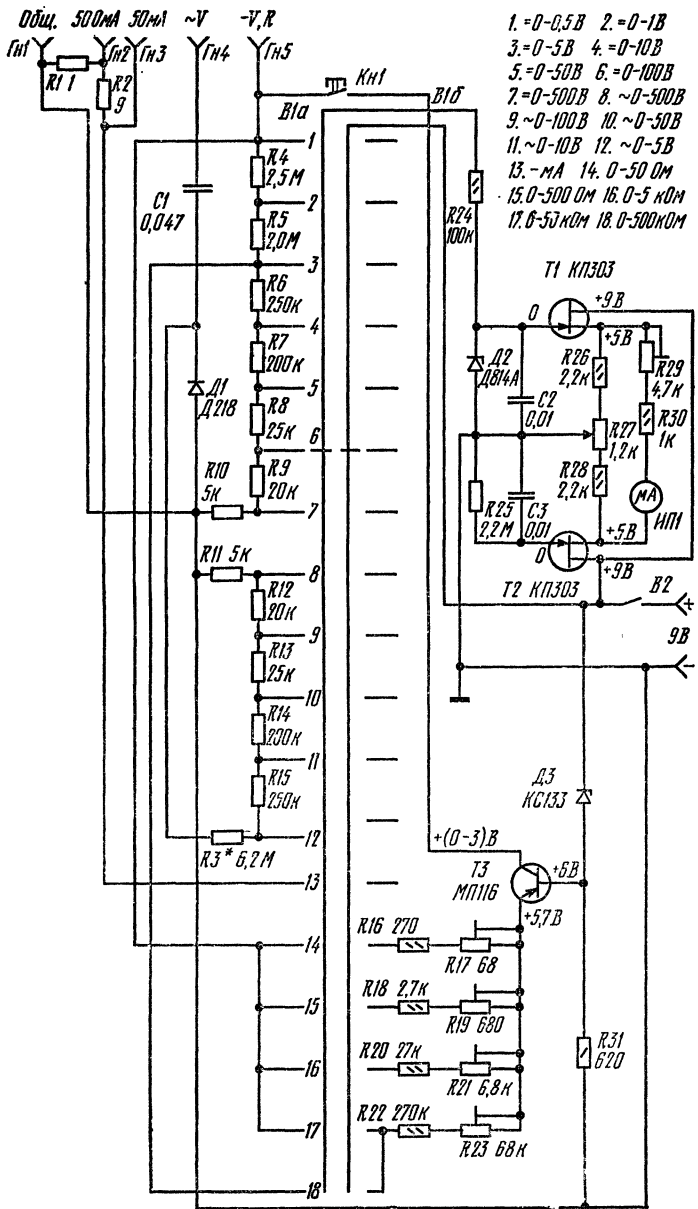


Рис. 13. Принципиальная схема комбинированного прибора на полевых транзисторах

специальный стабилизатор тока на транзисторе  $T_3$ , с помощью которого достигается получение линейной шкалы омметра. Кроме того, введены два предела измерения постоянного тока: 0—50 и 0—500 мА, а измерение напряжений переменного тока производится без помощи специального выносного щупа (на частотах до 50 кГц). Пределы измерения напряжения постоянного тока следующие: 0—0,5; 0—1; 0—5; 0—10; 0—50; 0—100 и 0—500 В, входное сопротивление на всех пределах 5 МОм. Измерение напряжений переменного тока производится на следующих поддиапазонах: 0—5, 0—10, 0—50, 0—100 и 0—500 В, входное сопротивление не менее 2 Мом. Для измерения напряжений высокой частоты (свыше 50 кГц) служит выносной щуп, собранный по схеме, приведенной на рис. 12, а.

Схема усилителя постоянного тока аналогична ранее рассмотренной схеме. С помощью переменного резистора  $R_{27}$  производится установка нуля перед измерениями (балансировка УПТ). Подстроечный резистор  $R_{29}$  служит для установки верхних пределов измерений при калибровке прибора. На транзисторе  $T_3$  собран стабилизатор тока. Напряжение на базе этого транзистора поддерживается неизменным с помощью параметрического стабилизатора, собранного на стабилитроне  $D_3$  и резисторе  $R_{31}$ , поэтому величина тока эмиттера определяется величиной резистора, включенного в его эмиттерную цепь. При статическом коэффициенте передачи тока больше 50 ток коллектора практически равен току эмиттера. Именно поэтому падение напряжения на измеряемом резисторе определяется сопротивлением резистора, включенного в цепь эмиттера, и пропорционально сопротивлению измеряемого резистора. С помощью подстроечных резисторов  $R_{17}$ ,  $R_{19}$ ,  $R_{21}$  и  $R_{23}$  производят установку токов эмиттера, соответственно равных: 10, и 1 мА, 100 и 10 мкА. Измерение сопротивлений резисторов на первых четырех пределах (50, 500 Ом, 5 и 50 кОм) осуществляют по шкале вольтметра постоянного тока — 0,5 В. На пятом пределе 500 кОм измерение производят по шкале вольтметра — 5 В.

Для измерения постоянного тока в схему прибора введены два шунта (резисторы  $R_1$  и  $R_2$ ).

При измерении сопротивлений к гнездам  $G_{н1}$  и  $G_{н5}$  подключают проверяемый резистор, устанавливают ожи-

даемый предел измерения и, нажимая кнопку *Kn1*, включают резистор в схему генератора тока (стабилизатора тока).

Детали этого и предыдущего прибора аналогичны. При отсутствии переключателя *B1* типа 18П2Н можно применить два переключателя на меньшее число переключений. Тогда с помощью одного устанавливаются пределы измерений, а с помощью другого — род работы.

Для питания прибора используется батарея «Крона». Потребляемый ток на всех пределах измерений, кроме измерения сопротивлений на поддиапазоне 0—50 Ом, не превышает 5 мА, а при измерении малых сопротивлений — 15 мА.

#### 4. МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЦИФРОВОЙ АВОМЕТР

Сравнительно простой цифровой авометр позволяет производить измерения напряжений постоянного и переменного токов на поддиапазонах 0—0,1; 0—1; 0—10 и 0—100 В, сопротивлений на поддиапазонах 0—100 Ом; 0—1; 0—10 и 0—100 кОм, а постоянных и переменных токов — на поддиапазонах 0—0,1; 0—1; 0—10 и 0—100 мА. Входное сопротивление вольтметра 10 МОм при входной емкости не более 50 пФ. Падение напряжения на измеряемом резисторе не превышает 0,1 В; такое же напряжение падает и на внутреннем сопротивлении прибора при измерении постоянных и переменных токов. Индикатор прибора выполнен на цифровых газоразрядных лампах ИН-4. Режим работы прибора автоматический, при периоде повторения измерений от 1 до 10 с. Возможности прибора можно расширить за счет использования специальной приставки, которая позволяет производить измерения индуктивностей в диапазоне 1,0 мкГ—1000 Г, а емкостей — в диапазоне 10 пФ—100 мкФ. Точность измерения напряжений и токов не хуже 2%.

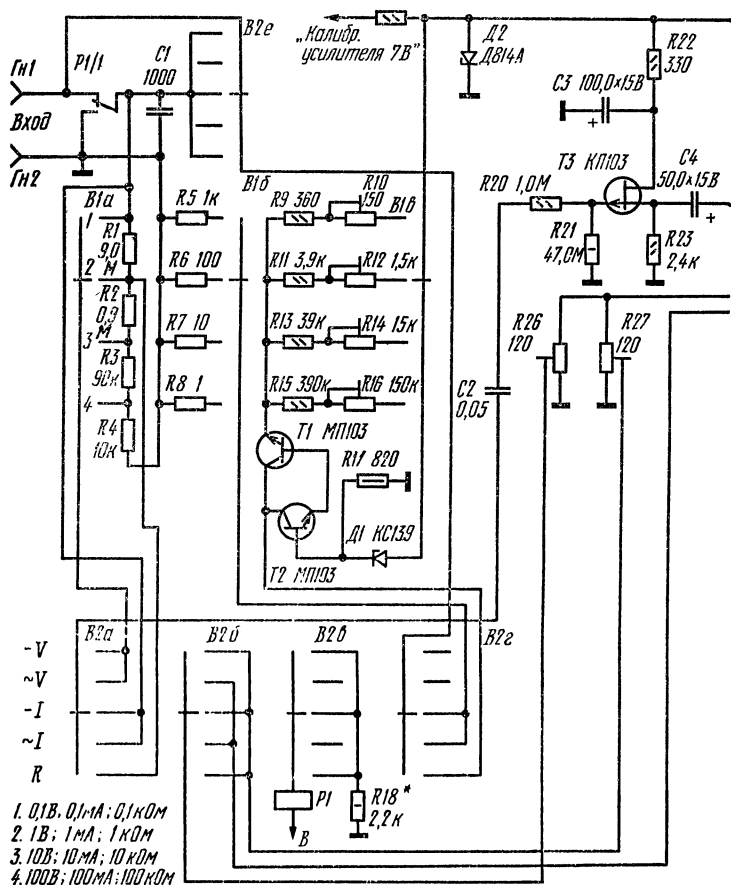
Основным элементом входной части авометра (рис. 14) является усилитель переменного напряжения с входным сопротивлением не менее 50 МОм. Первый каскад усилителя собран по схеме истокового повторителя на полевом транзисторе *T3*. Остальные три каскада собраны на транзисторах *T4—T6* по схеме с общим

эмиттером. На выходе усилителя включен выпрямитель, собранный на диодах *Д3*, *Д4*. Усилитель охвачен глубокой отрицательной обратной связью, подаваемой с выхода усилителя на эмиттер транзистора *Т4*. С помощью подстроечных резисторов *R26* и *R27* производится установка требуемого коэффициента передачи усилителя переменного тока при измерении напряжения как переменного, так и постоянного тока.

Преобразование постоянного напряжения в пульсирующее осуществляется вибропреобразователем *P1* типа ВПГ-62, работающим от переменного тока частотой до 400 Гц. Переключателем *В1* выбирают поддиапазоны, а переключателем *В2* — вид работы. Переключатель *В3* предназначен для калибровки цифрового вольтметра. Калибровку производят измерением напряжений постоянного тока 0,2 и 8,3 В, подаваемых непосредственно на вход схемы сравнения.

В режиме измерения выпрямленное напряжение с усилителя через резистор *R45* поступает на конденсатор *С11*. Этот конденсатор и диод *Д17* входят в схему сравнения преобразователя напряжение — частота, собранного на транзисторах *Т11* и *Т12*. В исходном положении транзистор *Т11* открыт, а *Т12* закрыт. С приходом импульса запуска от генератора тактовых импульсов, собранного на транзисторах *Т9* и *Т10*, на базу транзистора *Т11* последний запирается и начинает заряжаться конденсатор *С14*. Стабилизирующий ток заряда создает на резисторах *R62* и *R63* падение напряжения, отпирающее транзистор *Т12* (стабилизатор тока собран на транзисторах *Т7* и *Т8*). Время, в течение которого транзистор *Т12* открыт, пропорционально измеряемому напряжению.

Как только линейно изменяющееся напряжение заряда конденсатора *С14* станет меньше, чем напряжение на конденсаторе *С11*, отпирается диод *Д17*. Параллельно конденсатору *С14* подключается конденсатор *С11*, и скорость нарастания напряжения на обкладке конденсатора *С14* уменьшается, что приводит к уменьшению тока через резисторы *R62* и *R63*. Транзистор *Т12* запирается, а *Т11* отпирается, и конденсатор *С14* начинает разряжаться. Стоит транзистору *Т12* отпереться, как транзистор *Т14*, на котором собран электронный ключ, запирается и генератор тактовой частоты возбуждается.



С коллектора  $T13$  управляемого генератора счетных импульсов напряжением частотой 10 кГц подается через резистор  $R69$  на усилитель-ограничитель, собранный на транзисторах  $T15$  и  $T16$ . С выхода этого усилителя-ограничителя импульсы положительной полярности поступают на счетные декады.

Подстроечными резисторами  $R47$  и  $R57$  калибруют стабилизатор тока соответственно для напряжений 8,3 и 0,2 В. Подстроечным резистором  $R63$  устанавливают

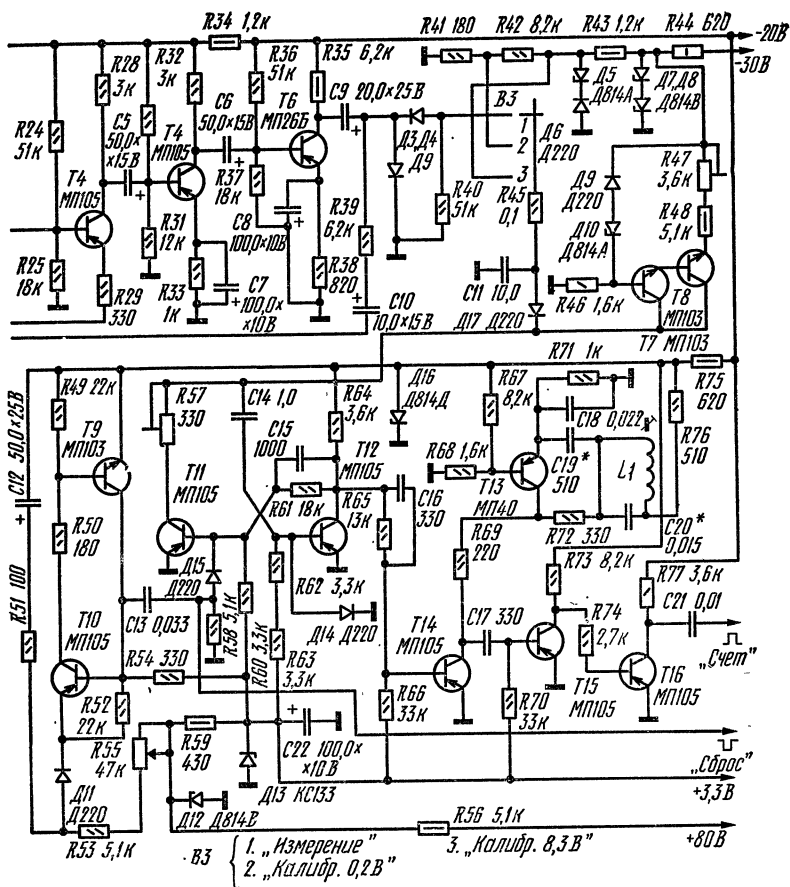


Рис. 14. Принципиальная схема входной части цифрового вольтметра

режим схемы сравнения преобразователя напряжение — частота. Переменным резистором  $R55$  устанавливают период повторения измерений. В состав входной части схемы цифрового прибора входит стабилизатор тока омметра, собранный на транзисторах  $T1$  и  $T2$ . Установку требуемых токов для измерения резисторов производят подстроечными резисторами  $R10$ ,  $R12$ ,  $R14$ ,  $R16$ .

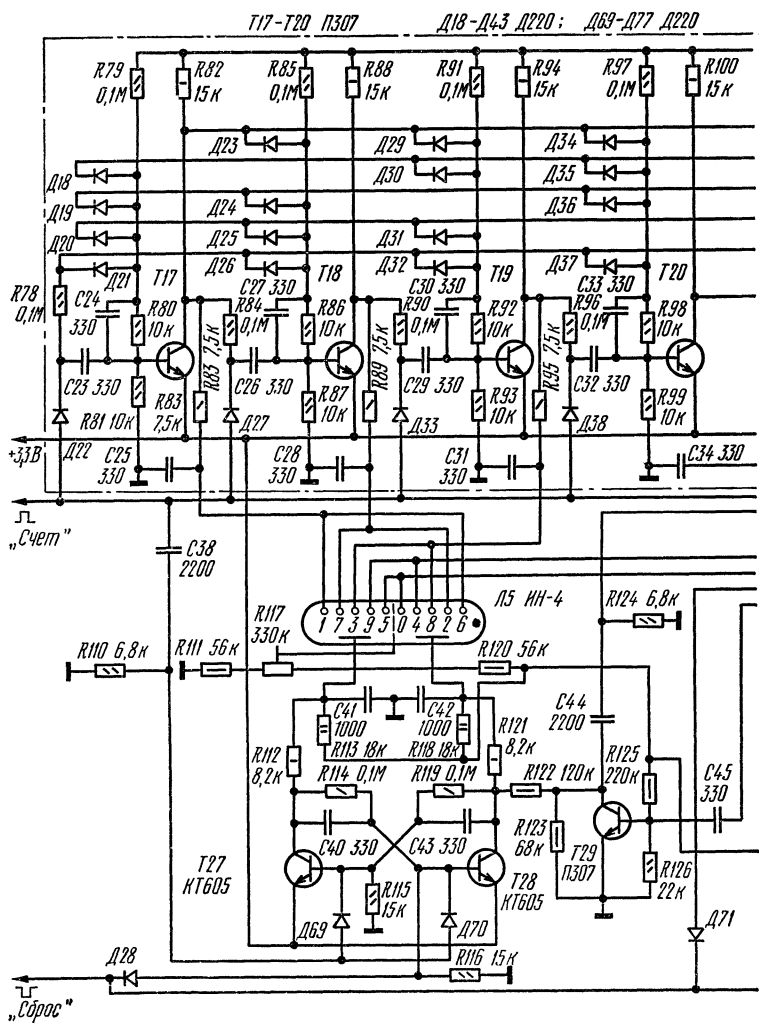
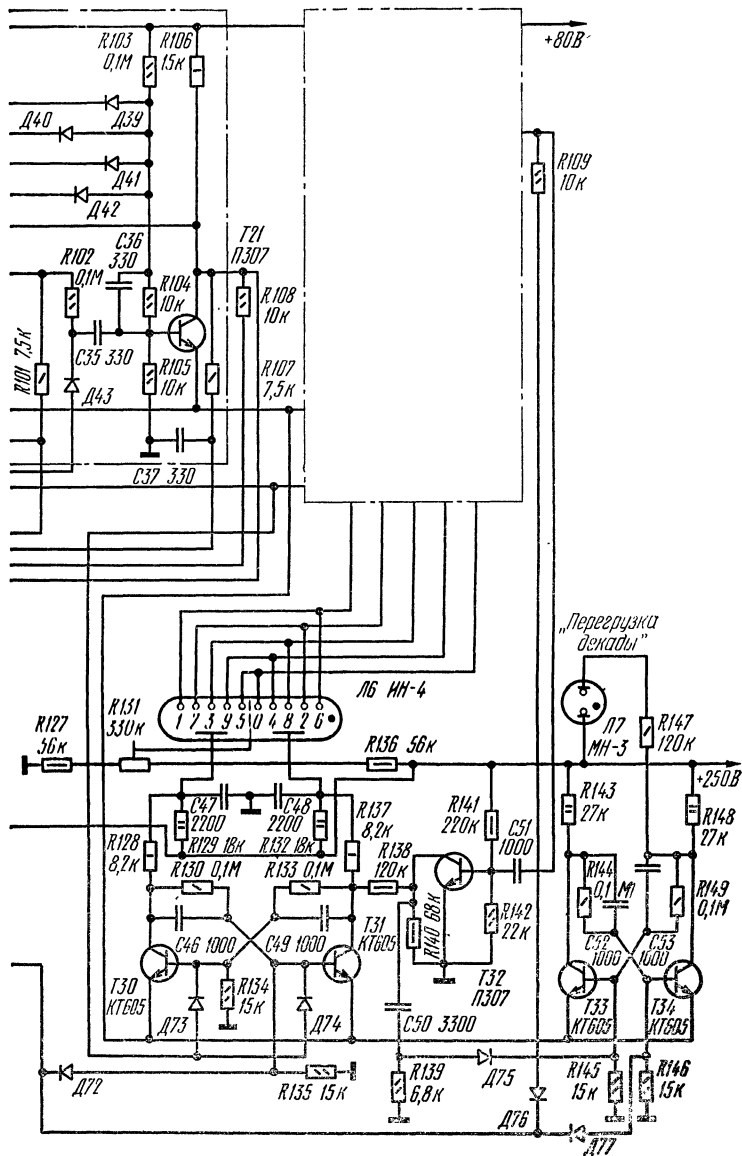


Рис. 15. Принципиальная схема счетных декад с высоковольтными транзисторами





В приборе применены две счетные декады с цифровой индикацией на двуханодных газоразрядных приборах типа ИН-4 (рис. 15). Счетная декада состоит из кольцевого счетчика с коэффициентом пересчета, равным 5, триггера со счетным входом, формирователя сигнала переноса и схемы установки счетной декады в состояние «0». В зависимости от состояния триггера, выполненного на транзисторах  $T27$  и  $T28$ , выбирается один из двух анодов лампы  $L5$ , то есть четные или нечетные цифры индикатора. В базовые цепи транзисторов включены диоды  $D69$  и  $D70$ . Они пропускают только положительные импульсы напряжения (транзистор  $T28$  заперт, а  $T27$  открыт). Установка триггера в состояние «0» производится импульсом отрицательной полярности, подаваемым с генератора запуска на базу транзистора  $T28$  через диод  $D28$ . Нагрузкой каждого транзистора являются резисторы  $R112$ ,  $R113$  и  $R118$ ,  $R121$ , точки соединений которых подключены к анодам цифрового индикатора. Это сделано с целью предотвращения подсветки неработающего анода. Конденсаторы  $C41$  и  $C42$  служат для уменьшения влияния на работу триггера флуктуационных процессов, происходящих в газоразрядном приборе.

Кольцевой счетчик состоит из пяти электронных ключей, выполненных на транзисторах  $T17—T21$ . Эмиттеры транзисторов соединены между собой, и на них подано положительное напряжение  $+3,3$  В. Диоды  $D18—D21$ ,  $D23—D26$ ,  $D29—D32$ ,  $D34—D37$ ,  $D39—D42$ , включенные в цепи обратной связи, своими анодами подключены к резисторным делителям напряжения, а катодами — к коллекторам транзисторов  $T17—T21$ .

Через диоды  $D22$ ,  $D27$ ,  $D33$ ,  $D38$  и  $D43$  импульсы выхода генератора счетных импульсов подаются на кольцевой счетчик. При подаче на него питающего напряжения отпирается один из транзисторов, например,  $T21$ . По цепям  $R79$ ,  $D21$ ,  $R85$ ,  $D26$ ,  $R91$ ,  $D32$ ,  $R97$ ,  $D37$  через открытый транзистор  $T21$  протекает ток, создающий падение напряжения на резисторах  $R79$ ,  $R85$ ,  $R91$  и  $R97$ , почти равное напряжению питания. Это приводит к тому, что остальные транзисторы кольцевого счетчика запираются. Ток, протекающий через резисторы  $R103—R105$ , удерживает транзистор  $T21$  в открытом состоянии. Благодаря этому диод  $D22$  в цепи запуска от-

крыт, а остальные диоды (*Д27, Д33, Д38, Д43*) закрыты. Счетный импульс через диод *Д22* и конденсатор *С23* поступает в цепь базы транзистора *Т17* и отпирает его. Через цепь обратной связи к базе транзистора *Т21* оказывается приложенным отрицательный потенциал, приводящий к запираанию этого транзистора. Кольцевой счетчик переходит в новое состояние, при котором транзистор *Т17* открыт, а остальные закрыты. В цепи запуска отпирается диод *Д27*, с приходом следующего счетного импульса отпирается транзистор *Т18* и т. д.

Конденсаторы *С24, С27, С30, С33, С36* служат для ускорения процесса отпирания и запираания транзисторов. Катоды газоразрядного цифрового индикатора соединены между собой и подключены через резисторы *Р83, Р89, Р95, Р101* и *Р107* к соответствующим коллекторам транзисторов кольцевого счетчика, а через конденсаторы *С25, С28, С31, С34* и *С37* — к общему проводу. Эти конденсаторы уменьшают влияние флуктуационных процессов, происходящих в лампе, на работу кольцевого счетчика. Делителем *Р111, Р117* и *Р120* на экранном электроде цифрового индикатора устанавливается напряжение, при котором отсутствует паразитная подсветка неработающего катода. При замене одного индикатора другим установка этого напряжения производится с помощью подстроечного резистора *Р117*.

Состояние счетной декады определяется состоянием кольцевого счетчика и триггера. Индуцируемый катод определяется вполне однозначно тем, что каждый открытый транзистор кольцевого счетчика коммутирует два катода индикатора на общий провод, а питающее напряжение с триггера подается на один из анодов. Установка кольцевого счетчика в положение «0» производится подачей импульса «сброс» отрицательной полярности через диод *Д71* на коллектор транзистора *Т21*. В этом случае отпираются транзисторы *Т22* и *Т21*.

Формирование импульсов переноса в старший разряд осуществляется схемой совпадения, выполненной на транзисторе *Т29*. Этот транзистор открыт за счет подачи положительного смещения на его базу. При поступлении девяти импульсов индуцируется цифра 9. С приходом десятого импульса транзисторы *Т21* и *Т27* отпираются, а транзистор *Т28* запирается. На базу транзистора *Т29* подается импульс отрицательной, а на его кол-

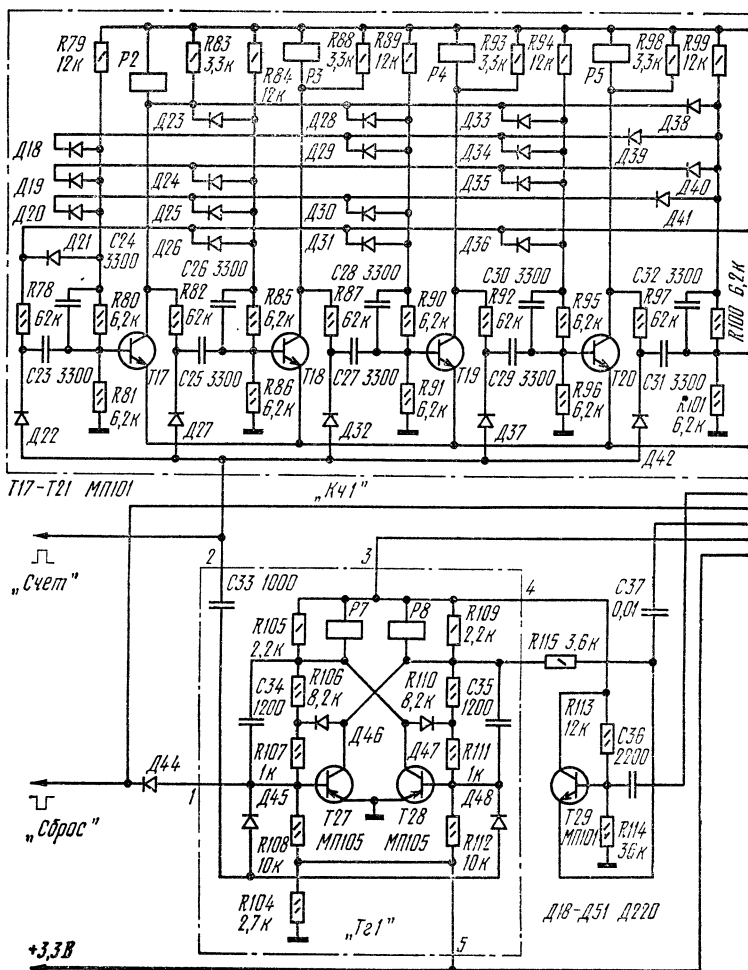
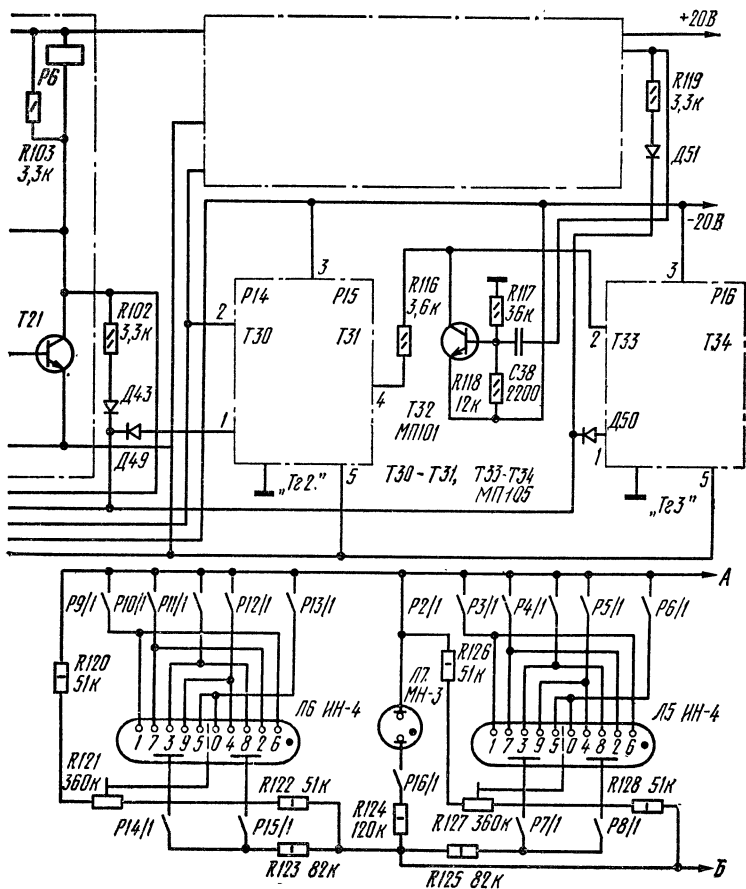


Рис. 16. Принципиальная схема счетных декад с электромагнитными реле

лктор — положительной полярности. При их совпадении на коллекторе транзистора T29 формируется импульс положительной полярности, подаваемый на декаду старшего разряда.



Вторая декада отличается от рассмотренной только тем, что в нее введена схема регистрации переполнения декады. К выходу схемы совпадения подключен триггер со счетным входом, собранный на транзисторах  $T33$  и  $T34$ . Опрокидывание этого триггера происходит из-за перегрузки декады, что приводит к загоранию неоновой лампы  $L7$ . Применение в рассмотренной счетной декаде дорогих высоковольтных транзисторов представляет определенные трудности. Однако их можно избе-

жать, заменив транзисторы низковольтными и используя в качестве исполнительных устройств электромагнитные реле. Вариант такой счетной декады приведен на рис. 16.

Здесь кольцевые счетчики собраны на транзисторах *T17—T21* типа МП101—МП103 (МП111—МП113), в качестве коллекторных нагрузок использованы параллельно включенные обмотки электромагнитных реле *P2—P6* и резисторы *R83, R88, R93, R98* и *R103*. Эти резисторы служат для ускорения переходных процессов в кольцевых счетчиках. Из-за больших постоянных времени электромагнитных реле последние срабатывают лишь после окончания счета.

На транзисторах *T27—T28, T30—T31, T33—T34* собраны триггеры со счетным входом, управляющие срабатыванием электромагнитных реле *P7—P8, P14—P15* и *P16*. Первые четыре реле подают питающие напряжения на соответствующие аноды газоразрядных цифровых индикаторов типа ИН-4, а последнее — на неоновую лампу *Л7* индикатора перегрузки старшей декады.

В связи с тем что цепи питания газоразрядных цифровых индикаторов не связаны с цепями питания пересчетных декад (применены электромагнитные реле), принципиальная схема упростилась за счет исключения развязывающих конденсаторов.

Принципиальные схемы источников питания цифрового авометра в зависимости от варианта построения пересчетных декад приведены на рис. 17 и 18. В состав источников питания введены неоновые лампы *Л1—Л4*, с помощью которых осуществляется индикация запятой при переключении пределов измерений.

