



ОРГАНИЗАЦИЯ  
ЗА СЪДЕЙСТВИЕ  
НА ОТБРАНАТА  
ЦЕНТРАЛЕН СЪВЕТ



# ЕЛЕКТРОНИК



Инж. ПЕТЪР Г. СТОЙКОВ

# ЕЛЕКТРОНИКЪ

ДЪРЖАВНО ИЗДАТЕЛСТВО "ТЕХНИКА"  
СОФИЯ. 1987

**УДК 621.317(023)**

Книгата е ръководство за работа с набор от електронни елементи. В нея последователно са разгледани някои основни методи на радиотехническите измервания, устройството и принципът на действие на показаните измерителни уреди, както и начините за настройката и калибровката им.

Книгата е предназначена за радиолюбители с различна степен на подготовка, както и за учещи се и възрастни без специална подготовка по радиоелектроника.

© Петър Ганчев Стойков. 1987  
с/о Jusautor, Sofia

**621.3**

## ПРЕДГОВОР

Книгата "Електроник-3" е ръководство за работа с комплект електронни елементи, който съдържа микроамперметър тип МР 40 (МР 80) с обхват 100  $\mu$ А, диоди, транзистори, кондензатори, резистори и др.

Описани са различни уреди, с които могат да се извършват основните радиотехнически измервания: ампер-волт-омметри, измерителни генератори, R L I-метри, честотомери, уреди за проверка на активни електронни елементи (диоди, транзистори и интегрални схеми), измерители на интензитета на електромагнитното поле, електронен осцилоскоп и др. За всеки уред са дадени основни пояснения за принципа на работа, някои съображения при избора на съставните му части, посочени са параметрите, методите за настройка, калибровка и т. н. По-голямата част от разглежданите уреди могат да се използват и като приставки към фабрични универсални уреди.

Всички описани устройства са изградени с български електронни елементи. Схемите са макетирани и изпробвани, но са възможни някои различия в резултатите поради производствения толеранс в параметрите на електронните елементи.

Авторът благодари на полковник инж. М. Петранов, доц. к. т. н. инж. Д. Русев, ст. н. с. к. т. н. инж. Ж. Бойчев и на всички свои колеги, участвали в съставянето, обсъждането, рецензирането и редактирането на ръкописа.

Всички забележки и препоръки, които имат за цел подобряването на книгата, ще бъдат приети с благодарност от автора на адреса на издателството - София 1000, бул. "Руски" № 6.

Авторът

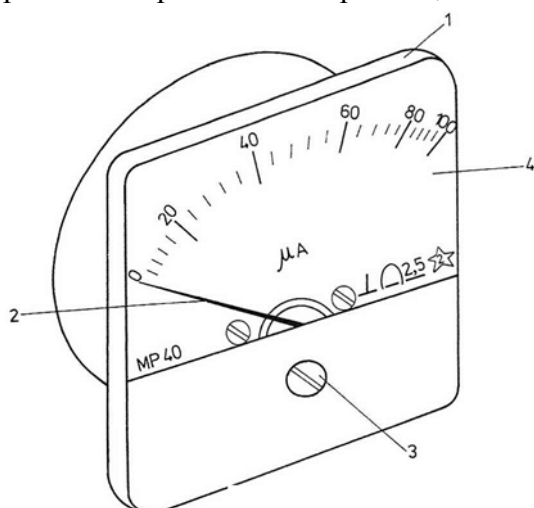
# 1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИЗМЕРВАНИЯТА И ИЗМЕРИТЕЛНИТЕ УРЕДИ

Експерименталното сравняване на една физична величина с определена нейна стойност, приета за единица, се нарича измерване. Измерванията се извършват с измерителна апаратура, която съдържа мерки, измерителни уреди и принадлежности. Мярката е конкретен образец, който възпроизвежда с известна точност измерителната единица или нейна кратна стойност. При радиотехническите измервания най-често се използват мерките за активно съпротивление, индуктивност, капацитет и електродвижещо напрежение (е. д. н.), изпълнени във вид на резистори, индуктивни бобини, кондензатори и нормални елементи.

Измерителен уред се нарича устройството, което служи за пряко или косвено сравняване на измерваната величина с мерките.

Към измерителните принадлежности спадат различните реостати, потенциометри, трансформатори, шнурове, допълнителни съпротивления, делители на напрежение и др. Те се използват за регулиране режима на измерителните вериги, за разширяване на измерителните обхвати или за връзка с измерваните обекти.

В зависимост от устройството си уредите, които се използват в радиоелектронните измервания, могат да се разделят на три групи:



Фиг. 1.1

- 1) електромеханични измерителни уреди (магнитоелектрични, детекторни, термоелектрични, електростатични и др.);
- 2) електронни измерителни уреди, в които са вградени електронни и газоразрядни лампи, транзистори, интегрални схеми, фотоелементи, електроннолъчеви тръби и др.;
- 3) източници на сигнали за проверяване на електронните устройства (измерителни генератори - нискочестотни, широколентови, високочестотни, шумови, импулсни и др.).

Според вида на получения резултат на изхода им измерителните уреди се разделят на аналогови и цифрови. При аналоговите уреди

показващият орган се премества спрямо скалата.

Непрекъснатата величина на входа се заменя с аналогична на нея непрекъсната поредица от стойности на изхода. При цифровите уреди измерваната величина се представя на изхода в дискретна форма - във вид на число или код, т. е. непрекъснатата поредица от стойности на входната величина се представя на изхода с ограничен брой нейни дискретни стойности, зависещи от значността на отчитащото устройство.

На фиг. 1.1 е показан външният вид на магнитоелектричен измерителен уред от типа MP 40. Съставните елементи на този уред са кутията 1, стрелката (показалеца) 2, винтът 3 и скалата 4. В кутията са поместени всичките части на уреда, като клемите за свързване с измерваната верига са разположени върху задната и страна. При въртене на винта 3 стрелката се нагласява по механичен път точно срещу нулевото деление върху скалата.

Скалата на един уред е равномерна, когато чувствителността му във всички нейни сектори е еднаква.

*Показание на уреда* е стойността на измерваната величина, която съответства на дадено положение на показалеца.

Основни характеристики на измерителните уреди са чувствителността и вътрешното и изходното им съпротивление.

*Чувствителността* представлява способността му да измерва малки стойности на електрическите величини. За уреда, показан на фиг. 1.1, изменение на тока с  $4\text{ }\mu\text{A}$  предизвиква преместване на стрелката с едно деление. Следователно чувствителността му е равна на  $0,25\text{ дел}/\mu\text{A}$ . Ако един уред има обхват  $0 \div 600\text{ }\mu\text{A}$ , а друг –  $0 \div 100\text{ }\mu\text{A}$ , със сигурност може да се каже, че вторият е по-чувствителен от първия при условие, че имат еднакви по дължина и по брой на деленията скали.

*Вътрешното съпротивление* на измерителните уреди представлява съпротивлението между клемите, чрез които се осъществява свързването с измервания обект. То може да се разглежда като входно съпротивление в зависимост от вида на схемата. Например за волтметрите, честотометрите, осцилоскопите и някои други уреди входното съпротивление е важен качествен показател, защото създава допълнителен товар в измерваната верига. При измерителните уреди, които са източници на променливо напрежение (генератори и преобразуватели), вътрешното съпротивление се разглежда като *изходно*. Измерваната верига с нейното входно съпротивление се включва паралелно на изходното съпротивление на генератора и по този начин го шунтира. Влиянието на външно включената верига върху работата на генератора се постига с намаляване на неговото изходно съпротивление.

Резултатът от измерването може да се различава от действителната стойност на измерваната величина поради наличието на грешки в мерките и измерителните уреди, както и поради неточности, допускани при отчитане на данните от измерването.

В зависимост от точността им аналоговите електроизмерителни уреди се делят на осем класа: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Върху скалата на всеки уред освен градуировката, състояща се от белези (черти) и цифри, са нанесени и някои условни означения, които дават допълнителна информация. Символите на скалата от фиг. 1.1 отляво надясно имат следния смисъл:

- работно положение на уреда - вертикално;
- магнитоелектрична система с подвижна бобина;
- система за измерване на постоянен ток с клас на точност 2,5;
- допустимо изпитвателно напрежение между корпуса и магнитоелектричната система в kV (2 kV).

## **1.1. ИЗМЕРВАНЕ НА ПОСТОЯНЕН ТОК**

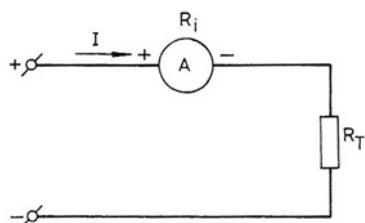
Уредите, с които се измерва ток, се наричат *амперметри*. Амперметрите винаги се включват *последователно* на товара в електрическата верига (фиг. 1.2). При такова свързване вътрешното съпротивление на измерителния уред  $R_i$  е последователно свързано на съпротивлението на товара  $R_T$ . В резултат на това токът, който се измерва, се различава от действителния поради грешката, предизвикана от вътрешното съпротивление. Колкото по-малко е вътрешното съпротивление на амперметъра  $R_i$  от товарното съпротивление  $R_T$  толкова по-малко ще бъде влиянието му върху измервания ток.

Ако се използва микроамперметър с ток на пълното отклонение (наречен номинален ток)  $100\text{ }\mu\text{A}$ , измерваният ток не бива да превишава тази стойност. При включване на уреда във верига с ток, по-голям от номиналния, стрелката рязко се отклонява вдясно. Тя може да се изкриви или счупи, а бобината да прегори, ако не последва бързо изключване.

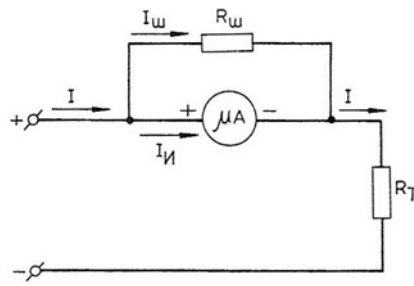
За да може да се измерва ток, по-голям от номиналния, паралелно на клемите на амперметъра трябва да се свърже резистор  $R_{ш}$  (фиг. 1.3), наречен шунт. Неговото съпротивление задължително се избира с по-малка стойност от вътрешното съпротивление на бобината.

Целта е по-голямата част от измервания ток да протече през резистора  $R_{ш}$ , а по-малката - през измерителния уред.

Например, ако се измерва ток с големина 1 mA при наличие на измерителен уред с номинален ток 100  $\mu$ A (0,1 mA), през шунта трябва да бъде отклонен ток с големина 0,9 mA. Това е така, защото  $I = I_{ш} + I_{и}$ . Но  $I_{и} = 0,1$  mA. Тогава  $I_{ш} = I - I_{и} = 1 - 0,1 = 0,9$  mA.



Фиг. 1.2



Фиг. 1.3

Следователно, ако е необходимо обхватът на уреда за измерване на ток да се разшири  $n$  пъти, стойността на  $R_{ш}$  ще се определи от съотношението  $R_{ш} = R_i/n - 1$ .

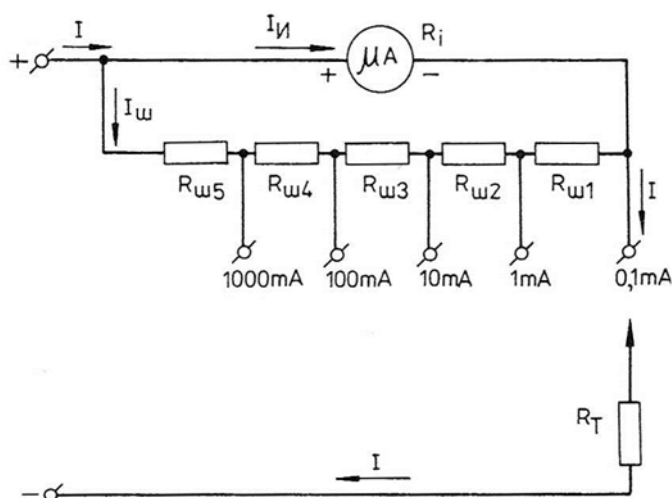
В практиката се използват многообхватни уреди за измерване на ток. Те имат универсален многостепенен шунт, изработен на следния принцип (фиг. 1.4): съпротивлението на шунта за всеки по-малък обхват се получава чрез добавяне на допълнително съпротивление към шунта за по-големия обхват.

*Пример.* Да се изчисли универсален шунт за обхвати 0,1 mA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1000 mA. Да се осигури точност, съответстваща на максимална относителна грешка  $\Delta = 0,01$  (1%) на измерваните токове в обхвата 0,1 mA. Задачата да се реши за магнетоелектричен измерителен уред тип МР 40 с номинален ток 100  $\mu$ A и вътрешно съпротивление  $R_i = 1800 \Omega$

*Решение.* За постигане на зададената точност в обхват 0,1 mA е необходимо общото съпротивление на универсалния шунт (фиг. 1.5 до 1.8) да отговаря на условието

$$R_{ш0} = R_{ш5} + R_{ш4} + R_{ш3} + R_{ш2} + R_{ш1} = \left(\frac{1}{\Delta} - 1\right) R_i \quad (1.1)$$

или  $R_{ш0} = \left(\frac{1}{0,01} - 1\right) R_i = 99 R_i = 99 \cdot 1800 = 178200 \Omega$

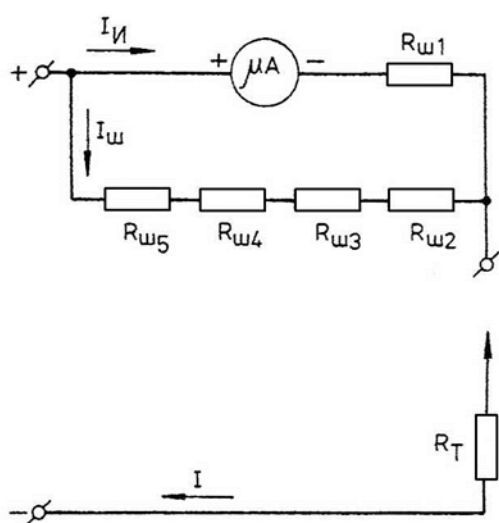


Фиг. 1.4

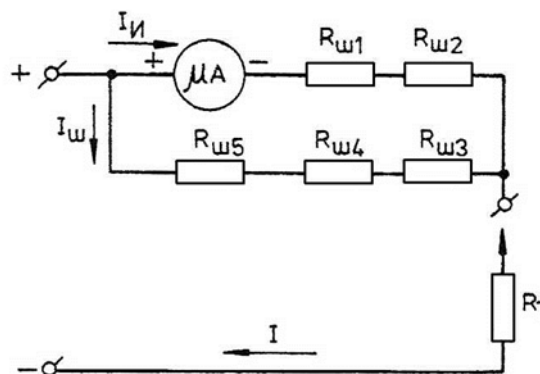
За всеки от останалите обхвати е в сила зависимостта

$$R_{\text{и}} = (n - 1)R_{\text{ш}}, \quad (1.2)$$

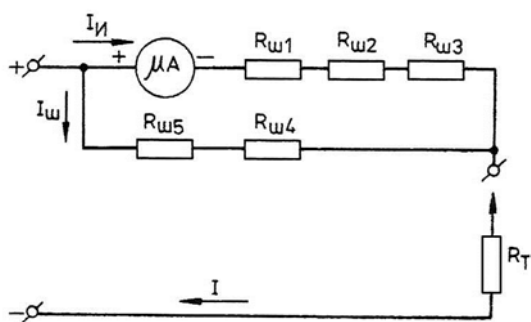
където  $R_{\text{и}}$ ,  $R_{\text{ш}}$  и  $n$  са съответно стойностите на вътрешното съпротивление на уреда с