В конструкции цифрового измерительного прибора применены следующие детали. Постоянные резисторы *R1—R8* — типов ПМТН-0,5, УЛИ-0,5, остальные — МЛТ, подстроечные резисторы — типа СПЗ-16, переменные — типа СПО-0,5. Электролитические конденсаторы — типа К50-6, остальные — типов МБМ, К10-7В. Вместо транзисторов МП105 можно использовать транзисторы типов МП104, МП106 и МП114—МП116, а вместо МП101—МП103, МП102 или МП111—МП113. Транзисторы в цепях кольцевых счетчиков и триггерах в первом варианте схемы можно заменить транзисторами ПЗ08, КТ602—КТ605. Все транзисторы должны

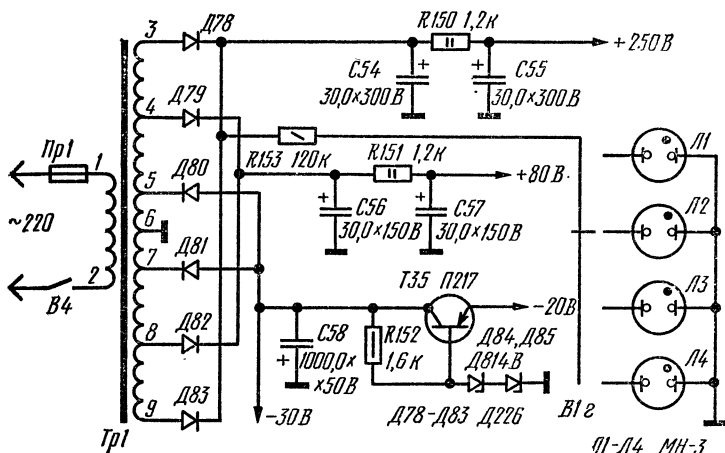


Рис. 17. Принципиальная схема блока питания первого варианта цифрового авометра

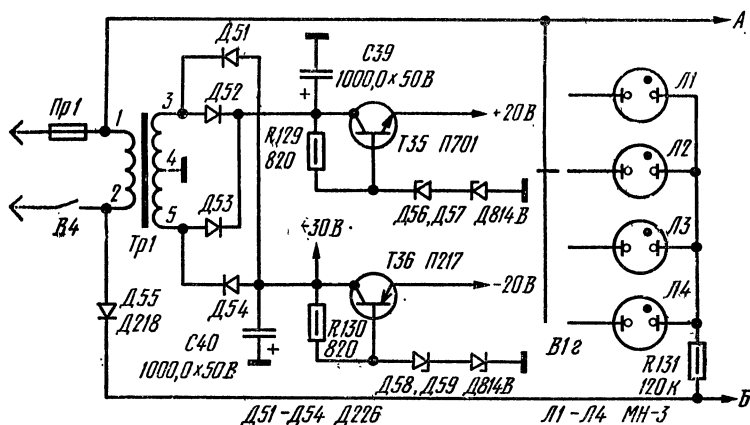


Рис. 18. Принципиальная схема блока питания второго варианта цифрового авометра

иметь коэффициент передачи тока не менее 30. Диоды типа Д220 можно заменить диодами Д219, Д223 с любой буквой.

При изготовлении пересчетной схемы по второму варианту желательно применить реле РЭС-10 (паспорт

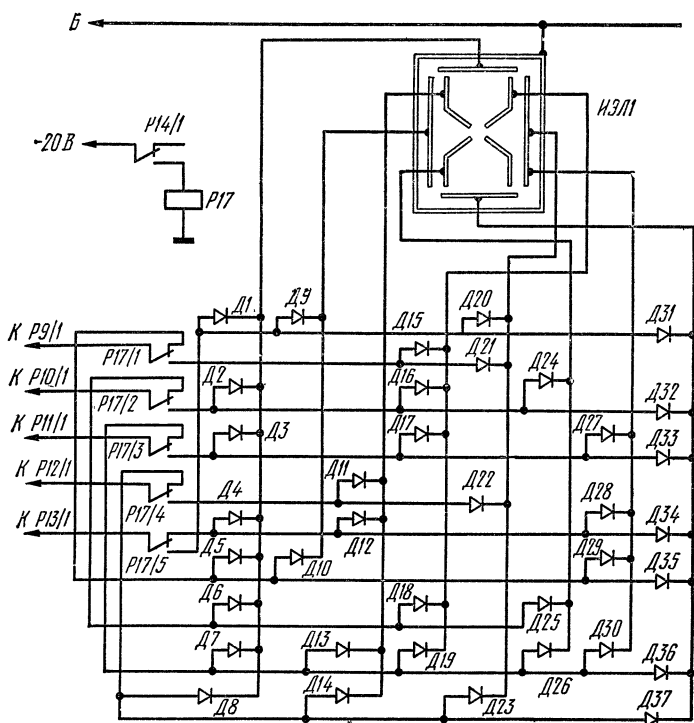
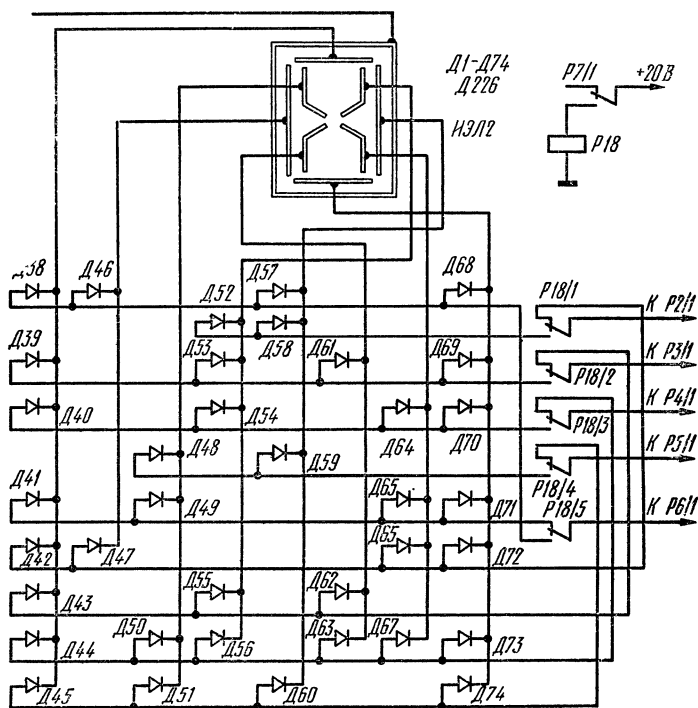


Рис. 19. Принципиальная схема цифрового индикатора с пересчетной диодной матрицей

РС4524305), с одним замыкающим контактом, током срабатывания не более 7мА и напряжением срабатывания не более 12 В. Переключателем пределов измерения служит галетный переключатель 4П4Н-ПМ, а переключателем рода работы — переключатель 5П4Н-ПМ. Переключатель ВЗ — типа 3П1Н-ПМ. В качестве катушки генератора счетных импульсов использован звенящий контур строчной развертки телевизора. Силовые трансформаторы собраны на железе Ш-20, набор 40 мм. Первичные обмотки намотаны проводом ПЭВ-1 0,15 и содержат 1540 витков. Остальные обмотки трансформатора для первого варианта схемы имеют между выводами 5—6 и 6—7 по 170 витков провода



ПЭВ-1 0,2; между выводами 5—4 и 7—8 — по 560 витков провода ПЭВ-1 0,15 и между выводами 3—4 и 8—9 — по 1200 витков провода ПЭВ-1 0,1. Вторичная обмотка трансформатора для второго варианта схемы состоит из 280 витков провода ПЭВ-1 0,3 с отводом от середины. При желании размеры трансформатора для второго варианта можно уменьшить, взяв толщину набора 30 мм и увеличив число витков каждой обмотки в 1,3 раза.

Если радиолюбителю представится возможным использовать восьмиэлементные электролюминисцентные цифровые табло типа ИЭЛ-0-14-140 в качестве индикаторов цифрового прибора вместо цифровых газоразрядных индикаторов типа ИН-4, то в этом случае предлагается специальная схема. Принципиальная схема такого индикатора вместе с диодными матрицами приведена



на рис. 19. В этом случае можно исключить электромагнитные реле *P8* и *P15*, заменив их резисторами с сопротивлением, равным сопротивлению обмоток реле. Дополнительно необходимо ввести реле *P17* и *P18* с пятью группами переключающих контактов или десятью реле типа РЭС-10, паспорт РС4524302. На контакты реле *P17* и *P18* необходимо подать питающее напряжение 20 В. В качестве диодов *D1—D74* можно применить диоды *D226*, *D211*, *D207*, *D218* и *D237* с любыми буквами, рассчитанные на обратное напряжение не менее 300 В.

Налаживание цифрового прибора лучше всего начинать с проверки работы блока питания. Затем проверяют генератор запуска. Он должен вырабатывать импульсы отрицательной полярности длительностью 3—5 мс и частотой повторения 1—0,1 Гц, амплитуда этих импульсов составляет около 10 В. Изменяют частоту повторения подбором емкости конденсатора *C12* и сопротивлений резисторов *R53* и *R55*.

От тщательности настройки схемы сравнения преобразователя напряжение — частота зависит стабильность и точность работы цифрового прибора. При выбранной частоте следования счетных импульсов, равной 10 кГц, напряжение на емкости *C14* должно нарастать до амплитуды 10 В за 0,01 с, что достигается регулировкой тока стабилизатора, собранного на транзисторах *T7* и *T8*.

Для предварительной регулировки к коллектору транзистора *T11* подключают вход усилителя вертикального отклонения осциллографа с входным сопротивлением не менее 10 МОм и пределом измерения 10 В. Устанавливают ждущий режим развертки, на вход внешней синхронизации подают импульсы тактового генератора. Далее, отпаяв правый по схеме вывод диода *D4*, подают на резистор *R40* напряжение постоянного тока, равное, например, 5 В. На экране осциллографа наблюдают периодическое повторение импульсов треугольной формы с частотой тактового генератора. Амплитуда этих импульсов должна быть строго равна 5 В.

Изменяя напряжение, приложенное к резистору *R40* от 0 до 10 В, наблюдают за изменением амплитуды треугольных импульсов. При наличии на вершине импуль-

сов плоских участков подстроечным резистором  $R63$  регулируют режим работы транзистора  $T12$ , добиваясь минимальной величины этих участков. Затем, предварительно установив частоту повторения генератора счетных импульсов (транзистор  $T13$ )  $10\,000 \pm 5$  Гц, подключают вход усилителя вертикального отклонения осциллографа к коллектору транзистора  $T16$ . Изменяя напряжение постоянного тока, подаваемого на схему сравнения, подсчитывают число счетных импульсов в серии. Это число должно быть кратно величине поданного напряжения.

Далее переводят переключатель  $B3$  в положение «калибровка  $0,2$  В» и, измерив величину этого напряжения с помощью эталонного вольтметра, подсчитывают число импульсов в серии. Оно должно быть равно двум. В противном случае регулируют схему преобразователя напряжение—частота с помощью подстроечного резистора  $R57$ . Затем переключатель  $B3$  ставят в положение «калибровка  $8,3$  В» и также подсчитывают число счетных импульсов в серии. Это число должно равняться 83. В случае необходимости производят калибровку с помощью подстроечного резистора  $R47$ .

После этого проверяют работу усилителя переменного тока и преобразователя постоянного напряжения в переменное. С помощью подстроечных резисторов  $R26$  и  $R27$  выставляют требуемые коэффициенты усиления этого усилителя при измерении переменного и постоянного напряжений, подстроечными резисторами  $R10$ ,  $R12$ ,  $R14$  и  $R16$  устанавливают токи стабилизатора измерителя сопротивлений резисторов, равные 10, 1 мА, 100 и 10 мкА. На этом предварительное налаживание входной части цифрового прибора заканчивают.

Налаживание счетных декад производят в следующей последовательности. Отсоединяют цепи счетных импульсов и импульса сброса от входной части цифрового прибора. Подают в цепь сброса одиночный импульс отрицательной полярности с амплитудой около 10 В. На цифровых газоразрядных индикаторах должны высветиться нули. Подавая одиночные импульсы положительной полярности с амплитудой около 10 В на вход цепи счетных импульсов, проверяют правильность регистрации цифр на цифровых газоразрядных индикаторах. Одновременно с загоранием на индикаторе низшего разря-

да нуля должна загореться и единица на индикаторе высшего разряда. Если на обоих индикаторах высвечиваются нули, должна загореться неоновая лампа Л7 сигнализатора перегрузки.

Убедившись в нормальном функционировании счетных декад, восстанавливают ранее отпаянные цепи и проверяют работу цифрового вольтметра в целом, подавая на его вход эталонные напряжения постоянного или переменного тока и регистрируя показания индикаторов. Для повышения точности регистрации измеряемых величин в состав рассмотренного цифрового прибора можно ввести еще один разряд, но тогда потребуется изменить параметры преобразователя напряжение — частота, увеличить частоту генератора счетных импульсов до 100 кГц и в кольцевом счетчике низшей декады применить более высокочастотные транзисторы. При желании в его состав можно ввести переключатель режима работы: автоматический — ручной (однократное измерение).

## 1. ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ

Прибор (рис. 20), предназначенный для измерения сопротивлений резисторов в диапазоне 10 Ом — 10 МОм и емкостей конденсаторов от 10 пФ до 10 мкФ, может быть без труда изготовлен начинающими радиолюбителями. Он состоит из генератора звуковой частоты, собранного на неоновой лампе, и измерительного моста. Индикатором служат обычные головные телефоны. Погрешность прибора, несмотря на его простоту, не превышает 10—15%. Генератор звуковой частоты, образуемый неоновой лампой *Л1*, обмоткой *I* трансформатора *Тр1*, конденсатором *С4* и резистором *Р5*, питается от внешнего источника постоянного тока (выпрямителя) напряжением 80—250 В. Генерируемые им колебания частоты около 1000 Гц индуцируют такие же колебания в обмотке *II* трансформатора и питают измерительный

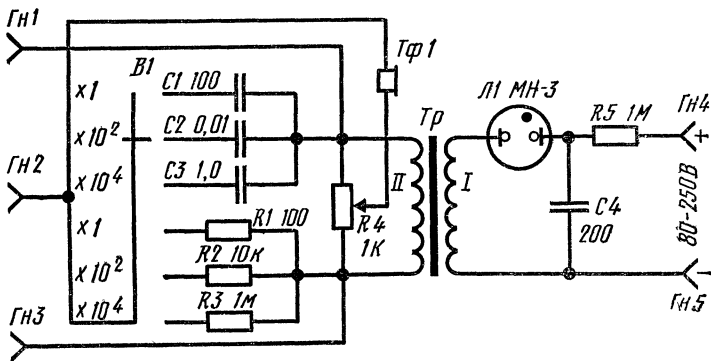


Рис. 20. Принципиальная схема простого мостового измерителя RC со звуковым генератором

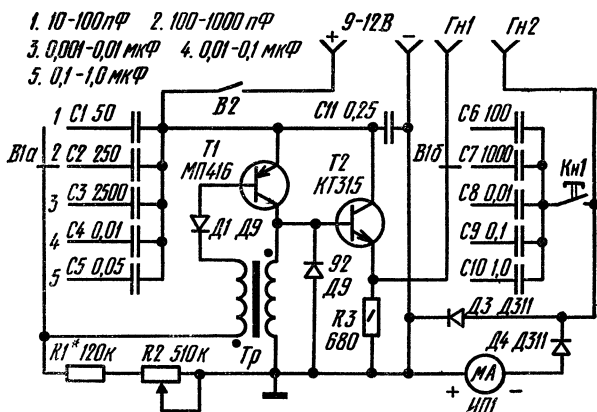


Рис. 21. Принципиальная схема измерителя емкостей конденсаторов

мост, в одно из плеч которого включают измеряемый резистор (гнезда  $\Gamma_{н1}$ ,  $\Gamma_{н2}$ ) или конденсатор (гнезда  $\Gamma_{н2}$ ,  $\Gamma_{н3}$ ), а в другое — головные телефоны.

Балансируют мост переменным резистором  $R_4$ , ориентируясь по наиболее слабому или совсем исчезающему звуку в головных телефонах. Переменный резистор  $R_4$  снабжается шкалой, градуированной по эталонным резисторам и конденсаторам. Вместо звукового генератора на неоновой лампе можно применить звуковой генератор на транзисторах. Переключатель предела измерений — любого типа, например, 6П1Н-ПМ, переменный резистор — типа СП, постоянные конденсаторы — типов МБМ или КСО, постоянные резисторы — типа МЛТ. Детали, входящие в состав измерительного моста, необходимо подобрать с точностью не хуже 1—2%. В качестве трансформатора  $T_r$  можно использовать трансформаторы, применяемые в транзисторных приемниках с отношением числа витков 1:1—1:10.

В тех случаях, когда требуется измерять только емкости конденсаторов, можно рекомендовать конструкцию простого измерителя, собранного всего на двух транзисторах (рис. 21). С его помощью можно измерять емкости от единиц пикофард до одной микрофарды на следующих пределах измерений: 0—100, 0—1000 пФ,

0—0,01, 0—0,1 и 0—1 мкФ с погрешностью, не превышающей 5%.

На транзисторе  $T1$  собран блокинг-генератор, вырабатывающий импульсы положительной полярности, длительность которых определяется параметрами импульсного трансформатора и транзистора  $T1$ , а частота повторения — емкостью одного из конденсаторов  $C1—C5$  и сопротивлением резисторов  $R1$  и  $R2$ . Для уменьшения влияния измерительной цепи на блокинг-генератор на его выходе включен эмиттерный повторитель на транзисторе  $T2$ . Как известно, ток разряда конденсатора, заряженного до фиксированной величины напряжения, при прочих равных условиях пропорционален величине его емкости. Этот принцип и положен в основу рассматриваемой конструкции измерителя.

Установив необходимый предел измерения, нажимают кнопку  $Kn1$ , подключающую измерительную схему через один из эталонных конденсаторов ( $C6—C10$ ) к выходу эмиттерного повторителя. С помощью переменного резистора  $R2$  добиваются отклонения стрелки измерительного микроамперметра на последнее деление шкалы. Подключив к гнездам  $Гн1$  и  $Гн2$  измеряемый конденсатор, отпускают кнопку и по отклонению стрелки прибора определяют величину емкости. Если стрелка прибора отклонится меньше чем на 10 делений шкалы, следует перейти на меньший предел измерений, а при зашкаливании стрелки — на более высокий. После калибровки последнее деление шкалы соответствует величине емкости эталонного конденсатора. Чем с большей точностью подобраны эталонные конденсаторы, тем выше точность измерения емкостей. При измерении малых емкостей необходимо учитывать собственную входную емкость измерителя.

В данной конструкции вместо транзистора  $T1$  можно применить любые высокочастотные транзисторы типа  $p-n-p$  с коэффициентом передачи тока не менее 30, а вместо транзистора  $T2$  — любой среднечастотный транзистор типа  $n-p-n$  с таким же коэффициентом. В качестве микроамперметра использован прибор М-24 с током полного отклонения стрелки 100 мкА. Вместо него можно использовать любой микроамперметр класса точности 1—2% с током полного отклонения 50—300 мкА. В схеме применены постоянные резисторы МЛТ, пере-

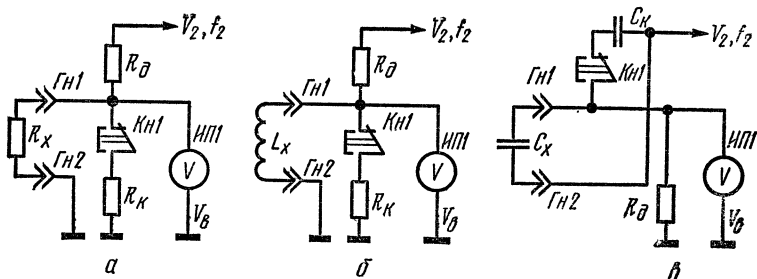


Рис. 22. Принципиальные схемы, основанные на дифференциальном методе измерения: а — сопротивлений; б — индуктивностей; в — емкостей

менный — СПО-1, конденсаторы — КСО, МБМ, переключатель пределов измерения — 5П2Н-ПМ, нажимная кнопка — КМТ-1.

Обмотки трансформатора  $Tr1$  расположены на кольце типоразмером  $K10 \times 6 \times 2$  из феррита 600НН или 1000НН. Каждая обмотка содержит 150—200 витков провода ПЭВ-1 0,08—0,1.

После подбора эталонных конденсаторов с точностью не хуже 1% и проверки правильности произведенного монтажа налаживание измерителя сводится к проверке правильности включения обмоток импульсного трансформатора и подбору емкостей конденсаторов  $C1—C5$  в том случае, если на том или ином пределе измерений при нажатой кнопке  $КН1$  не удастся установить стрелку измерительного прибора на последнее деление шкалы.

## 2. ИЗМЕРИТЕЛЬ RLC С ЛИНЕЙНОЙ ШКАЛОЙ

Рассмотренные ранее конструкции измерителей основаны на использовании мостового метода измерений. Этот метод, обладая достаточно высокой точностью измерения, не обеспечивает приемлемую оперативность работы, так как при каждом измерении даже однотипных элементов с помощью переменного резистора приходится производить балансировку моста и со шкалы этого резистора считывать показания. Предлагаемая конструкция измерителя  $RLC$  свободна от этого недостатка. Для обеспечения линейности шкалы измеряемый эле-

мент включают в цепь генератора тока, другими словами, создают такие условия, при которых величина тока через измеряемый элемент практически не зависит от параметров этого элемента; падение напряжения на этом элементе оказывается пропорциональным его величине.

Сказанное поясним на конкретных примерах измерения сопротивлений резисторов, емкостей конденсаторов и индуктивностей катушек. Включим последовательно измеряемый и добавочный резисторы согласно рис. 22, а. Подадим напряжение  $U_2$  частотой  $f_2$  и измерим напряжение на неизвестном резисторе. Величина этого напряжения окажется равной:

$$U_x = \frac{U_2 R_x}{R_d + R_x} = \frac{U_2 R_x}{R_d} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_d}}.$$

Если обеспечить выполнение неравенства  $\frac{R_x}{R_d} \ll 1$  во всем поддиапазоне измерения  $R_x$ , то это выражение упростится:

$$U_x \approx U_2 \frac{R_x}{R_d}.$$

Отсюда видно, что при фиксированных значениях  $U_2$  и  $R_d$  измеренное напряжение пропорционально неизвестному сопротивлению резистора. Перед измерением производят калибровку шкалы вольтметра путем установки такого напряжения  $U_2$ , при котором падение напряжения на эталонном резисторе  $R_k$  вызовет отклонение стрелки микроамперметра вольтметра на последнее деление шкалы. В этом случае вся шкала вольтметра соответствует значению сопротивления эталонного резистора. Заметим, что чем лучше выполняется указанное выше неравенство, тем выше точность измерения сопротивления резистора.

Измерение индуктивностей катушек производят согласно схеме, приведенной на рис. 22, б. Напряжение на измеряемой катушке индуктивности равно:

$$U_{Lx} = \frac{U_2 \omega L_x}{\sqrt{R_d^2 + (\omega L_x)^2}} = U_2 \frac{\omega L_x}{R_d} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L_x}{R_d}\right)^2}}.$$



При выполнении неравенства  $\frac{\omega L_x}{R_d} \ll 1$ , рассмотренное равенство упростится. Окончательно имеем:

$$U_{Lx} \approx \frac{\omega U_2}{R_d} L_x.$$

Таким образом, при определенных условиях измеренное напряжение на катушке пропорционально ее индуктивности. Для калибровки шкалы вольтметра в значениях индуктивности необходимо перед измерением подключать эталонную катушку. Однако с любительской точки зрения, лучше обеспечить стабильность частоты питающего напряжения, например, не хуже 0,1—0,3% и вместо эталонных индуктивностей подключать эталонные резисторы, сопротивления которых эквивалентны этим индуктивностям на выбранной частоте питающего напряжения.

Для измерения емкостей конденсаторов используется схема, приведенная на рис. 22, в. Напряжение на дополнительном резисторе равно:

$$U_d = \frac{U_2 R_d}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C_x}\right)^2 + R_g^2}} = U_2 \omega R_g C_x \frac{1}{\sqrt{1 + (R_g \omega C_x)^2}}.$$

Выполнив условие неравенства  $R_d \omega C_x \ll 1$ , окончательно получим:  $U_d \approx U_2 R_d \omega C_x$ .

Из этого выражения видно, что вольтметр измеряет напряжение, пропорциональное величине емкости конденсатора. Калибровка шкалы вольтметра производится с помощью эталонных конденсаторов. В связи с тем что основным элементом такого измерителя является вольтметр переменного тока, целесообразно предусмотреть возможность его использования и для измерения напряжений переменного тока.

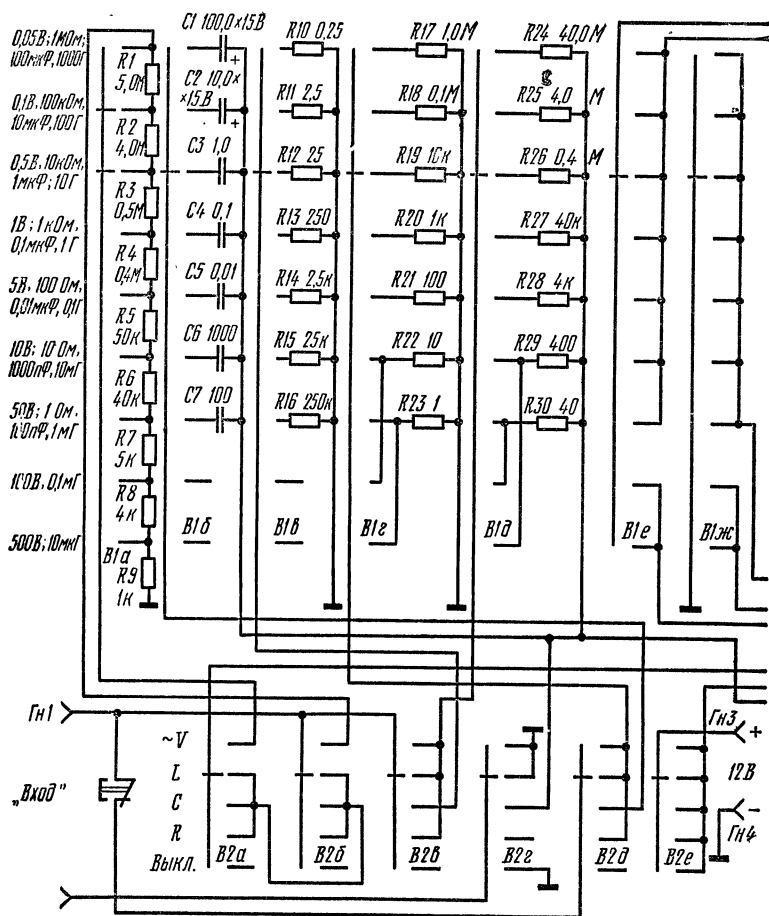
Измерение переменного напряжения производится на следующих поддиапазонах: 0—0,05; 0—0,1; 0—0,5; 0—1; 0—5; 0—10; 0—50; 0—100 и 0—500 В. Измерение сопротивлений резисторов можно производить на шкалах: 0,1—1; 1—10; 10—100 Ом; 0,1—1; 1—10; 10—100 кОм и 0,1—1 МОм. Измерение емкостей конденсаторов — на шкалах: 10—100; 100—1000 пФ; 0,001—0,01; 0,01—0,1; 0,1—1; 1—10 и 10—100 мкФ, а индуктивности катушек — на шкалах: 1—10; 10—100 мкГ; 0,1—1; 1—

10; 10—100 мГ; 0,1—1; 1—10; 10—100 и 100—1000 Г. Входное сопротивление вольтметра переменного тока 10 МОм на всех пределах измерения, входная емкость не более 30 пФ, диапазон частот измеряемых переменных напряжений 10 Гц—50 кГц. Погрешность при тщательном подборе эталонных резисторов и конденсаторов не превышает 2% при измерениях в пределах 30—100% шкалы и — 3% при измерениях в пределах 10—20% шкалы. Питается измеритель от источника напряжением 9—12 В, потребляемый ток при измерении малых сопротивлений, индуктивностей и больших емкостей не превышает 60—70 мА, а на остальных пределах измерений — 30 мА.

Измеритель (рис. 23) состоит из схемы коммутации с эталонными резисторами и конденсаторами, звукового генератора с двумя фиксированными частотами 159 Гц и 15,9 кГц (соответственно круговые частоты равны 1000 и 100 000) и вольтметра переменного тока. Этот вольтметр включает в себя четырехкаскадный усилитель, собранный на полевом транзисторе *T1* по схеме истокового повторителя и микросхеме *MC1* (трехкаскадный усилитель). Для предохранения полевого транзистора при неправильном выборе предела измерения в цепь его затвора включен ограничивающий резистор *R31* и два кремниевых диода *D1* и *D2*. Эти диоды при уровне входного сигнала менее 0,1 В имеют прямое и обратное сопротивления не менее 100 МОм, а при подаче на вход напряжения более 0,5 В их сопротивления резко уменьшаются и они совместно с резистором *R31* ограничивают напряжение на затворе на уровне 0,5—0,7 В.

На выходе усилителя включен выпрямитель, собранный по мостовой схеме на диодах *D3—D6*. Диод *D7* предохраняет стрелочный микроамперметр от перегрузки. Усилитель переменного тока охвачен отрицательной обратной связью, глубина которой регулируется подстроечным резистором *R34*, включенным в цепь истока полевого транзистора. С помощью этого резистора во время настройки прибора устанавливают такой коэффициент усиления, чтобы стрелка микроамперметра отклонялась на всю шкалу при подаче на вход усилителя напряжения 0,05 В.

Генератор звуковой частоты собран на микросхеме *MC2*, а усилитель мощности на транзисторах *T2* и *T3*.



Генератор представляет собой двухкаскадный усилитель, охваченный как положительной, так и отрицательной обратными связями. В цепь положительной обратной связи включены RC цепочки, состоящие из резисторов R40 и R41 и, в зависимости от генерируемой частоты, из конденсаторов C12, C21 или C19, C20. От выбора параметров этих цепочек зависит частота колебаний генератора звуковой частоты. Отрицательная обратная

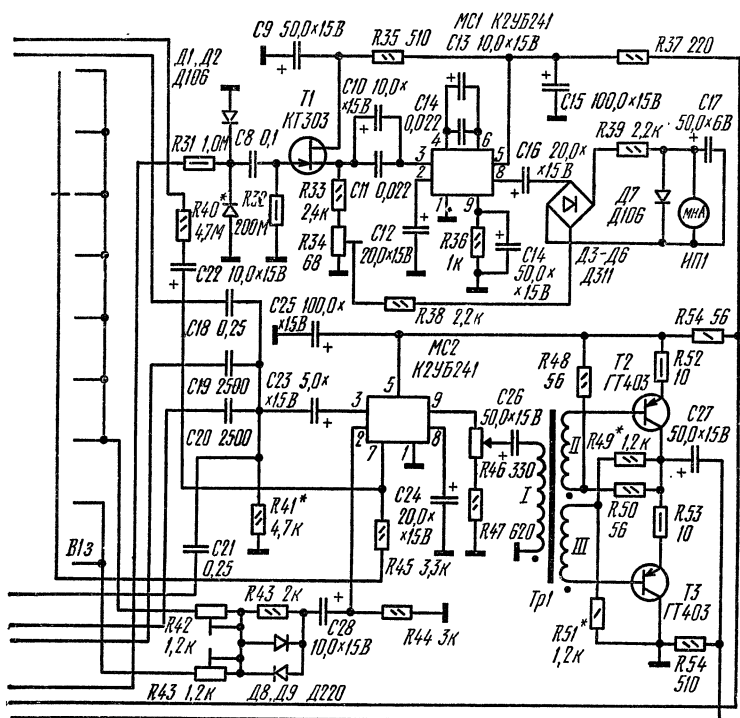


Рис. 23. Принципиальная схема универсального измерителя  $RCL$  и напряжений переменного тока

связь обеспечивает установку такого коэффициента усиления, при котором генерируемые колебания имеют синусоидальную форму. Кроме того, введение в ее состав цепочки, состоящей из резистора  $R43$  и диодов  $D8, D9$ , обеспечивает стабилизацию генерируемых колебаний. Требуемая глубина отрицательной обратной связи устанавливается при налаживании прибора в зависимости от генерируемой частоты с помощью одного из подстроечных резисторов  $R42$  или  $R43$ . Установка необходимой амплитуды выходного сигнала производится с помощью переменного резистора  $R46$  (калибровка шкал измерителя).