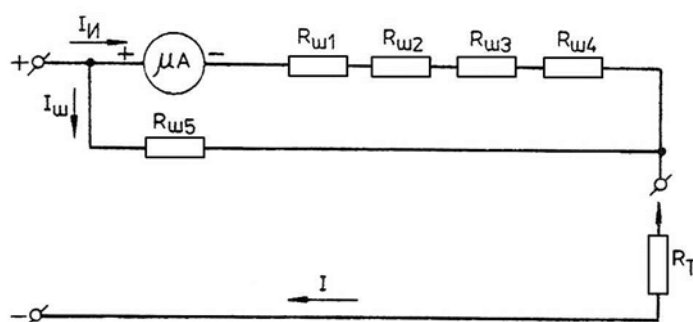
Фиг. 1.5



Фиг. 1.6



Фиг. 1.7



Фиг. 1.8

шунта, шунтовото съпротивление и коефициентът на разширение, валидни за дадения обхват. За улеснение при изчисленията се използва табл. 1.1, която съдържа пет колони. В първата колона са нанесени предварително избраните обхвати на милиамперметъра, във втората - коефициентът на разширение, изчислен за всеки обхват, в третата - съпротивлението на уреда при свързан шунт, в четвъртата - формулата за изчисляване на шунтовото съпротивление, в петата - окончателната формула за изчисляване на съпротивлението на уреда, в която  $R_{\text{и}}$  е заместено от третата колона, а  $R_{\text{ш}}$  - от четвъртата колона. Така е възможно да се изчисли всяко  $R_{\text{ш}}$ , като се започне от  $R_{\text{ш5}}$ .

Като се вземе предвид зависимостта (1.2) за обхват 1000 mA (вж. табл. 1.1) и условието (1.1), може да се запише

$$9999R_{\text{ш5}} = R_{\text{и}} + (R_{\text{ш0}} - R_{\text{ш5}}) = 100R_{\text{и}} - R_{\text{ш5}}, \quad (1.3)$$

откъдето

$$R_{\text{ш5}} = \frac{R_{\text{и}}}{100} = \frac{1800}{100} = 18\Omega \quad (1.3a)$$

От зависимостта (1.2) за обхвати 1000 mA и 100 mA (вж. табл. 1.1) може да се изведе уравнението

$$999 \cdot (R_{\text{ш5}} + R_{\text{ш4}}) = 9999 \cdot R_{\text{ш5}} - R_{\text{ш4}} \quad (1.4)$$

което, решено по  $R_{ш4}$ , дава

$$R_{ш4} = 9 \cdot R_{ш5} = 9 \cdot 18 = 162 \Omega \quad (1.4a)$$

Таблица 1.1

Обхват	n	$R_{ш}$	$R_{ш}$	$R_{ш} = (n - 1) \cdot R_{ш}$
mA 1	$\frac{1mA}{0,1mA} = 10$	$R_i + R_{ш1}$	$R_{ш5} + R_{ш4} + R_{ш3} + R_{ш2}$	$R_i + R_{ш1} = 9 \cdot (R_{ш5} + R_{ш4} + R_{ш3} + R_{ш2})$
mA 10	$\frac{10mA}{0,1mA} = 100$	$R_i + R_{ш1} + R_{ш2}$	$R_{ш5} + R_{ш4} + R_{ш3}$	$R_i + R_{ш1} + R_{ш2} = 99 \cdot (R_{ш5} + R_{ш4} + R_{ш3})$
mA 100	$\frac{100mA}{0,1mA} = 1000$	$R_i + R_{ш1} + R_{ш2} + R_{ш3}$	$R_{ш5} + R_{ш4}$	$R_i + R_{ш1} + R_{ш2} + R_{ш3} = 999 \cdot (R_{ш5} + R_{ш4})$
mA 1000	$\frac{1000mA}{0,1mA} = 10000$	$R_i + R_{ш1} + R_{ш3} + R_{ш4}$	$R_{ш5}$	$R_i + R_{ш1} + R_{ш3} + R_{ш4} = 9999 \cdot R_{ш5}$

От зависимостта (1.2) за обхвати 1000 mA и 10 mA следва, че

$$99 \cdot (R_{ш5} + R_{ш4} + R_{ш3}) = 9999 \cdot R_{ш5} - R_{ш4} - R_{ш3} \quad (1.5)$$

Като се вземе под внимание (1.4a), се получава

$$R_{ш3} = 90 \cdot R_{ш5} = 90 \cdot 18 = 1620 \Omega \quad (1.5a)$$

По подобен начин от зависимостите (1.2) при 1000 mA и 1 mA и от (1.4a) и (1.5a) се определя  $R_{ш2}$ :

$$9 \cdot (R_{ш5} + R_{ш4} + R_{ш3} + R_{ш2}) = 9999 \cdot R_{ш5} - R_{ш4} - R_{ш3} - R_{ш2} \quad (1.6)$$

$$R_{ш2} = 900 \cdot R_{ш5} = 900 \cdot 18 = 16200 \Omega \quad (1.6a)$$

Накрая от (1.1) се получава

$$R_{ш1} = R_{ш0} - R_{ш5} - R_{ш4} - R_{ш3} - R_{ш2} = 178200 - 18 - 162 - 1620 - 16200 = 160200 \Omega$$

*Пример.* Да се определи номиналният ток и вътрешното съпротивление на непознат електромеханичен измерителен уред.

*Решение.* За решаване на задачата са необходими още галваничен елемент с напрежение 1,5 V (например R 20), образцов милиамперметър с обхват  $1 \div 2$  mA, регулируем резистор със съпротивление  $5 \div 10$  k $\Omega$  и постоянен резистор, чието съпротивление трябва да се изчисли.

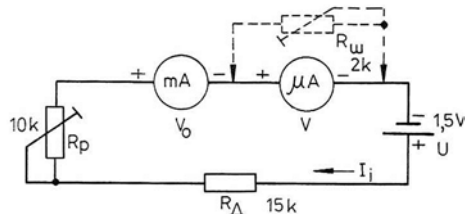
Изброените елементи се свързват по схемата, показана на фиг. 1.9.

Съпротивлението на резистора  $R_d$  се изчислява по закона на Ом, като се предполага, че електромеханичният измерителен уред има номинален ток от порядъка на 100  $\mu$ A.

Тогава при напрежение на батерията 1,5 V ще се изчисли съпротивлението на резистора  $R_d$ :

$$R_d = \frac{U}{I_i} = \frac{1,5V}{0,1mA} = 15k\Omega$$

Плъзгачът на регулируемия резистор  $R_p$  се премества в положение, при което се получава максималната стойност на неговото съпротивление. Включва се батерията и се променя съпротивлението на  $R_p$  до пълното отклонение на стрелката на проверявания уред, като едновременно се следи стрелката на образцовия уред  $V_o$ . Ако плъзгачът на резистора  $R_p$  се придвижи до положение, в което съпротивлението му става нула, а стрелката на образцовия уред все още не показва пълно отклонение, резисторът  $R_d$  се подменя с друг, който има по-малко съпротивление. Когато стрелката на уреда  $V$  покаже максимално отклонение, токът  $I_i$ , се отчита от скалата на образцовия уред.



Фиг. 1.9

Съпротивлението  $R_i$  се измерва с помощта на същата схема и втори регулируем резистор  $R_{ш}$ , свързан паралелно на проверявания уред. Съпротивлението на  $R_{ш}$  се избира от порядъка на  $1 \div 2 \text{ k}\Omega$ . След като се нагласи номиналният ток на проверявания уред, паралелно на неговите клеми се свързват краищата на  $R_{ш}$ . Плъзгачът на този резистор предварително се регулира на максимално съпротивление, а при измерването се премества така, че стрелката на проверявания уред да застане на  $\frac{1}{2}$  от пълното отклонение. В този случай съпротивлението на  $R_{ш}$  ще бъде равно на съпротивлението  $R_i$ . Точната стойност на съпротивлението на  $R_{ш}$  се измерва с друг уред, например R L C-мост. Наложително е резисторът  $R_{ш}$  да се демонтира от схемата, когато измерването на  $R_i$  се прекрати. Директното измерване на съпротивлението на бобината с измерителен мост или друг уред е недопустимо, защото през намотките и ще протече ток, значително надвишаващ номиналния.

## 1.2. ИЗМЕРВАНЕ НА ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ

Уредите за измерване на напрежение се наричат волтметри. Те са едни от най-необходимите апарати както при ремонта и настройката на радиоапаратите, така и при техните изпитания и експлоатация. При измерване на напрежение волтметърът се включва паралелно на измервания участък от схемата (фиг. 1.10).

За разширяване обхвата на измерваните напрежения до стойност  $U_n$  последователно на уреда  $V$  се включва допълнителен резистор  $R_d$ . Неговото съпротивление се изчислява по формулата

$$R_d = \frac{U_n}{I_i} - R_i.$$

В този случай върху уреда пада малка част от измерваното напрежение, а по-голямата част от него се понася от съпротивлението на допълнителния резистор.

Входното съпротивление на волтметъра се определя като сума от съпротивленията на бобината и допълнителния резистор:

$$R_i = R_n + R_d = \frac{U_n}{I_i}$$

и зависи от разширения напрежителен обхват  $U_n$ .

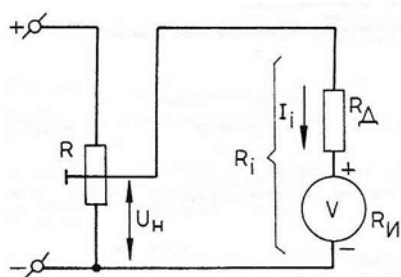
Сравнителната оценка за качествата на волтметрите с различни номинални напрежения по отношение влиянието върху режима на веригата е прието да става по относителното входно съпротивление, падащо се на 1 V от номиналното напрежение:

$$\frac{R_i}{U_n} = \frac{1}{I_i} \cdot \frac{\Omega}{V}.$$

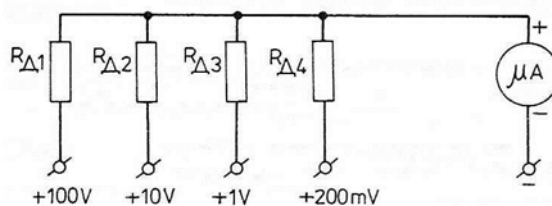
Волтметрите с по-голямо относително входно съпротивление имат по-малък номинален ток, т. е. измерителният им механизъм е по-чувствителен. Например за волтметър, който има номинален ток  $I_i = 100 \mu\text{A}$ , относителното входно съпротивление ще бъде

$$\frac{1}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ k}\Omega/\text{V}.$$

*Пример.* Да се изчислят допълнителните резистори на волтметър за постоянно напрежение с обхвати 200 mV; 1 V; 10 V; 100 V. Използван е магнитоелектричен механизъм с номинален ток  $100 \mu\text{A}$  (0,1 mA) и вътрешно съпротивление  $R_i = 1800 \Omega$ . Задачата да се реши съгласно с фиг. 1.11.



Фиг. 1.10



Фиг. 1.11

#### а. Определяне съпротивленията на допълнителните резистори

$$U_H = (R_d + R_i)I_i; R_d = \frac{U_H}{I_i} - R_i,$$

- за обхват 200 mV

$$R_{\Delta 4} = \frac{200}{0,1} - 1800 = 2000 - 1800 = 200\Omega;$$

- за обхват 1 V

$$R_{\Delta 3} = \frac{1}{0,1 \cdot 10^{-3}} - 1800 = 10000 - 1800 = 8200\Omega = 8,2 \text{ k}\Omega$$

- за обхват 10 V

$$R_{\Delta 2} = \frac{10}{0,1 \cdot 10^{-3}} - 1800 = 100000 - 1800 = 98200\Omega = 98,2 \text{ k}\Omega$$

- за обхват 100 V

$$R_{\Delta 1} = \frac{100}{0,1 \cdot 10^{-3}} - 1800 = 1000000 - 1800 = 998200\Omega = 998,2 \text{ k}\Omega$$

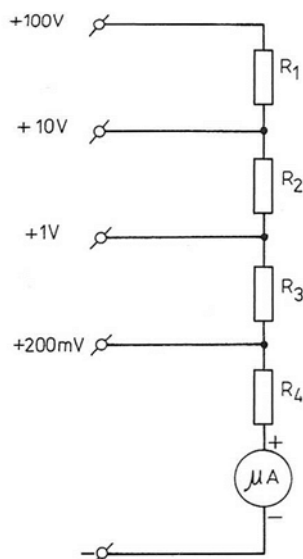
Устройството на многообхватните волтметри (фиг. 1.12) е продиктувано от чисто конструктивни съображения. Съпротивленията на допълнителните резистори се определят по следните формули:

$$\begin{aligned}
 R_4 &= R_{д4} = 200 \, \Omega; \\
 R_3 + R_4 &= R_{д3}, R_3 = R_{д3} - R_4 = 8200 - 200 = 8000 \, \Omega = 8 \, k\Omega; \\
 R_2 + R_3 + R_4 &= R_{д2}, R_2 = R_{д2} - R_3 - R_4 \\
 R_2 &= 98200 - 8000 - 200 = 90000 \, \Omega = 90 \, k\Omega \\
 R_1 + R_2 + R_3 + R_4 &= R_{д1}, R_1 = R_{д1} - R_2 - R_3 - R_4; \\
 R_1 &= 998200 - 90000 - 8000 - 200 = 900000 \, \Omega = 900 \, k\Omega
 \end{aligned}$$

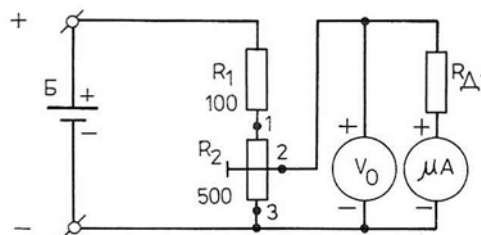
### б. Градуиране на волтметъра

Градуирането на волтметъра се извършва съгласно със схемата, показана на фиг. 1.13.

За целта са необходими: еталонен фабричен волтметър  $V_0$ , регулируем резистор  $R_2$ , постоянен резистор  $R_1$  и източник на постоянно напрежение Б.



◀ Фиг.1.12



Фиг.1.13

С плъзгача на резистора  $R_2$  се нагласява напрежение  $U_0 = 200 \, mV$ ; то се измерва от образцовия (еталонния) волтметър  $V_0$ . Съпротивлението на резистора  $R_{д4}$  (вж. фиг. 1.11) или  $R_4$  (вж. фиг. 1.12) се подбира така, че стрелката на градуирания волтметър да сочи пълното си отклонение. Допълнителните резистори за останалите подобхвати се изчисляват по познатия начин.

## 1.3. ОММЕТРИ

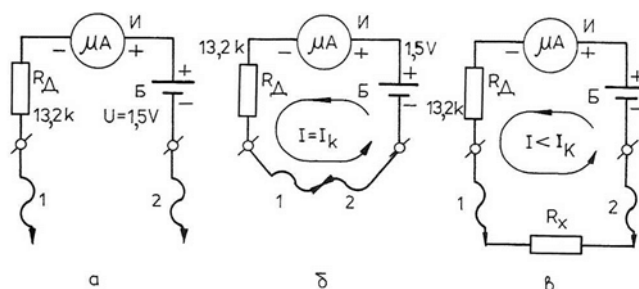
Съпротивлението на електрическите вериги се измерва с уреди, наречени омметри. Най-простата схема на омметър (фиг. 1.14) съдържа микроамперметър И, постояннотоков източник Б, допълнителен резистор  $R_d$  и свързващи проводници 1 и 2 между уреда и проверяваната верига.

Съпротивлението на резистора  $R_d$  се изчислява по закона на Ом, при свързани накъсо проводници 1 и 2 (фиг. 1.14б) и при условие, че стрелката на уреда показва номиналния ток. Максималното съпротивление на резистора  $R_d$  може да се изчисли предварително по формулата

$$R_{d \max} = \frac{U}{I_k} - R_i, \text{ където } U = 1,5 \, V, I_k = 100 \, \mu A, R_i = 1800 \, \Omega$$

$$\text{или } R_{d \max} = \frac{1,5}{0,1} - 1800 = 13200 \, \Omega$$

На фиг. 1.14 в е показана схема за проверка на електрическа верига със съпротивление  $R_x$ . Този вид омметри се използват предимно като пробници. С тяхна



Фиг. 1.14

помощ може да се проверява наличие на контакт в електрическите вериги, целостта на намотките на трансформаторите, дроселите, бобините и др. За големината на електрическото съпротивление на проверяваната верига се съди по отклонението на стрелката на уреда. Съществен недостатък на схемата е т. нар. "отместване на нулата", което се получава при намалено напрежение на батерията. Този недостатък може да се премахне, като част от резистора  $R_d$  се направи регулируема (фиг. 1.15а, б). С това се създава възможност за "корекция на нулата" преди всяко измерване.



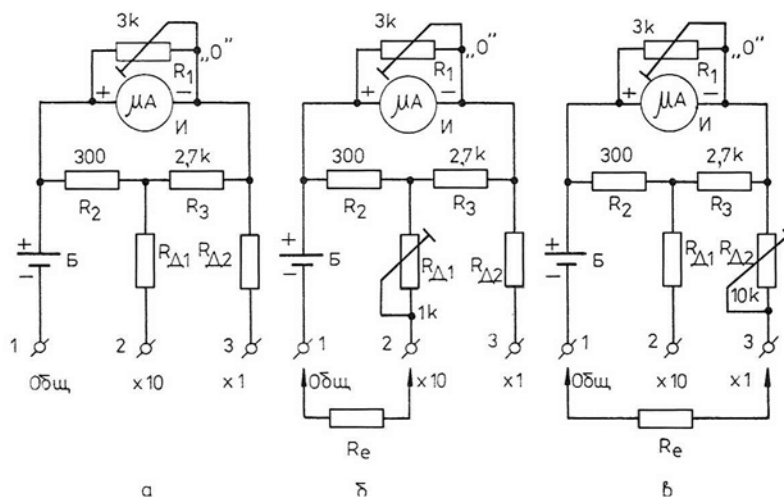
Фиг. 1.15

Основен параметър на омметъра е неговото входно съпротивление, измерено между клемите 1 и 2. То се получава като сума от съпротивленията на микроамперметъра  $R_i$  и допълнителния резистор  $R_d$  (вж. фиг. 1.14). Омметърът от фиг. 1.15а има съществен недостатък - неговото входно съпротивление зависи от положението на плъзгача на регулируемия резистор  $R$ , т. е. от напрежението на батерията  $B$ . По-съвършен е омметърът, показан на фиг. 1.15б, при който резисторът  $R$  е свързан паралелно на измерителния уред. Неговото входно съпротивление се получава от паралелно свързаните съпротивления  $R_i$  и  $R$ . Но  $R$  се избира с многократно по-голямо съпротивление от това на уреда, така че входното съпротивление на омметъра не зависи от разреждането на батерията  $B$ .

На фиг. 1.16 а, б, в е показан омметър, който е достатъчно точен за радиолюбителската практика. За изработването му са необходими микроамперметър  $I$ , батерия  $B$  с напрежение  $U_0 = 1,5 \div 4,5 \, V$ , регулируем резистор  $R_1$  със съпротивление  $1,5 \div 3,3 \, k\Omega$  и  $4 \div 5$  букси. Големината на входното съпротивление на омметъра за първи обхват се избира  $1 \, k\Omega$ , а за втори –  $10 \, k\Omega$ .

При определяне съпротивленията на резисторите  $R_{d1}$  и  $R_{d2}$  се постъпва така. Вместо резистора  $R_{d1}$  се монтира потенциометър със съпротивление от  $500 \, \Omega$  до  $1 \, k\Omega$ . Плъзгачът на този потенциометър се поставя на най-голямо съпротивление.

След това между клемите 1 и 2 се включва резисторът  $R_e$ , който има съпротивление, равно на входното на омметъра –  $R_e = 1 \text{ k}\Omega$ . С помощта на резистора  $R_{д1}$  токът се регулира така, че стрелката на уреда да показва средата на скалата. Свързват се накъсо клемите 1 и 2. Стрелката на уреда трябва да се отклони на нулево показание. Тази операция се повтаря няколко пъти. След приключване на регулировката се пристъпва към измерване на съпротивлението на резистора  $R_{д1}$ . Това се извършва след



Фиг. 1.16

демонтирането му от схемата и свързването му с друг омметър. На негово място се поставя постоянен резистор със съпротивление, равно на измереното. По същия начин се определя стойността на  $R_{д2}$  от втория обхват. Предварително обаче вместо него в схемата се монтира тример със съпротивление  $4,7 \div 10 \text{ k}\Omega$  (фиг. 1,16б) при  $R_e = 10 \text{ k}\Omega$ . Обхватът на омметъра по този начин може да бъде разширен до  $100 \text{ k}\Omega$  или  $1,0 \text{ M}\Omega$ .

Обхватът на измерваните съпротивления зависи от вътрешното съпротивление на омметъра  $R_\Omega$ . Неговата долна граница се определя от зависимостта  $R_{x \min} = 0,1 \cdot R_\Omega$ , а горната - от  $R_{x \max} = 10 \cdot R_\Omega$ .

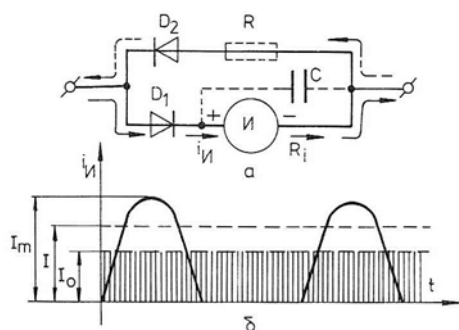
## 1.4. ИЗМЕРИТЕЛНИ УРЕДИ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Уредите за измерване на променлив ток се различават от тези за измерване на постоянен ток по това, че притежават токоизправителна система. Тя преобразува променливия ток в постоянен, като скалата на микроамперметъра е градуирана направо в стойностите на измерваната величина. В съвременните измерителни уреди се използват предимно точкови германиеви диоди и по-рядко силициеви, защото последните имат по-голямо съпротивление за тока, протичащ в права посока.

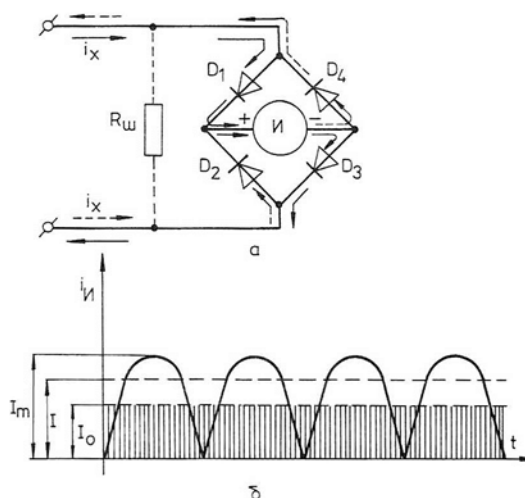
Уреди за измерване на променлив ток с еднополупериодна токоизправителна схема. На фиг. 1.17а и б са показани еднополупериодна токоизправителна схема и графиката на протичащия ток  $i_d$  през измерителния механизъм И. Диодът  $D_1$  пропуска през механизма И едната полувайна на измервания променлив ток. Обратната полувайна, за която съпротивлението на диода  $D_1$  е много голямо, преминава през диода  $D_2$ . Тъй като подвижната система на измерителя има значителна инерция, при честоти, по-високи от  $20 \text{ Hz}$ , стрелката не успява да следи бързите изменения на пулсиращия ток и показва неговата средна стойност  $I_0$ . Резисторът  $R$  изравнява съпротивленията, а оттам и токовете, протичащи в двата клона на веригата. Неговото съпротивление трябва да бъде равно на съпротивлението на уреда  $R_i$ . Кондензаторът  $C$  намалява вибрациите на стрелката на измерителния механизъм. Неговият капацитет се избира в границите от  $0,1$  до  $1 \text{ }\mu\text{F}$ . Недостатък на показаната схема е малката чувстви-

телност по ток и наличието на известен нелинеен участък в началото на скалата.

Уреди за измерване на променлив ток с двуполупериодна мостова схема. Тези уреди се различават от разгледаните по това, че измерителният механизъм И (фиг. 1.18)



Фиг. 1.17



Фиг. 1.18 ►

е включен в диагонала на мостовата схема, образувана от диодите  $D_1 \div D_4$ . Веригата на измервания ток се свързва в другия диагонал. През едната половина на периода токът протича през диодите  $D_1$  и  $D_3$ , а през другата - през диодите  $D_2$  и  $D_4$ . И в двата случая токът през измерителния механизъм протича в една и съща посока. При работа в режим на линейно детектиране постоянната съставка на изправения синусоиден ток  $I_0 \approx 0,9 \cdot I$ , а ефективната стойност на измервания ток -  $I \approx 1,11 \cdot I_0$ .

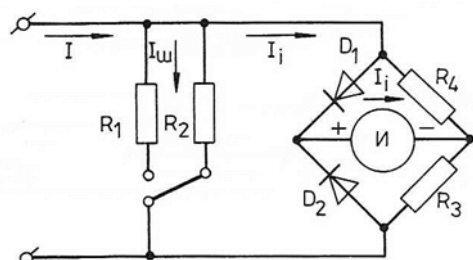
Недостатък на двуполупериодната схема в сравнение с еднополупериодната е увеличеният нелинеен участък от скалата, който се получава поради това, че на всеки диод се пада по-малко от половината на приложеното напрежение.

**Многообхватни детекторни милиамперметри и амперметри.** За разширяване на измерителния обхват до стойност  $I = n \cdot I_0$  паралелно на измерителя на ток с изправителна система (фиг. 1.18) се включва шунт със съпротивление

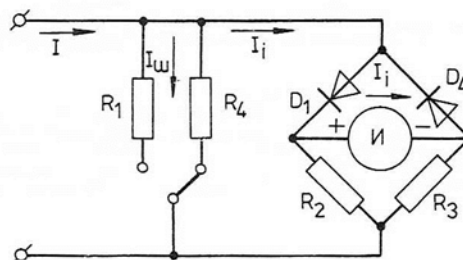
$$R_{ш} = \frac{R_i}{n - 1}.$$

Основната задача, която се поставя в случая, е да се използва една и съща скала (с кратни множители) за различните обхвати. Решението се постига по два начина:

- Чрез използване на схема с повишаване стабилността на общото съпротивление (фиг. 1.19). Тук в мостовата схема диодите  $D_3$  и  $D_4$  се заменят с резисторите  $R_3$  и  $R_4$ . Сега общото съпротивление на изправителната част на уреда малко зависи от големината на изправения ток и от температурата



Фиг. 1.19

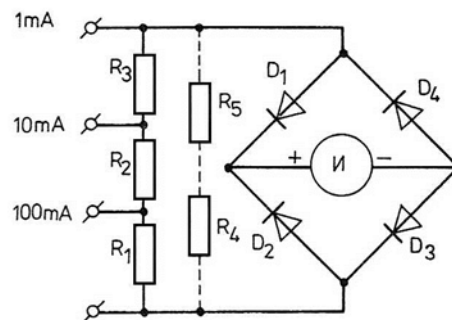


Фиг. 1.20

( $R_3$  и  $R_4$  са от порядъка на стотици или хиляди оме). Основен недостатък на тази схема е разширяването на нелинейния участък на скалата поради понижаване на напрежението върху диодите. За подобряване на линейността на скалата се използва схемата, показана на фиг. 1.20. Тук съпротивлението на резисторите  $R_2$  и  $R_3$  зависи от съпротивлението в права посока  $r_D$  на използваните диоди. Изчислява се по формулата

$$R_2 = R_3 = \frac{R_D}{\sqrt{2}}.$$

- Чрез използване на схема с универсален шунт (фиг. 1.21), която позволява да се конструира многообхватен милиамперметър. Пълното съпротивление на шунта остава постоянно за всички обхвати. Недостатък на тази схема е увеличаване пада на напрежението при увеличаване на измервания ток.