Схема коммутации состоит из двух галетных переключателей  $B1$  и  $B2$ , а также кнопки  $Kн1$ . С помощью

первого переключателя выбирают род работы, включают прибор, а с помощью второго устанавливают пределы измерений и производят соответствующие коммутации в задающем генераторе звуковой частоты. Кнопка служит для подключения проверяемого элемента к измерительной части прибора. При ненажатой кнопке производят калибровку измерительной части прибора.

В измерителе применены следующие детали и элементы. Полевой транзистор  $T1$  типа КР303 может быть с любой буквой, транзисторы  $T2$  и  $T3$  типа ГТ403 или ГТ402 должны по возможности иметь одинаковый коэффициент передачи тока (не менее 30); их можно заменить транзисторами П601—П609 или в крайнем случае П213—П217. При отсутствии микросхем  $MC1$  и  $MC2$  можно собрать усилитель и генератор на обычных деталях с применением кремниевых транзисторов КТ315 или КТ312 и резисторов МЛТ-0,25. Коэффициент передачи тока применяемых транзисторов может находиться в пределах 25—60 без подбора элементов схемы. Все постоянные резисторы, за исключением прецизионных, могут быть типа МЛТ-0,25, а прецизионные резисторы  $R1—R30$  — типов УЛИ, БЛП, ПТМН. При необходимости для получения требуемого номинала их можно составлять из нескольких резисторов.

Подстроечные резисторы  $R34$ ,  $R42$  и  $R43$  — типа СПЗ-16, переменный  $R46$  — типа СПО-0,5. Резисторы  $R1—R9$  входят в состав входного делителя вольтметра переменного тока, резисторы  $R24—R30$  являются «дополнительными» (см. рис. 22) при измерении  $R$  и  $L$ , резисторы  $R17—R23$  — эталонными для калибровки шкал при измерении сопротивлений резисторов и индуктивностей, а  $R10—R16$  — «дополнительными» при измерении емкостей.

Все электролитические конденсаторы — типа К50-6, остальные конденсаторы могут быть любых типов. Конденсаторы  $C1—C7$ ,  $C18—C21$  желательно подобрать с точностью до 0,5—1%. Диоды  $D1—D2$  можно заменить диодами типов  $D102—D105$ ; критерием их пригодности является достаточно высокое, не менее 100 МОм, их прямое и обратное сопротивление при напряжениях около 0,06—0,07 В.

В качестве переключателей  $B1$  и  $B2$  применены переключатели типа 9П8Н-ПМ и 5П6Н-ПМ. В качестве

кнопки *Kn1* можно применить кнопку типа КМ-1. В схеме установлен микроамперметр М-24 с током полного отклонения 50—100 мкА и сопротивлением рамки не более 3000 Ом. Трансформатор *Tr1* — самодельный, на сердечнике Ш-10, набор 15 мм. Первичная обмотка содержит 1000 витков провода ПЭВ-1 0,1, вторичные обмотки — по 250 витков провода ПЭВ-1 0,25.

Налаживание прибора начинают с вольтметра переменного тока. Для этого, убедившись в правильности произведенного монтажа, отключают диоды *D1—D2* от резистора *R31* и подают непосредственно на левый вывод этого резистора напряжение 0,05 В частотой 100—10·000 Гц от звукового генератора. С помощью подстроечного резистора *R34* добиваются отклонения стрелки микроамперметра на последнее деление шкалы. При необходимости можно в некоторых пределах изменить сопротивление резистора *R38*. Обычно это приходится делать в том случае, если микроамперметр имеет ток полного отклонения стрелки более 200 мкА.

Далее между выходом звукового генератора и выводом резистора *R31* включают резистор с сопротивлением около 100 МОм. Если стрелка микроамперметра отклонится меньше чем на 50% шкалы, то это означает, что входное сопротивление полевого транзистора мало и его следует заменить. В противном случае увеличится погрешность прибора при измерении сопротивлений на шкале 0—1 МОм, 100—1000 Г и 10—100 пФ. После этого подключают диоды *D1* и *D2* и снова проверяют величину отклонения стрелки микроамперметра. Если показания вольтметра уменьшатся более чем на 5—8%, то необходимо произвести подбор этих диодов.

Затем отключают резистор с сопротивлением 100 МОм и переходят к налаживанию звукового генератора. Переключатель пределов измерений устанавливают на один из пределов 0,05—50 В и к выводу 9 микросхемы МС2 подключают вход вертикального усилителя осциллографа. Если монтаж выполнен правильно, то на экране осциллографа наблюдают форму генерируемого напряжения. С помощью подстроечного резистора *R42* добиваются получения синусоидальных колебаний, далее путем подбора резисторов *R40* и *R41* устанавливают частоту генерируемых колебаний, равную  $159 \pm 0,5$  Гц, например по фигурам Лиссажу. Ана-

логично, поставив переключатель *B1* в положение «100 В» или «500 В», с помощью подстроечного резистора *R43* устанавливают синусоидальную форму колебаний второй частоты и путем подбора емкостей конденсаторов *C19* и *C20* добиваются получения частоты  $15,9 \pm 0,05$  кГц.

Далее вход вертикального усилителя осциллографа подключают к выходу усилителя мощности (конденсатор *C27*) и, изменяя уровень сигнала с помощью переменного резистора *R46*, проверяют форму колебаний на выходе. Если при напряжении около 2,5 В будут наблюдаться искажения сигнала типа одностороннего ограничения, то необходимо произвести изменение режима оконечных транзисторов путем подбора резисторов *R49* и *R51*, добиваясь при этом того, чтобы напряжение на правом по схеме выводе конденсатора *C27* составляло половину питающего напряжения. Проверку искажений типа «ступенька» производить не следует, так как минимальное напряжение не должно устанавливаться меньше 1,5 В. Ток, потребляемый генератором звуковой частоты вместе с усилителем мощности, не должен превышать 30—40 мА. Если сопротивления и емкости эталонных резисторов и конденсаторов подобраны с необходимым допуском, то никакого дополнительного налаживания схема коммутации не требует. Питание прибора можно осуществить и от стабилизированного источника питания.

### 3. ПРИСТАВКА К ЦИФРОВОМУ АВОМЕТРУ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ L И C

Возможности цифрового авометра, описание которого приведено в первой главе, можно значительно расширить с помощью приставки (рис. 24), которая позволяет измерять индуктивности катушек в пределах 1 мкГ—99 Г и емкости конденсаторов в пределах 10 пФ—99 мкФ. При этом цифровой авометр работает в режиме измерения переменных напряжений на пределе 0—100 мВ (точнее 1—99 мВ). Приставка состоит из схемы коммутации и генератора звуковой частоты, собранного на транзисторах *T1—T3*. Рабочая частота генератора —  $159 \pm 0,5$  Гц (круговая частота — 1000).

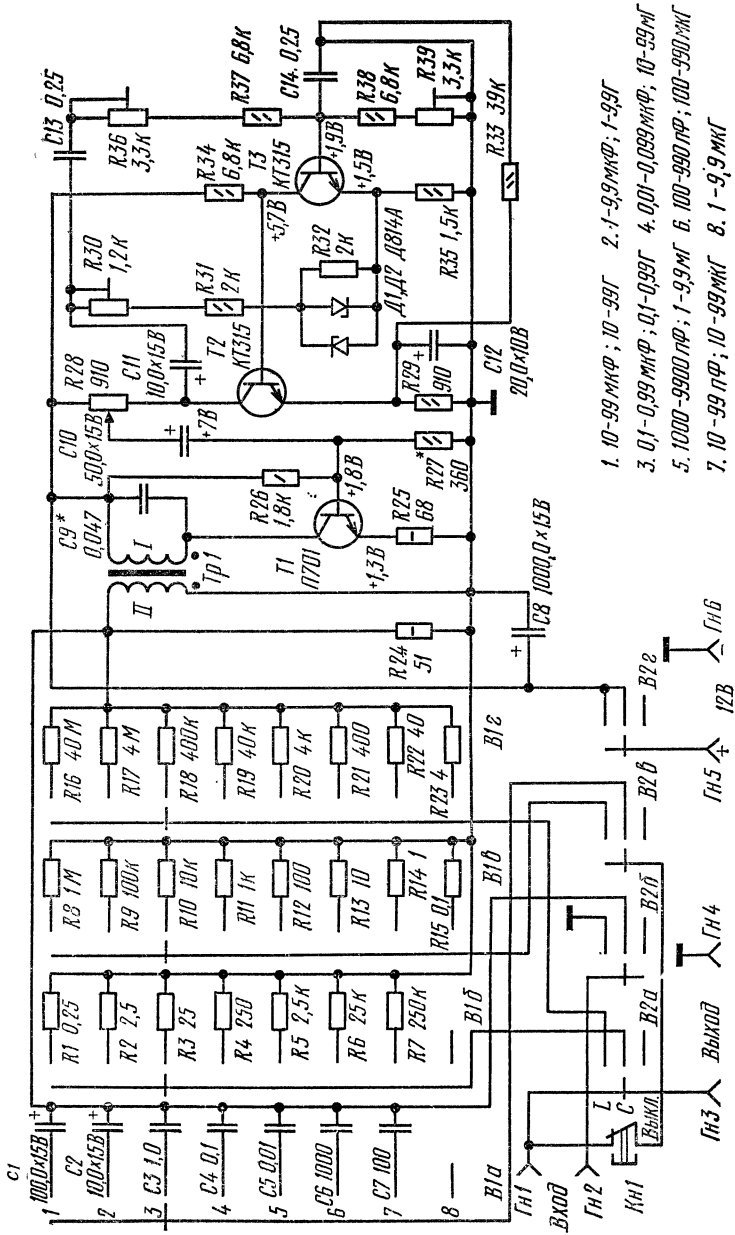


Рис. 24. Принципиальная схема приставки к цифровому авометру для измерения L и C



Весь диапазон измерения индуктивностей разбит на следующие поддиапазоны: 1—9,9; 10—99; 100—990 мкГ; 1—9,9; 10—99; 100—990 мГ; 1—9,9 и 10—99 Г, а измерения емкостей конденсаторов — на поддиапазоны: 10—99; 100—990; 1000—9900 пФ; 0,01—0,099; 0,1—0,99; 1—9,9 и 10—99 мкФ. Погрешность измерений не превышает 3% при тщательном подборе величин емкостей и сопротивлений резисторов, входящих в состав схемы коммутации. Питание приставки производится от источника напряжением 12 В; потребляемый ток не превышает 60—80 мА.

Звуковой генератор — трехкаскадный. На транзисторах  $T3$ — $T2$  собран задающий генератор с  $RC$  цепочками в цепи положительной обратной связи. Подстройка его на требуемую частоту осуществляется подстроечными резисторами  $R36$  и  $R39$ . Амплитуда сигнала стабилизируется с помощью цепочки  $R30R31R32D1D2$ , включенной в цепь отрицательной обратной связи. На транзисторе  $T1$  собран усилитель мощности с выходным трансформатором  $Tr1$ . Установка выходного напряжения производится переменным резистором  $R28$  (калибратора шкал приставки). Переключателем  $B1$  выбирают предел измерения, а переключателем  $B2$  — род работы. Им же выключается питание приставки. При ненажатой кнопке  $Kн1$  производится калибровка шкал приставки, а при нажатой — измерение.

Измеряемую индуктивность или конденсатор подключают к гнездам  $Гн1$  и  $Гн2$ , вход цифрового авометра — к гнездам  $Гн3$  и  $Гн4$ , а источник питания — к гнездам  $Гн5$  и  $Гн6$ . При измерении емкостей конденсаторы  $C1$ — $C7$  являются «калибровочными», а резисторы  $R1$ — $R7$  — «дополнительными». Соответственно при измерении индуктивностей резисторы  $R8$ — $R15$  — «калибровочные», а резисторы  $R16$ — $R23$  — «дополнительные».

В конструкции приставки применены следующие детали. Резисторы  $R1$ — $R23$  — типов УЛИ, БЛП, ПТМН с допуском не хуже 0,5%, остальные постоянные резисторы — типа МЛТ, подстроечные резисторы — типа СПЗ-16, переменный — типа СПО-0,5. Конденсаторы электролитические — типа К50-6, остальные — типа МБМ. Конденсаторы  $C1$ — $C7$  и  $C13$ — $C14$  необходимо подбирать с допуском не хуже 1%. Для этой цели каждый из них можно составить из нескольких конденсаторов. В ка-

честве трансформатора *Tr1* использован выходный трансформатор от приемника «Спидола», причем включается только половина первичной обмотки. Переключатели *B1* и *B2* — типа 8П4Н-ПМ и 3П4Н-ПМ, кнопка *Kn1* — типа КМ-1.

Налаживание приставки начинают с генератора звуковой частоты. Для этого к коллектору транзистора *T2* подключают вход усилителя вертикального отклонения электроннолучевого осциллографа и с помощью подстроечных резисторов *R36*, *R39* и *R30* добиваются получения синусоидального напряжения частотой 159 Гц. Измерение частоты производят по фигурам Лиссажу с помощью эталонного генератора звуковой частоты. Далее переключают вход осциллографа на выходную обмотку трансформатора *Tr1* и, изменяя уровень сигнала с помощью переменного резистора *R28*, проверяют форму выходного сигнала, измеряют выходное напряжение при положении переключателя *B1* 10—99 мкФ или 1—9,9 мкГ. При этом выходное напряжение должно быть не менее 4,2 В, а искажения синусоидального сигнала незаметны на глаз. Если искажения типа одностороннего ограничения будут все же заметны или выходное напряжение окажется менее 4 В, необходимо изменить резжим выходного транзистора путем подбора резисторов *R26* и *R27*, а подбирая емкость конденсатора *C9*, настроить первичную обмотку трансформатора в резонанс с частотой 159 Гц.

Проверять форму генерируемого сигнала при малых выходных сигналах не следует, так как во время калибровки устанавливается выходное напряжение, равное 4 В. Для обеспечения более плавной калибровки вместо резистора *R28* можно применить два последовательно включенных резистора, один из которых постоянный 620 Ом, а другой переменный 270—300 Ом. При тщательном подборе резисторов и конденсаторов в схеме коммутации после налаживания звукового генератора с усилителем мощности никакой дальнейшей настройки приставка не требует.

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

---

#### 1. ПРОСТЕЙШИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ-ПРОБНИКИ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАДИОАППАРАТУРЫ

Большую помощь радиолюбителю может оказать простейший генератор-пробник, который позволяет убедиться в работоспособности того или иного каскада радиотехнического устройства. Работа с ним прививает навыки использования специальной радиоизмерительной аппаратуры в повседневной практике. Понятно, что ожидать большого эффекта при налаживании любительской и промышленной радиоаппаратуры с помощью подобных пробников не следует, однако их использование позволит более правильно подходить к решению конкретной задачи при поиске неисправного каскада.

С помощью пробника (рис. 25) можно проверить наличие напряжений постоянного тока на анодах и экранных сетках радиоламп, а также исправность цепей усилителя низкой частоты при прохождении сигнала звуковой частоты. Состоит он из индикатора, собранного на неоновой лампе *Л1*, по свечению которой можно определить наличие напряжений на электродах радиолампы. Кроме того, в его состав входит блокинг-генератор на транзисторе *Т1*, предназначенный для проверки прохождения сигнала по тракту. При использовании малогабаритных деталей пробник можно выполнить в виде щупа. Транзистор *Т1* можно заменить любым германиевым транзистором низкой частоты с коэффициентом передачи тока не менее 20. Трансформатор блокинг-генератора можно намотать на ферритовом тороидальном сердечнике 1000НН К10×6×5. Первичная обмотка

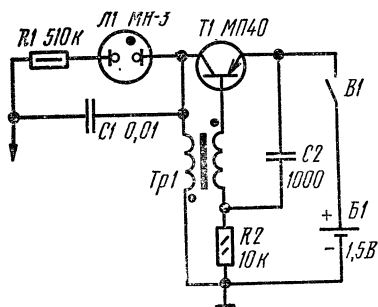


Рис. 25. Принципиальная схема простейшего пробника

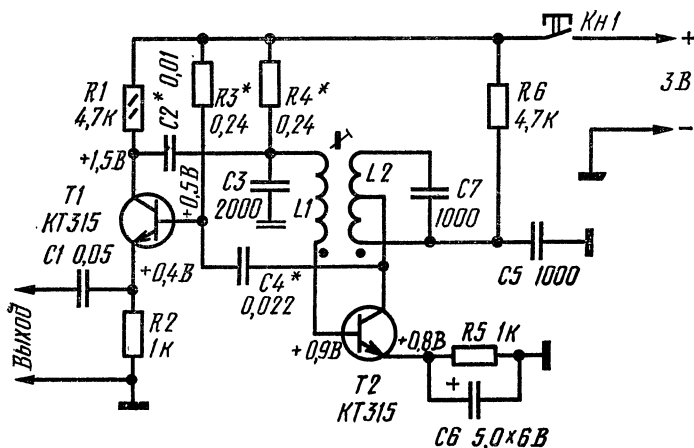


Рис. 26. Принципиальная схема пробника

содержит 60—70, а вторичная — 80—100 витков провода ПЭВ-1 0,1. Резисторы — типа МЛТ-0,25, а конденсаторы — типа КЛС.

Другой пробник (рис. 26) более универсален. Он позволяет производить проверку работоспособности усилителей низкой и промежуточной частоты радиовещательного приемника, работоспособности преобразователей и усилителей высокой частоты приемников, имеющих длинноволновые и средневолновые поддиапазоны частот. Пробник собран на двух транзисторах. По низкой частоте оба транзистора образуют обычный мультипликатор, частота колебаний которого около 1000 Гц. Сиг-

нал мультивибратора снимается с резистора  $R_2$  и служит для проверки низкочастотных каскадов. По высокой частоте транзистор  $T_2$  используется в схеме высокочастотного генератора, собранного по схеме с трансформаторной обратной связью и настроенного на промежуточную частоту усилительных каскадов радиовещательных приемников.

Колебательный контур  $L_1 L_2 C_7$  взят от трансформатора ПЧ транзисторного приемника «Украина-201». Поскольку оба транзистора работают одновременно как в высокочастотных, так и в низкочастотных цепях пробника, то выходной сигнал оказывается промодулированным сигналом низкой частоты. Пробник генерирует богатые гармониками комбинированные ВЧ и НЧ колебания, позволяющие использовать его также и при проверке КВ приемников.

При налаживании пробника конденсатор  $C_2$  отключают и подбором резистора  $R_4$  добиваются устойчивой генерации ВЧ генератора. Подключив затем конденсатор  $C_2$  и замкнув катушку связи  $L_1$ , изменением емкостей конденсаторов  $C_2$  и  $C_4$  устанавливают частоту колебаний мультивибратора примерно 1 кГц, а подбором величины резистора  $R_3$  добиваются получения максимальной амплитуды выходного сигнала НЧ.

Более интересен пробник-генератор шума (рис. 27). Источником шумового сигнала является стабилитрон. Режим генерации шума устанавливают переменным резистором  $R_1$ . Генератор шума создает колебания от единиц килогерц до сотен мегагерц. На его базе построен простой генератор, весь диапазон которого разбит на шесть поддиапазонов: 100—300 кГц; 0,3—1; 1—3; 3—10 и 10—30 МГц. Перестройка в пределах каждого поддиапазона производится с помощью переменного конденсатора  $C_3$ . Максимальное выходное напряжение составляет единицы милливольт.

Введя в состав такого пробника простейший широкополосный усилитель на транзисторе (рис. 28), можно увеличить его выходное напряжение до десятков милливольт, что позволит производить не только проверку работоспособности ВЧ устройств, но и настройку отдельных каскадов. Катушки наматывают на цилиндрических каркасах диаметром 7,5 мм с подстроечными сердечниками типа СЦР-1. Именно на таких каркасах наматы-

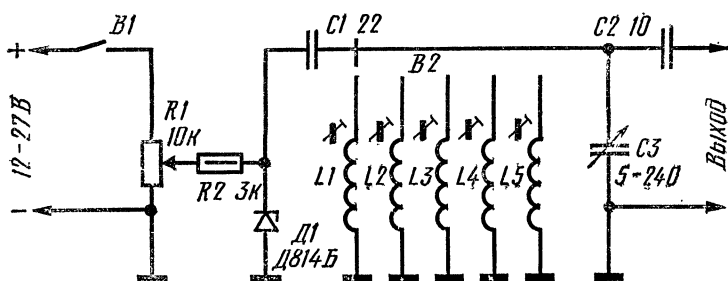


Рис. 27. Принципиальная схема простого пробника-генератора шума

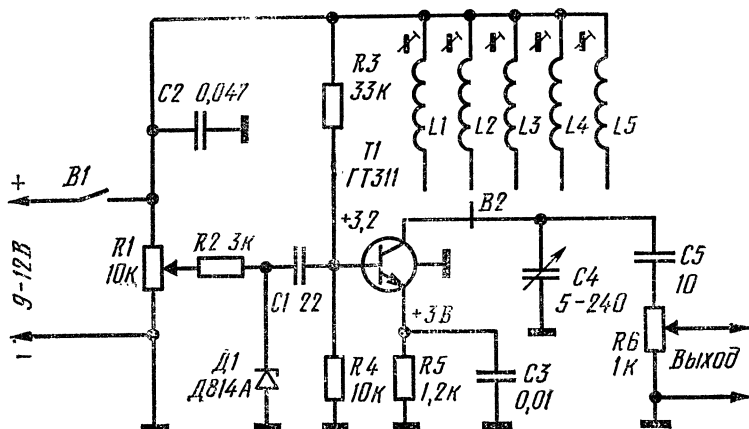


Рис. 28. Принципиальная схема пробника-генератора шума

вались катушки телевизоров старых выпусков. Катушка  $L1$  намотана внавал проводом ПЭЛШО 0,1 в двух секциях шириной 6—7 мм по 270 витков в каждой секции. Катушки  $L2$  и  $L3$  намотаны в одной секции проводом ПЭЛШО 0,12 и содержат соответственно 260 и 80 витков. Катушки  $L4$  и  $L5$  намотаны в один слой на тех же каркасах и содержат соответственно 30 и 10 витков провода ПЭВ-1 0,2.

Градуировку шкал пробника производят с помощью генератора сигналов, подключив к выходу генератора левую по схеме обкладку конденсатора  $C1$ , а параллель-

но переменному конденсатору — вольтметр высококачественного напряжения. Перестраивая генератор сигналов по частоте, с помощью переменного конденсатора настраивают контур пробника по максимуму показания вольтметра и делают соответствующие отметки на шкале генератора-пробника. Далее подключают источник шумового сигнала и генератор шума. Пробник готов к работе. В качестве переключателя поддиапазонов можно использовать галетный переключатель типа 5П1Н-ПМ. Если применить стабилизатор типа Д814А или КС168, то можно использовать батарею питания типа «Крона».

## 2. НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

В радиолюбительской практике наибольшее распространение получили звуковые генераторы с  $RC$  элементами в цепи положительной обратной связи, что объясняется относительной простотой схемы. Однако при разработке таких генераторов возникают определенные трудности, связанные с выбором деталей, с помощью которых будет осуществляться плавная перестройка частоты. В ламповых генераторах, как правило, для перестройки используется двоянный блок переменных конденсаторов с максимальной емкостью 500—1000 пФ. Применение же такого блока конденсаторов в генераторах, собранных на обычных транзисторах, затруднено из-за малого входного сопротивления каскада. Использование двоянных переменных резисторов для управления транзисторными генераторами тоже вызывает затруднения, ввиду того что эти резисторы имеют большие допуски не только по номинальному значению, но и по точности согласования между собой. Именно поэтому при изменении угла поворота значения обоих резисторов изменяются неодинаково, что приводит к большим колебаниям амплитуды генерируемого сигнала и даже к срыву колебаний. Понятно, что получить приемлемый коэффициент нелинейных искажений не удастся. Если во входных каскадах генератора стоят полевые транзисторы, обладающие большим входным сопротивлением, то в качестве элемента перестройки частоты можно применять блок переменных конденсаторов. Однако и в этом случае вопрос, связанный с получением малых нелиней-





ных искажений, остается открытым. Более просто обеспечить достаточно малые нелинейные искажения можно, конструируя генераторы низкой частоты, в которых используются биения частот двух высокочастотных генераторов.

Основные технические данные такого генератора (рис. 29) следующие. Рабочий диапазон 10 Гц—100 кГц, максимальное выходное напряжение 1 В. Это напряжение можно регулировать плавно и, кроме того, с помощью ступенчатого аттенюатора ослаблять в 10, 100 и 1000 раз (на 20, 40 и 60 дБ). Изменение амплитуды напряжения при изменении частоты генератора в указанном диапазоне не превышает 50, а нелинейные искажения не превышают 0,3%. Питается генератор от двух отдельных источников напряжением 9—15 В, потребляемый ток не превышает 25 мА.

Генератор состоит из двух высокочастотных генераторов (один из них настроен на фиксированную частоту, равную 1,0 МГц, а второй перестраивается в пределах 1,0—1,1 МГц), смесителя и усилителя разностной частоты. Оба генератора собраны по схеме емкостной трехточки на транзисторах  $T1$  и  $T2$ . Для получения повышенной стабильности генерируемых частот используется слабая связь контуров с коллекторами этих транзисторов, а сами транзисторы включены по постоянному току согласно схеме с общей базой. Оба генератора слабо связаны с кольцевыми смесителями, собранными на двух высокочастотных трансформаторах  $Tr1$  и  $Tr2$  и четырех диодах.

Первый каскад усилителя разностной частоты собран на транзисторе  $T3$  также по схеме с общей базой, что обеспечивает слабое влияние параметров этого транзистора на коэффициент усиления по переменному напряжению. На выходе каскада включен фильтр нижних частот с частотой среза 0,2 МГц. На выходе фильтра стоит регулятор уровня выходного сигнала  $R6$ . Оконечный каскад усилителя разностной частоты собран на транзисторе  $T4$  по схеме с общим коллектором. Ступенчатый аттенюатор состоит из резисторов  $R14$ — $R19$ .

Так как стабильность выходного напряжения достаточно высока, в звуковом генераторе отсутствует индикатор выходного напряжения. Плавную перестройку частоты производят переменным конденсатором  $C2$ , а

подстроечным конденсатором  $C_{11}$  устанавливают начало шкалы генератора по нулевым биениям.

В конструкции применены следующие детали. Все постоянные резисторы, за исключением резисторов ступенчатого аттенюатора, — типа МЛТ-0,25; резисторы, входящие в состав аттенюатора, — типа УЛИ с допуском не хуже 0,5%. Переменный резистор  $R_6$  — типа СПО-0,5. Электролитические конденсаторы — типа К50-6, конденсаторы постоянной емкости, входящие в состав колебательных контуров, — типа КСО, а остальные — типа К10-7В. В качестве переменного конденсатора  $C_2$  использован двоянный блок конденсаторов от радиоприемника «Альпинист», причем обе его секции включены параллельно.

Катушки генераторов намотаны на керамических каркасах диаметром 12 и длиной 50 мм, подстроечных сердечников они не имеют. Обе катушки содержат по 160 витков провода ПЭЛШО 0,15, отводы сделаны от 30-го и 72-го витков, считая от нижнего по схеме конца катушки. После намотки катушки покрываются полистироловым лаком. Трансформаторы кольцевого смесителя выполнены на ферритовых кольцах 600НН типоразмера  $K20 \times 12 \times 6$ . Первичные обмотки содержат 40 витков провода ПЭВ-1 0,12. Вторичная обмотка намотана тем же проводом и состоит из 20 витков с отводом от 10-го витка.

При изготовлении этого смесителя необходимо подобрать диоды с одинаковыми вольтамперными характеристиками. Вместо рекомендованных транзисторов типа МП416 можно с успехом применить транзисторы типов МП403, МП423, ГТ308 и ГТ309, а вместо диодов типа Д311 — диоды типов Д18 или Д20. Дроссели фильтра нижних частот намотаны на таких же ферритовых кольцах, что и трансформаторы кольцевого смесителя. Их обмотки состоят из 50 витков провода ПЭВ-1 0,1.

После проверки правильности монтажа приступают к налаживанию генератора звуковой частоты. Для этого отключают выходные обмотки трансформаторов кольцевого смесителя от диодов, подключают к одной из половин вторичной обмотки первого трансформатора вход усилителя вертикального отклонения электронно-лучевого осциллографа и подают питающие напряжения на первый генератор. Изменяя емкость конденсатора  $C_1$ ,

включенного в цепь положительной обратной связи генератора, добиваются устойчивой генерации генератора. Совершенно необязательно добиваться получения минимальной частоты, равной 1 МГц (она может отличаться, например, на  $\pm 10\%$ ), важно обеспечить ее изменение при изменении емкости переменного конденсатора от минимальной до максимальной на 100—105 кГц. Аналогично настраивают и второй генератор, обеспечивая возможность подстройки его частоты в пределах  $\pm 1$ —2 кГц относительно минимальной частоты первого генератора.

После этого переходят к проверке усилителя разностной частоты, для чего на его вход подают напряжение около 0,2 В с выхода звукового генератора, а к выходу усилителя подключают вход вертикального усилителя осциллографа. Изменяя частоту эталонного звукового генератора в пределах 10 Гц—100 кГц и поддерживая постоянное напряжение на его выходе, снимают амплитудно-частотную характеристику усилителя совместно с фильтром нижних частот. Она не должна отличаться от линейной более чем на 10%. В противном случае подбирают емкости фильтра *C14* и *C15*, а также шунтируют обмотки дросселей резисторами с сопротивлением не менее 10 кОм.

Окончив настройку усилителя разностной частоты, восстанавливают ранее отпаянные цепи, устанавливают минимальную частоту первого генератора и, вращая ротор подстроечного конденсатора *C11*, добиваются нулевых биений на экране осциллографа. Затем, изменяя частоту первого генератора высокой частоты, производят градуировку звукового генератора методом фигур Лиссажу. Далее устанавливают движок переменного резистора *R6* в верхнее по схеме положение и измеряют выходное напряжение генератора. Если оно окажется менее 1 В, то увеличивают сопротивление резистора *R5*, в противном случае его уменьшают.

Питание звукового генератора можно производить как от отдельного выпрямителя, так и от универсального, входящего в состав радиолюбительской лаборатории.

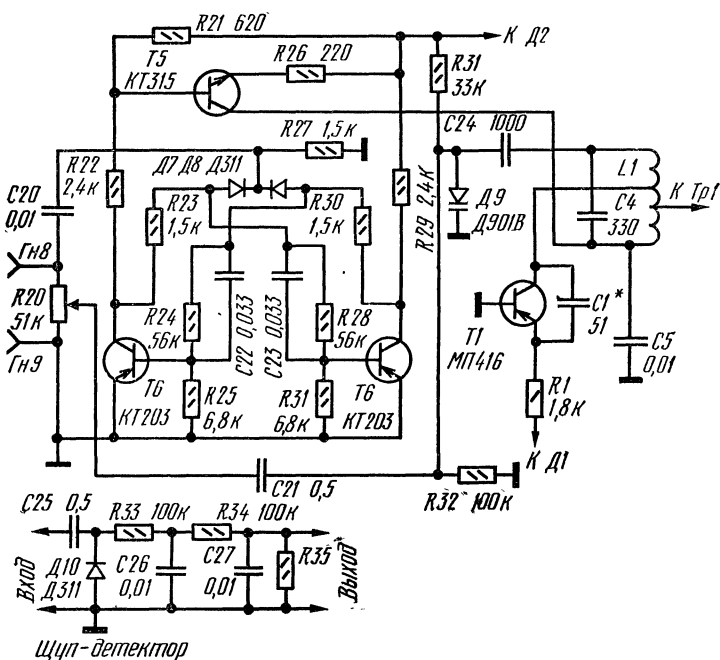


Рис. 30. Принципиальная схема генератора качающейся частоты для настройки усилителей низкой частоты

### 3. ГЕНЕРАТОР КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ НАЛАЖИВАНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

При конструировании и налаживании стереофонических магнитофонов и проигрывателей возникает необходимость в согласовании амплитудно-частотных характеристик левого и правого каналов. Значительно упростить процесс налаживания таких устройств можно лишь при наличии низкочастотного генератора качающейся частоты, который совместно с электроннолучевым осциллографом позволяет производить визуальное сравнение амплитудно-частотных характеристик обоих настраиваемых усилителей.