Фиг. 1.21

Изчисляването на многообхватните детекторни уреди, които работят в областта на ниските честоти, се извършва по същия начин както при уредите за измерване на постоянен ток.

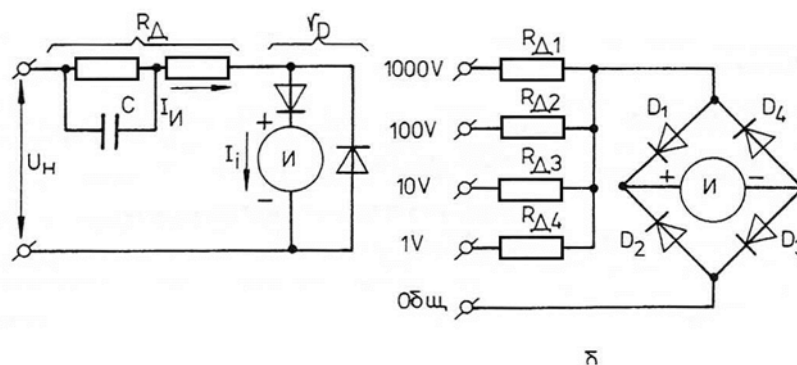
## 1.5. ДЕТЕКТОРНИ ВОЛТМЕТРИ

Показанието на волтметрите за променливо напрежение може да бъде пропорционално на средната  $U_{cp}$  амплитудната  $U_m$  или ефективната  $U$  стойност на измерваното напрежение.

*Волтметър за средни стойности.* Волтметрите за средни стойности се получават, като последователно на съответните детекторни милиамперметри се свърже допълнителен резистор  $R_d$ . Основен недостатък на тези волтметри е непостоянството на входното им съпротивление, което по време на положителния полупериод на измерваното напрежение се приближава до стойността  $R_d + R_i$ , а през отрицателния полупериод рязко нараства.

Подобряването на схемата може да се постигне с въвеждане на допълнителни елементи (фиг. 1.22). За да се получи измерителен обхват  $U_n$ , последователно с измерителната част, характеризираща се с номинален ток  $I_i$  и вътрешно съпротивление  $R_i$  се включва допълнително резисторът  $R_d$ . Неговото съпротивление се определя по израза

$$R_d + r_D + R_i = \frac{U_n}{I_i},$$

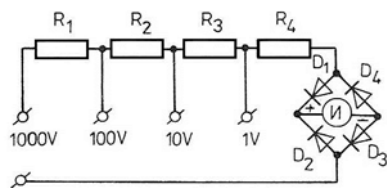


Фиг. 1.22

където  $r_D$  е съпротивлението на диода в права посока;

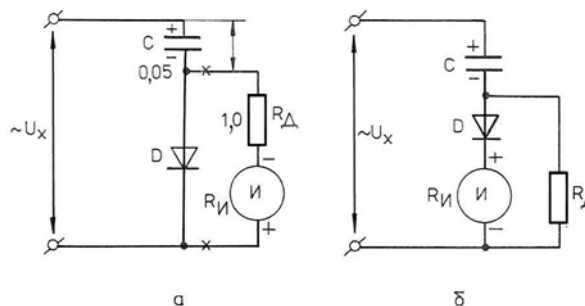
$R_i$  - съпротивлението на уреда.

На фиг. 1.22б е показана схема на многообхватен волтметър, която не се различава съществено от тази за постоянен ток (вж. фиг. 1.11). Схема на друг много обхватен волтметър, подобна на фиг. 1.12, е показана на фиг. 1.23.

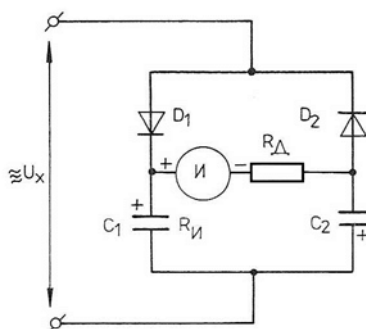


Фиг. 1.23

Фиг. 1.24►



**Волтметри за амплитудни стойности.** Схемата на волтметър за измерване на амплитудната стойност на напрежението е дадена на фиг. 1.24. Принципет и на действие се заключава в следното. Ако се предположи, че съпротивлението на диода  $D$  в обратна посока е безкрайно голямо, а веригата на измерителя е прекъсната в точките, означени с  $x$  (фиг. 1.24а), напрежението върху кондензатора  $C$  бързо достига



Фиг. 1.25

амплитудната стойност  $U_m$  в резултат на зареждането по време на положителния полупериод на измерваното напрежение  $U_x$ . Ако паралелно на диода  $D$  се включи постоянен ток волтметър, той ще измерва стойността  $U_m$ .

При схемата от фиг. 1.24б стрелката на измерителя се отклонява под въздействие на постоянната съставка на зарядния ток, която е равна на постоянната съставка на разрядния ток и е пропорционална на амплитудната стойност на измерваното напрежение  $U_m$ .

На фиг. 1.25 е показана мостова схема на амплитуден високочестотен волтметър. Съпротивлението на индикаторната верига  $R_d + R_i$  се избира значително (10 пъти) по-

голямо от съпротивлението на диодите в права посока и реактивното съпротивление на кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$ . В полупериодите на измерваното напрежение, когато диодът  $D_1$  е отпушен, става бързо зареждане на кондензатора  $C_1$ ; в следващите след тях полупериоди кондензаторът  $C_2$  се зарежда през диода  $D_2$ . Кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  се зареждат последователно от напрежението и бавно се разреждат през индикаторната верига. Напрежението в краищата на измерителния диагонал има стойност  $2U_m$

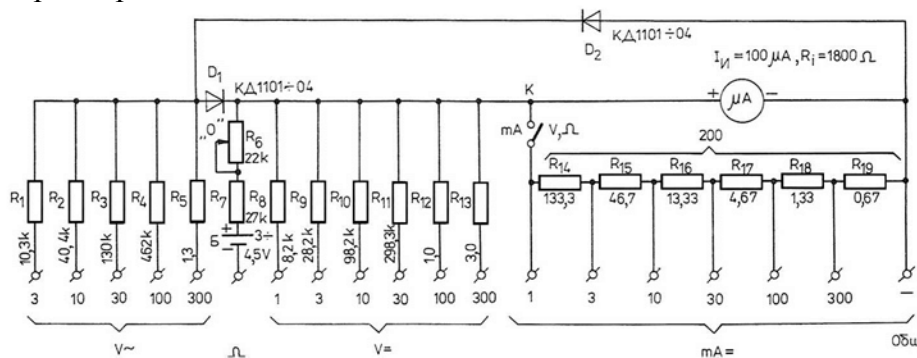
## 1.6. УНИВЕРСАЛНИ ИЗМЕРИТЕЛНИ УРЕДИ

Една комбинация от вече разгледаните уреди може да бъде успешно използвана в ежедневната радиолюбителска практика. На фиг. 1.26 е показана принципната схема на комбиниран измерителен уред. Неговите обхвати и възможности могат да се променят, като се използват указанията, дадени в предишните раздели.

Амперметърът за постоянен ток е построен според схемата от фиг. 1.4, волтметърът за постоянно напрежение - според схемата от фиг. 1.11, омметърът - според схемата от фиг. 1.16, а волтметърът за променливо напрежение - според схемата от фиг. 1.22а.

Обхватите на комбинирания уред се подбират така, че отчитането да се извършва във втората третина на скалата, т. е. първият обхват да покрива първата третина на втория обхват, вторият - първата третина на третия и т. н.

Резисторите  $R_{14} \div R_{19}$  се изработват от съпротивителен проводник с дебелина, не по-малка от  $0,4 \div 0,5 \text{ mm}$ . С превключвателя К се избират режимите на работа - когато е отворен, уредът работи като волтметър и омметър, а когато е затворен - като милиамперметър.



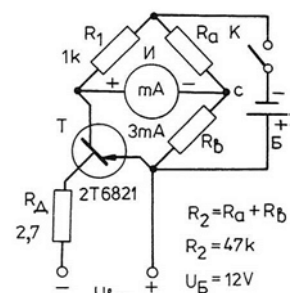
Фиг. 1.26

## 2. ЕЛЕКТРОННИ ИЗМЕРИТЕЛНИ УРЕДИ

### 2.1. ЕЛЕКТРОННИ ВОЛТМЕТРИ ЗА ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ

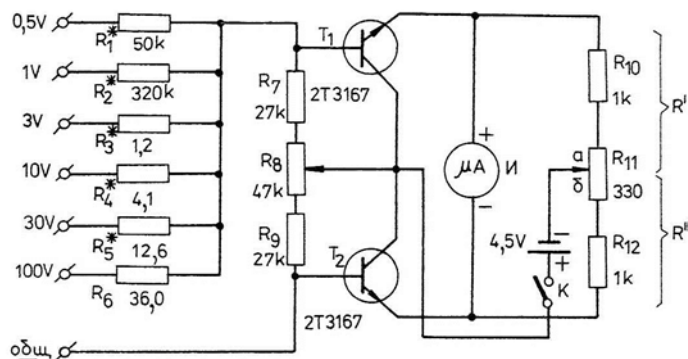
Описаният в предишния раздел комбиниран уред притежава относително входно съпротивление  $10 \text{ k}\Omega/\text{V}$ . Това съпротивление е достатъчно високо и за много от случаите не внася грешки при измерването. Но ако се измерва напрежение непосредствено върху базата или колектора на транзистора, грешките са значителни. Още по-големи грешки се получават при високоомни вериги, например, ако се измерва напрежението върху затвора на полеви транзистор. За намаляване на тези грешки се използват високоомни волтметри, изградени с лампи, транзистори или интегрални схеми.

*Електронни волтметри с транзистори.* Схемата, показана на фиг. 2.1, представлява мост, в диагонала на който е включен микроамперметърът И. Рамената на моста се образуват от участъка емитер-колектор на транзистора Т, резистора  $R_1$  и участъка  $R_a \div R_b$  на променливия резистор  $R_2$ . Мостът се захранва от батерия с напрежение  $4.5 \text{ V}$ . Измерваното постоянно напрежение се подава на емитерния преход на транзистора през ограничителния резистор  $R_d$ , чието съпротивление зависи от използвания микроамперметър. Съпротивлението на резистора  $R_d$  се избира от 20 до  $100 \text{ k}\Omega$  и определя входното съпротивление на волтметъра. Плъзгачът на потенциометъра  $R_2 = R_a + R_b$  (точка с) се поставя в такова положение, при което  $R_b = 0$ . Входните клеми се свързват една с друга накъсо. Включва се захранването посредством ключа К. Премества се плъзгачът на резистора  $R_2$ , докато стрелката на микроамперметъра застане на нулево показание. Така волтметърът е готов за работа. Необходимо е само да се отстрани късото съединение от входните букси и да се извърши еталониране. Това се постига, като на входните клеми се подава напрежение от постояннотоков източник, което се измерва с друг "образцов" волтметър. Подбира се напрежение  $1 \text{ V}$  и се променя съпротивлението на  $R_d$  до получаване на пълното отклонение на стрелката на микроамперметъра. Удобно е вместо постоянен резистор  $R_d$  да се използва тример-потенциометър, чийто плъзгач при първоначалното пускане на уреда се поставя на максимална стойност на съпротивлението. Така могат да се подберат различни по големина съпротивления за  $R_d$  и да се получи многообхватен волтметър.



Фиг.2.1

*Електронен волтметър с два транзистора.* На фиг. 2.2 е показан по-съвършен волтметър, изпълнен с два транзистора. Рамената на измерителния мост на този волтметър са образувани от участъците емитер - колектор на транзисторите  $T_1$  и  $T_2$  резисторите  $R' = R_{10} + R_{11}$  и  $R'' = R_{12} + R_{11}$ . В единия диагонал на моста (между емитерите на транзисторите) е включен измерителният уред  $I$ , а в другия

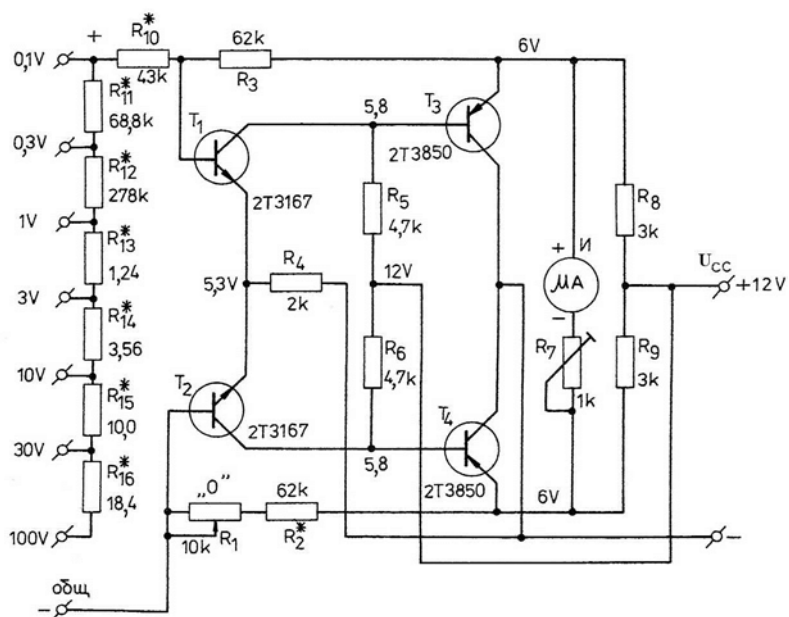


Фиг.2.2

диагонал (между колекторите на транзисторите и плъзгача на резистора  $R_{11}$ ) - токозахранващият източник Б.

За да се получи равномерно разграфяване на скалата на измерителния уред, на базите на транзисторите се подава подходящо положително преднапрежение с помощта на делителя  $R_7, R_8, R_9$ . Балансирането на моста се постига с резистора  $R_{11}$  при даден нахъсо вход. Колекторните токове на транзисторите се изравняват с преместване плъзгача на резистора  $R_8$  при отворен вход.

Когато на входа се подаде напрежение за измерване, потенциалът на базата на транзистора  $T_1$  става по-положителен, ( $T_1$  се отпушва), а потенциалът на базата на  $T_2$  става по-отрицателен ( $T_2$  се запушва). В резултат на това съпротивлението на участъка емитер-колектор на транзистора  $T_1$  намалява, а на  $T_2$  се увеличава. Това нарушава



Фиг.2.3

баланса на моста и през измерителния уред протича ток, пропорционален на измерваното напрежение.

*Електронен волтметър с четири транзистора.* Схемата на електронен волтметър, изпълнен с четири транзистора, е показана на фиг. 2.3. Този волтметър притежава високо входно съпротивление ( $250 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ) и с него се измерват постоянни напрежения от  $0 \text{ V}$  до  $100 \text{ V}$ , разделени в седем подобхвата:  $0 \div 100 \text{ mV}$ ;  $0 \div 300 \text{ mV}$ ;  $0 \div 1 \text{ V}$ ;  $0 \div 3 \text{ V}$ ;  $0 \div 10 \text{ V}$ ;  $0 \div 30 \text{ V}$ ;  $0 \div 100 \text{ V}$

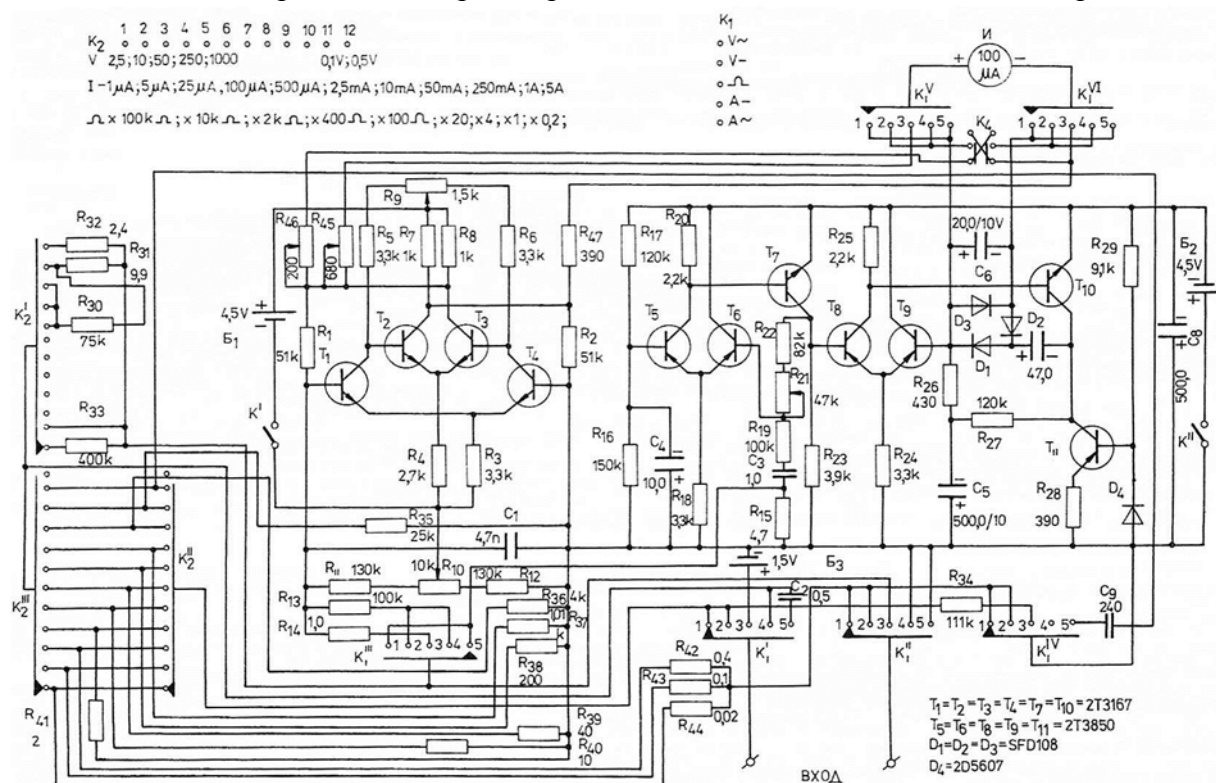
Уредът се състои от двустъпален постояннотоков усилвател ( $T_1 \div T_4$ ). Първото стъпало ( $T_1, T_2$ ) е диференциален усилвател, а второто ( $T_3, T_4$ ) - т. нар. балансен усилвател. Микроамперметърът е включен между емитерите на транзисторите  $T_3$  и  $T_4$ . За постигане на висока температурна стабилност и линейност на усилвателя е въведена дълбока отрицателна обратна връзка чрез резисторите  $R_1, R_2$  и  $R_3$ . Напрежението, което се снима от изхода на усилвателя, се подава в базовата верига на транзисторите от първото стъпало. Нулирането на системата се осъществява с променливия резистор  $R_1$ . Триммер-потенциометърът  $R_7$  служи за настройване на волтметъра при първоначалното му пускане.

## 2.2. КОМБИНИРАН ИЗМЕРИТЕЛЕН УРЕД (АМПЕР-ВОЛТОММЕТЪР)

Комбинираният електронен измерителен уред (фиг. 2.4) е предназначен да измерва постоянно и променливо напрежение до  $1000 \text{ V}$ , постоянен и променлив ток до  $5 \text{ A}$  и съпротивление от  $0,1 \Omega$  до  $50 \text{ M}\Omega$ .

Измерваните величини са разпределени в следните обхвати:

- напрежение,  $\text{V}$ :  $0,1$ ;  $0,5$ ;  $2,5$ ;  $10$ ;  $50$ ;  $250$ ;  $1000$ ;
- ток,  $\text{mA}$ :  $0,001$ ;  $0,005$ ;  $0,025$ ;  $0,1$ ;  $0,5$ ;  $2,5$ ;  $10$ ;  $50$ ;  $250$ ;  $1000$ ;  $5000$ ;
- грешка при измерването на постоянен ток и напрежение -  $\pm 2,5\%$ ; на променлив ток и напрежение -  $\pm 3\%$ ;
- входно съпротивление при напрежение от  $0,1 \text{ V}$  до  $100 \text{ V}$  -  $1 \text{ M}\Omega/\text{V}$ ; при



Фиг. 2.4

напрежение от 50 до 1000 V - 10 MΩ/V;

- честотни граници при измерване на напрежение 0,1 и 10 V - 30 Hz ÷ 50 kHz;  
0,5 V - 30 Hz ÷ 10 kHz;  
2,5 V - 30 Hz ÷ 2 kHz;  
50, 250 и 1000 V - 30 Hz ÷ 500 Hz.

Скалата на уреда е линейна и напълно идентична както за постоянните напрежения и токове, така и за променливите. Електрозахранването се осъществява от две батерии тип 3R12 с напрежение 4,5 V.

Уредът съдържа постояннотоков усилвател ( $T_1 \div T_4$ ), променливотоков усилвател ( $T_5 \div T_{11}$ ) с изправителни диоди ( $D_1 \div D_2$ ) и превключватели  $K_1$  и  $K_2$ . С помощта на тези превключватели към входовете на усилвателите се включват последователно резисторите  $R_{30} \div R_{33}$  (при измерване на напрежение) и шунтовете  $R_{35} \div R_{44}$  (при измерване на токове и съпротивления).

Постояннотоковият усилвател се състои от две диференциални стъпала ( $T_1, T_2$  и  $T_3, T_4$ ), непосредствено свързани едно с друго.

Променливотоковият усилвател е четиристъпален. Първото и третото стъпало са изпълнени по схема на диференциален усилвател. За повишаване на товарното съпротивление на крайното стъпало като товар на транзистора  $T_{10}$  е използван стабилизатор на ток, изпълнен с транзистора  $T_{11}$ .

Регулируемият резистор  $R_{45}$  служи за нулиране на стрелката на микроамперметъра при измерване на съпротивления.

С резисторите  $R_{46}$  и  $R_{21}$  се подбира подходящ коефициент на усилване (при първоначалното настройване на уреда).

Нулирането на уреда при измерване на ток и напрежение се извършва с резисторите  $R_9$  и  $R_{10}$ .

Голямо удобство предоставя ключът  $K_4$ , с чиято помощ се превключват изводните клеми на микроамперметъра И при измерване на токове и напрежения независимо от полярността на входното напрежение.

### **2.3. ЕЛЕКТРОННИ ИЗМЕРИТЕЛНИ УРЕДИ С ИНТЕГРАЛНИ ОПЕРАЦИОННИ УСИЛВАТЕЛИ**

Постояннотоков волтметър с високо входно съпротивление. На фиг. 2.5 е показана принципната схема на волтметър за постоянно напрежение, изпълнен с интегрален операционен усилвател. Той притежава високо входно съпротивление. Измерваното напрежение се подава на неинвертиращия вход на операционния усилвател. Тъй като диференциалното входно напрежение е 0 V, цялото измервано напрежение  $U_x$  пада върху  $R_{вх}$ . Токът през измерителния уред в този случай се определя от  $U_x$  и  $R_{вх}$  по израза

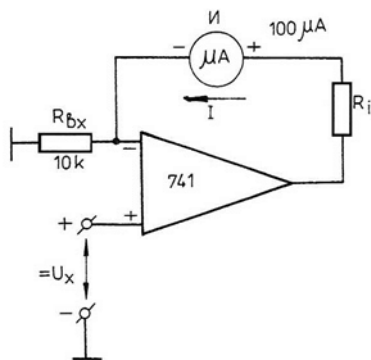
$$I_i = \frac{U_x}{R_{вх}}.$$

Следователно, ако  $R_{вх} = 10 \text{ k}\Omega$  и  $U_x = 1 \text{ V}$ , то  $I_i = 100 \text{ }\mu\text{A}$ .

От изложеното се вижда, че микроамперметърът може да се градуира непосредствено във волтове.

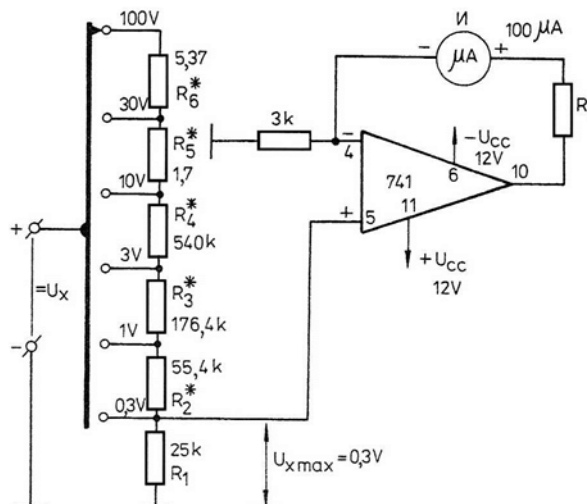
Предимствата на схемата са следните:

- неинвертиращият вход на операционния усилвател консумира много малък ток и не може да натовари измерваната верига;
- тъй като измерителният уред е включен във веригата на обратната връзка, токът през която зависи само от  $U_x$  и  $R_{вх}$ , изменението на съпротивлението на уреда не оказва влияние на тока през него.



Фиг. 2.5

Фиг. 2.6 ►



Обхватът на волтметра се променя чрез използване на входен делител (фиг. 2.6), чийто изход се включва към неинвертиращия вход на операционния усилвател. При изчисляване на делителя трябва да се има предвид, че максималното измервано напрежение  $U_{x \max}$ , подадено директно на операционния усилвател, не трябва да надвишава стойността  $\pm 10 \text{ V}$  при захранващо напрежение  $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$ .

## 2.4. ВОЛТМЕТЪР ЗА ПРОМЕНЛИВО НАПРЕЖЕНИЕ С ВИСОКО ВХОДНО СЪПРОТИВЛЕНИЕ

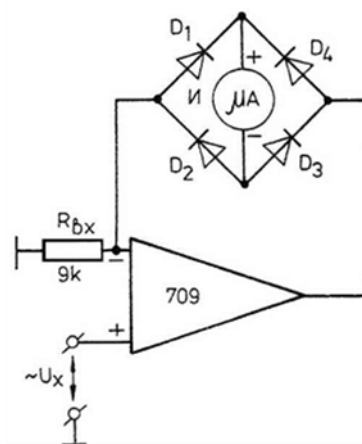
Схемата на волтметър за променливо напрежение е показана на фиг. 2.7. Измерваното напрежение  $U_x$  и съпротивлението  $R_{bx}$  определят тока, протичащ през  $R_{bx}$  и веригата на обратната връзка. По този начин токът през измерителния уред  $I_i$  се явява като повторение на изправения ток, протичащ през  $R_{bx}$ . Стрелката на измерителния уред реагира на средната стойност на изправения ток. При синусоидално входно напрежение  $U_x$  през измерителния уред ще протича токът  $I_i$ , който може да се определи по формулата

$$I_i = 0,9 \cdot \frac{U}{R_{bx}}$$

Ако например искаме да изчислим  $R_{bx}$  при  $I_i = 100 \mu\text{A}$  и  $U_x = 1 \text{ V}$ , заместваме в дадения израз и получаваме

$$R_{bx} = 0,9 \cdot \frac{1}{100 \cdot 10^{-6}} = 9 \cdot 10^3 = 9 \text{ k}\Omega$$

Съпротивлението на диодите не влияе на измервания ток. От сравнението между схемите от фиг. 2.5 и 2.7 може да се направи изводът, че превръщането на променливотоковия волтметър в постояннотоков може да се осъществи с добавяне на резистор със съпротивление  $R = 1 \text{ k}\Omega$  последователно на  $R_{bx}$  от схемата на фиг. 2.7.



Фиг. 2.7

### 3. НИСКОЧЕСТОТНИ ИЗМЕРИТЕЛНИ ГЕНЕРАТОРИ

Нискочестотните измерителни генератори са източници на електрически трептения с ниска честота. Използват се при настройване на нискочестотни усилватели и електроакустични устройства, градуиране на честотомери, модулиране на трептенията на високочестотните генератори и др.

Измерителните генератори с универсално предназначение имат плавно изменяем обхват на генерираните честоти, който обикновено лежи в границите от  $10 \div 20 \text{ Hz}$  до  $100 \div 200 \text{ kHz}$ . Изходното напрежение се регулира плавно, степенчато или комбинирано в границите от 0 до 50 V, а в някои по-стари образци лампови генератори и до  $100 \div 150 \text{ V}$ .

На фиг. 3.1 е показана функционалната структурна схема на генератора. Тя съдържа възбудител 1, захранващ източник 2 и верига за положителна обратна връзка, осъществена от блока 3.

Първоначален тласък за възбуждане на генератора дава електрическият импулс, получаващ се при включване на постояннотоковия захранващ източник. Процесът, от който започва появата на трептения, се нарича самовъзбуждане. За превръщане на първоначално възникналите трептения в незатихващи е необходимо на входа на възбудителя да се подаде част от изходното напрежение, която по стойност да е по-голяма или равна на входното напрежение и да има същата фаза.