Предлагаемая конструкция генератора качающейся частоты (рис. 30) выполнена в виде приставки к элек-

троннолучевому осциллографу на базе генератора звуковой частоты. В принципиальную схему рассмотренного ранее генератора звуковой частоты (см. рис. 29) внесены следующие схемные добавления: изменены параметры контура генератора перестраиваемой частоты (увеличена индуктивность контура, вместо конденсатора переменной емкости введен варикап, уменьшена емкость конденсатора контура), дополнительно введен триггер со счетным входом на транзисторах  $T6$ — $T7$ , коммутатор на транзисторе  $T5$  и выносной щуп-детектор.

Основные технические данные приставки следующие: просматриваемый диапазон частот 10 Гц—25 кГц, выходное напряжение 0—1 В. Одновременно с изображением формы амплитудно-частотной характеристики на экране осциллографа индицируется и нулевая линия (ось абсцисс). Амплитуда пилообразного напряжения, снимаемого с генератора развертки осциллографа, составляет 10 В, частота—10—100 Гц. Питается приставка от двух источников напряжением 9—15 В, потребляемый ток не превышает 30—35 мА.

Напряжение с генератора развертки осциллографа подается на переменный резистор  $R20$  (нумерация деталей производится с учетом нумерации деталей на принципиальной схеме генератора звуковой частоты, рис. 29), являющийся регулятором глубины девиации частоты. Одновременно через дифференцирующую цепочку  $C20$   $R27$  импульсы отрицательной полярности поступают на счетный вход триггера. С части коллекторной нагрузки транзистора  $T6$  управляющий сигнал поступает на базу транзистора  $T5$ . Этот транзистор является коммутатором, управляющим работой генератора перестраиваемой частоты, собранного на транзисторе  $T1$ . Таким образом, в течение одного хода развертки генератор перестраивается по частоте, а в течение другого он закрыт за счет снятия напряжения с эмиттера транзистора  $T1$ . Это и позволяет высвечивать горизонтальную линию на экране осциллографа.

Перестройка частоты осуществляется с помощью варикапа  $D9$ , включенного в контур перестраиваемого генератора. Максимальная девиация частоты—25 кГц, что составляет около 4% от несущей частоты первого генератора. Из-за малого изменения частоты не требует-

ся дополнительной коррекции амплитуды колебаний перестраиваемого по частоте генератора. В остальном принцип работы генератора остается аналогичным ранее рассмотренному. Принципиальная схема щупа-детектора приведена на том же рисунке, что и принципиальная схема генератора качающейся частоты.

Число витков катушки генератора  $L1$  увеличено до 400 витков. Намотана она проводом ПЭЛШО-0,12, отводы сделаны от 75-го и 180-го витков, считая от нижнего по схеме вывода катушки. Детектор прибора выполнен в виде выносного щупа. Вместо кремниевого транзистора  $T5$  можно применить германиевые — типов МП35—МП38, а вместо  $T6$  и  $T7$  — МП40—МП42 с коэффициентом передачи тока  $B$  не менее 40. Настройка генератора качающейся частоты сводится к настройке перестраиваемого генератора на среднюю частоту, равную 1000 кГц. Установку частоты производят подбором емкости конденсатора  $C4$ . Максимальной девиации частоты добиваются установкой начального смещения на варикапе с помощью делителя напряжения  $R19$  и  $R32$ , а также подбором емкости конденсатора  $C26$ . В остальном порядок настройки, как и у генератора звуковых частот.

#### 4. ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ

Наличие генератора сигналов позволяет радиолюбителю успешно и с наименьшей затратой времени производить как ремонт промышленного, так и настройку самодельного приемника. Основными требованиями, предъявляемыми к таким генераторам, являются следующие: перекрываемый диапазон частот 150 кГц—12,7 МГц; установка частоты не хуже 2%; стабильность частоты не хуже 0,1%; установка выходного напряжения в пределах 1 мкВ—0,5 В; отсутствие влияния регулировок глубины амплитудной модуляции и уровня выходного сигнала на генерируемую частоту; отсутствие паразитного излучения.

Понятно, что указанный диапазон частот относится только к генераторам сигналов, предназначенным для настройки радиовещательных приемников без УКВ диапазона. Для настройки связных, а также телевизионных

и УКВ приемников необходимо либо расширить до нескольких десятков МГц верхний предел перестройки частоты, либо изготовить специальный генератор УКВ диапазона.

Генератор сигналов (рис. 31) имеет следующие технические данные. Диапазон перекрываемых частот от 150 кГц до 15 МГц разбит на пять поддиапазонов: 150—400; 400—1000 кГц; 1—2,5; 2,5—6; 6—15 МГц. Максимальное выходное напряжение на гнезде  $Gн1$ —1 В, а на гнезде  $Gн2$ —0,1 В; максимальная глубина модуляции от внутреннего генератора частотой 400 Гц не менее 90%, напряжение питания от двух источников  $\pm 11$ —15 В.

Выходное напряжение генератора можно устанавливать как грубо, ослабляя его в 10—100—1000—10 000—100 000 раз с помощью ступенчатого аттенуатора, так и плавно—с помощью регулятора уровня выхода. Глубину амплитудной модуляции также меняют плавно специальным регулятором. Индикатора уровня выходного сигнала в рассматриваемой конструкции нет, однако при желании радиолюбитель может его ввести и подключить к гнездам  $Gн1$  или  $Gн2$  генератора.

Задающий генератор собран на транзисторе  $T1$  по схеме емкостной трехточки. Для обеспечения высокой стабильности частоты применено неполное включение катушки контура в коллекторную цепь транзистора. Кроме того, для ослабления влияния параметров транзистора на стабильность частоты генератора питание его по постоянному току производится по схеме с общей базой. Положительная обратная связь между коллектором и эмиттером транзистора осуществляется с помощью одного из конденсаторов  $C1$ — $C5$  в зависимости от поддиапазона частот. Параллельно катушкам индуктивности для ограничения перекрытия частоты подключены конденсаторы  $C6$ — $C10$ . Напряжение высокой частоты с части витков контурных катушек подается на широкополосный усилитель, собранный на транзисторе  $T2$ . Этот усилитель одновременно является и модулирующим каскадом. Для обеспечения высокой стабильности усилителя высокой частоты транзистор  $T2$  по постоянному току включен по схеме с общей базой.

На транзисторе  $T3$  собран генератор звуковой частоты 400 Гц, а на транзисторе  $T4$ —модулятор генера-

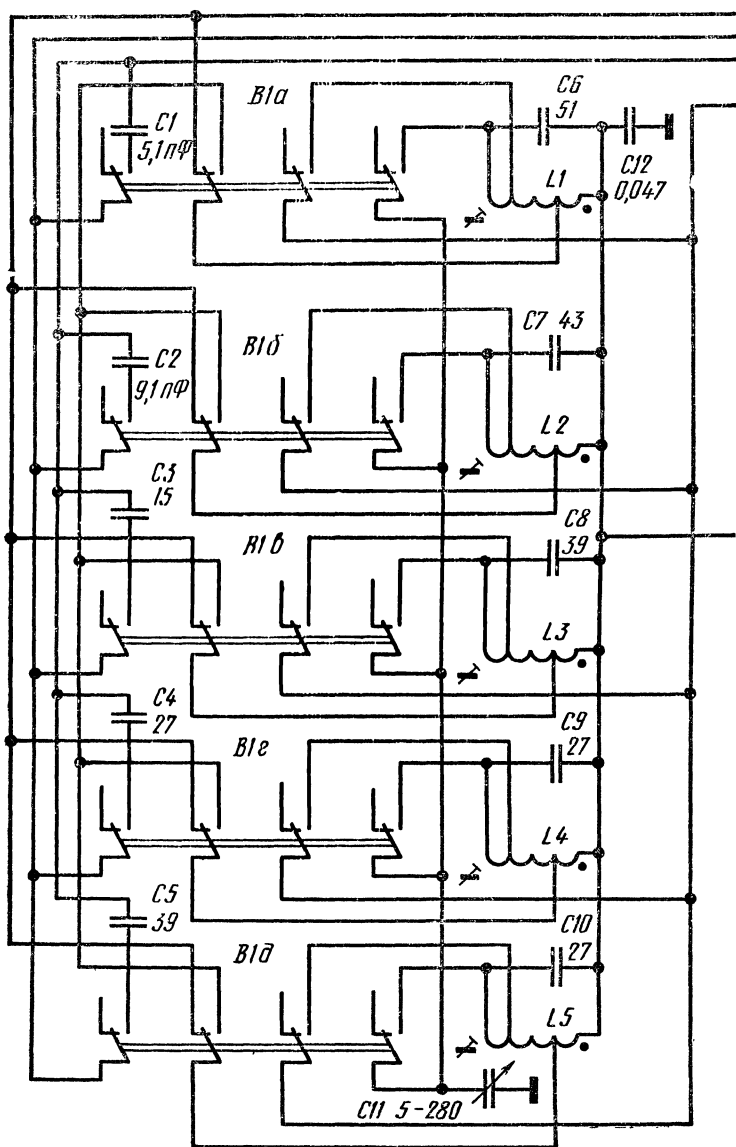
тора сигналов. Модуляция выходного каскада производится изменением напряжения коллекторной цепи транзистора  $T2$ . Подстроечным резистором  $R17$  устанавливают режим работы генератора звуковой частоты. Переменными резисторами  $R20$  и  $R10$  регулируют соответственно глубину модуляции и уровень выходного напряжения. Питаются генератор и модулятор от двух параметрических стабилизаторов напряжения, собранных на стабилитронах  $D1$  и  $D2$ .

В конструкции применены следующие детали. В качестве переключателя поддиапазонов в генераторе применен кнопочный переключатель типа П2К с пятью независимыми кнопками и с шагом 15 мм. Все постоянные резисторы — типа МЛТ-0,5 или 0,25, переменные резисторы — типа СПО-5, конденсаторы — типов КСО, КТ-1, К10-7В и К50-6. Транзисторы должны иметь коэффициент передачи тока не менее 30. Вместо транзисторов МП416 можно применить более распространенные транзисторы типов МП403, МП423, ГТ308 или ГТ309, а вместо транзисторов МП106—МП39—МП42. Вместо стабилитронов  $D1$  и  $D2$  — диоды Д809—Д810.

Дроссели  $Dp1$ ,  $Dp2$  и  $Dp3$  можно намотать на резисторах типа ВС-0,5 с номинальным сопротивлением не менее 510 кОм проводом ПЭВ-1 0,08 в один слой. Контурные катушки наматывают на каркасах диаметром 7,5 и длиной 45 мм (каркасы контуров унифицированных телевизоров УНТ 47/59) с сердечниками СЦР-1. Катушки  $L1$ ,  $L2$  и  $L3$  наматывают внавал в секциях шириной 7 мм проводом ПЭЛШО 0,12. Число витков первой катушки  $2 \times 260$ , отводы сделаны от 52-го и 130-го витков, считая от правого по схеме конца. Вторая катушка содержит  $2 \times 130$  витков, отводы сделаны от 26-го и 65-го витков. Катушка  $L3$ —80 витков (отводы от 8-го и 20-го витков). Остальные две катушки однослойные и состоят из 40 и 18 витков провода ПЭВ-1 диаметром соответственно 0,25 и 0,64 мм. Отводы катушек сделаны от 4-го и 12-го и от 2-го и 6-го витков.

Все элементы, входящие в состав генератора высокой частоты, включая и кнопочный переключатель, следует разместить в экране, изготовленном из латуни толщиной 0,4—0,5 мм. Ввод питающих напряжений и сигнала модуляции желательно осуществлять через проходные конденсаторы емкостью 3300—10 000 пФ. Если применены





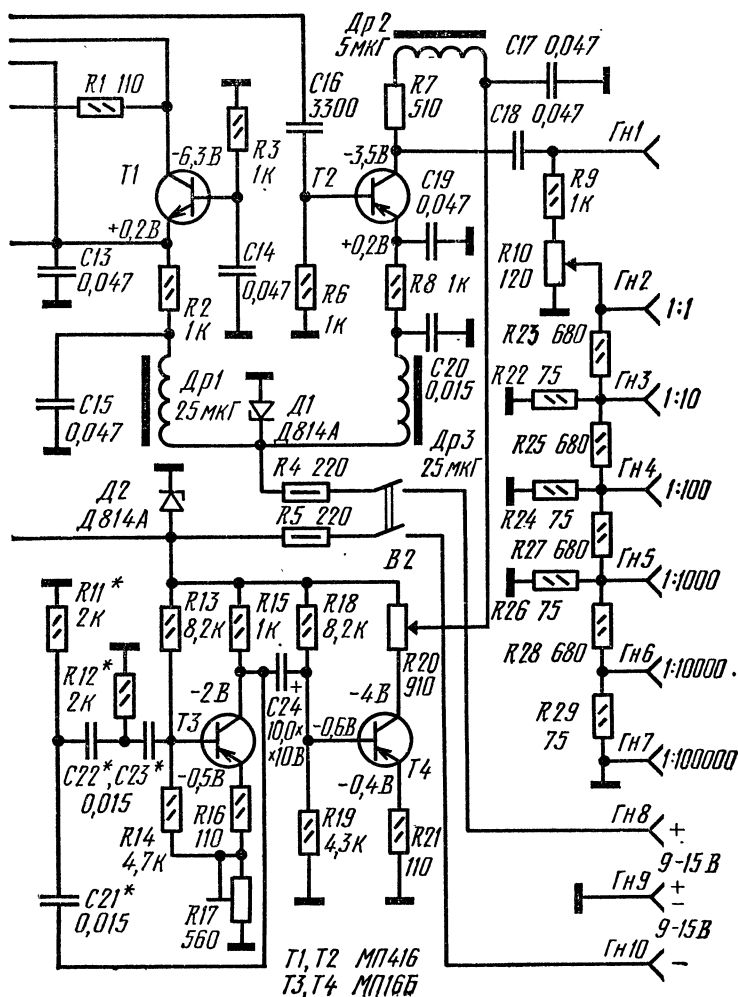


Рис. 31. Принципиальная схема генератора сигналов

заведомо исправные транзисторы с коэффициентом передачи тока не менее 30, а монтаж выполнен правильно, налаживание генератора сводится к установке границ частотных поддиапазонов, выравниванию амплитуд выходных сигналов на отдельных поддиапазонах,

установке модулирующего напряжения необходимой частоты и амплитуды. Кроме этого, следует проградуировать шкалы частоты и глубины модуляции.

Границы частотных поддиапазонов в области нижних частот устанавливаются вращением регулировочных сердечников, а области верхних — подбором емкостей конденсаторов, подключенных параллельно катушкам каждого поддиапазона частот. Подбирать емкости следует так, чтобы обеспечивалось перекрытие соседних поддиапазонов в пределах 2—3%. Для установки одинаковых амплитуд напряжений необходимо к базе транзистора  $T2$  подключить высокочастотный вольтметр и контролировать амплитуду сигнала при перестройке частоты в пределах каждого поддиапазона. Выравнивание амплитуды производят подбором емкостей конденсаторов, включенных в цепь положительной обратной связи. После проведения этих работ вольтметр подключают к гнезду  $Gн2$  выходного усилителя и измеряют амплитуду выходного сигнала при перестройке частоты на последнем, самом высокочастотном, поддиапазоне частот. Если с увеличением частоты амплитуда сигнала начинает резко падать, необходимо подобрать индуктивность катушки коррекции  $Dp2$ .

Установку границ частотных поддиапазонов можно проводить одновременно с градуировкой шкалы генератора сигналов одним из известных способов: либо с помощью эталонного сигнал-генератора по нулевым биениям или по фигурам Лиссажу, либо с помощью хорошего связанного приемника, прослушивая сигналы генератора.

Для налаживания генератора низкой частоты к коллектору транзистора  $T4$  подключают вход усилителя вертикального отклонения осциллографа и наблюдают форму колебаний на его экране. Движок регулятора глубины модуляции устанавливают в верхнее по принципиальной схеме положение. Изменяя сопротивление подстроечного резистора  $R17$ , добиваются неискаженной формы синусоидального напряжения. Выходное напряжение в этом случае должно быть не менее 1,8 В. Если частота отличается от 400 Гц, необходимо подобрать емкости конденсаторов  $C21—C23$  или сопротивления резисторов  $R11$  и  $R12$ . После этого электроннолучевой осциллограф подключают к гнезду  $Gн1$  генератора сигналов

и устанавливают частоту генератора около 1 МГц. Изменяя положение движка переменного резистора  $R18$ , измеряют глубину модуляции выходного сигнала по экрану осциллографа, пользуясь известным выражением для коэффициента модуляции:  $m = \frac{U_{\text{макс}} - U_{\text{мин}}}{U_{\text{макс}} + U_{\text{мин}}} \%$ .

Затем градуируют шкалу этого резистора. Если все резисторы, входящие в состав ступенчатого выносного аттенюатора, подобраны с точностью не менее 1—2%, то на этом налаживание генератора сигналов заканчивают.

## 5. ИЗМЕРИТЕЛЬ ДОБРОТНОСТИ КОНТУРОВ И МАЛЫХ ЕМКОСТЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ

Радиолобитель часто сталкивается с необходимостью определения добротности контуров с ферритовыми сердечниками, магнитная проницаемость которых неизвестна, или определения резонансной частоты готовых контуров. Для этого промышленность выпускает измерители добротности, принцип работы которых основан на резонансе последовательного контура. С помощью такого прибора добиваются, чтобы в исследуемом контуре протекал высокочастотный ток определенной величины, а затем с помощью высокоомного высокочастотного вольтметра измеряют напряжение на катушке контура.

Конструирование подобных измерителей в радиолобительской практике вызывает определенные трудности. Они связаны с необходимостью изготовления достаточно мощных генераторов высокой частоты и высокочастотных милливольтметров, предназначенных для измерения падения высокочастотного тока на эталонном безындуктивном резисторе, включенном последовательно с исследуемым контуром. Именно поэтому для радиолобителей представит большой интерес другой принцип измерения добротностей катушек.

Известно, что добротность катушки  $Q$  определяется из выражения:  $Q = \frac{\omega_0}{2\Delta\omega_0}$ , где  $\omega_0$  — резонансная круговая частота, а  $2\Delta\omega_0$  — разность круговых частот, при которой напряжение на контуре составляет 0,707 от максимума. С другой стороны, частота связана с параметрами контура при фиксированной величине емкости

следующим образом:  $\omega_0 = (LC_0)^{-1/2}$ . Производная от этого выражения по емкости оказывается равной:

$$d\omega_0 = -\frac{1}{2} (LC_0)^{-3/2} L dC_0.$$

После замены производных приращениями получим:

$$|\Delta\omega_0| = \frac{1}{2} (LC_0)^{-3/2} L \Delta C_0,$$

и окончательно выражение для определения добротности примет следующий вид:

$$Q = \frac{\omega_0}{2 \Delta\omega_0} = \frac{(LC_0)^{-1/2}}{2 \cdot \frac{1}{2} (LC_0)^{-3/2} L \Delta C_0} = \frac{C_0}{\Delta C_0}.$$

Таким образом, для измерения добротности катушки ее и последовательно включенный эталонный конденсатор переменной емкости необходимо подключить к выходу генератора сигналов, а параллельно конденсатору или катушке подсоединить высокочастотный вольтметр. Установив необходимую величину эталонной емкости, перестраивая частоту генератора до получения резонансной частоты. С помощью регулятора уровня выходного сигнала устанавливают такую величину сигнала, при которой показания вольтметра составляют, например, 1 В. Далее, увеличивая или уменьшая емкость эталонного конденсатора, добиваются показания вольтметра, равного 0,707 В. Отношение первоначальной величины емкости к ее приращению и определит значение добротности проверяемой катушки. С помощью измерителя добротности, работа которого основана на рассмотренном принципе, можно измерять индуктивность катушки, зная частоту и величину емкости; измерять малые значения емкостей конденсаторов; опытным путем определять необходимое число витков катушки для настройки контура на требуемую частоту или определять необходимую величину емкости для настройки уже имеющейся катушки на нужную частоту.

Измеритель добротности (рис. 32) состоит из генератора сигналов и высокочастотного вольтметра. Генератор собран по схеме индуктивной трехточки на интегральной микросхеме типа К2АЖ242 и имеет поддиапазоны: 120—180; 450—1800 кГц; 1,7—5,1; 5—15 МГц. Пе-



В измерителе применены следующие детали. Все резисторы — типа МЛТ-0,25, кроме резисторов  $R_{10}$  и  $R_9$ , в качестве которых применены соответственно резисторы типов УЛИ-0,5 и СПО-1,0. Конденсаторы постоянной емкости — типа К10-7В. В качестве переменных конденсаторов  $C_6$ ,  $C_{10}$  использованы переменные конденсаторы от приемника «Альпинист», причем обе секции в каждом конденсаторе включены параллельно, а в качестве конденсатора  $C_{11}$  применен подстроечный конденсатор с воздушным диэлектриком. Катушки  $L_1$  и  $L_2$  намотаны на ферритовых кольцах К10×6×4,5 типа 1000НМ. Первая состоит из 80 витков провода ПЭВ-2 0,16 с отводом от 18-го витка, считая от верхнего вывода катушки по схеме, а вторая — из 24 витков провода ПЭВ-2 0,41 с отводом от 5-го витка. Катушки  $L_3$  и  $L_4$  намотаны на ферритовых стержнях СС3,5×20 типа 600 НН. Катушка  $L_3$  содержит 30 витков провода ПЭВ-2 0,25 с отводом от 10-го витка, а катушка  $L_4$  — 9 витков провода 0,64 с отводом от 3-го витка. После подгонки индуктивностей в процессе налаживания генератора сигналов витки катушек закрепляют на сердечниках полистироловым клесм. Вместо интегральной микросхемы можно применить обычные резисторы, конденсаторы и транзисторы типа КТ315 с любой буквой ( $B$  не менее 30).

Налаживание генератора сигналов начинают с проверки режимов микросхемы по постоянному току. Напряжения на ее выводах устанавливают подбором резисторов  $R_6$  и  $R_7$ . После этого к точке подсоединения резисторов  $R_6$  и  $R_5$  подключают вход усилителя вертикального отклонения осциллографа, например, типа С1-20. Подав питающее напряжение, проверяют форму колебаний на каждом поддиапазоне генератора, производя перестройку частоты с помощью переменного конденсатора. Если форма колебаний отличается от синусоидальной и амплитуда колебаний изменяется в пределах каждого поддиапазона более чем на 20—30%, производят подбор конденсаторов  $C_1$ — $C_4$  и резисторов  $R_1$ — $R_4$  в цепи положительной обратной связи генератора. После этого измеряют крайние частоты колебаний на каждом поддиапазоне.

При наличии генератора сигналов частоту можно измерить либо с помощью простейшего индикатора нуле-

вых биений, либо методом фигур Лиссажу. Если эталонный осциллограф имеет калибратор длительности развертки, то крайние частоты поддиапазонов устанавливают непосредственно, измеряя их с помощью осциллографа. При этом ошибка измерений может достигать 10%. Верхние граничные частоты в случае необходимости устанавливают путем подключения параллельно той или иной катушке конденсаторов небольшой емкости, а нижние границы — путем изменения числа витков. Поэтому-то при намотке катушек число витков следует увеличить на 10%. Регулировать индуктивность катушек  $L3—L4$  можно не только путем отматывания части витков, но и изменяя расстояние между соседними витками.

Закончив подгонку крайних частот поддиапазонов, производят градуировку шкал, проверяют амплитуду выходного напряжения на верхнем по схеме конце резистора  $R9$ . Она не должна быть менее 1 В, в противном случае подбирают сопротивление резистора  $R8$ . После этого с помощью промышленного измерителя емкости или набора эталонных конденсаторов градуируют шкалы измерительных конденсаторов. Делают это следующим образом. После настройки вольтметра высокой частоты к гнездам  $Гн1$  и  $Гн2$  подключают катушку индуктивности с добротностью не менее 100, устанавливают переменные конденсаторы  $C10$  и  $C11$  в положение минимальной емкости и к гнездам  $Гн3$  и  $Гн4$  подключают эталонный конденсатор. Изменяя частоту генератора сигналов, добиваются получения резонанса. Затем отключают эталонный конденсатор и, увеличивая емкость одного или другого переменного конденсатора, вновь добиваются резонансной настройки контура. Благодаря этому емкость измерительного конденсатора оказывается равной емкости эталонного конденсатора.

Налаживание высокочастотного вольтметра сводится к подбору сопротивления резистора  $R17$  такой величины, которая позволяет получить максимальное отклонение стрелки измерительного прибора при подаче на гнезда  $Гн3$  и  $Гн4$  напряжения высокой частоты не более чем 50 мВ. В этом случае прибор будет обеспечивать измерение добротностей катушек начиная с 15—20 единиц. Затем напряжение высокой частоты уменьшают до уровня, составляющего 0,707 от первоначальной величины, и



делают соответствующую отметку на шкале стрелочного прибора. На этом налаживание измерителя добротности заканчивается. Для расширения возможностей прибора можно рекомендовать ввести в его состав выносной делитель выходного напряжения, что позволит пользоваться прибором как генератором сигналов, а высококачественным вольтметром можно пользоваться как индикатором при настройке различной радиоприемной аппаратуры.

## 6. ГЕНЕРАТОР КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ НАСТРОЙКИ УПЧ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Если у радиолюбителя есть электроннолучевой осциллограф, то нетрудно изготовить специальную приставку (рис. 33), с помощью которой достаточно быстро и наглядно можно производить настройку УПЧ радиовещательных приемников. Технические характеристики приставки (генератора качающейся частоты) следующие: диапазон перестройки частоты 400—490 кГц, девиация частоты 0,5—25 кГц, выходное напряжение устанавливается плавно от 0 до 1 В. Для получения максимальной девиации частоты на вход приставки (гнезда  $Gн1$  и  $Gн2$ ) подают напряжение горизонтальной развертки осциллографа с амплитудой 10 В и частотой повторения 10—100 Гц. Питается генератор от источника напряжением 10—15 В, потребляемый ток не превышает 15 мА. Именно поэтому питание приставки можно осуществлять и от блока питания осциллографа. В конструкции предусмотрен специальный вход для подключения генератора сигналов, что позволяет наблюдать на экране осциллографа частотную метку и с ее помощью определять полосу пропускания, например, настраиваемого фильтра промежуточной частоты.

Генератор качающейся частоты состоит из перестраиваемого генератора, собранного на транзисторах  $T2—T3$ , эмиттерного повторителя на транзисторе  $T1$ , предназначенного для согласования генератора пилообразного напряжения осциллографа с перестраиваемым генератором и смесителя на транзисторах  $T4—T5$ , на один из входов которого поступает напряжение качающейся частоты, а на другой — напряжение с ге-

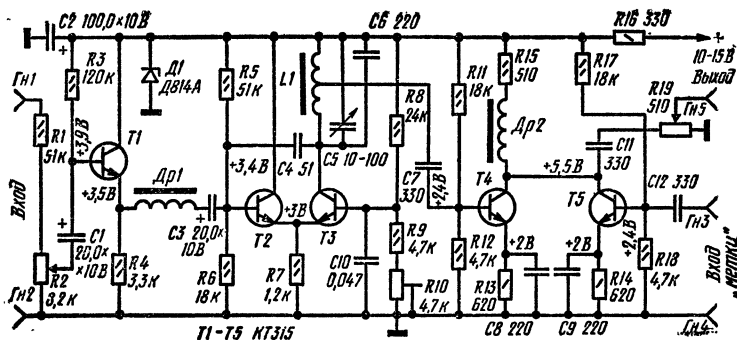


Рис. 33. Принципиальная схема генератора качающейся частоты для настройки УПЧ радиовещательных приемников

нератора стандартных сигналов. Задающий генератор собран по схеме каскад с общим коллектором — каскад с общей базой. Положительная обратная связь осуществляется с коллектора транзистора  $T3$  на базу транзистора  $T2$ . В коллекторную цепь транзистора  $T3$  включен резонансный контур  $L1C5C6$ . Катушка намотана на ферритовом кольце. При изменении тока коллектора меняется магнитная проницаемость ферритового сердечника и, следовательно, рабочая частота генератора.

С помощью подстроечного резистора  $R10$  производится установка начального тока коллектора транзистора  $T3$  около 3—3,5 мА. Напряжение пилообразной формы с выхода эмиттерного повторителя через дроссель  $Dp1$  поступает на базу транзистора  $T2$ . В соответствии с законом изменения модулирующего напряжения меняются ток транзисторов  $T2$  и  $T3$  и частота генератора. Переменным резистором  $R2$  устанавливают девиацию частоты. Смеситель собран на двух транзисторах по схеме с общим эмиттером и общей коллекторной нагрузкой. Установку уровня выходного сигнала производят переменным резистором  $R19$ . На вход плавающей метки необходимо подавать напряжение с выхода генератора сигналов величиной не менее 1 мВ.

Все транзисторы конструкции имеют коэффициент передачи тока не менее 40. Вместо рекомендованных транзисторов можно применить транзисторы типа КТ301, КТ312 или германиевые транзисторы типов МП401—

МП423, МП416, ГТ308. Однако в последнем случае необходимо изменить полярность питающего напряжения, полярность подключения электролитических конденсаторов и стабилитрона. Все постоянные резисторы — типа МЛТ-0,25, подстроечный резистор — типа СПЗ-16, переменные — СПО-0,5, электролитические конденсаторы — типа К50-6, остальные — типа К10-7в, КСО. Дроссели — типа ДМ-0,1. Катушка генератора намотана на ферритовом кольце 600НН типоразмером  $K20 \times 12 \times 6$  проводом ПЭВ-1 диаметром 0,15 и содержит 320 витков с отводом от 60-го витка, считая от верхнего по схеме вывода. В качестве переменного конденсатора использован переделанный подстроечный конденсатор с воздушным диэлектриком.

Налаживание генератора начинают с выбора режима работы задающего генератора. Для этого лучше всего в цепь коллектора транзистора *Т3* включить миллиамперметр на 10 мА и, изменяя смещение на базе этого транзистора, измерить частоту генератора, например по фигурам Лиссажу, и величину тока коллектора. На основании проведенных измерений строят зависимость частоты генератора от тока коллектора. На полученном графике, в середине линейного участка, выбирают рабочую точку генератора и устанавливают в соответствии с ней необходимое смещение на базе транзистора. Далее проверяют форму амплитудно-частотной характеристики смесителя. Она должна быть линейной в пределах 400—490 кГц, в противном случае следует подобрать индуктивность корректирующего дросселя *Др2*.

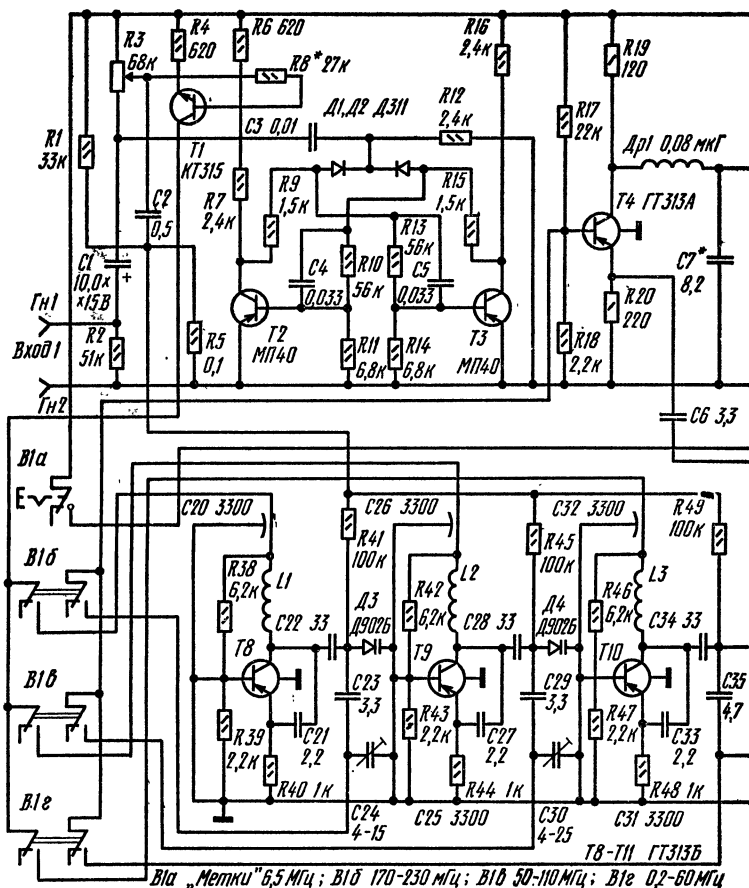
Затем, подав на вход приставки пилообразное напряжение с генератора развертки осциллографа и подключив к его входу, например, резонансный контур от промышленного радиоприемника, просматривают его резонансную характеристику на экране осциллографа. Схема выносного щупа-детектора на принципиальной схеме не показана. Его можно изготовить по схеме, приведенной на рис. 35. При желании диапазон перестройки генератора можно расширить, например, от 150 до 700—800 кГц. Тогда можно будет просматривать форму резонансной характеристики входных цепей приемников в диапазонах длинных и средних волн.

## 7. ГЕНЕРАТОР КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ И ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ

В последнее время в радиоловительской практике получили распространение генераторы качающейся частоты, предназначенные для настройки широкополосных усилителей как видео-, так и промежуточной частоты, включая и усилитель телевизионных приемников. Однако они, как правило, выполнены на лампах и обладают довольно большими габаритами и массой.

Рассматриваемый генератор качающейся частоты (рис. 34) в определенной мере свободен от этих недостатков. Его основные технические данные следующие. Весь просматриваемый диапазон частот разбит на три поддиапазона: 0,2—60; 50—110 и 170—230 МГц. Для настройки широкополосных усилителей в приборе предусмотрен вход так называемой плавающей частотной метки, а для настройки телевизионных приемников в его составе имеется генератор частотных меток, имеющих разнос, равный 6,5 МГц (разнос между несущими частотами изображения и звука). Максимальное выходное напряжение 0,1 В. Для проверки чувствительности имеется выносной ступенчатый аттенюатор, ослабляющий сигнал в 10, 100, 1000 раз. Девиация частоты регулируется плавно в пределах 0,5—15 МГц. Чувствительность по входу плавающей метки не хуже 5 мВ. Прибор выполнен в виде приставки к электроннолучевому осциллографу. Необходимая частота развертки около 50—200 Гц. Питается прибор от источника напряжением 9—12 В, потребляемый ток не превышает 60 мА.

Генератор качающейся частоты состоит из следующих основных узлов: трех генераторов фиксированных средних частот 120, 240 и 290 МГц, собранных на транзисторах  $T_8$ ,  $T_9$  и  $T_{10}$ ; генератора плавно перестраиваемой частоты в пределах 290—350 МГц, собранного на транзисторе  $T_{11}$ ; коммутатора, собранного на транзисторе  $T_1$ ; триггера со счетным входом на транзисторах  $T_2$  и  $T_3$ ; кварцевого калибратора на транзисторах  $T_{12}$  и  $T_{13}$ ; смесителя меток на диоде  $D_6$ ; усилителя меток на транзисторах  $T_{14}$  и  $T_{15}$ ; смесителя СВЧ сигналов, собранного на транзисторе  $T_4$ , и усилителя высокочастотного сигнала на транзисторах  $T_5$ — $T_7$ .



Для обеспечения значительного перекрытия частот в пределах каждого поддиапазона в рассматриваемой конструкции использован метод смешения сигналов двух генераторов, в одном из которых осуществляется частотная модуляция, а другой имеет плавную перестройку частоты. Для упрощения коммутации частотных поддиапазонов в конструкции применены три отдельных генератора с частотной модуляцией, выходы которых через соответствующие контакты кнопочного переключателя

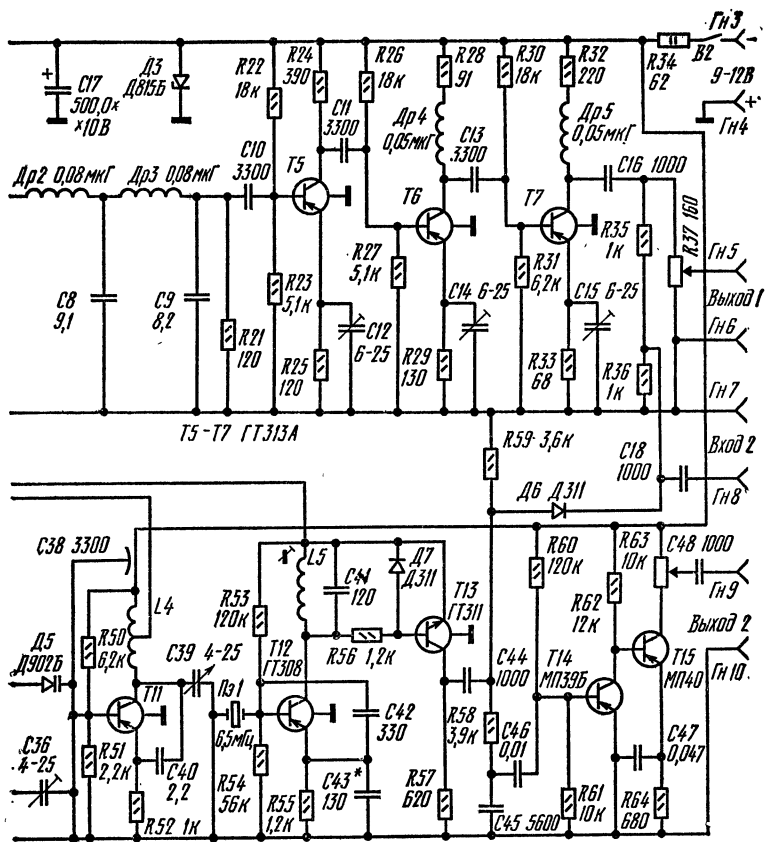


Рис. 34. Принципиальная схема генератора качающейся частоты для настройки широкополосных усилителей и телевизионных приемников

подключаются к одному из входов СВЧ смесителя. С того же переключателя подается питающее напряжение на определенный генератор. Средние частоты этих генераторов выбраны равными 120 МГц для работы в диапазоне 170—230 МГц, 240 МГц — для работы в диапазоне 50—110 МГц и 290 МГц для работы в диапазоне 0,2—60 МГц. Частота этих генераторов перестраивается с помощью варикапов (Д3—Д5), на которые поступает

напряжение перестройки от электроннолучевого осциллографа, в комплекте с которым прибор и должен работать.

Девияция частоты устанавливается с помощью переменного резистора  $R3$ . На нижний по схеме конец этого резистора (вход  $1$ , гнезда  $Гн1$ ,  $Гн2$ ) от осциллографа подается напряжение развертки с амплитудой 10 В и частотой 50—200 Гц.

На второй вход СВЧ смесителя, собранного на транзисторе  $T4$ , подается сигнал с выхода генератора, перестраиваемого в пределах 290—350 МГц и собранного на транзисторе  $T11$ . Разностная частота с выхода этого смесителя через фильтр верхних частот с частотой среза, равной 260 МГц, поступает на вход высокочастотного усилителя. Все генераторы СВЧ собраны по схеме емкостной трехточки. Питательное напряжение на генератор фиксированных частот подается через электронный коммутатор, собранный на транзисторе  $T1$  и управляемый триггером со счетным входом (транзисторы  $T2$  и  $T3$ ). Этот триггер периодически срабатывает от импульсов, поступающих через конденсатор  $C3$  во время обратного хода пилообразного напряжения генератора развертки осциллографа и управляет работой транзистора  $T1$ . Таким образом производится периодическое выключение соответствующего генератора фиксированной частоты и тем самым обеспечивается получение на экране осциллографа нулевой линии.

Для компенсации паразитной амплитудной модуляции, возникающей при изменении пилообразного напряжения, напряжение питания генератора изменяется по этому же закону за счет подачи части пилообразного напряжения через резистор  $R8$  на базу транзистора  $T1$ .

Усилитель высокочастотного сигнала собран на транзисторах  $T5$ — $T7$  по схеме с общим эмиттером. Для обеспечения линейной амплитудно-частотной характеристики в полосе 0,2—230 МГц в нем применена высокочастотная коррекция за счет подстроечных конденсаторов параллельно эмиттерным резисторам  $R25$ ,  $R29$  и  $R33$ , а также за счет корректирующих дросселей  $Др4$  и  $Др5$ , включенных в коллекторные цепи транзисторов  $T6$  и  $T7$ . Общий коэффициент усиления составляет 10—15 в зависимости от тщательности настройки усилителя при налаживании. Усиленный сигнал поступает на регулятор

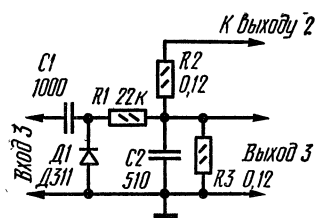


Рис. 35. Принципиальная схема выносного щупа-детектора

выходного сигнала (резистор  $R37$ ) и через резистор  $R35$  на смеситель меток (диод  $D6$ ). На этот же диод подают СВЧ сигнал от внешнего индикатора сигналов (вход 2, гнезда  $Гн7, Гн8$ ).

На транзисторе  $T12$  собран кварцевый генератор частотой 6,5 МГц. Его напряжение поступает на усилитель-ограничитель, собранный на диоде  $D7$  и транзисторе  $T13$ . Это сделано с целью расширения спектра выходного сигнала вплоть до 300 МГц. Напряжение частотных меток подается на смеситель меток, выполненный на диоде  $D6$ . На этом смесителе при совпадении текущей частоты генератора качающейся частоты и частот, кратных 6,5 МГц, выделяются биения, поступающие на вход двухкаскадного усилителя меток, собранного на транзисторах  $T14$  и  $T15$ . Его полоса пропускания — 1—20 кГц. Напряжение частотных меток с переменного резистора  $R63$  (выход 2, гнезда  $Гн9, Гн10$ ) поступает на вход усилителя вертикального отклонения осциллографа. Туда же подается огибающая сигнала с выносного СВЧ детектора (рис. 35), подключенного к выходу проверяемого усилителя или телевизионного приемника.

В конструкции генератора качающейся частоты применены следующие детали. Переключатель рода работы  $B1$  — кнопочный, типа П2-К, с тремя зависимыми и одной независимой кнопками, с шагом 10 мм. Транзисторы генераторов, СВЧ смесителя и высокочастотного усилителя имеют величину модуля коэффициента передачи тока на частоте 100 МГц не менее 3. Все остальные транзисторы можно применять с коэффициентом передачи тока  $B$ , равным 30—80. Вместо транзисторов типа МП40 можно применить любые низкочастотные транзисторы такой же проводимости, а вместо транзисторов типов КТ315 и ГТ308 — соответственно транзисторы типов КТ301, КТ312 и МП401—МП403. Диоды типа Д311



можно заменить германиевыми диодами типа Д18 или Д20. Все постоянные резисторы — типа МЛТ-0,25, а переменные — типа СПО-0,5. Варикапы типа Д902Б можно заменить варикапами типов Д902 с любыми буквами или Д901. Однако при этой замене необходимо произвести подбор конденсаторов С22, С28 и С34.

Катушки L1—L4 — бескаркасные. Катушки L1, L2 и L3 намотаны на оправках диаметром 5 мм посеребренным проводом диаметром 0,8 мм с шагом 1,5 мм. Первая катушка содержит 6 витков, вторая — 4 и третья — 3 витка. Отводы сделаны от середины. Катушка L4 содержит 2 витка посеребренного провода диаметром 1,0 мм. Намотана она на оправке диаметром 8 мм. Шаг намотки — 3 мм. Катушки фильтра нижних частот намотаны проводом ПЭВ-1 0,5 на оправках диаметром 4 мм и содержат по 12 витков. Корректирующие дроссели Др4 и Др5 намотаны проводом ПЭВ-1 0,2 на резисторах МЛТ-0,5 номиналом не менее 100 кОм и содержат по 15 витков.

Катушка L5 содержит 60 витков провода ПЭЛШО 0,12, намотана на каркас диаметром 7,5 мм внавал в секции шириной 4 мм, настройку осуществляют с помощью стандартного подстроечного карбонильного сердечника. Конденсаторы постоянной емкости — типов МБМ в низкочастотных цепях и КЛС, КСО и К10-7В в высокочастотных. Подстроечные конденсаторы — типа КПК-1М, переменный конденсатор С39 изготовлен из подстроечного конденсатора с воздушным диэлектриком. Каждый генератор с входящими в его состав деталями необходимо заключить в индивидуальный экран, изготовленный из латуни толщиной 0,4—0,5 мм. Проходные и блокировочные конденсаторы — типа КЛС. Выводной пробник, служащий для подключения осциллографа к измеряемой цепи, выполнен в пластмассовом корпусе от обычной шариковой авторучки. Вместо диода Д311 можно применить диод типа Д18 или Д20.

Налаживание прибора сводится к настройке генераторов на требуемые частоты и к получению требуемой девиации частоты. Установку средних частот производят с помощью эталонного УКВ сигнал-генератора по нулевым биениям. Частоты генераторов подгоняют изменением расстояния между соседними витками катушек. Одновременно, пользуясь высокочастотным вольтмет-

ром, устанавливают напряжение на базе транзистора  $T_4$  около 30 мВ. Делают это с помощью полупеременных конденсаторов  $C_{23}$ ,  $C_{29}$  и  $C_{35}$ , после чего снова контролируют средние частоты генераторов. Изменяя расстояние между витками катушки  $L_4$ , устанавливают нижнюю частоту плавного генератора. Переменный конденсатор  $C_{39}$  должен находиться в положении максимальной емкости. Если при переводе ротора этого конденсатора в положение, соответствующее минимальной емкости, рабочая частота будет значительно выше 350 МГц, то либо подгибают пластины конденсатора, либо параллельно катушке подключают конденсатор небольшой емкости и снова устанавливают частоту на нижнем пределе.

Перед настройкой генераторов желательно подобрать три варикапа с одинаковыми параметрами, а именно: начальная емкость при обратном напряжении около 5 В должна составлять 19—20 пФ, а при напряжении 8 В — 11—12 пФ.

После установки требуемых частот генераторов переходят к настройке высокочастотного усилителя. Для этого отключают дроссель  $Dr_3$  от конденсатора  $C_{10}$  и подключают к последнему выход генератора сигналов. К выходу усилителя подключают высокочастотный вольтметр и снимают амплитудно-частотную характеристику усилителя. Если в амплитудно-частотной характеристике в области 100—230 МГц имеется завал, производят подбор индуктивностей дросселей коррекции  $Dr_4$  и  $Dr_5$ , а также емкостей подстроечных конденсаторов  $C_{12}$ ,  $C_{14}$  и  $C_{15}$ , включенных в эмиттерные цепи транзисторов усилителя. Усилитель можно считать полностью настроенным, если неравномерность амплитудно-частотной характеристики во всем диапазоне частот не превышает  $\pm 6$  дБ.

После этого включают поддиапазон 0,2—60 МГц, устанавливают среднюю частоту около 8 МГц и девиацию 10 МГц, подключают к выходу высокочастотного усилителя вход усилителя вертикального отклонения осциллографа с полосой пропускания не менее 15—20 МГц. Генератор качающейся частоты должен работать со своим электроннолучевым осциллографом. Наблюдая форму огибающей на экране дополнительного осциллографа, подбирая сопротивление резистора  $R_8$ ,

добиваются минимальной величины паразитной амплитудной модуляции.

Налаживая кварцевый генератор на транзисторе *T12*, контур *L5 C41* настраивают с помощью подстроечного сердечника на частоту 6,5 МГц (по максимуму напряжения).

Проверку функционирования остальных узлов прибора производят в следующей последовательности. Подключают к выходу прибора, например ФСС (фильтр сосредоточенной селекции) телевизора, а к его выходу — высокочастотный пробник. Устанавливают кнопочный переключатель ГЧК в положение «0,2—60 МГц», вращая ротор переменного конденсатора *C39*, добиваются получения на экране осциллографа изображения амплитудно-частотной характеристики ФСС. Включают генератор меток и, изменяя напряжение меток с помощью переменного резистора *R63*, наблюдают появление двух меток на скатах амплитудно-частотной характеристики ФСС. Затем к входу 2 подключают выход генератора сигналов, устанавливают напряжение выходного сигнала около 5—10 мВ и, перестраивая частоту этого генератора в диапазоне 30—40 МГц, наблюдают передвижение метки по амплитудно-частотной характеристике ФСС.

## 8. СТЕРЕОГЕНЕРАТОР ДЛЯ НАСТРОЙКИ СТЕРЕОДЕТЕКТОРОВ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Одним из наиболее сложных устройств современного стереофонического приемника, от качества настройки которого зависят основные показатели этого приемника, является стереодетектор. Без специального генератора комплексного сигнала произвести настройку такого детектора практически невозможно. Обычно перед началом стереопередачи такой сигнал вещательные радиостанции передают, но времени его передачи явно недостаточно для проведения регулировки и настройки стереодетектора. За этот промежуток удается только установить баланс между каналами заведомо хорошо настроенного стереодетектора. Работу, связанную с настройкой таких детекторов, значительно облегчит генератор, полностью

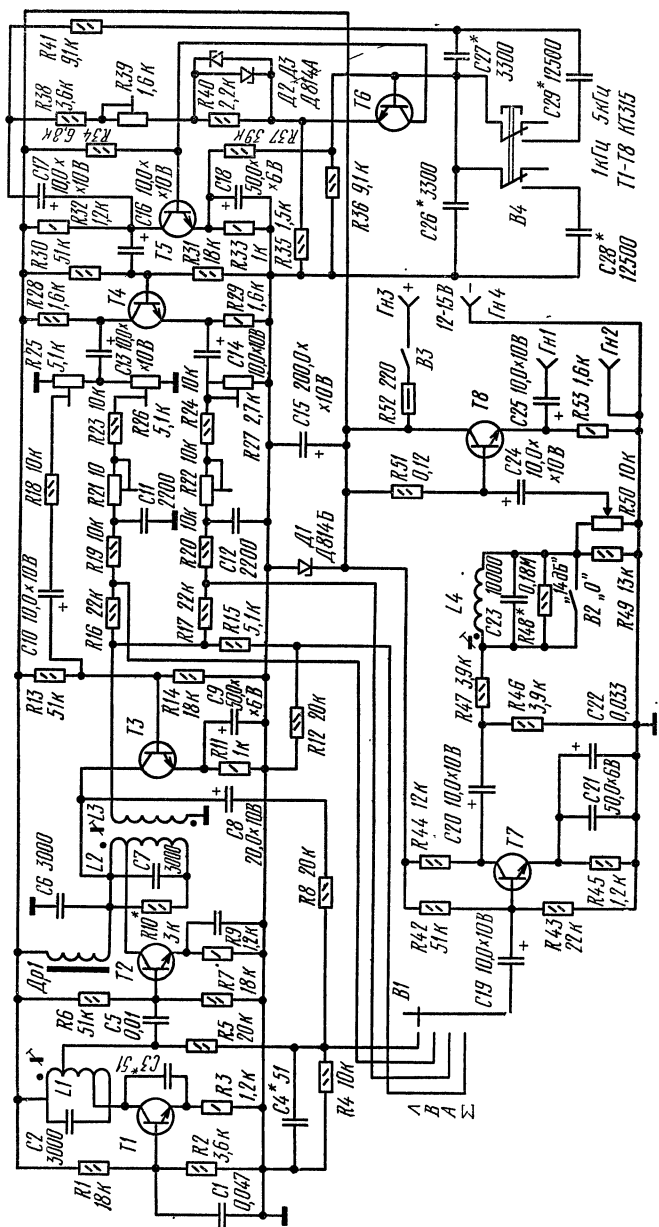


Рис. 36. Принципиальная схема генератора комплексного сигнала для настройки стереодетекторов

выполненный на полупроводниковых приборах. Предлагаемая конструкция позволяет получить колебания, имитирующие передачу суммарного и разностного стереофонических сигналов, а также сигналов левого и правого каналов в отдельности. При желании можно в его состав включить СВЧ генератор и получить с его помощью стереосигнал, соответствующий сигналу, излучаемому радиостанцией при стереофоническом УКВ-ЧМ вещании.

Стереогенератор (рис. 36) обеспечивает получение уровня комплексного сигнала 1 В. Переходные затухания на частоте 1000 Гц — не хуже 25 дБ, а на частоте 5000 Гц — не хуже 20 дБ. Нелинейные искажения при сумме сигналов левого и правого каналов — не более 2%, а при разности сигналов — не более 5%.

Генератор звуковой частоты 1000 и 5000 Гц собран на транзисторах *T6*, *T5*. Переключение с одной частоты на другую производится с помощью переключателя *B4*. Напряжение звуковой частоты поступает на парафазный усилитель, собранный на транзисторе *T4*. Равные по амплитуде и противоположные по фазе напряжения звуковой частоты, снимаемые с эмиттерной и коллекторной нагрузок, подаются на два сумматора, собранные на резисторах *R16*, *R19*, *R21*, *R23* и *R17*, *R20*, *R22*, *R24*. На транзисторе *T1* работает генератор поднесущей частоты. Для упрощения конструкции генератор собран по схеме емкостной трехточки. Конечно, более желательно было бы применение кварцевого генератора, однако равенство второй гармоники генератора строчной развертки телевизора и поднесущей частоты представляет возможность периодической калибровки генератора, например, с помощью электроннолучевого осциллографа по фигурам Лиссажу. Для повышения стабильности генерируемой частоты применена слабая связь контура с транзистором.

На транзисторе *T2* собран амплитудный модулятор поднесущей частоты. С целью обеспечения требуемой полосы пропускания катушка контура модулятора зашунтирована резистором *R10* с небольшим сопротивлением. Сигнал поднесущей частоты с катушки связи модулятора подается на суммирующее устройство. Напряжение звуковой частоты поступает на модулятор с предварительного усилителя низкой частоты, собранного на транзисторе *T3*. Требуемая глубина модуляции подне-

сущей частоты достигается подстроечным резистором *R25*.

Просуммированные сигналы через переключатель *B1* поступают на выходной усилитель прибора. После усиления полярные сигналы подаются на схему частичного подавления поднесущей частоты, в состав которой входят резисторы *R46*, *R47*, *R49*, *R50* и контур *L4 C23 L48*. Комплексный сигнал снимается с движка переменного резистора *R50* и подается на выход через эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе *T8*.

Напряжение, имитирующее суммарный сигнал, поступает на переключатель *B1* с сумматора звуковой и поднесущей частот, собранного на резисторах *R5*, *R8* и *R4*. С помощью конденсатора *C4* производится согласование амплитудно-частотной характеристики этого сумматора. Напряжение, имитирующее разностный сигнал, поступает на переключатель *B1* с выхода амплитудного модулятора (*L3*).

Катушки генератора поднесущей частоты и модулятора намотаны на кольцевых ферритовых сердечниках 600НН К12×6×3. Катушка *L1* содержит 200 витков провода ПЭВ-1 0,12 с отводами от 20-го и 60-го витков, считая с верхнего по схеме вывода катушки. Катушка контура модулятора содержит столько же витков, а катушка связи — 30 витков того же провода. Отвод катушки модулятора сделан от 60-го витка. При налаживании подбирают сопротивление резистора *R10* для обеспечения добротности, равной 3—5.

Катушка контура частичного подавления поднесущей частоты *L4* намотана на тороидальном сердечнике 600НН К20×12×5 и состоит из 100 витков провода ПЭШО-1 0,25. Ее индуктивность должна быть равна 2,6 мГ при емкости конденсатора *C23* 10 000 пФ. Любое отклонение от этого требования приводит к расхождению фазовых характеристик контура подавления поднесущей частоты и контура ее восстановления в стереодетекторе радиовещательного приемника. Это расхождение влечет за собой ухудшение переходных затуханий сквозного стереотракта и уменьшение стереофонического эффекта. Сумма сопротивлений резисторов *R46*, *R47* и *R49* с учетом влияния выходного сопротивления транзистора *T7* и переменного резистора *R50* должна находиться в пределах  $12,6 \pm 0,3$  кОм. Первоначальная добротность

этого контура должна быть не менее 110—130, результирующая добротность — 100. Только в этом случае можно обеспечить подавление поднесущей частоты на  $14 \pm \pm 0,2$  дБ, как того требует ГОСТ.

Вместо указанных транзисторов можно применить кремниевые транзисторы типов КТ301 и КТ312 с любыми буквами и коэффициентом  $B$  не менее 30. Все постоянные резисторы — типа МЛТ-0,25, подстроечные резисторы — типа СПЗ-16, а переменный  $R50$  — типа СПО-0,5. Электролитические конденсаторы — типа К50-6, а постоянные, кроме тех, которые входят в состав колебательных контуров, — типов МБМ или К10-7В. В качестве конденсаторов колебательных контуров желательнее использовать конденсаторы типа КСО. Переключателем  $B1$  служит галетный переключатель типа 4П1Н-ПМ, выключателями  $B2$  и  $B3$  — микровыключатели типа МТ-1, а переключателем  $B4$  — МТ-2. Обмотка дросселя  $Dp1$  состоит из 1000—1200 витков провода ПЭВ-1 0,1, намотанного на сердечнике типа Ш8×8. Вместо дросселя можно использовать первичную обмотку согласующего трансформатора от транзисторных малогабаритных приемников.

Налаживание стереогенератора начинают с проверки работы генераторов звуковой и поднесущей частот. Частота генерируемых колебаний генератора звуковых частот зависит от параметров частотно-задающей цепочки  $C27$ ,  $C29$ ,  $R41$ ,  $C26$ ,  $C28$  и  $R36$ . Для обеспечения стабильной работы сопротивления и емкости указанных резисторов и конденсаторов должны отличаться друг от друга не более чем на 2%. Отличительной особенностью генератора звуковой частоты является использование в цепи отрицательной обратной связи цепочки  $R40D2$  и  $D3$  вместо терморезистора.

Вольтметр или осциллограф поочередно подключают к движкам подстроечных резисторов  $R26$ ,  $R27$  и устанавливают на них напряжения, равные 1 В на частоте 1 кГц. Затем осциллограф подключают к движку переключателя  $B1$  и устанавливают его в положение  $A$  или  $B$ . Если генератор поднесущей частоты работает нормально, то, вращая движки подстроечных резисторов  $R27$  при положении переключателя  $B1$  в  $A$  или  $R26$  при положении этого переключателя в  $B$ , добиваются получения на экране осциллографа колебаний с односторон-

ней модуляцией. Далее устанавливают частоту звукового генератора, равную 5000 Гц, и с помощью подстроечных резисторов  $R_{21}$  и  $R_{22}$  добиваются получения такого же изображения. Если при этом не удастся получить одностороннюю модуляцию, то необходимо увеличить шунтирование контура модулятора, уменьшив сопротивление резистора  $R_{10}$ . Желательно подстроечным резистором  $R_{25}$  предварительно установить глубину амплитудной модуляции поднесущей частоты около 70—80%.

После этого снимают питающее напряжение со звукового генератора и подключают вольтметр высокочастотного напряжения к выходу стереогенератора, установив переменный резистор  $R_{50}$  в положение максимальной передачи. Переключатель  $B_2$  ставят в положение «выключено» («14 дБ») и, вращая сердечник контура  $L_4$ , добиваются минимально возможного напряжения на выходе. Переключатель  $B_2$  переводят в положение «включено» («0 дБ») и с помощью движка регулятора уровня комплексного сигнала  $R_{50}$  устанавливают стрелку вольтметра на 0,5 В. Затем переключатель  $B_2$  вновь переводят в первоначальное положение («14 дБ»). Если стрелка вольтметра не покажет напряжение 0,096 В, то необходимо подобрать сопротивление резистора  $R_{48}$ , с помощью которого производится шунтирование контура подавления поднесущей частоты.

Чем тщательнее произведена настройка стереогенератора, тем легче получить хорошие результаты при настройке стереофонических приемников. Особенно хороши эти результаты в случае настройки стереодетекторов, собранных по схеме полярных детекторов с регулировкой компенсации переходных (между каналами) затуханий. Как уже отмечалось, кварцевая стабилизация генератора поднесущей частоты дает еще лучшие результаты. Для этого используют кварцевый резонатор, настроенный на частоту либо 31, 25 кГц, либо на 15, 625 кГц — частоту строчной развертки современного телевизора. Во втором случае задающий генератор поднесущей частоты необходимо перевести в режим удвоенной частоты.



## Глава IV

### ИЗМЕРИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

#### 1. ПРОСТЕЙШИЕ ГЕТЕРОДИННЫЕ ИНДИКАТОРЫ РЕЗОНАНСА

В радиолюбительской практике большое распространение получили различные варианты гетеродинных индикаторов резонанса (ГИР), которые значительно облегчают наладочные и настроечные работы в радиоприемных устройствах. Особое предпочтение отдается малогабаритным приборам, выполненным на транзисторах: они содержат малое количество деталей и могут быть изготовлены начинающими радиолюбителями. Рассмотрим принцип работы такого гетеродинного индикатора резонанса на примере практической конструкции, принципиальная схема которой приведена на рис. 37.

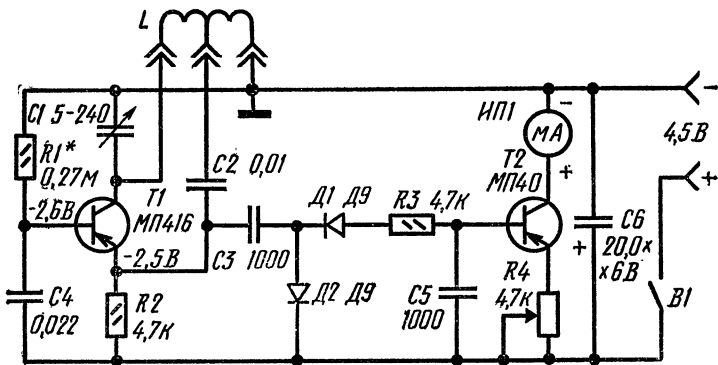


Рис. 37. Принципиальная схема простого гетеродинного индикатора резонанса

Высокочастотный генератор, собранный на транзисторе  $T1$ , настраивается на ту или иную частоту с помощью переменного конденсатора  $C1$  (к прибору подключена одна из катушек). Высокочастотные колебания сначала детектируются детектором, собранным по схеме удвоения напряжения на диодах  $D1$  и  $D2$ , а затем усиливаются однокаскадным усилителем постоянного тока, выполненным на транзисторе  $T2$ . В коллекторную цепь этого транзистора включен стрелочный индикатор. При наличии колебаний стрелка индикатора отклоняется на угол, зависящий от амплитуды высокочастотного сигнала и положения движка переменного резистора  $R4$ .

При перестройке частоты показания индикатора, как правило, несколько меняются. Однако если катушку контура гетеродинного индикатора резонанса связать индуктивно с каким-нибудь иным контуром, то при настройке на частоту, совпадающую с собственной частотой испытываемого контура, наблюдается заметное поглощение энергии, которое фиксируется индикатором по резкому спаду отклонения стрелки. Таким образом, поворотом ручки переменного конденсатора, снабженного шкалой, градуированной по частоте, легко определить резонансную частоту испытываемого контура.

Как видно из принципиальной схемы, транзистор генератора включен по схеме с общей базой. Обратная связь, необходимая для возникновения генерации, подается на эмиттер транзистора через конденсатор  $C2$  с отвода катушки. Смещение на базу транзистора поступает с резистора  $R1$ , блокировка по высокой частоте осуществляется с помощью конденсатора  $C4$ .