В зависимост от използваните схеми за възбуждане на трептения се различават три основни типа нискочестотни измерителни генератори: LC-, RC- и генератори на биения.

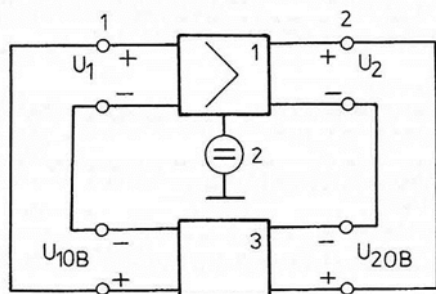
#### 3.1. НИСКОЧЕСТОТНИ LC-ГЕНЕРАТОРИ

При LC-генераторите честотата на генерираните трептения се определя от индуктивността L и капацитета C на схемата за възбуждане, наречена трептящ кръг:

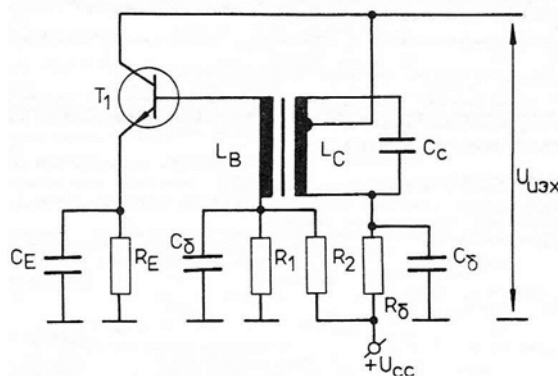
$$f \approx \frac{1}{2\pi \cdot L \cdot C}.$$

За получаване на трептения с ниска честота е необходимо да се използва бобина с голяма индуктивност и кондензатор с голям капацитет, които трудно се изработват като променливи.

Най-разпространената схема на LC-генератор се реализира с трансформаторна обратна връзка (фиг. 3.2). Коефициентът на обратна връзка при тази схема може да се променя с изменение на взаимното разположение на бобините  $L_C$  и  $L_B$ . Поради посочените конструктивни неудобства нискочестотните LC-генератори намират рядко приложение.



Фиг. 3.1



Фиг. 3.2

### 3.2. НИСКОЧАСТОТНИ RC-ГЕНЕРАТОРИ

Честотата и формата на генерираните трептения при този вид генератори се определят от вериги, съдържащи резистори и кондензатори.

RC-генераторите с плавно изменяща се честота се характеризират с широк честотен обхват на генерираните трептения, голяма стабилност на честотата и на изходната амплитуда и малък коефициент на нелинейни изкривявания.

За да се получат синусоидални трептения, е необходимо веригата на положителната обратна връзка да се осъществи с две RC-групи: последователна  $R_2C_2$  и паралелна  $R_1C_1$ , които образуват делител на напрежение - избирателен по честота.

Честотата на генерираните трептения се определя от формулата

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}}.$$

Обикновено  $R_1 = R_2 = R$  и  $C_1 = C_2 = C$ . Тогава се получава, че

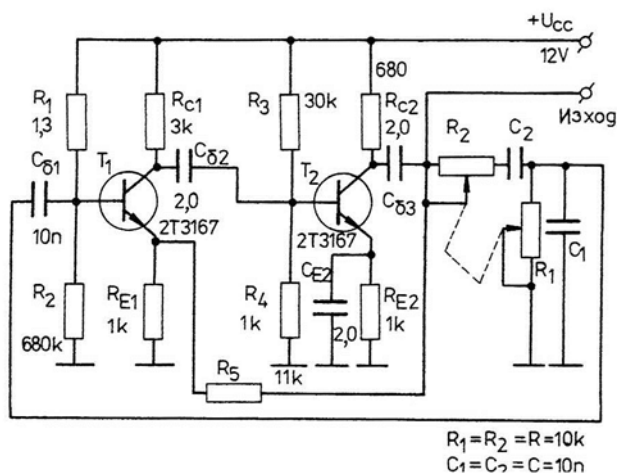
$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi R \cdot C}.$$

На фиг. 3.3 е показана схема на RC-генератор, изпълнен с транзистори и мост на Вин в обратната връзка, а на фиг. 3.4 - с интегрален операционен усилвател и същата обратна връзка.

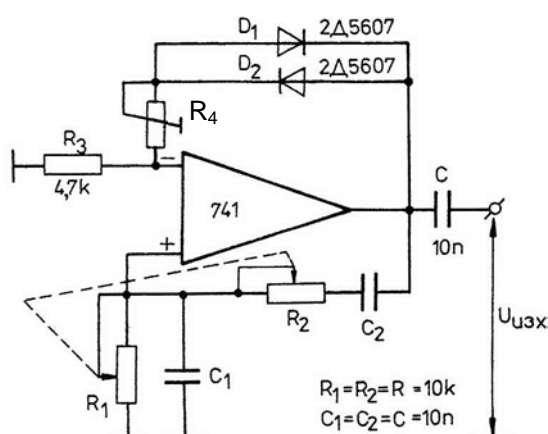
Промяната на честотата при тези генератори се извършва с плавно или степенчато изменение на един от честотно определящите елементи  $R$  или  $C$ . По-удобно е да се променя  $R$ , като за целта се използва двоен потенциометър с подходящо съпротивление. При максимална стойност на съпротивленията на резисторите  $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  и капацитет на кондензаторите  $C_1 = C_2 = C = 10 \text{ nF}$  генераторът ще изработва електрически трептения с минимална честота

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \cdot 10^3} = 1592,4 \text{ Hz}.$$

С помощта на резистора  $R_4$  (фиг. 3.4) се подбира дълбочината на отрицателната обратна връзка.



Фиг. 3.3



Фиг. 3.4

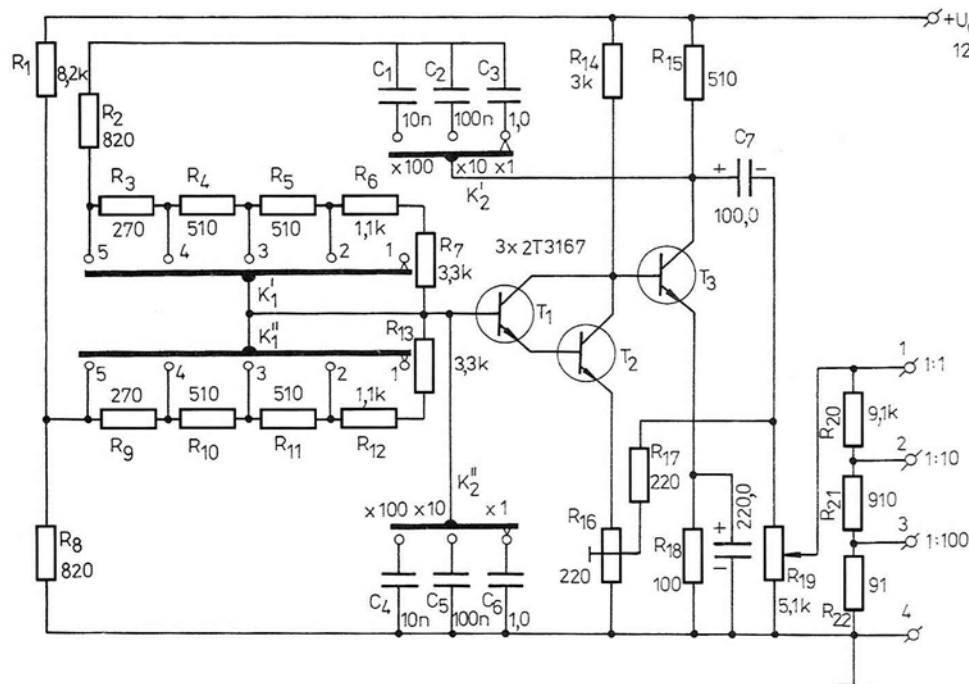
### 3.3. НИСКОЧЕСТОТЕН ГЕНЕРАТОР, ИЗПЪЛНЕН С ТРИ ТРАНЗИСТОРА И МОСТ НА ВИН В ОБРАТНАТА ВРЪЗКА

Схемата на генератора е показана на фиг. 3.5. Той е предназначен за настройване на различни нискофреотни устройства в обхвата от 25 Hz до 20 kHz. Този обхват е разделен на три подобхвата, във всеки от които генераторът изработва шест фиксирани честоти:

- първи обхват: 25; 50; 75; 100; 150; 200 Hz,
- втори обхват: 250; 500; 750; 1000; 1500; 2000 Hz,
- трети обхват: 2500; 5000; 7500; 10000; 15000; 20000 Hz.

Изходното напрежение има максимална амплитуда 2 V.

Генераторът съдържа две стъпала. Първото е изпълнено по схема Дарлингтон ( $T_1$ ,  $T_2$ ), а второто ( $T_3$ ) - по схема с общ емитер. Дълбочината на отрицателната обратна връзка се регулира чрез резистора  $R_{16}$ . Обхватите се превключват с ключа  $K_1$ , а множителят  $\times 1$ ,  $\times 10$ ,  $\times 100$  - с ключа  $K_2$ . Изходната амплитуда се регулира плавно чрез потенциометъра  $R_{19}$ , чийто плъзгач е свързан със затихвателя  $R_{20}$ ,  $R_{21}$ ,  $R_{22}$  и буксите 1, 2 и 3.



Фиг. 3.5

### 3.4. НИСКОЧЕСТОТЕН RC-ГЕНЕРАТОР СЪС СТАБИЛИЗАЦИЯ НА ИЗХОДНОТО НАПРЕЖЕНИЕ

Схема на нискофреотен RC-генератор със стабилизация на изходното напрежение е показана на фиг. 3.6. Този генератор покрива честотен обхват от 25 Hz до 250 kHz, като дава възможност за плавно изменение на честотата в четири подобхвата: 25 Hz ÷ 250 Hz; 250 Hz ÷ 2,5 kHz; 2,5 kHz ÷ 25 kHz; 25 kHz ÷ 250 kHz. Изпълнен е с транзистори и с мост на Вин във веригата на положителната обратна връзка.

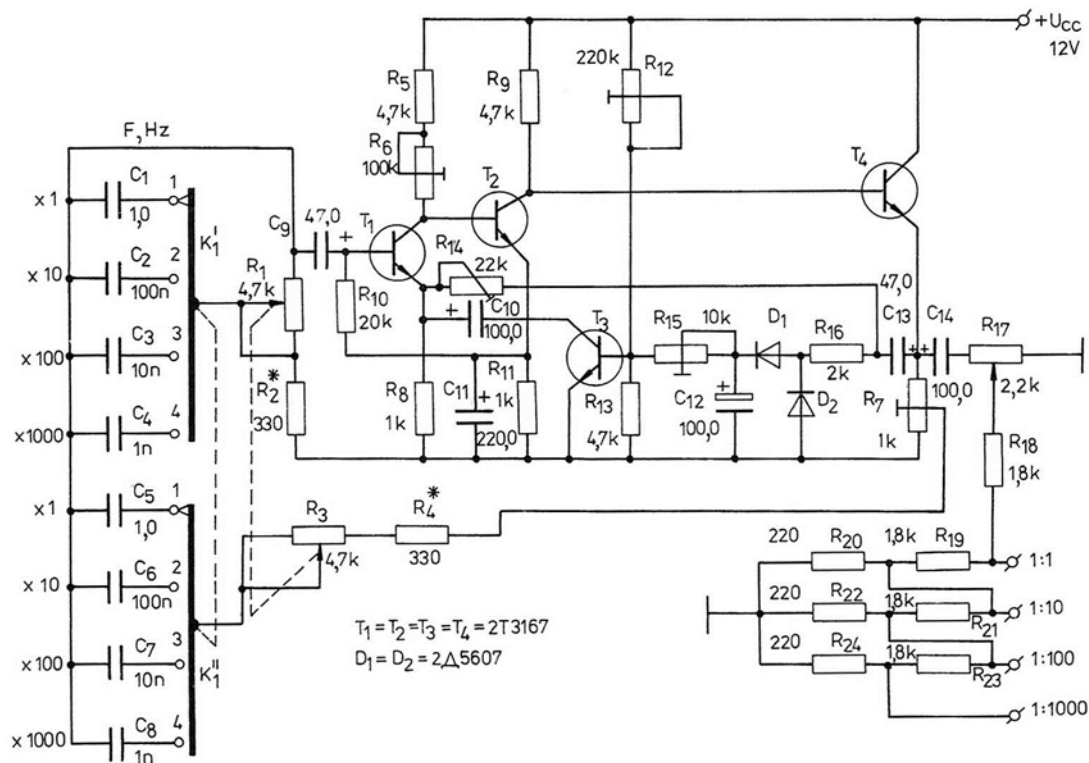
Автогенераторът е осъществен с транзисторите  $T_1$  ÷  $T_3$ .

Изходната амплитуда се регулира автоматично от изправителя, съдържащ диодите  $D_1$  и  $D_2$ , и от управляваното съпротивление, образувано от участъка емитер - колектор на транзистора  $T_3$ , включен последователно на кондензатора  $C_{10}$  в емитерната

верига на транзистора  $T_1$ . Началната дълбочина на отрицателната обратна връзка се подбира с резистора  $R_{14}$  при подходящо напрежение на базата на транзистора  $T_3$ , осигурено от резистора  $R_{12}$ . Прагът на задействане на това стъпало се подбира с резистора  $R_{15}$ .

Честотата на генерираните трептения се променя плавно чрез резисторите  $R_1$  и  $R_3$ , а обхватите се превключват чрез ключа  $K_1$ .

Мощността на изходното стъпало може значително да се повиши, а изходното съпротивление да се намали, ако се използва някой от усилвателите, описани в [14] (вж. фиг. 4.6, 4.7, 4.8, 4.9). В такъв случай е необходимо да се преизчисли затихвателят.