Второй транзистор работает в режиме усиления постоянного тока. Начальное смещение на его базу не подается, и через стрелочный индикатор протекает только начальный ток коллектора. Величина усиления этого каскада регулируется с помощью переменного резистора  $R4$ , включенного в эмиттерную цепь транзистора, что позволяет независимо от амплитуды генерируемых колебаний устанавливать стрелку индикатора на любое деление шкалы, удобное для производства измерений.

Если в схему ввести выключатель для отключения коллекторной цепи транзистора  $T1$  от катушки, то прибор превращается в простейший волномер. В этом случае, пользуясь шкалой переменного конденсатора и свя-

зывая индуктивно катушку прибора с контуром, например, гетеродина настраиваемого приемника, можно будет определять частоту генерации проверяемого гетеродина приемника по максимальному отклонению стрелки индикатора.

Для нормальной работы гетеродина во всем диапазоне частот необходимо подобрать транзистор со статическим коэффициентом передачи тока не менее 60 и положение отвода в катушках индуктивности. Наиболее целесообразно сделать отвод от 25—30% общего числа витков катушки. Для перекрытия рабочего диапазона частот 150 кГц—15 МГц в приборе применено 7 сменных катушек, каждая из которых перекрывает свой поддиапазон: 150—300, 300—600, 600—1200 кГц, 1—2, 2—4, 4—8 и 8—15 МГц. В качестве каркасов катушек целесообразно использовать стандартные каркасы от катушек телевизионных приемников, имеющих внешний диаметр 7,5 мм и подстроечные карбонильные сердечники диаметром 6 мм.

Катушка первого поддиапазона намотана проводом ПЭЛШО 0,1 внавал, ширина 10 мм и содержит 280 витков с отводом от 80-го витка. Катушка второго поддиапазона — проводом ПЭЛШО 0,15 внавал, ширина 8 мм и содержит 160 витков с отводом от 50-го витка. Третья катушка — проводом ПЭЛШО 0,25 так же, как и вторая, и содержит 100 витков с отводом от 30-го. Четвертая катушка намотана проводом ПЭЛШО 0,25 в один слой и содержит 60 витков с отводом от 18-го витка. Пятая — 30 витков того же провода с отводом от 8-го витка. Шестая и седьмая катушки содержат соответственно 16 и 8 витков провода ПЭВ-1 0,35 и имеют отводы от 5-го и 3-го витков. Намотанные катушки укрепляют на специальные колодки, с помощью которых их подключают к схеме гетеродина. Для удобства настройки катушек желательно параллельно им подключить подстроечные конденсаторы типа КПКМ-1 4—25 пФ.

Можно применить переменный конденсатор любого типа, например, от промышленных карманных или переносных приемников с максимальной емкостью 280—450 пФ. Более стабильно ГИР будет работать при использовании переменного конденсатора с воздушным диэлектриком. В качестве транзистора  $T_2$  можно применить любой низкочастотный транзистор с коэффициентом

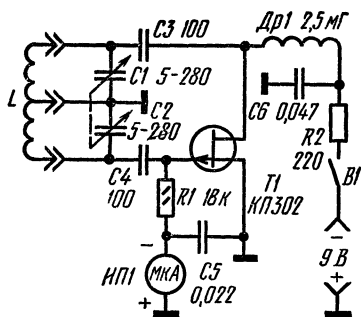


Рис. 38. Принципиальная схема гетеродинного индикатора резонанса на полевом транзисторе

том передачи тока не менее 30. Стрелочным индикатором может служить любой миллиамперметр с током полного отклонения 1—5 мА. Питая прибор можно от батареи карманного фонаря типа 3336-Л. Потребляемый ток не превышает 6 мА.

В генераторе можно применить полевые транзисторы типа КП302 или КП303 и собрать ГИР по схеме, приведенной на рис. 38. Данные намотки катушек такие же, как и у предыдущей конструкции. Отводы у первых пяти катушек следует делать от середины, а последние две — изготавливать вообще без отводов. Стрелочным индикатором служит микроамперметр с током полного отклонения около 50—500 мкА. В качестве переменного конденсатора можно применить конденсатор настройки от переносных приемников «Альпинист» или «Спидола». Питается прибор от батареи «Крона», потребляемый ток не превышает 3—4 мА.

Если применен микроамперметр с током полного отклонения 50—100 мкА, то для регулировки чувствительности индикатора необходимо параллельно ему включить переменный резистор с сопротивлением 10—12 кОм. Переменные резисторы в обеих конструкциях — типа СПО-0,5, дроссель Др1 — типа ДМ-0,1. При отсутствии готового последний можно сделать самостоятельно, намотав на резисторе типа МЛТ-1,0 с сопротивлением не менее 510 кОм в секции шириной 5 мм 400 витков провода ПЭВ-1 0,1.

Налаживание индикаторов после проверки правильности произведенного монтажа сводится к установке режимов транзисторов гетеродина, обеспечивающих

устойчивую генерацию в пределах всего рабочего диапазона частот. После этого градуируют шкалы на всех поддиапазонах. Для этой цели необходим генератор сигналов или связной приемник. В первом случае градуировку частот производят методом биений, например, с помощью приставки, описание которой будет приведено ниже. Во втором случае — путем прослушивания сигналов гетеродина на связном приемнике.

## 2. ПРИСТАВКИ К ГЕНЕРАТОРАМ СТАНДАРТНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТ

Наличие у радиолюбителей генераторов стандартных сигналов позволяет измерять частоты методом нулевых биений. Необходимо изготовить специальную приставку, которая значительно упростит эти измерения. Следует отметить, что измерять частоты можно и без приставки, используя в качестве индикатора сравнения электронно-лучевой осциллограф (метод измерения по фигурам Лиссажу). Но в этом случае верхний предел измерения частоты ограничивается частотами, равными  $2-3fb$ , где  $fb$  — верхняя частота полосы пропускания усилителя горизонтального отклонения. Как правило, в конструкциях любительских осциллографов она редко превышает 1 МГц.

Простейшая приставка к генератору стандартных сигналов (рис. 39) представляет собой обычный смеситель на одном транзисторе  $T1$ , в коллекторную цепь которого в качестве индикатора нулевых биений включен головной телефон  $T\phi$ . Сигнал с выхода генератора стандартных сигналов подают на вход  $Vx2$  приставки, а на вход  $Vx1$  через катушку связи — сигнал с настраиваемого генератора или гетеродина. Изменяя частоту генератора стандартных сигналов, добиваются получения нулевых биений между сигналами проверяемого генератора и генератора стандартных сигналов. Следует учитывать, что чем меньше связь приставки с контуром настраиваемого генератора, тем выше точность измерения частоты. Для нормальной работы приставки на  $Vx2$  необходимо подавать сигнал напряжением не менее 0,1 В, а на  $Vx1$  — не менее 0,05 В.

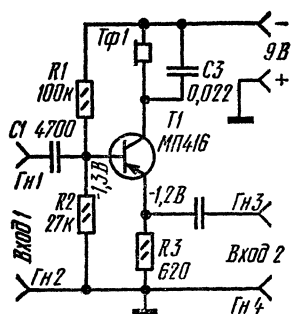


Рис. 39. Принципиальная схема простейшей смесительной приставки

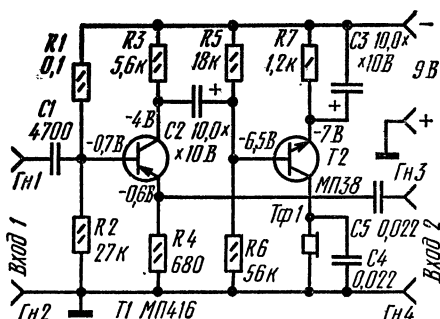


Рис. 40. Принципиальная схема смесительной приставки к генератору стандартных сигналов

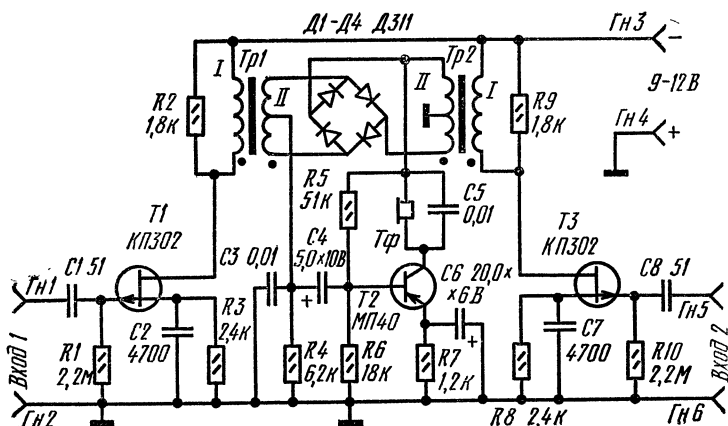


Рис. 41. Принципиальная схема смесительной приставки

Схема более чувствительной приставки (рис. 40) отличается от предыдущей только наличием дополнительного усилителя разностной частоты, собранного на транзисторе T2. Для ее нормальной работы необходимо на входы *Вх1* и *Вх2* подавать напряжения высокой частоты соответственно не менее 0,01 и 0,03 В. В обеих приставках в качестве транзистора T1 можно применить любой высокочастотный транзистор с граничной частотой

той не менее 60 МГц и с коэффициентом передачи тока  $B$  около 30—60, а в качестве транзистора  $T2$  — любой низкочастотный транзистор с  $B$ , равным 30—40. В приставке можно использовать высокоомные головные телефоны типов ТОН-1, ТА-4.

Схема более совершенной приставки для измерения частоты приведена на рис. 41. В ее состав входят два усилителя высокой частоты, собранные на полевых транзисторах  $T1$  и  $T3$ , кольцевой смеситель на диодах  $D1$ — $D4$  и высокочастотных трансформаторах  $Tr1$  и  $Tr2$  и усилитель разностной частоты с индикатором нулевых биений на головных телефонах. Приставка позволяет уверенно сравнивать частоты двух сигналов в диапазоне 100 кГц—30 МГц напряжением не менее 0,003 В, что дает возможность применять достаточно слабую связь с проверяемым генератором. Приставка обеспечивает сравнение частот. В качестве индикатора нулевых биений можно применить электроннолучевой осциллограф, подключив вход его усилителя вертикального отклонения к коллектору транзистора  $T2$ .

Конструкция высокочастотных трансформаторов приведена в описании звукового генератора на биениях. Можно применить полевые транзисторы  $T1$  и  $T3$  с любой буквой, а транзистор  $T2$  — любого типа с коэффициентом  $B$  не менее 30. Во всех конструкциях рассмотренных приставок все резисторы — типа МЛТ-0,25, а конденсаторы — типов К50-6 и К10-7В. Питаются приставки от источника напряжением 9 В, потребляемый ток не превышает соответственно 2,5 и 8 мА, поэтому можно использовать батарею типа «Крона». Рассмотренные конструкции при применении заведомо исправных деталей и правильно выполненном монтаже налаживания не требуют.

### 3. ИЗМЕРИТЕЛИ ЧАСТОТЫ С ПРЯМЫМ ОТСЧЕТОМ

Ценным пополнением радиолюбительской лаборатории может оказаться частотомер, с помощью которого легко градуировать звуковые генераторы, настраивать усилители записи и воспроизведения магнитофонов, а также производить ряд других измерений.

Рассмотрим конструкцию простого измерительного устройства (рис. 42), при помощи которого можно из-

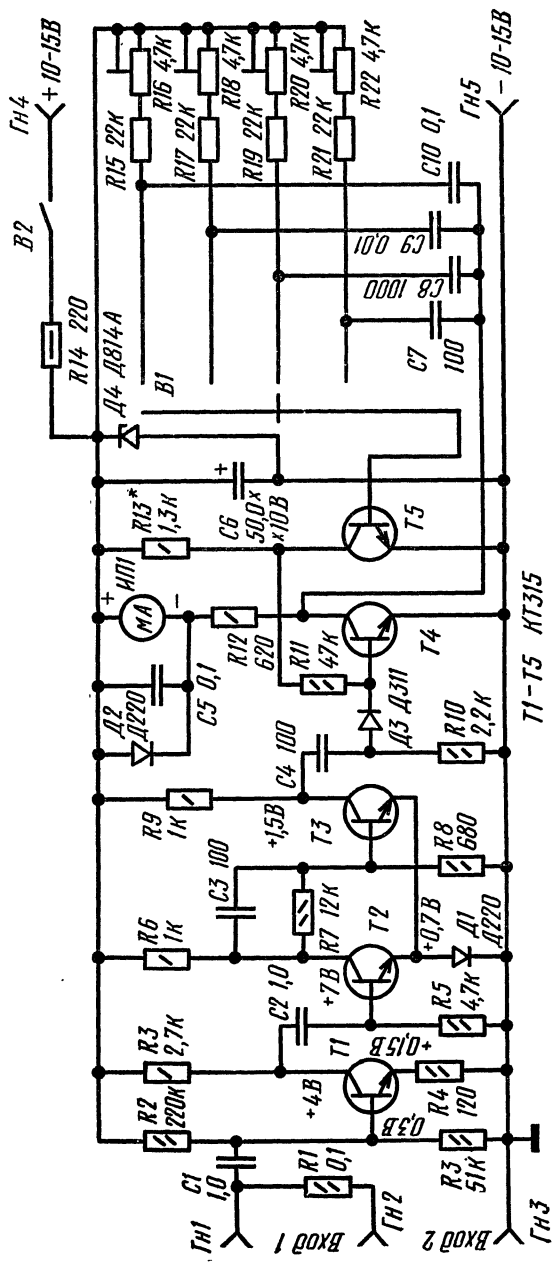


Рис. 42. Принципиальная схема измерителя частоты



мерять частоту с точностью не менее 5%. Диапазон измеряемых частот 10 Гц — 100 кГц разбит на четыре поддиапазона: 10—100, 100—1000 Гц, 1—10 и 10—100 кГц. Значение измеряемой частоты определяется непосредственно по стрелочному прибору, включенному на выходе измерителя и проградуированному в единицах частоты. В зависимости от положения переключателя поддиапазонов *B2* показания прибора умножаются на 1, 10, 100 и 1000. Принцип работы прибора основан на методе заряда — разряда конденсатора.

Чувствительность измерителя на входе *Bx1* (гнезда *Гн1*, *Гн3*) не менее 0,05 В для положительных импульсных и синусоидальных сигналов и не менее 0,1 В для отрицательных импульсных сигналов. Максимальная амплитуда не более 5 В. Для измерения частоты сигналов с амплитудой 5—200 В служит вход *Bx2* (гнезда *Гн2*, *Гн3*). На транзисторе *T1* собран усилитель переменного тока. Усиленный сигнал поступает на триггер Шмитта, собранный на транзисторах *T2* и *T3*. При отсутствии входного сигнала первый транзистор закрыт, а второй открыт за счет подачи положительного смещения через резисторы *R6—R8*. Эмиттерный ток второго транзистора протекает через диод *D1*, включенный в цепи эмиттеров обоих транзисторов, и падение напряжения на этом диоде, равное 0,5—0,7 В, вызывает запираание первого транзистора.

Когда положительная полуволна входного сигнала на базе транзистора *T2* превысит падение напряжения на диоде *D1*, транзистор *T2* отпирается, напряжение на его коллекторе резко уменьшается и транзистор *T3* запирается. При прохождении положительной полуволны синусоидального напряжения или импульса положительной полярности на базе транзистора *T2* последний снова запирается, а второй отпирается. Тем самым в коллекторной цепи транзистора *T3* формируется импульс положительной полярности с очень крутыми фронтами.

Положительный импульс, снимаемый с выхода дифференцирующей цепочки *C4R10* запускает мультивибратор с одним устойчивым положением равновесия, собранный на транзисторах *T4* и *T5*. Этот мультивибратор формирует импульсы стандартной амплитуды и длительности, не зависящие от параметров входных сигналов. В течение всего времени формирования транзи-

стор  $T_4$  открыт и через рамку стрелочного прибора и дополнительный резистор  $R_{12}$  протекает ток. Одновременно заряжается и конденсатор  $C_5$ . В промежуток между импульсами этот конденсатор полностью разряжается через диод  $D_2$ . Среднее значение тока, протекающего через стрелочный измерительный прибор при фиксированной амплитуде и длительности импульсов мультивибратора зависит от частоты входного сигнала. Конденсаторы  $C_7—C_{10}$  и резисторы  $R_{15}—R_{22}$  определяют длительность генерируемых импульсов этого мультивибратора на каждом пределе измерения частоты. С помощью подстроечных резисторов  $R_{16}$ ,  $R_{18}$ ,  $R_{20}$  и  $R_{21}$  осуществляется калибровка измерителя при налаживании прибора.

В рассматриваемой конструкции применены транзисторы типа КТ315 с коэффициентом  $B$ , равным 20—40. Вместо этих транзисторов можно применить кремниевые транзисторы типов КТ312, КТ301 и т. д. Все постоянные резисторы — типа МЛТ-0,25, подстроечные резисторы — типа СПЗ-16, конденсаторы — типа МБМ и КСО. В качестве стрелочного прибора можно применить микроамперметр или миллиамперметр типа М-24 с током полного отклонения 500 мкА — 2 мА; причем сопротивление резистора  $R_{12}$  выбирают таким, чтобы суммарное сопротивление рамки прибора и этого резистора составило  $1,3 \pm 0,1$  кОм. В качестве переключателя поддиапазонов  $B_1$  можно применить как кнопочный переключатель типа П2-К с четырьмя независимыми кнопками, так и переключатель галетного типа 4П1Н-ПМ. Выключателем питания  $B_2$  может служить любой тумблер.

Налаживание прибора при использовании заведомо исправных деталей и правильно выполненном монтаже сводится к калибровке шкал. Для этого на вход прибора от генератора звуковой частоты подают напряжение 1 В частотой 100, 1000 Гц, 10 и 100 кГц и с помощью соответствующих подстроечных резисторов устанавливают стрелку прибора на последнее деление шкалы.

#### 4. ИЗМЕРИТЕЛЬ ДЕТОНАЦИИ ЛЕНТОПРЯЖНОГО МЕХАНИЗМА МАГНИТОФОНА

В процессе изготовления и налаживания лентопротяжного механизма возникает много неприятностей, связанных с неравномерностью протягивания магнитной ленты. Как известно, неравномерность движения ленты вызывается неточностью работы ведущего узла, воздействием на него переменных нагрузок, а также местным растяжением ленты за счет переменных усилий, возникающих при ее движении на участке подающий узел — узел протягивания.

Обычно рассматривают отдельно причины, вызывающие медленное и быстрое изменение скорости движения магнитной ленты. Медленное изменение движения ленты вызывается недостаточным запасом мощности ведущего двигателя, изменением напряжения питающей сети, изменением частоты питающего напряжения, а также уменьшением числа оборотов электродвигателя, связанным с нагревом ротора.

К причинам, вызывающим быстрые изменения скорости движения магнитной ленты, относят эксцентриситет (биение) ведущего вала и прижимного ролика; плохую балансировку ротора ведущего электродвигателя или его качание, вызванное неоднородностью резины прижимного ролика или пассика, передающего движение маховику ведущего узла; неравномерность протягивания магнитной ленты, обусловленную ее местным растяжением.

Стабильность скорости движения магнитной ленты оценивают коэффициентом детонации, который отличается от коэффициента колебания скорости только способом его оценки. Эту оценку производят пиковым измерительным прибором с фильтром, частотная характеристика которого подобна частотной характеристике восприятия на слух паразитной частотной модуляции, возникающей за счет колебания скорости движения магнитной ленты. Такой фильтр имеет полосу пропускания от 0,2 до 300 Гц с максимумом на частотах 2—10 Гц.

Предлагаемый прибор измеряет среднее значение колебания скорости движения магнитной ленты, что в радиолюбительских условиях позволяет достаточно точно оценить качество изготовленного лентопротяжного

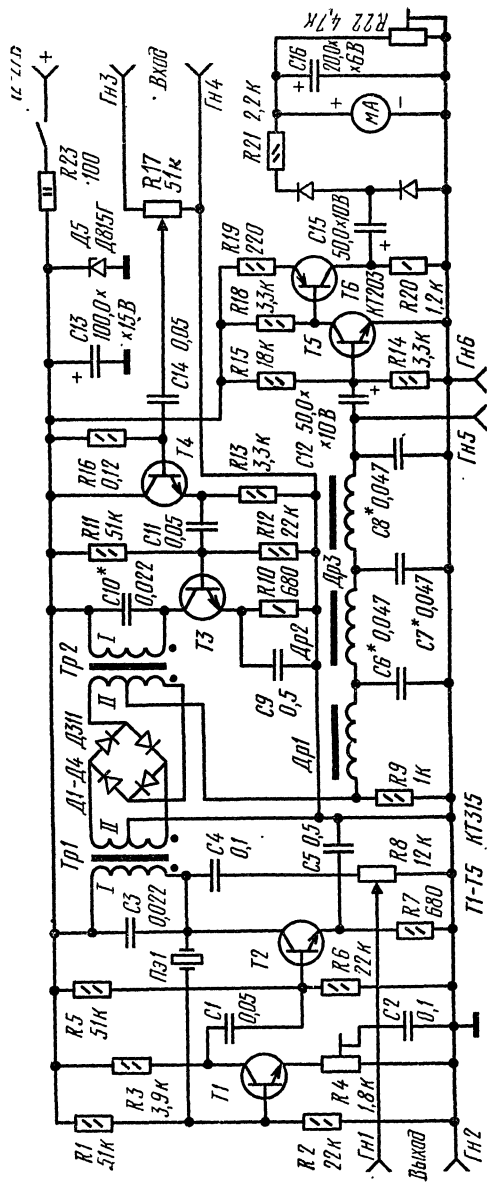


Рис. 43. Принципиальная схема измерителя детонации лентопрокатного механизма магнитофона

механизма или произвести проверку промышленного магнитофона. Величина детонации или нестабильность движения магнитной ленты оценивается в процентах. Чем выше качество лентопротяжного механизма, тем меньше величина детонации.

Принцип определения среднего значения нестабильности скорости движения магнитной ленты основан на измерении среднего значения частоты биений высокостабильного сигнала и этого же сигнала, записанного на испытываемом магнитофоне. В приборе предусмотрена возможность подключения измерителя спектральных составляющих получаемых биений, что позволяет ориентировочно определить причину, вызывающую колебания скорости движения магнитной ленты.

Измеритель детонации лентопротяжного механизма (рис. 43) состоит из кварцованного генератора звуковой частоты, балансного смесителя, согласующего усилителя низкой частоты, фильтра нижних частот и измерителя частоты биений. Генератор звуковой частоты собран на транзисторах  $T1$  и  $T2$ . В цепи положительной обратной связи включен кварцевый резонатор с частотой 5 кГц, хотя в приборах промышленного изготовления, как правило, используется кварц на частоту около 3 кГц (обычно 3,125 кГц). Вообще следует отметить, что в рассматриваемой конструкции можно применить кварцевые резонаторы с частотами 1,5—10 кГц. Первичная обмотка выходного трансформатора настраивается подбором конденсатора  $C3$  на рабочую частоту кварцевого резонатора. С помощью подстроечного резистора  $R4$  устанавливается режим работы генератора.

Усилитель, собранный на транзисторах  $T4$ — $T3$ , согласует уровень сигнала, снимаемого с линейного выхода магнитофона с кольцевым смесителем. Первый каскад собран по схеме эмиттерного повторителя, а второй — с трансформаторным выходом. С помощью переменного резистора  $R17$  устанавливают уровень входного сигнала, снимаемого с линейного выхода проверяемого магнитофона (гнезда  $Гн3$ — $Гн4$ ). Балансный, или кольцевой, смеситель собран на трансформаторах  $Tr1$  и  $Tr2$  и диодах  $D1$ — $D4$ . На выходе смесителя включен фильтр нижних частот, полоса пропускания которого составляет 200 Гц. С выхода усилителя-ограничителя, собранного на транзисторах  $T5$  и  $T6$ , напряжение прямоугольной

формы и частоты, зависящей от нестабильности скорости движения магнитной ленты, поступает на измеритель средней частоты, фиксирующей среднее значение зарядного тока конденсатора  $C15$ .

С помощью подстроечного резистора  $R22$  производится градуировка измерителя детонации. В приборе используется только один поддиапазон измерения средней нестабильности скорости движения магнитной ленты, равный 0—2%. При желании можно предусмотреть и несколько поддиапазонов, например, 0—0,5% и 0—5%. Тогда надо будет ввести переключатель поддиапазонов для коммутации зарядных конденсаторов емкостью 200 и 20 мкФ.

Все транзисторы имеют коэффициент передачи тока не менее 30. Вместо рекомендованных можно применить транзисторы типов КТ301, КТ312, а также МП35—МП38 с любой буквой. Все постоянные резисторы — типа МЛТ-0,25, подстроечные — типа СПЗ-16, переменные — типа СПО-0,5. Электролитические конденсаторы — типа К50-6, остальные — типа МБМ. В качестве трансформаторов  $Tr1$  и  $Tr2$  применены согласующие трансформаторы от приемника «Спидола». Они же (только первичные обмотки) использованы и в качестве дросселей фильтра нижних частот. Стрелочный прибор — микроамперметр типа М4202 с током полного отклонения 100—200 мкА и с сопротивлением рамки не более 1000 Ом. Питание можно производить либо от встроенного источника, например, трех последовательно включенных батарей от карманного фонаря типа 3336-Л, либо от отдельного выпрямителя, напряжением не менее 10 В. Потребляемый ток не превышает 20 мА.

Порядок работы с прибором следующий. На испытуемом магнитофоне устанавливают катушку или кассету с чистой магнитной лентой, подключают вход магнитофона «приемник» или «звукосниматель» к гнездам  $Гн1$ — $Гн2$  и включают магнитофон в режим записи. С помощью переменного резистора  $R8$  и регулятора уровня записи магнитофона устанавливают оптимальный режим записи и производят ее в течение 1—2 мин. Окончив запись, ленту перематывают и, подключив линейный выход магнитофона к гнездам  $Гн3$  и  $Гн4$ , включают магнитофон в режим воспроизведения. Резистором  $R17$  устанавливают уровень входного сигнала.

### ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

---

Даже самый простой осциллограф позволяет проверить форму импульсных сигналов или оценить величину фазовых искажений, вносимых в стереофонические системы за счет неоптимального выбора параметров отдельных узлов конструкции. Кроме того, пользуясь осциллографом и дополнительными приборами, можно определить частоту и амплитуду самых различных электрических сигналов, произвести измерения основных характеристик как радиовещательных, так и телевизионных приемников, настроить отдельные резонансные контуры или снять амплитудно-частотные характеристики усилителей низкой и промежуточных частот.

#### 1. ПРОСТОЙ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ-ПРОБНИК

Этот осциллограф предназначен для проведения простейших измерений при проверке и настройке как любительских, так и промышленных конструкций. Если осциллограф будет предназначаться только для налаживания ламповых конструкций, его можно существенно упростить за счет источника питания.

Чувствительность усилителя вертикального отклонения луча —  $0,5$  В/см при полосе пропускания  $10$ — $1\,000\,000$  Гц. Неравномерность полосы пропускания не превышает  $\pm 3$  дБ. Входное сопротивление при подключении измеряемой цепи ко входу  $Vx1$  (гнезда  $ГнЗ$ — $Гн4$ ) не превышает  $8$  кОм при входной емкости не более  $100$  пФ. Эти величины будут соответственно равны  $90$  кОм и  $40$  пФ при подключении ко входу  $Vx2$  (гнезда

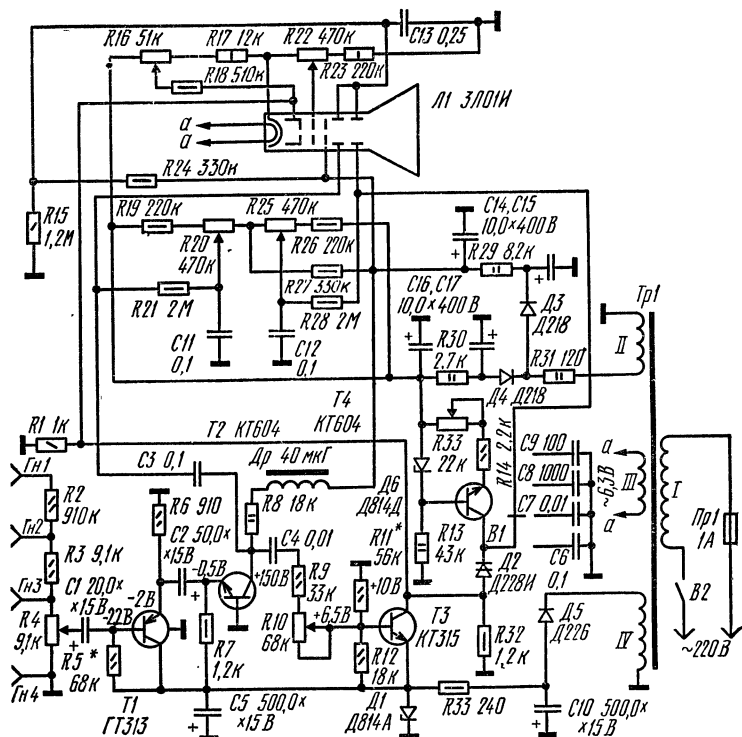


Рис. 44. Принципиальная схема простого электроннолучевого осциллографа-пробника

Гн2, Гн4) и 900 кОм и 20 пФ при подключении ко входу Вх3 (гнезда Гн1, Гн4).

В приборе предусмотрена только непрерывная развертка луча с синхронизацией только от исследуемого сигнала. Диапазон развертки разбит на четыре поддиапазона: 10—100, 100—1000 Гц, 1—8 и 8—50 кГц. Питается прибор от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В. Потребляемая мощность не превышает 20 Вт.

Осциллограф (рис. 44) состоит из усилителя вертикального отклонения, собранного на транзисторах Т1 и Т2, генератора развертки—на диносторе Д2, транзисторе Т4, стабилитроне Д6, усилителя синхронизации—



на транзисторе  $T3$ , блоков электроннолучевой трубки и питания.

Исследуемый сигнал подается на один из трех входов и поступает на переменный резистор  $R4$ . С движка этого резистора, выполняющего роль регулятора уровня, сигнал поступает на первый каскад усилителя вертикального отклонения, собранного по схеме эмиттерного повторителя на транзисторе  $T1$ . Этот каскад позволяет достаточно хорошо согласовать выходное сопротивление источника сигнала с малым входным сопротивлением второго каскада, собранного на транзисторе  $T2$  по схеме с общей базой. Такое включение позволяет лучшим образом использовать усилительные возможности транзистора  $T2$  при работе на высокоомную нагрузку (пластины вертикального отклонения электроннолучевой трубки).

На средних частотах коэффициент передачи тока приблизительно равен отношению нагрузки коллекторной цепи к сопротивлению эмиттерной цепи. При использовании транзистора с коэффициентом передачи тока не менее 60 этот коэффициент на средних частотах оказывается равным 100. Для обеспечения ширины полосы пропускания около 1 МГц в усилителе вертикального отклонения применена простая схема высокочастотной коррекции (дроссель  $Dp1$ , включенный в коллекторную цепь транзистора  $T2$ ). С коллектора этого транзистора усиленный сигнал поступает на одну из пластин вертикального отклонения электроннолучевой трубки и на вход усилителя синхронизации.

Генератор развертки собран на динисторе  $D2$ , параллельно которому включен один из четырех времязадающих конденсаторов  $C6—C9$ . При подаче питающего напряжения один из конденсаторов начинает заряжаться через стабилизатор тока, собранный на транзисторе  $T4$ . Напряжение на конденсаторе нарастает по линейному закону. Когда оно достигнет напряжения включения динистора, последний отпирается и происходит быстрый разряд конденсатора. Ток разряда ограничивается резистором  $R32$ , включенным в анодную цепь динистора. При достижении напряжения выключения динистор запирается и процесс заряда конденсатора повторяется.

Стабилизатор зарядного тока работает следующим образом. На базу транзистора  $T4$  подано постоянное

смещение с параметрического стабилизатора напряжения, собранного на стабилитроне  $D6$  и резисторе  $R13$ . При статическом коэффициенте передачи тока, равном 50 и более, можно считать, что ток коллектора этого транзистора равен току эмиттера. С помощью переменного резистора  $R33$  регулируется ток эмиттера этого транзистора и тем самым ток его коллектора, что приводит к изменению времени нарастания пилообразного напряжения на зарядном конденсаторе.

Резистор, последовательно включенный с динистром, не только ограничивает разрядный ток и тем самым предохраняет динистор от выхода из строя, но и осуществляет внутреннюю синхронизацию генератора развертки. Для указанной цели на анод с усилителя поступает сигнал синхронизации, который управляет моментом включения динистора. Одновременно с этого же резистора снимается импульс отрицательной полярности для гашения обратного хода луча электроннолучевой трубки.

Напряжение синхронизации, снимаемое с коллекторной цепи транзистора  $T2$ , через резистор  $R9$  поступает на вход усилителя синхронизации, собранного на транзисторе  $T3$  по схеме с общим эмиттером.

Питается осциллограф от трех выпрямителей. Выпрямитель, собранный на полупроводниковом диоде  $D5$ , имеет параметрический стабилизатор напряжения (резистор  $R33$  и стабилитрон  $D1$ ) и предназначен для питания коллекторной цепи транзистора  $T1$  и эмиттерных цепей транзисторов  $T2$  и  $T3$ . От выпрямителя (диод  $D3$ ) питается ускоряющий электрод электроннолучевой трубки и коллекторная цепь транзистора  $T2$ . Выпрямитель, в состав которого входит полупроводниковый диод  $D4$ , обеспечивает питание катодной цепи, цепей вертикального и горизонтального, фокусирующего электрода электроннолучевой трубки и эмиттерной цепи транзистора  $T4$ .

К схеме питания электроннолучевой трубки относятся также переменные резисторы  $R16$  — регулировки яркости,  $R22$  — фокусировки,  $R20$  — смещения луча по вертикали,  $R25$  — смещения луча по горизонтали. В качестве электроннолучевой трубки  $L1$  могут быть использованы трубки типов 3ЛО1И, 5ЛО38 и 6ЛО1И.

В конструкции осциллографа применены следующие детали: резисторы  $R_8, R_{13}, R_{29}, R_{30}, R_{31}$  — типа МЛТ-2,0 — 10%; переменные резисторы  $R_4, R_{10}, R_{22}, R_{16}, R_{20}, R_{25}$  и  $R_{33}$  — типа СПО-0,5 или СПО-1,0; резисторы  $R_{17}, R_{23}$  — типа МЛТ-1,0 — 10%; остальные — типа МЛТ-0,5 или МЛТ-0,25. Электролитические конденсаторы  $C_1, C_2, C_5, C_{10}$  — типа К50-6 на 15 В;  $C_{14}, C_{15}, C_{16}, C_{17}$  — типа КЭ на 400—450 В;  $C_3, C_4, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_6, C_7$  — типа МБМ или МБГО на 500 В. Остальные конденсаторы — типа КСО-2.

Вместо транзистора  $T_1$  типа ГТ313 можно применить транзисторы типов МП416 или ГТ308, а вместо транзистора типа КТ315 — транзисторы типов КТ301 или КТ312. Динистор  $D_2$  типа Д228И можно заменить на Д227И, а стабилитроны Д814А и Д814Д соответственно на стабилитроны Д808 и Д813.

Силовой трансформатор  $Tr_1$  намотан на сердечнике типа Ш-20, набор не менее 30 мм. Обмотка  $I$  состоит из 1980 витков провода ПЭВ-1 диаметром 0,15 мм, обмотка  $II$  — из 2700 витков провода ПЭВ-1 0,10; обмотки  $III$  и  $IV$  — из 58 витков провода типа ПЭВ-1 диаметром соответственно 0,35 и 0,15 мм.

Налаживание осциллографа производят в следующем порядке. Убедившись в правильности произведенного монтажа, включают осциллограф в сеть и проверяют режимы транзисторов по постоянному току. Они не должны отличаться более чем на 10—20% от номинальных, в противном случае необходимо подобрать резисторы, включенные в их базовые цепи. Режимы транзисторов проверяют вольтметром с входным сопротивлением не менее 20 кОм/В.

В целях обеспечения хорошей фокусировки и приемлемой яркости свечения экрана трубки производят подбор резисторов  $R_{17}$  и  $R_{23}$ . Это вызвано некоторым снижением питающего напряжения первого анода, произведенного для увеличения чувствительности отклоняющих пластин электроннолучевой трубки.

Если генератор развертки работает, то на экране электроннолучевой трубки наблюдают горизонтальную линию, в противном случае — точку. Установив необходимую яркость свечения и сфокусировав изображение, вращают движки переменных резисторов  $R_{20}$  и  $R_{25}$  и проверяют диапазон перемещения развертки или пятна

по вертикали и горизонтали. Это перемещение должно составлять не менее половины диаметра экрана трубки. В случае необходимости можно подобрать величины резисторов  $R15$ ,  $R19$ ,  $R24$ ,  $R26$ .

Затем к коллектору транзистора  $T2$  подключают вход усилителя вертикального отклонения эталонного осциллографа и подают на вход  $1$  (гнезда  $Gн3$ ,  $Gн4$ ) со звукового генератора напряжение частотой  $1-10$  кГц с амплитудой около  $0,1$  В. На экране осциллографа должен наблюдаться синусоидальный сигнал неискаженной формы с амплитудой не менее  $10$  В (движок регулятора уровня входного сигнала должен находиться в крайнем левом по схеме положении). Увеличивая амплитуду входного сигнала, проверяют, можно ли получить на входе усилителя вертикального отклонения напряжение не менее  $30$  В. В случае нормальной работы генератора развертки налаживаемого осциллографа форму усиленного сигнала наблюдают непосредственно на его экране. Если указанного напряжения получить не удастся, необходимо вместо резистора  $R5$  включить переменный резистор величиной  $3,3$  кОм и подобрать оптимальное значение сопротивления в эмиттерной цепи выходного транзистора.

После этого проверяют амплитудно-частотную характеристику усилителя вертикального отклонения. Если окажется, что на частотах  $0,5-1$  МГц наблюдается завал характеристики более чем на  $3$  дБ, то подбирают величину индуктивности корректирующего дросселя  $Dp1$  в пределах  $20-60$  мкГ. В случае подъема амплитудно-частотной характеристики на указанных частотах корректирующий дроссель шунтируют резистором с сопротивлением около  $3,3-18$  кОм.

Далее приступают к налаживанию генератора горизонтального отклонения. Для этого вход усилителя вертикального отклонения эталонного осциллографа подключают к катоду диностора, а переключатель поддиапазонов  $B1$  ставят в крайнее левое по схеме положение. Если детали заведомо исправны, а монтаж выполнен правильно, генератор начинает работать нормально. Перемещая движок переменного резистора  $R33$  из одного крайнего положения в другое, определяют изменение частоты повторения пилообразного напряжения. Перекрытие частот должно быть не менее  $10$ , иначе необхо-

димо изменить сопротивление ограничивающего резистора  $R14$ .

После этого проверяют крайние границы каждого поддиапазона. Если минимальные частоты на тех или иных поддиапазонах отличаются от указанных, то подбирают емкости конденсаторов  $C6—C9$ . Амплитуда пилообразного напряжения должна быть не менее 230—260 В, в противном случае необходимо подобрать диодистор  $D2$  с другим напряжением включения. Если генератор развертки не работает, надо проверить транзистор  $T4$ . Может оказаться, что у него максимальное напряжение коллектор — база меньше 260 В и он пробит. Тогда транзистор следует заменить.

В заключение проверяют работу усилителя синхронизации. На вход усилителя вертикального отклонения подают сигнал от эталонного генератора, с помощью регулятора уровня на экране осциллографа устанавливают изображение размером 10—15 мм и, изменяя частоту генератора развертки, а также регулируя уровень синхронизации резистора  $R10$ , добиваются получения на экране устойчивого изображения синусоидального сигнала.

В случае использования осциллографа только для налаживания радиотехнических устройств, собранных на электронных лампах, можно рекомендовать более простую конструкцию силового трансформатора. В ней используется первичная обмотка, а сечение провода четвертой обмотки увеличивается до 0,86 мм. Тогда для включения осциллографа необходимо четвертую обмотку подключить к накальной обмотке силового трансформатора проверяемого устройства.

## 2. РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Этот осциллограф имеет как непрерывный, так и ждущий режим работы генератора развертки. Кроме того, в его состав введен милливольтметр постоянного и переменного тока и омметр с линейной шкалой. Такое усложнение конструкции позволяет создать более универсальный измерительный прибор для радиолюбительских целей.

Прибор имеет следующие основные характеристики.

Чувствительность канала вертикального отклонения луча в зависимости от положения переключателя входного аттенюатора составляет 10 мВ/д, 100 мВ/д, 1 В/д и 10 В/д (д — деление шкалы экрана электроннолучевой трубки). С помощью регулятора уровня эту чувствительность можно уменьшить в десять раз.

Полоса пропускания охватывает 10 Гц—2 МГц с неравномерностью не более 3 дБ. Входное сопротивление в зависимости от положения переключателя входного аттенюатора — не менее 20 кОм ( $C=100$  пФ), 200 кОм ( $C=30$  пФ), 1,0 МОм ( $C=20$  пФ).

Чувствительность канала горизонтального отклонения равна 0,1 В/д при входном сопротивлении 100 кОм и  $C=50$  пФ.

Генератор работает в режиме как непрерывной, так и ждущей развертки. В зависимости от поддиапазона частота развертки луча составляет 10—100 Гц (100—10 мс), 0,1—1 кГц (10—1 мс); 1—10 кГц (1—0,1 мс) и 10—100 кГц (1—0,1 мс).

В осциллографе предусмотрена только внутренняя синхронизация от исследуемого сигнала.

Пределы измерения напряжений постоянного и переменного тока равны 0—30 мВ, 0—300 мВ, 0—3 В, 0—30 В и 0—300 В при входном сопротивлении не менее 8 МОм и входной емкости не более 100 пФ. Такие параметры ограничивают измерение переменного напряжения частотой выше 20 000 Гц на верхнем пределе измерений и 50 кГц на первых трех пределах.

Предел измерения сопротивлений составляет 0—30, 0—300 Ом, 0—3, 0—30 и 0—300 кОм.

Погрешность измерения напряжений постоянного и переменного токов не превышает 4% от измеряемой величины, измерения резисторов — не более 3% на всех пределах измерений, кроме предела 0—300 кОм, где погрешность не превышает 10%.

Питается осциллограф от сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц, потребляемая мощность не превышает 40 Вт.

В состав осциллографа входят следующие основные узлы: канал вертикального отклонения, канал горизонтального отклонения, блок питания, электроннолучевая трубка и милливольтметр.

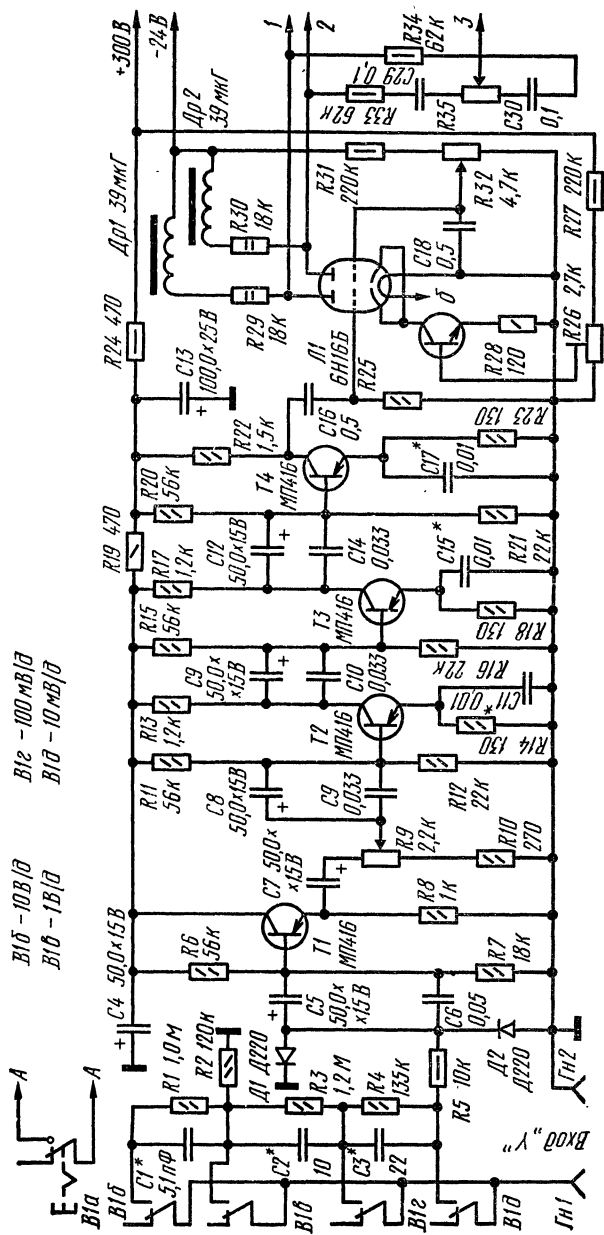


Рис. 45. Принципиальная схема усилителя вертикального отклонения

Канал вертикального отклонения (рис. 45) состоит из переключателя входного аттенюатора  $B1$ , ограничителя амплитуды входного сигнала, предназначенного для предохранения первого каскада усилителя вертикального отклонения от перегрузки при неправильном выборе предела измерения, четырехкаскадного усилителя на транзисторах и оконечного каскада на радиолампе. Аттенюатор собран по стандартной схеме с высокочастотной коррекцией. Ограничителем входного сигнала служат резистор  $R5$  и кремниевые полупроводниковые диоды  $D1$ ,  $D2$  типа Д220 или Д223, включенные навстречу друг другу на входе первого каскада усилителя вертикального отклонения. Первый каскад собран на транзисторе  $T1$  по схеме эмиттерного повторителя, на выходе которого включен регулятор уровня входного сигнала  $R9$ . Резистор  $R10$ , включенный последовательно с регулятором уровня сигнала, ограничивает ослабление входного сигнала.

Следующие три каскада собраны по схеме с общим эмиттером. Каждый из них обеспечивает устойчивый коэффициент усиления, равный четырем при полосе пропускания не менее 5 МГц. Питается предварительный усилитель от стабилизированного источника напряжением 24 В.

Оконечный каскад усилителя вертикального отклонения собран на электронной лампе, что позволило исключить дефицитные транзисторы КТ602, КТ604 и уменьшить габариты осциллографа за счет изъятия радиаторов, необходимых для отведения тепла от мощных транзисторов. Каскад собран по двухтактной схеме с общей катодной связью через транзистор  $T5$ . Подстроечным резистором  $R26$  устанавливается требуемое смещение на сетках выходной лампы за счет изменения базового тока транзистора  $T5$ . Такое включение транзистора обеспечивает требуемый режим радиолампы по постоянному току и сильную обратную связь между обоими триодами по переменному напряжению.

Аноды радиоламп связаны с вертикальными отклоняющими пластинами электроннолучевой трубки непосредственно, что позволило существенно упростить цепи смещения электронного луча по вертикали. Это смещение осуществляется изменением напряжения на сетке радиолампы с помощью переменного резистора  $R32$ .



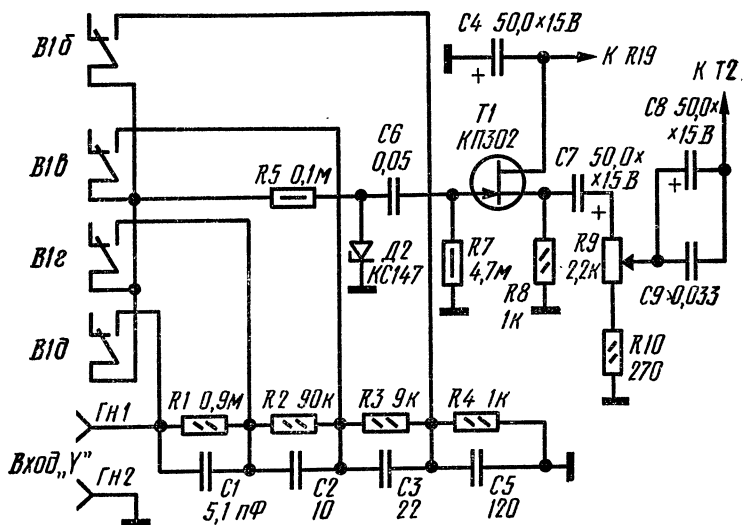


Рис. 46. Принципиальная схема входной части усилителя вертикального отклонения

Для обеспечения полосы пропускания усилителя вертикального отклонения, равной приблизительно 2 МГц, в выходном каскаде применена простая высокочастотная коррекция (включение корректирующих дросселей  $Dp1$  и  $Dp2$  в анодные цепи). С движка переменного резистора  $R35$ , включенного в анодные цепи радиолампы, снимается часть усиливаемого сигнала для синхронизации генератора горизонтальной развертки осциллографа. Питается выходной каскад от источника напряжением 300—320 В.

С помощью кнопки  $B1a$ , имеющей независимое включение, осциллограф включается в сеть.

При наличии полевого транзистора типа КП302 с любой буквой можно улучшить характеристики канала вертикального отклонения за счет увеличения его входного сопротивления до 1 МОм на всех поддиапазонах и уменьшения входной емкости до 15—20 пФ.

Принципиальная схема входной части канала вертикального отклонения, собранного на полевом транзи-



сторе, приведена на рис. 46. Нумерация деталей оставлена прежней, а изменены лишь номиналы деталей. Вместо двух ограничивающих кремниевых диодов применен один стабилитрон *Д2* типа КС133. Его можно заменить стабилитронами типов КС139, КС147 или КС168 с прямым и обратным сопротивлением не менее 20 МОм при входном сигнале 0,15 В.

На рис. 47 изображена принципиальная схема генератора развертки и усилителя горизонтального отклонения. Для генератора развертки выбрана относительно известная среди радиолюбителей схема генератора. Она состоит из триггера Шмитта, управляющего зарядом времязадающих конденсаторов, стабилизатора зарядного тока, схемы сравнения амплитуды пилообразного напряжения с заданным порогом, коммутатора, управляющего режимом триггера и выходного эмиттерного повторителя. Рассмотрим более подробно принципиальную схему генератора и основные процессы, протекающие в ней.

Для создания автоколебательного режима генератора движок переменного резистора *R46* необходимо установить в нижнее по схеме положение. В это же время на резисторах *R37* и *R38* возникает такое падение напряжения, что под его влиянием снимается падение напряжения на кремниевом диоде *Д5*, включенном в прямом направлении в эмиттерные цепи транзисторов *T6* и *T7* триггера Шмитта. Благодаря этому транзистор *T6* открывается, а транзистор *T7* запирается. Запирается и диод *Д6*, так как к его аноду приложено отрицательное напряжение, определяемое разностью питающего напряжения и напряжения, падающего на стабилитроне *Д7*. Один из времязадающих конденсаторов *С31—С34* начинает заряжаться до указанной разности напряжений через стабилизатор тока, собранный на транзисторе *T8*. Напряжение на базе этого транзистора относительно источника питания стабилизировано с помощью стабилитрона *Д7*. При применении транзистора с коэффициентом передачи тока не менее 50 можно считать, что ток его коллектора равен току эмиттера. Величину же тока эмиттера можно регулировать с помощью переменного резистора *R43*.

Параллельно времязадающему конденсатору включен эмиттерный повторитель на транзисторе *T9*. Так как за-

ряд конденсатора производится током постоянной величины, то напряжение на нем нарастает по линейному закону, аналогично изменяется и напряжение на нагрузке эмиттерного повторителя. В нормальном состоянии элемент сравнения, собранный на диоде  $D8$ , заперт, так как на его анод подано отрицательное напряжение со стабилитрона  $D10$ . Когда пилообразное напряжение, прикладываемое к катоду диода  $D8$ , превысит запирающее напряжение, этот диод откроется и пилообразное напряжение поступит на базу транзистора  $T10$ , выполняющего роль коммутатора.

Этот транзистор также заперт за счет падения напряжения на диоде  $D9$ , включенном в его эмиттерную цепь. Дальнейшее нарастание амплитуды пилообразного напряжения приводит к отпираанию транзистора  $T10$ . Напряжение на его коллекторе резко уменьшается, падение напряжения на резисторах  $R37$  и  $R38$  оказывается меньше падения напряжения на диоде  $D5$ , что приводит к опрокидыванию триггера Шмитта: транзистор  $T6$  запирается, а транзистор  $T7$  отпирается. Времязадающий конденсатор начинает заряжаться через прямые сопротивления диодов  $D6$  и  $D5$ , открытый транзистор  $T7$  и резистор  $R38$ , включенный в цепь базы транзистора  $T6$ , что обеспечивает еще большее запирающее напряжение этого транзистора. По окончании разряда процесс повторяется.

За счет выбора отношения величин резисторов  $R43$  и  $R44$  обеспечивается изменение тока стабилизатора в 10 раз. Синхронизация генератора развертки в рассматриваемом режиме обеспечивается подачей части исследуемого сигнала на базу транзистора  $T6$  через ограничивающий резистор  $R36$  с движка переменного резистора  $R35$  (см. рис. 45). Отрицательная полуволна исследуемого сигнала управляет моментом открытия этого транзистора. С помощью переменного резистора  $R46$  можно в широких пределах регулировать порог опрокидывания триггера Шмитта.

Для того чтобы перевести генератор развертки в ждущий режим, необходимо движок переменного резистора  $R46$  поставить в верхнее по схеме положение. Это обеспечивает принудительное запирающее напряжение первого транзистора и отпирающее напряжение второго, так как падение напряжения на резисторах  $R37$ ,  $R38$  меньше падения напряжения на

диоде *D5*. При появлении импульса отрицательной полярности в цепи синхронизации триггер Шмитта опрокидывается и вырабатывается пилообразный импульс генератора развертки. С помощью резистора *R46* устанавливается требуемый порог задержки начала работы генератора развертки в ждущем режиме.

Импульс положительной полярности, снимаемый с коллекторной цепи транзистора *T6*, подается на усилитель гашения обратного хода луча электроннолучевой трубки. Он собран на транзисторе *T11*. Когда гашения обратного хода луча нет, генератор развертки заперт, так как в эмиттерную цепь с помощью стабилизатора *D11* подается положительное смещение. Для снижения питающего напряжения транзистора *T11* с 300—320 В до допустимой величины 90—100 В в цепь питания коллектора включен делитель на резисторах *R52* и *R53*.

Пилообразное напряжение, снимаемое с эмиттерного повторителя, собранного на транзисторе *T9*, через контакты независимой клавиши переключателя *B2d* поступает на оконечный двухтактный усилитель напряжения, собранный на электронной лампе *L2*. Схема этого каскада аналогична схеме ранее рассмотренного каскада усилителя вертикального отклонения за единственным исключением — отсутствует высокочастотная коррекция, так как полоса пропускания этого усилителя составляет 0,3—0,4 МГц.

Если клавиша переключателя *B2d* нажата, от выходного усилителя отключается генератор развертки и подключается предварительный усилитель горизонтального отклонения. Этот усилитель выполнен на транзисторах и содержит три каскада. Первый каскад собран по схеме эмиттерного повторителя, а остальные по схеме с общим эмиттером. Схемы этих каскадов такие же, как и у рассмотренного ранее усилителя вертикального отклонения.

При наличии у радиолюбителей полевых транзисторов типа КП302 в усилителе горизонтального отклонения можно вместо эмиттерного повторителя *T12* применить истоковый повторитель (см. рис. 46), что позволит увеличить входное сопротивление усилителя до 1 МОм.

В состав блока питания (рис. 48) входят четыре выпрямителя. Питание всех транзисторов, за исключением транзистора, на котором собран усилитель гашения об-

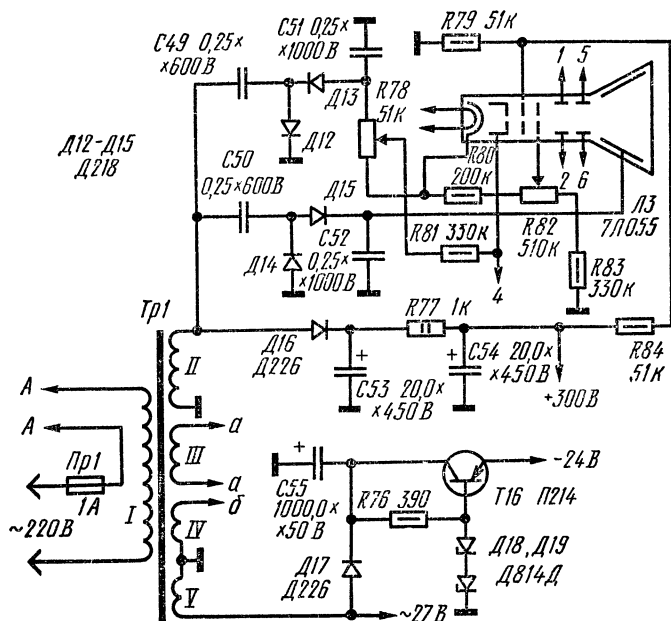
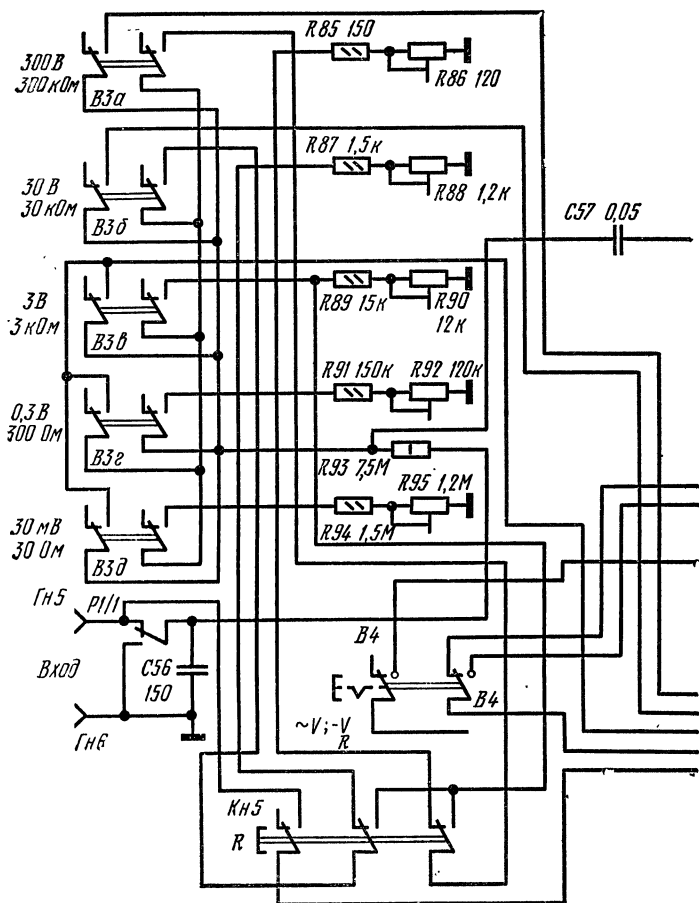


Рис. 48. Принципиальная схема блока питания и цепей управления электроннолучевой трубки

ратного хода луча электроннолучевой трубки, осуществляется от стабилизированного источника питания (транзистор  $T16$  и стабилитроны  $D18$  и  $D19$ ). Выпрямитель этого источника питания собран по однополупериодной схеме на диоде  $D17$ . Питание оконечных каскадов усилителей вертикального и горизонтального отклонения и усилителя гашения обратного хода луча производится от однополупериодного выпрямителя, собранного на диоде  $D16$ . Катодная цепь электроннолучевой трубки и ее второй анод питаются от двух выпрямителей, работающих по схеме удвоения напряжения соответственно на диодах  $D12$ ,  $D13$  и  $D14$ ,  $D15$ . Первый анод трубки питается от делителя напряжения, собранного на резисторах  $R79$  и  $R84$ . С помощью переменных резисторов  $R78$  и  $R82$  регулируются яркость свечения и фокусировка луча электроннолучевой трубки.



Принципиальная схема милливольтметра постоянно-го и переменного токов и омметра с линейной шкалой приведена на рис. 49. Основным элементом милливольтметра является усилитель переменного тока. Он состоит из истокового повторителя на полевом транзисторе *T17*, эмиттерного повторителя на транзисторе *T18* и трехкаскадного усилителя, собранного по схеме с общим эмит-





разователь постоянного напряжения в переменное и резистор  $R93$ , определяющий входное сопротивление милливольтметра, на кнопочный переключатель пределов измерения и далее на вход истокового повторителя. Установка верхних пределов измеряемых напряжений производится с помощью подстроечных резисторов  $R86$ ,  $R88$ ,  $R90$ ,  $R92$  и  $R95$ . Первоначальный коэффициент усиления усилителя переменного тока для измерения переменных напряжений устанавливается с помощью подстроечного резистора  $R104$ , включенного в цепь отрицательной обратной связи.

При измерении переменного напряжения кнопка переключателя  $B4$  с фиксацией должна находиться в ненажатом положении. Для измерения постоянных напряжений или сопротивлений резисторов кнопку нажимают. В этом случае на обмотку реле-преобразователя через диод  $D20$  подается переменное напряжение 27 В с обмотки силового трансформатора. Одновременно в цепь отрицательной обратной связи включается другой подстроечный резистор  $R106$ , с помощью которого увеличивается коэффициент усиления усилителя переменного тока. Происходит это благодаря тому, что эффективное значение пульсирующего напряжения на выходе преобразователя отличается от эффективного значения синусоидального напряжения.

Принцип измерения сопротивлений основан на измерении падения напряжения постоянного тока на соответствующем резисторе. Для этой цели в состав прибора введен стабилизатор тока на транзисторе  $T21$ . В зависимости от предела измерения с помощью кнопочного переключателя  $B2$  (см. рис. 47) устанавливается рабочий ток 1; 0,1 мА или 10 мкА. При этом на пределах измерения 0—30, 0—300 и 0—3000 Ом используется рабочий ток 1 мА, на пределе 0—30 кОм — 0,1 мА, а на пределе 0—300 кОм — 10 мкА. Соответственно на первом пределе максимальное падение напряжения составляет 30 мВ, втором — 0,3 В и на остальных — 3 В. Для измерения сопротивлений необходимо установить требуемый предел измерения, нажать кнопку переключателя  $B4$  с фиксацией, подключить к входным клеммам измеряемый резистор и нажать кнопку  $B5$ , тогда вход милливольтметра  $Gн5$  подключится к измеряемому резистору.

Падение напряжения на измеряемом резисторе преобразуется в пульсирующее с помощью преобразователя постоянного напряжения в переменное и измеряется милливольтметром переменного тока. В связи с тем что через измеряемый резистор протекает постоянный ток строго фиксированной величины, падение напряжения на нем оказывается прямо пропорциональным его сопротивлению. Поэтому шкала омметра получается линейной и можно использовать шкалу стрелочного микроамперметра.

В конструкции применена электроннолучевая трубка типа 7ЛО-55 с зеленым свечением экрана. Вместо нее можно использовать трубки типов 5ЛО-38 и 6ЛО-1И, хотя в этих случаях придется несколько изменить режимы питания. Вместо рекомендованных транзисторов типа МП416 можно использовать транзисторы широкого применения, такие как МП402—МП403, МП422—МП423, ГТ308—ГТ309 и т. д. Вместо транзистора П309 можно поставить более распространенные транзисторы типов КТ601—КТ605, вместо кремниевого транзистора КТ315—транзисторы типов КТ301, КТ312, МП111—МП113 с коэффициентами передачи тока  $B$  не менее 50. Вместо полевого транзистора КП103 можно применить транзисторы типа КП102 с любой буквой, изменив полярность питающего напряжения. Все транзисторы, за исключением транзистора типа КТ315, на котором собран стабилизатор тока, могут иметь коэффициенты передачи тока  $B$  не менее 20.