Фиг. 3.6

### 3.5. ИМПУЛСНИ ГЕНЕРАТОРИ

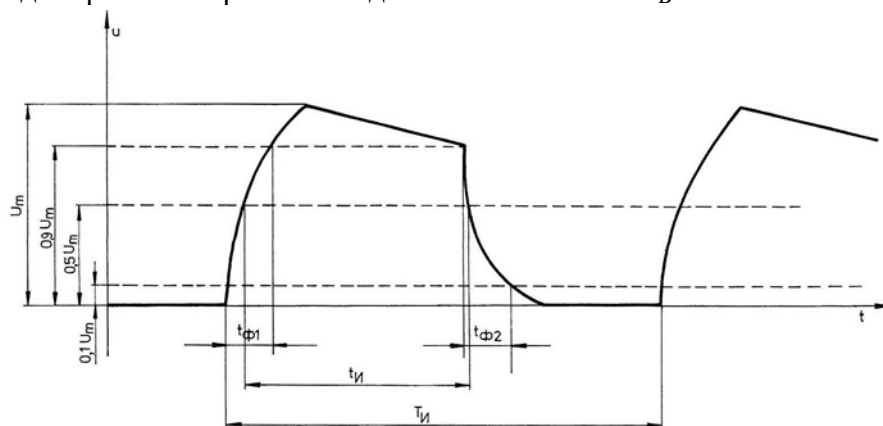
Генераторите на импулсни сигнали работят в т. нар. прекъснат режим, т. е. токовете и напреженията през определени интервали от време се появяват и изчезват от техния изход. По този начин те изработват импулсни сигнали. Под понятието импулс се разбира процес с малка продължителност, характеризиращ се с период на повторение  $T_{\text{и}}$  (фиг. 3.7), размах  $U_m$ , продължителност  $t_{\text{и}}$ , определена на ниво  $0,5 U_m$ , коефициент на запълване  $\gamma = \frac{t_{\text{и}}}{T_{\text{и}}}$  продължителност на фронта  $t_{\text{ф}}$  и др.

В зависимост от избраната конструкция импулсните генератори могат да работят в автогенераторен или чакащ режим.

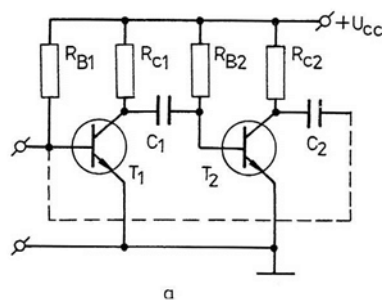
Най-типичната схема, която дава илюстрация за действието и особеностите на голяма част от импулсните генератори, е мултивибраторът с колекторно-базови връзки. Той се получава от два RC-усилвателя и от два кондензатора, които осъществяват връзки между входа на единия и изхода на другия усилвател (фиг. 3.8).

При включване на захранващия токоизточник кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  се зареждат благодарение на протичането на базовите токове  $I_{B1}$  и  $I_{B2}$ . Поради различие на параметрите на елементите от двете рамена на мултивибратора колекторният ток на единия транзистор в определен момент нараства по-бързо, а на другия - по-бавно. Ако се предположи, че това е колекторният ток  $I_{C1}$ , в този момент падът на напрежението върху  $R_{C1}$  ще бъде по-голям, отколкото върху  $R_{C2}$ . Тази промяна на напрежението на колектора на единия транзистор се подава на базата на другия поради наличието на кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$ . Това води до последователно отпушване и запусване ту на единия, ту на другия транзистор. Когато транзисторът е запушен, напрежението върху неговия колектор е равно на захранващото, а когато е отпушен, то е близко до нула. Следователно, когато мултивибраторът работи, на колекторите на транзисторите се формират правоъгълни импулси. Времето за презареждането на кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  се определя от зарядния ток, чиято големина зависи от съпротивлението на веригата, през която протича. Следователно колкото кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  са с по-голям капацитет и резисторите  $R_{B1}$  и  $R_{B2}$  с по-голямо съпротивление, толкова повече време ще е необходимо за преминаване на транзисторите от едно състояние в друго и генерираната честота ще бъде по-ниска. При практическата реализация на мултивибратори за много ниски честоти се постъпва по друг начин. За постигане на достатъчно добри резултати при не много големи капацитети на кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  за  $R_{B1}$  и  $R_{B2}$  се избират резистори с големи съпротивления и се използва схема на Дарлингтон за свързване на транзисторите. По този начин се увеличава значително общият коефициент на усилване на всяко от рамената и става възможно превключването им при сравнително малки базови токове.

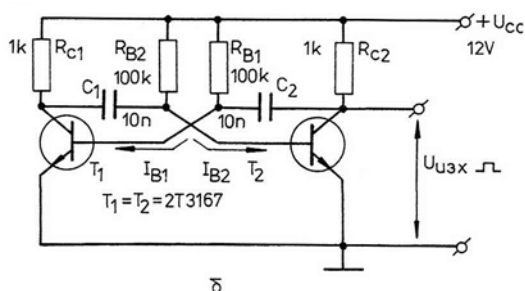
Когато  $R_{B1} = R_{B2} = R_B$  и  $C_1 = C_2 = C$ , мултивибраторът генерира симетрични импулси. Честотата на повторение на тези импулси може да се променя с изменение на капацитета на кондензаторите  $C$  или на съпротивлението на резисторите  $R_B$ , както и с едновременна промяна на двата елемента  $C$  и  $R_B$ .



◀ Фиг. 3.7



а



б

Фиг. 3.8

### 3.6. ГЕНЕРАТОР НА ПРАВОЪГЪЛНИ ИМПУЛСИ, ИЗПЪЛНЕН ПО СХЕМА НА МУЛТИВИБРАТОР С КОЛЕКТОРНО-БАЗОВИ ВРЪЗКИ

Мултивибраторът (фиг. 3.9) е съставен от транзисторите  $T_1$  и  $T_2$ , а с транзисторите  $T_3$  и  $T_4$  са реализирани емитерни повторители. За по-добро съгласуване на крайното стъпало на генератора с други устройства може да се препоръча използването на допълнителен транзистор ( $T_5$ ), свързан по схема с общ колектор.

Предвидена е възможност за външна синхронизация, като синхронизиращите импулси могат да се подават на вход "синхро" през кондензатора  $C_6$ . Възможно е също честотата да бъде стабилизирана с кварцов резонатор, включен вместо единия от кондензаторите  $C_1$  или  $C_2$ . Максималната амплитуда на изходния сигнал при товар  $75 \Omega$  и дължина на коаксиалния кабел 2 m е около 5 V. Честотата на генератора може да се променя с подмяна на кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$ . Периодът на повторение на импулсите се определя по формулата

$$T_{\text{и}} = \frac{1}{f} = 0,33 \cdot (C_1 + C_2)$$

Когато  $C_1 = C_2 = C$ ,

$$T_{\text{и}} = \frac{1}{f} = 0,66 \cdot C,$$

където  $T_{\text{и}}$ , ms;  $C$ ,  $\mu\text{F}$ .

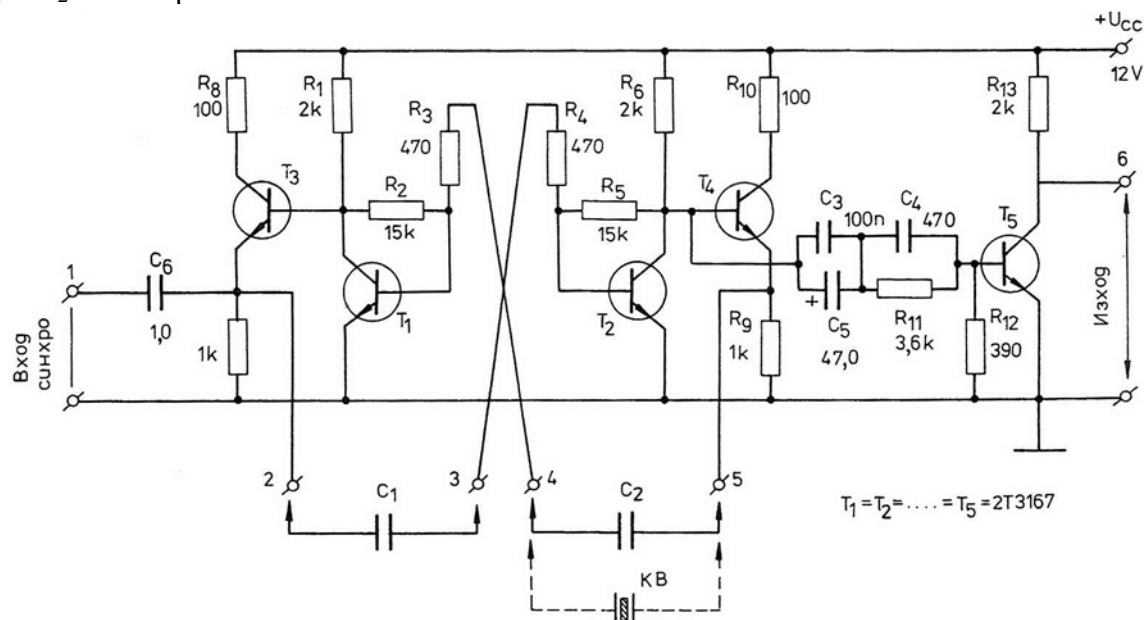
В режим на синхронизация и делене външният сигнал се подава между букса 4 и "маса". Амплитудата на входния сигнал не трябва да надвишава 1 V. По форма той може да бъде както импулсен, така и синусоиден.

Капацитетът на кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  се изчислява по формулата

$$C_1 + C_2 = \frac{3060}{f},$$

където  $f$ , MHz;  $C$ , pF.

За получаване на по-устойчива синхронизация капацитетът на кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  се избира с  $2 \div 5\%$  по-голям от изчисления.



Фиг. 3.9

В режим на формиране се изключват кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$ , и на буква 4 се подава сигнал от външен генератор. Неговата амплитуда не трябва да е по-голяма от 0,2 V, а честотата му да бъде от 20 Hz ÷ 2 MHz. От изхода на емитерния повторител (букса 1) може да се изведе формираният сигнал, който има амплитуда, по-голяма от 1 V, и честота, равна на честотата на външния генератор.

Когато в букси 4 и 5 вместо кондензатора  $C_2$  се включи кварцов резонатор, капацитетът на кондензатора  $C_1$  се определя от формулата

$$C_1 = \frac{1660}{f},$$

където  $f$ , MHz, е честотата на кварцовия резонатор, нейните хармонични и субхармонични, а  $C_1$ , pF.

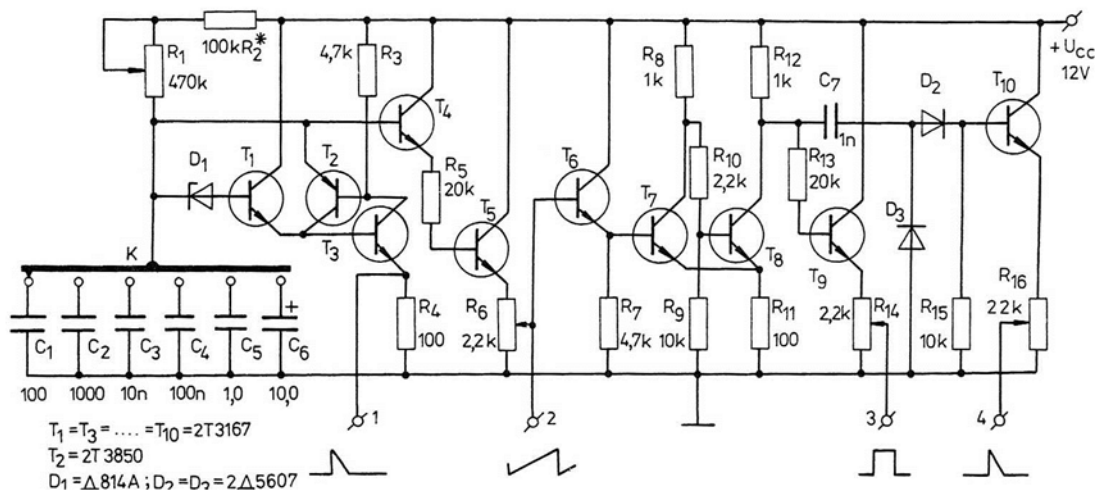
За постигане на висока точност и стабилност на честотата се използват два еднакви кварцови резонатора.

### 3.7. ИМПУЛСЕН ГЕНЕРАТОР, ОСИГУРЯВАЩ РАЗЛИЧНИ ПО ФОРМА ИЗХОДНИ ИМПУЛСИ

На фиг. 3.10 е показана схема на импулсен генератор, който покрива честотен обхват от 0,2 Hz до 200 kHz, разделен на шест подобхвата: 0,2 ÷ 2 Hz; 2 ÷ 20 Hz; 20 ÷ 200 Hz; 200 ÷ 2000 Hz; 2 kHz ÷ 20 kHz; 20 kHz ÷ 200 kHz.

Генераторът изработва положителни тригонообразни импулси, а така също и две серии положителни импулси с малка продължителност (1 ÷ 10  $\mu$ s). Втората серия е отместена спрямо първата (опорната). Времето на отместване може да се променя. Опорните импулси са с амплитуда 5 V, отместените – 0 ÷ 10 V, а тригонообразните – 0 ÷ 5 V.

Токозахранването на генератора се осъществява от стабилизирания източник с напрежение 12 V. В схемата на генератора на тригонообразно напрежение влизат транзисторите  $T_1$  ÷  $T_3$ . При включване на захранването през резисторите  $R_1$  и  $R_2$  започва да тече ток, който в зависимост от положението на ключа К зарежда един от кондензаторите  $C_1$  ÷  $C_6$ . Транзисторите  $T_1$  ÷  $T_3$  през това време са запущени. Когато напрежението на зареждане достигне напрежението на "запалване" на стабилитрона  $D_1$ , започва отпушването на транзистора  $T_1$ . Това довежда до скокообразно отпушване на транзисторите  $T_2$  и  $T_3$ , и до разреждане на кондензатора през тях. По време на разреждане на кондензатора върху резистора  $R_4$  се получава опорният импулс. Той е с малка продължителност и е изведен на буква 1. Тригонообразното напрежение на зареждащия се кондензатор постъпва и на базата на транзистора  $T_4$ , който е входният



Фиг. 3.10

елемент на съставния емитерен повторител, изпълнен с транзисторите  $T_4$  и  $T_5$ .

Линейно изменящото се напрежение е изведено на букса 2 (плъзгача на потенциометъра  $R_6$ ). Същото напрежение се подава и на входа на емитерния повторител ( $T_6$ ) който е буферно стъпало между съставния емитерен повторител ( $T_4 \div T_5$ ) и входа на тригера на Шмит ( $T_7$  и  $T_8$ ). Последният преобразува сигнала в правоъгълни импулси. От изхода на емитерния повторител, изпълнен с транзистора  $T_9$ , тези импулси се подават към букса 3.