В качестве кнопочных переключателей наиболее удобно применить переключатель типа П2-К с шагом 10 мм или в крайнем случае с шагом 15 мм. Все переменные резисторы — типа СП-0,5, а подстроечные резисторы — типа СПЗ-46. Электролитические конденсаторы — типа К50-6 на напряжение 15 и 25 В, за исключением конденсаторов С53 и С54 типа КЭ на 450 В, а также конденсатора С56 типа К50-6 на напряжение 50 В. Конденсаторы С49—С52 — типа МБГО на напряжение не менее 600 В. Остальные конденсаторы — типа К10-7В и МБМ. Все постоянные резисторы — типа МЛТ.

Силовой трансформатор собран на железе Ш-26, набор сердечника 50 мм. Первичная обмотка, рассчитанная на напряжение 220 В, содержит 1000 витков провода ПЭВ-1 диаметром 0,27 мм, вторичная обмотка со-

стоит из 1300 витков того же провода, но диаметром 0,12 мм. Третья и четвертая обмотки содержат по 26 витков провода ПЭВ-1 диаметром 0,64 мм. Пятая обмотка состоит из 110 витков провода ПЭВ-1 диаметром 0,41 мм.

В качестве стрелочного микроамперметра применен прибор типа М4206 с током полного отклонения 300 мкА и сопротивлением рамки 240 Ом, шкала прибора имеет 30 делений. Вместо него можно применить микроамперметры любого типа с током полного отклонения 50—500 мкА и сопротивлением рамки не более 2000 Ом.

При использовании микроамперметра со шкалой, имеющей другое число делений, можно либо заново изготовить шкалу с 30 делениями, либо изменить пределы измерения напряжений и сопротивлений резисторов, изменив величины резисторов во входном делителе. Например, применив микроамперметр с 50 делениями шкалы, целесообразно сделать следующие пределы измерений: 0—0,05; 0—0,5; 0—5; 0—50 и 0—500 В, а омметра 0—50; 0—500 Ом, 0—5, 0—50 и 0—500 кОм.

После проверки монтажа осциллограф включают в сеть и проверяют режимы транзисторов и радиоламп по постоянному току. Нажимают кнопку  $B2d$ , отключающую генератор развертки от оконечного усилителя горизонтального отклонения, и с помощью регуляторов яркости и фокусировки добиваются появления на экране электроннолучевой трубки светящегося пятна диаметром не более 0,5 мм. Изменяя смещение на сетках правых триодов радиоламп оконечных каскадов усилителей с помощью переменных резисторов  $R32$  и  $R75$ , проверяют пределы перемещения светящегося пятна по экрану трубки. Эти перемещения должны быть не менее 30 мм относительно центра экрана.

Далее переходят к налаживанию усилителя вертикального отклонения. Для этого подключают вход усилителя вертикального отклонения эталонного осциллографа к левому аноду радиолампы (см. рис. 45), а на вход подают сигнал с выхода генератора стандартных сигналов амплитудой 10 мВ и частотой 100 кГц. Входной attenuator устанавливают в положение 10 мВ/д, а движок регулятора уровня  $R9$  — в верхнее по схеме положение и наблюдают форму сигнала на выходе усилителя. Двойной размах амплитуды должен быть не менее 40 В.

В случае искажения формы синусоидального сигнала уточняют режим выходной радиолампы с помощью установки катодного смещения (подстроечный резистор *R26*). Если это не удается, то необходимо проверить режим транзистора *T4*. При малой амплитуде выходного сигнала (отклонение луча менее двух делений шкалы) необходимо увеличить сопротивления резисторов *R22*, *R17*, *R13* до 1,8—2,2 кОм.

Затем, изменяя частоту входного сигнала, снимают амплитудно-частотную характеристику усилителя в полосе частот 10 Гц — 2 мГц. Она не должна отличаться от линейной более чем на  $\pm 3$  дБ. В противном случае необходимо уточнить величины индуктивностей дросселей коррекции *Dp1* и *Dp2*, а также подобрать величины емкостей конденсаторов *C11*, *C15* и *C17*, включенных в эмиттерные цепи транзисторов усилителя. После этого проверяют коэффициент деления входного аттенюатора в указанном диапазоне частот. Для подъема коэффициента передачи на верхних частотах следует увеличить емкости конденсаторов *C1—C3*.

При правильной сборке и применении заведомо исправных деталей генератор развертки начинает работать сразу. Необходимо лишь уточнить границы поддиапазонов частот развертки. Эти границы в области нижних частот устанавливают подбором емкостей конденсаторов *C31—C34*. Движок переменного резистора *R43* (см. рис. 47) должен находиться в верхнем по схеме положении. Для перекрытия частоты в пределах каждого поддиапазона не менее чем в 10 раз подбирают сопротивление резистора *R44*. Иногда для обеспечения устойчивой работы генератора развертки в непрерывном и ждущем режимах может потребоваться уточнить сопротивления резисторов *R46* и *R48*, а также напряжение стабилизации стабилитронов *D4* и *D3*.

В рассматриваемой схеме отсутствует внешняя синхронизация. При желании ее можно ввести, применив дополнительный переключатель, связанный с точкой *3* (см. рис. 47) и входом усилителя горизонтального отклонения.

Налаживание усилителя горизонтального отклонения производят так же, как и вертикального.

Для налаживания милливольтметра отключают левый по схеме конденсатор *C57* (см. рис. 49) от входного

аттенюатора и со звукового генератора подают на него напряжение 7,5 мВ частотой 1—5 кГц. Подстроечным резистором *R106* добиваются отклонения стрелки прибора на последнее деление шкалы. Восстановив цепь, подают на вход милливольтметра со звукового генератора напряжение 30 мВ, включают предел измерения 0—30 мВ и с помощью подстроечного резистора *R95* устанавливают стрелку на последнее деление шкалы. Затем увеличивают выходное напряжение звукового генератора и, переключая поддиапазоны входного аттенюатора, с помощью подстроечных резисторов *R92*, *R90*, *R88* и *R86* устанавливают верхние пределы поддиапазонов измерения напряжения переменного тока.

Для калибровки прибора в режиме измерения постоянного напряжения на его вход подают напряжение, соответствующее верхнему пределу того или иного поддиапазона, и с помощью подстроечного резистора *R104* устанавливают стрелку прибора на последнее деление шкалы.

Налаживание омметра сводится к подбору необходимых значений тока стабилизатора. Для этого параллельно входным гнездам (*Гн5*, *Гн6*) прибора подключают эталонный миллиамперметр постоянного тока с пределами измерения 1; 0,1; 0,01 мА, устанавливают режим измерения сопротивлений или напряжений постоянного тока и нажимают кнопку *Кн1* («измерение»). С помощью одного из подстроечных резисторов *R115*, *R117*, *R118* в соответствии с выбранным поддиапазоном устанавливают токи стабилизатора 1; 0,1 и 0,01 мА.

Если отсутствует эталонный миллиамперметр постоянного тока, калибровку омметра можно произвести следующим образом. Берут резисторы с сопротивлениями, равными верхним пределам омметра (3,30 и 300 кОм) с допуском не хуже 0,5—1%, и, последовательно подключая их ко входу прибора, устанавливают соответствующие пределы измерений. Затем нажимают кнопку *Кн1* и с помощью указанных ранее подстроечных резисторов добиваются отклонения стрелки прибора на последнее деление шкалы.

Милливольтметр можно изготовить в виде отдельного самостоятельного прибора или ввести в состав звукового генератора. Для этого необходимо изготовить отдельный источник питания с напряжением около 15—

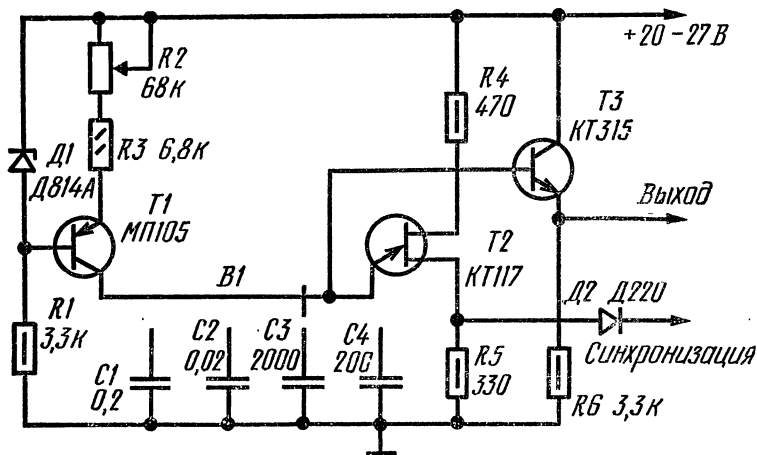


Рис. 50. Принципиальная схема генератора развертки на однопереходном транзисторе

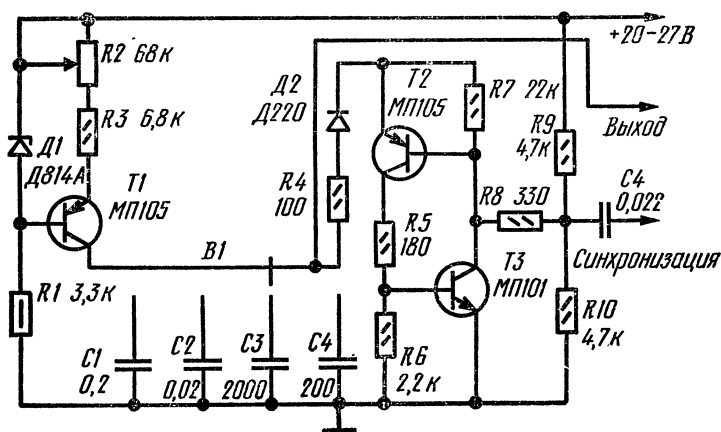


Рис. 51. Принципиальная схема генератора развертки на аналоге однопереходного транзистора

24 В. Если применить более чувствительный микроамперметр, например, с током полного отклонения 50—150 мкА и вместо указанного стабилитрона Д21 — типа КС133 или КС139, то напряжение источника питания можно снизить до 9 В.

Если не нужна ждущая развертка, схему генератора развертки можно упростить. В этом случае генератор (рис. 50) собран на однопереходном транзисторе  $T2$ . Частота повторения пилообразных импульсов грубо устанавливается с помощью переключателя  $B1$ , подключающего один из времязадающих конденсаторов  $C1—C4$ . Плавное изменение частоты в пределах каждого поддиапазона производится с помощью переменного резистора  $R2$ , изменяющего величину зарядного тока. На транзисторе  $T1$  собран стабилизатор тока, а на транзисторе  $T3$  — эмиттерный повторитель, с выхода которого пилообразное напряжение с амплитудой около 10 В подается на усилитель горизонтального отклонения осциллографа. Напряжение синхронизации подают в цепь первой базы однопереходного транзистора.

Налаживание генератора при использовании заведомо исправных деталей сводится к установке требуемого перекрытия по частоте в пределах поддиапазонов подбором сопротивлений резисторов  $R1$  и  $R2$ , а также границ каждого поддиапазона подбором емкостей конденсаторов  $C1—C4$ .

При отсутствии однопереходных транзисторов схему можно собрать на обычных биполярных транзисторах (рис. 51). Принцип работы аналога однопереходных транзисторов был рассмотрен в первой главе.

Синхронизация частоты генераторов пилообразного напряжения, собранных по приведенным схемам, осуществляется отрицательной полуволной сигнала, наблюдаемого на экране осциллографа. Коэффициент передачи тока транзистора, используемого в схеме стабилизатора тока, должен быть не менее 60. Остальные транзисторы могут иметь коэффициент передачи тока 30—60.

## Глава VI

# ИЗМЕРИТЕЛИ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

### 1. ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРОВ

В радиолюбительской практике наиболее широкое распространение получили простейшие приборы, позволяющие измерять самые важные параметры транзисторов — коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером и начальный ток коллектора при отключенной базе. Кроме того, с помощью этих приборов можно определить наличие в транзисторе короткого замыкания или обрыва между электродами.

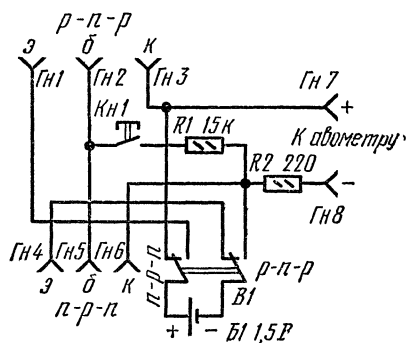


Рис. 52. Принципиальная схема приставки к авометру для измерения параметров транзисторов

В качестве примера рассмотрим следующую простую конструкцию. Один из таких измерителей (рис. 52) выполнен в виде приставки к обычному авометру. Прибор состоит из переключателя  $B1$ , кнопки  $КН1$ , двух резисторов, источника питания  $B1$  и двух контактных планок для подключения транзисторов. Добавочный резистор



$R2$ , включенный в цепь коллектора, предохраняет авометр, работающий в режиме измерения токов, от больших перегрузок в случае коротких замыканий в транзисторе. Резистор  $R1$  при нажатой кнопке  $Kн1$  обеспечивает ток базы проверяемого транзистора, равный 100 мкА.

Переключателем  $B1$  изменяют полярность подключения источника питания в соответствии со структурой испытываемого транзистора. Если кнопка не нажата, база проверяемого транзистора отключается от источника питания и миллиамперметр показывает величину начального тока коллектора. Переключателем  $B1$  служит шестиконтактный тумблер, а кнопкой  $Kн1$  — микровыключатель типа КМ-3. Питание осуществляется от одного гальванического элемента типа 343. Авометр переключают на предел измерения постоянного тока, равный 0,6 мА или 0—10 мА. В первом случае вся шкала авометра будет соответствовать пределу измерения  $B$ , равному 60, а во втором — 100.

Для проверки транзистора переключатель  $B1$  ставят в положение, соответствующее структуре транзистора, а сам транзистор вставляют в гнезда соответствующей контактной планки. Если транзистор исправен, то стрелка прибора покажет величину начального тока коллектора. Для удобства отсчета авометр нужно переключить на измерение самого наименьшего тока. При наличии короткого замыкания стрелка авометра будет зашкаливать. Коэффициент передачи тока определяют по отклонению стрелки авометра при нажатой кнопке  $Kн1$ .

Необходимое сопротивление резистора  $R1$  при других напряжениях питания испытываемых транзисторов  $U$ , тока полного отклонения авометра  $I$  и желаемом пределе измерения коэффициента передачи тока  $B_{\max}$  рассчитывают по формуле:

$$R1 = \frac{U B_{\max}}{I}.$$

С помощью рассмотренного прибора можно проверить только маломощные транзисторы.

В ряде случаев недостаточно знать только коэффициент усиления передачи тока и величину начального тока коллектора. Например, при конструировании раз-

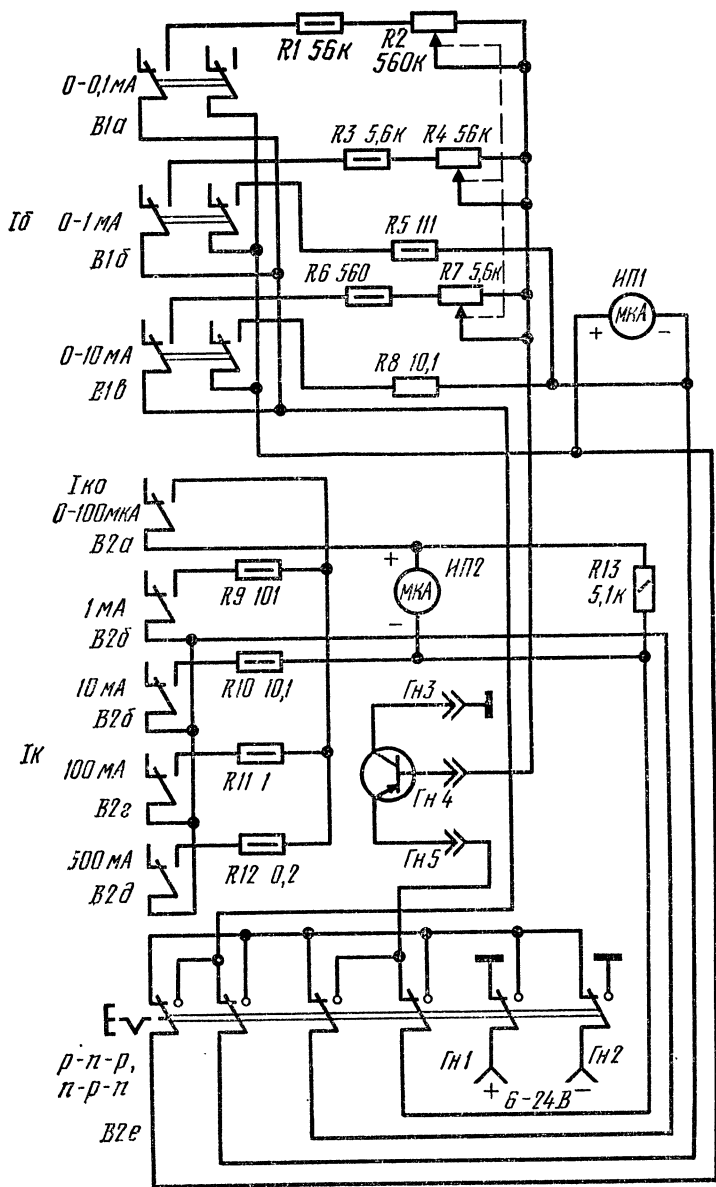


Рис. 53. Принципиальная схема прибора для проверки основных параметров транзисторов

личных балансных схем или бестрансформаторных усилителей требуется подобрать два или более транзистора с одинаковыми параметрами. В связи с этим для радиолюбителей представит большой интерес прибор, позволяющий измерять зависимость изменения тока коллектора от тока его базы (рис. 53). С его помощью можно проверять не только маломощные, но и мощные транзисторы.

Как видно из схемы, в состав прибора введены два стрелочных микроамперметра, с помощью которых производится установка тока базы транзистора и измерение тока коллектора. Ток базы можно установить в пределах 10—100 мкА; 0,1—1 и 1—10 мА, а ток коллектора от 0 до 500 мА измерять на следующих поддиапазонах: 0—100 мкА, 0—1, 0—10, 0—100 и 0—500 мА. Питается прибор от четырех гальванических элементов типа 373, включенных последовательно.

Требуемый предел тока базы устанавливают кнопочным переключателем *B1*, а плавно его изменяют переменными резисторами *R2*, *R4* и *R6*. Резисторы *R1*, *R3* и *R5* ограничивают максимальное значение тока базы на соответствующем пределе. Резисторы *R9—R12* являются шунтами стрелочных микроамперметров *ИП1* и *ИП2*. Кнопочный переключатель *B2* служит для переключения пределов измерения тока коллектора проверяемого транзистора. С помощью независимой кнопки *B2e*, входящей в состав переключателя *B2*, изменяют полярности подключения батареи питания и микроамперметров в зависимости от структуры проверяемых транзисторов. Резистор *R13* ограничивает величину перегрузки микроамперметра *ИП2* при измерении начального тока коллектора в случае короткого замыкания в транзисторе.

Работают с прибором следующим образом. Устанавливают кнопку вида структуры проверяемого транзистора в соответствующее положение и подключают транзистор. Затем выключают переключатель *B1*, нажимают кнопку переключателя *B2* и по шкале микроамперметра *ИП2* определяют значение начального тока коллектора. Если стрелка прибора зашкаливает, что может случиться при проверке мощных транзисторов, нажимают кнопку «*I<sub>к</sub>*» — 1 мА или «*I<sub>к</sub>*» — 10 мА. Далее устанавливают требуемый поддиапазон тока базы. Плавно

изменяя этот ток одним из переменных резисторов  $R_2$ ,  $R_4$  и  $R_6$  и контролируя его величину по прибору  $ИП1$ , измеряют соответствующее значение тока коллектора по прибору  $ИП2$ . Пользуясь результатами измерений, строят график зависимости тока коллектора от тока базы. На основании этого графика можно определить величину коэффициента передачи тока в любой рабочей точке, а построив семейство таких зависимостей для ряда транзисторов, — произвести подбор пары транзисторов с одинаковыми или близкими характеристиками.

В рассматриваемой конструкции микроамперметрами являются приборы типа  $M4202$  с током полного отклонения  $100$  мкА и с сопротивлением рамки  $1000$  Ом. Если сопротивление рамки прибора окажется меньше  $1000$  Ом, то во избежание перерасчета сопротивлений шунтов последовательно со стрелочными приборами следует включить также добавочные резисторы, чтобы суммарное сопротивление оказалось равным  $1000$  Ом. Резисторы  $R_9—R_{12}$  — типа УЛИ, переменные резисторы  $R_2$ ,  $R_4$  и  $R_6$  — типа СПО-1,0. В качестве переключателей  $B_1$  и  $B_2$  применены кнопочные переключатели типа П2-Г. Первый состоит из трех кнопок с зависимым включением, а второй — из пяти зависимых и одной независимой кнопок.

При отсутствии кнопочных переключателей можно вместо  $B_1$  применить галетный переключатель типа ЗП2Н-ПМ, а вместо  $B_2$  — два переключателя типов 5П3Н-ПМ и 2П6Н-ПМ. Первым изменяют пределы измерения токов, а вторым — полярность измерительных приборов и источника питания в зависимости от структуры проверяемых транзисторов.

## **2. ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ДИОДОВ, СТАБИЛИТРОНОВ И ВАРИКАПОВ**

При изготовлении различных балансных модуляторов, стабилизаторов опорного напряжения или пере-страиваемых генераторов для проверки широкополосных усилителей радиолюбителю необходимо знать вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов, стабилитронов, а также зависимость емкости вари-

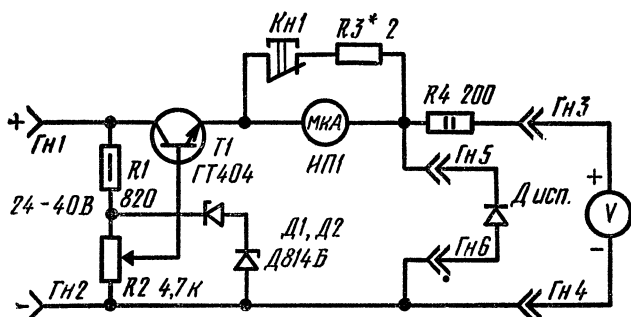


Рис. 54. Принципиальная схема приставки для проверки диодов и стабилитронов

капа от питающего напряжения. Такие данные для каждого экземпляра полупроводникового прибора можно получить только экспериментальным путем. Именно поэтому приставка для проверки полупроводниковых приборов и стабилитронов (рис. 54) представляет большой интерес для широких кругов радиолюбителей.

В состав приставки входит стабилизатор питающего напряжения ( $T1$ ,  $D1$ ,  $D2$ ) с плавной регулировкой выходного напряжения в пределах  $0-20$  В при максимальном токе не более  $20$  мА, миллиамперметр  $ИП1$  и входные гнезда. Гнезда  $Гн1$ ,  $Гн2$  предназначены для подключения внешнего источника питающего напряжения,  $Гн5$ ,  $Гн6$  — испытуемого полупроводникового диода или стабилитрона,  $Гн3$ ,  $Гн4$  — вольтметра постоянного тока. Резистор  $R4$  ограничивает максимальную величину перегрузки стрелочного миллиамперметра при коротком замыкании между выводами полупроводникового прибора. Резистор  $R3$  является шунтом, с помощью которого выбирается верхний предел измерения тока стрелочного прибора. Переменным резистором  $R2$  плавно регулируют выходное напряжение стабилизатора. Кнопка  $Кн1$  служит для отключения шунта от стрелочного прибора при измерении обратных токов полупроводниковых диодов.

Подключив к соответствующим гнездам внешний источник питания, вольтметр постоянного тока и испытуемый стабилитрон, с помощью переменного резистора  $R2$  устанавливают минимальное выходное напряже-

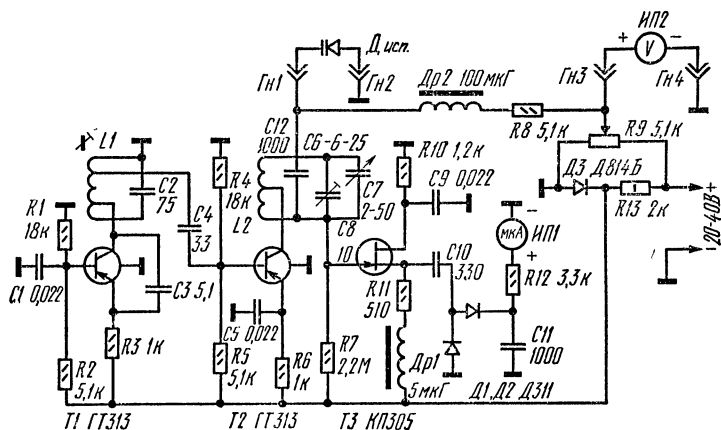


Рис. 55. Принципиальная схема приставки для проверки варикапов и измерения малых емкостей конденсаторов

ние. Затем увеличивают его до появления тока через стрелочный прибор. Установив требуемый ток через стабилитрон, с помощью вольтметра определяют величину напряжения стабилизации. Для удобства измерений желательно использовать вольтметр с растянутой шкалой и с входным сопротивлением не менее 20 кОм/В. Аналогично производят испытания диодов в прямом направлении.

Для измерения обратного тока включают испытуемый диод, устанавливают необходимое напряжение и нажимают кнопку *Kn1*. Отсчет снимают со шкалы микроамперметра типа М494 с током полного отклонения 100мкА и с сопротивлением рамки 1000 Ом.

Стабилитроны *D1*, *D2* могут быть любого типа, желательно, чтобы их общее напряжение стабилизации было бы не менее 20 В. Сопротивление шунта *R3* подбирают такой величины, чтобы ток полного отклонения микроамперметра составил 50 мА. Вместо транзистора *T1* типа ГТ403 можно применить любой транзистор средней мощности с коэффициентом *B* не менее 30, например, П213—П217.

Измерение емкости варикапов обычно производят методом замещения в реальной схеме, что позволяет

определить реальное значение емкости на частоте около 30 МГц. Поэтому в состав приставки (рис. 55) входят: задающий генератор частотой 30 МГц, собранный на транзисторе  $T1$ , буферный каскад на транзисторе  $T2$  и высокочастотный вольтметр с усилителем высокой частоты, собранный на полевом транзисторе  $T3$ . Питается приставка от внешнего источника напряжением 20—40 В. Измерение напряжения смещения на варикапе производится с помощью внешнего вольтметра постоянного тока.

Задающий генератор высокой частоты собран на транзисторе  $T1$  по схеме с общей базой с емкостной положительной обратной связью. Для повышения стабильности частоты применено неполное включение контура в цепь коллектора этого транзистора. Второй каскад — усилитель высокой частоты с резонансной нагрузкой. Для ослабления влияния параметров транзистора на резонансные свойства контура  $L2 C6 C7$  применена слабая связь контура с коллекторной цепью транзистора. Конденсатор  $C7$  — переменный с воздушным диэлектриком, имеет шкалу, градуированную в единицах емкости. С его помощью измеряют собственную емкость варикапа, а также емкость точечных кремниевых диодов, которые иногда применяют вместо варикапов.

Напряжение с контура усилительного каскада через конденсатор  $C10$  подается на усилитель высокой частоты вольтметра. В этом каскаде применена высокочастотная коррекция с помощью дросселя  $Dr1$ . Выпрямитель вольтметра собран по схеме удвоения напряжения на диодах  $D1, D2$ . В качестве измерителя использован стрелочный микроамперметр  $ИП1$ . Питание всех транзисторов приставки осуществляется от параметрического стабилизатора напряжения, собранного на стабилитроне  $D3$  и резисторе  $R13$ . С помощью переменного резистора  $R9$  устанавливается напряжение смещения на испытуемом варикапе.

Емкость варикапа измеряют следующим образом. К гнездам  $Гн1, Гн2$  подключают варикап, к гнездам  $Гн3, Гн4$  — вольтметр постоянного тока с входным сопротивлением не менее 20 кОм/В, а на гнезда  $Гн5, Гн6$  подают напряжение от внешнего источника питания. Перед подключением варикапа переменный конденсатор  $C7$  устанавливают в положение максимальной ем-

кости, что соответствует показанию его шкалы 0 пФ, а конденсатором  $C_6$  по максимальному отклонению стрелки контур  $L_2C_6C_7$  настраивают в резонанс. Затем по показанию внешнего вольтметра постоянного тока с помощью переменного резистора  $R_9$  на варикапе устанавливают требуемое напряжение смещения и, вращая ротор переменного конденсатора, вновь добиваются максимального отклонения стрелки высокочастотного вольтметра. Величину емкости варикапа определяют по шкале переменного конденсатора. Произведя такие измерения при различных напряжениях смещения, можно получить график зависимости емкости варикапа от напряжения смещения, что существенно облегчит задачу подбора нескольких идентичных экземпляров для той или иной конструкции.

В приставке применены следующие детали. Транзисторы  $T_1, T_2$  — типа ГТ313 с любой буквой и с коэффициентом передачи тока  $B$  не менее 30. Катушки контуров намотаны на каркасах диаметром 7,5 мм с латунными подстроечными сердечниками диаметром 6 мм. Первая катушка содержит 10 витков провода ПЭВ-1 0,35 с отводами от 1-го и 4-го витков, считая от верхнего по схеме конца катушки. Вторая катушка выполнена аналогичным образом. Дроссели  $Др_1, Др_2$  — типа ДМ-0,1. Все конденсаторы постоянной емкости — типа КТ-1, КЛС. Микроамперметр — типа М494 с током полного отклонения 50—100 мкА.

При желании рабочую частоту генератора можно изменять в широких пределах, меняя число витков катушек. Калибровку шкалы переменного конденсатора можно произвести, подключая вместо испытываемого варикапа эталонные конденсаторы небольшой емкости.

При отсутствии готовых дросселей их можно изготовить самостоятельно. Оба дросселя наматывают на резисторах типа МЛТ-1,0 с сопротивлением не менее 510 кОм. Дроссель  $Др_1$  состоит из 20, а дроссель  $Др_2$  из 120 витков провода ПЭВ-1 0,1.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Приборы, предназначенные для измерения в цепях постоянного и переменного тока . . . . .	3
Глава II. Измерители <i>RLS</i> . . . . .	43
Глава III. Измерительные генераторы . . . . .	58
Глава IV. Измерители частоты . . . . .	96
Глава V. Электроннолучевые осциллографы . . . . .	110
Глава VI. Измерители параметров полупроводниковых приборов . . . . .	135

Дмитрий Андреевич Демиденко,  
Дмитрий Аронович Кругликов

### РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Редактор Л. И. Карнозов  
Обложка художника И. А. Тарасова  
Художественный редактор Т. А. Хитрова  
Технический редактор В. Н. Кошелева  
Корректоры Р. М. Рыкунина, В. Д. Синёва

---

Г 80754. Сдано в набор 8/VI 1976 г.  
Подп. к печати 24/I 1977 г. Изд. № 2/931  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага тип. № 2. Тираж 200 000 экз.  
Цена 56 коп. Объем: физ. п. л. 4,5 усл. п. л. 7,56.  
Уч.-изд. л. 7,52. Зак. 7—409.

Ордена «Знак Почета» Издательство ДОСААФ СССР,  
107066, Москва, Б-66, Новорязанская ул., 26. Отпечатано  
с матриц 1-й тип. Профиздата, Москва, Крутицкий  
вал, 18 на Головном предприятии республиканского про-  
изводственного объединения «Полиграфкнига» Госком-  
издата УССР, г. Киев, ул. Довженко, 3.

56 коп.