От колектора на  $T_8$  през кондензатора  $C_7$  постъпва сигнал и на групата  $D_2, D_3, R_{15}$ , а оттам на базата на транзистора  $T_{10}$ . Ако плъзгачът на резистора  $R_6$  е в такова положение, че сигналът на базата на  $T_6$  е с ниско ниво, то транзисторите  $T_6$  и  $T_7$  са запушени, а  $T_8$  отпушен. Тригерът се превключва само когато входното напрежение достигне прага на превключване. В момент на превключване на тригера с помощта на кондензатора  $C_7$ , диодите  $D_2, D_3$  и резистора  $R_{15}$  се изработва положителен импулс, който се сменя от изходния емитерен повторител ( $T_{10}$ ) и оттам постъпва на букса 4.

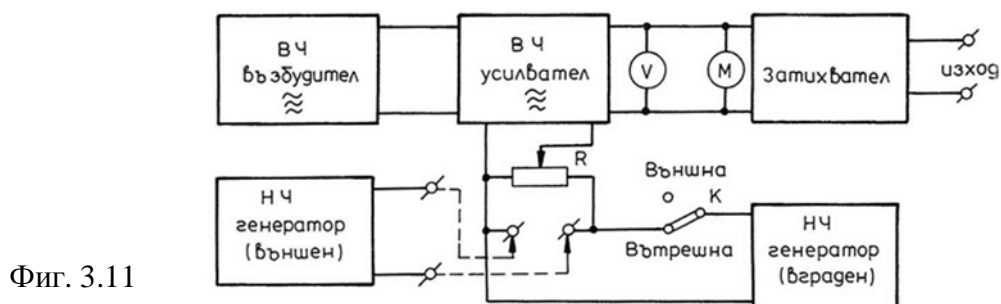
Генераторът се настройва чрез подбор на резистора  $R_2$ . Целта е да се получи устойчивост на генерираните трептения при максимална стойност на съпротивлението на резистора  $R_1$  (плъзгачът му е в горно положение по схемата) и при положение на ключа  $K$  на първи подобхват.

### 3.8. ВИСОКОЧЕСТОТНИ ИЗМЕРИТЕЛНИ ГЕНЕРАТОРИ

Високочестотните измерителни генератори са маломощни източници на модулирани високочестотни електрически трептения. Те са калибрани по честота, изходно напрежение и параметри на модулацията. В генераторите, които работят на честоти от  $50 \div 100$  kHz до десетки и стотици мегагерца предимно се използва амплитудна модулация на високочестотните трептения. В генераторите, които работят на честоти от порядъка на десетки мегагерца и по-високи, е предвидена възможност за осъществяване на честотна или импулсна модулация.

Блоковата схема на високочестотен генератор с амплитудна модулация е показана на фиг. 3.11. Основната част на генератора е възбудителят, предназначен да генерира синусоидални трептения в даден високочестотен обхват. Резонансният високочестотен усилвател, който изпълнява ролята на буферно стъпало, повишава стабилността на работата на възбудителя и подобрява формата на изходния сигнал, като едновременно увеличава амплитудата му. Затихвателят осигурява получаването на изходно напрежение с необходимата амплитуда. Вграденият нискочестотен генератор служи да модулира високочестотните трептения по амплитуда. Сигналът, изработван от него, обикновено е с една или две фиксирани честоти 400 или 1000 Hz. Подава се на подходящо място от схемата с помощта на ключа  $K$ . Дълбочината на модулацията се регулира с резистора  $R$ . Съвременните фабрични генератори имат вграден високочестотен волтметър ( $V$ ) за измерване на изходното напрежение и модуломер ( $M$ ) за измерване дълбочината на модулацията.

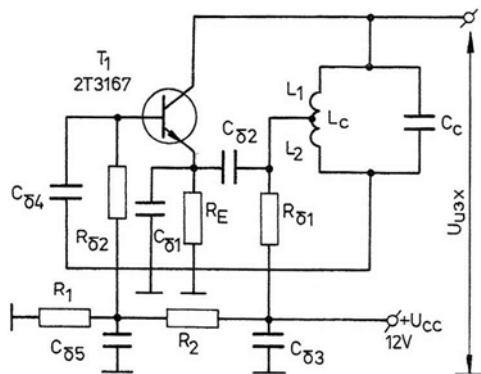
Предвидени са букси и за включване на външен генератор за осъществяване на модулация с друга честота. При такъв режим ключът  $K$  се поставя в положение "външна".



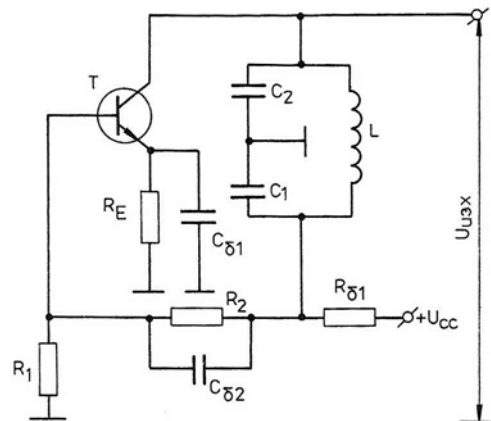
Фиг. 3.11

Високочестотните генератори се използват за настройване и спрягане на входните кръгове на радио приемните устройства, междинночестотните усилватели, високочестотните предусилватели, както и при ремонта на радиоприемна и радиопредавателна апаратура.

*LC-генератор, изпълнен по индуктивна триточкова схема.* Във високочестотните измерителни генератори се използват изключително LC-възбудители, при които честотата на трептенията се определя от индуктивността  $L$  и капацитета  $C$ .



Фиг. 3.12

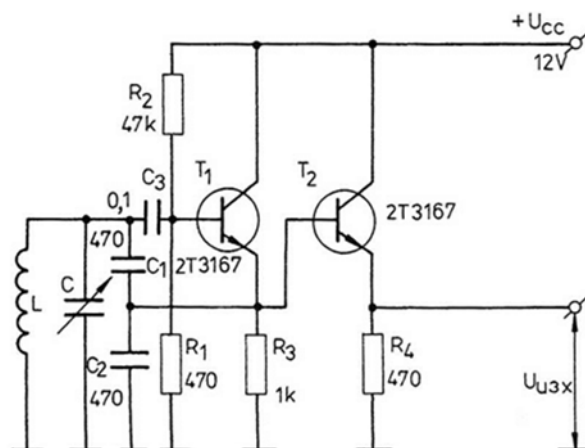


Фиг. 3.13

В показаната на фиг. 3.12 схема трептящият кръг на генератора се състои от кондензатора  $C_c$  и индуктивността  $L_c$ , която е разделена на две части -  $L_1$  и  $L_2$ . Към единия край на трептящия кръг е включен колекторът, а към противоположния му край - базата на транзистора  $T$ . Емитерът на транзистора е заземен по променлив ток чрез блокиращия кондензатор  $C_{\delta 1}$ . От друга страна, емитерът е свързан с общата точка на индуктивностите  $L_1$  и  $L_2$  чрез блокиращия кондензатор  $C_{\delta 2}$ . По този начин напреженията база - емитер и колектор - емитер се оказват дефазирани на  $180^\circ$ , което е необходимото условие, за да бъде обратната връзка положителна.

Колекторът на транзистора се захранва от постояннотоковия източник през блокиращия резистор  $R_{\delta 1}$  и кръговата бобина  $L_c$ . Базовата верига получава постояннотоково захранване чрез резистора  $R_{\delta 2}$ .

**LC-генератор, изпълнен по капацитивна триточкова схема.** Принципната схема на LC-генератор, изпълнен по капацитивна триточкова схема, е показан на фиг. 3.13. Емитерът на транзистора е заземен по висока честота чрез блокиращия кондензатор  $C_{\delta 1}$ . Единият край на кръга е включен към колектора, а другият му край е свързан към базата на транзистора през блокиращия кондензатор  $C_{\delta 2}$ . При този начин



на свързване напреженията база - емитер и колектор - емитер са дефазирани на  $180^\circ$  и обратната връзка е положителна. В случаите, когато генераторът трябва да се пренастройва и да генерира напрежения с всички честоти в даден обхват, променливият кондензатор се включва паралелно на кръговата бобина, както е показано на фиг. 3.14.

◀ Фиг. 3.14

### 3.9. LC-ГЕНЕРАТОР, ИЗПЪЛНЕН С ДВА ТРАНЗИСТОРА

Генераторът, чиято схема е показана на фиг. 3.15, е предназначен за настройване на входните и междинните кръгове на радиоприемните устройства. Максималната амплитуда на изходния му сигнал е  $100 \div 150 \text{ mV}$ . Покрива обхватите на дълги, средни, къси вълни и междинната честота -  $465 \text{ kHz}$ . Предвиден му е вход за модулиращ ниско-честотен сигнал, който не трябва да надвишава  $0,5 \text{ V}$ . При изменение на амплитудата му се изменя и дълбочината на модулацията. За източник на нискочестотен сигнал може да се използва някой от генераторите, разгледани в раздел 3.2. Модулиращото напрежение трябва да бъде синусоидално, а честотата му - в границите от  $400$  до  $1000 \text{ Hz}$ .

Високочестотният генератор ( $T_1$ ) е изработен по схема с индуктивна обратна връзка, осъществена между емитерната и базовата верига посредством бобините  $L_1$  и  $L_2$ . За всеки обхват бобините са сменяеми. Първият комплект бобини са за честоти от  $150 \text{ kHz}$  до  $500 \text{ kHz}$  (покрива обхвата на дългите вълни и междинната честота  $465 \text{ kHz}$ ). Плавната настройка на честотата се осъществява с кондензатора  $C_3$ , а границите на обхвата се нагласяват с тример-кондензатора  $C_6$  и феритното ядро на бобината. Вторият комплект бобини са за средни вълни и покриват обхвата от  $500 \text{ kHz}$  до  $1650 \text{ kHz}$ . Третият комплект покрива обхвата от  $1,6 \text{ MHz}$  до  $5 \text{ MHz}$ , четвъртият комплект - от  $5 \text{ MHz}$  до  $15 \text{ MHz}$  и петият - от  $15 \text{ MHz}$  до  $30 \text{ MHz}$ .

Модулираното високочестотно напрежение се подава на затихвателя  $R_7 \div R_{10}$  чрез кондензатора  $C_5$  и потенциометъра  $R_6$ . Дълбочината на модулацията се регулира с потенциометъра  $R_3$  и може да достигне  $70 \div 80\%$ . С подбиране на подходящ капацитет на кондензатора  $C_4$  може да се изменя грубо дълбочината на модулацията.

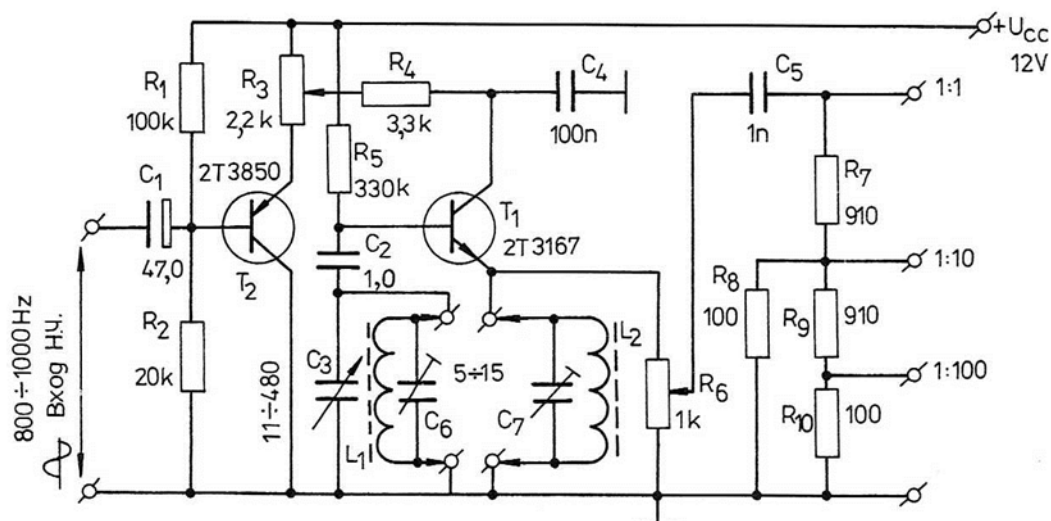
Бобините  $L_1$  и  $L_2$  се навиват върху тяло с диаметър от  $6$  до  $8 \text{ mm}$  и за различните обхвати имат следните данни:

Дълги вълни:	$L_1$ — $400$ нав., ПЕЛ, $0,08 \div 0,1$ ;
	$L_2$ — $20$ нав., ПЕЛ, $0,12 \div 0,15$ ;
Средни вълни:	$L_1$ — $130$ нав., ПЕЛ, $0,08 \div 0,1$ ;
	$L_2$ — $10$ нав., ПЕЛ., $0,12 \div 0,15$ ;
Къси вълни:	$L_1$ — $15$ нав., ПЕЛ, $0,5 \div 0,64$ ;
	$L_2$ — $2$ нав., ПЕЛ, $0,3 \div 0,4$ ;
	$L_1$ — $8$ нав., ПЕЛ, $0,6 \div 0,8$ ;
	$L_2$ — $2$ нав., ПЕЛ, $0,3 \div 0,5$ ;
	$L_1$ — $6$ нав., ПЕЛ, $0,6 \div 0,8$ ;
	$L_2$ — $2$ нав., ПЕЛ, $0,3 \div 0,5$ .

Кондензаторът  $C_3$  е от транзисторен радиоприемник, като секциите му се свързват паралелно, ако максималният му капацитет е  $240 \text{ pF}$ . Триммер-кондензаторите  $C_6$  и  $C_7$  са с капацитет от  $6$  до  $26 \text{ pF}$ . Изходът на сигнал-генератора се свързва с настройвания радиоприемник с помощта на коаксиален кабел с дължина около  $1 \text{ m}$ , на който жилото и оплетката се удължават с по едно парче многожилен проводник с дължина  $40 \div 50 \text{ mm}$ , завършващо с банан-щекер.

Настройването на високочестотния генератор се извършва с помощта на осцилоскоп и честотомер. Роторът на тример-кондензатора  $C_6$  се нагласява в положение на минимален капацитет, а  $C_3$  - на максимален. Бобините  $L_1$  и  $L_2$  (комплектът за дълги вълни) се поставят във входните букси. Към изходните клеми на генератора се включват осцилоскоп и честотомер. Високочестотните трептения се наблюдават на екрана на осцилоскопа. Ако генераторът не работи, трябва да се разменят краищата на едната от бобините. При неустойчива работа трябва да се промени разположението на бобините  $L_1$ ,  $L_2$  една спрямо друга върху общото тяло, на което са навити.

Градуировката на генератора се извършва, като се използва предварително подготвена скала, която се закрепва върху надписната плоча на уреда. Необходимо е също да се монтира стрелка върху оста на променливия кондензатор  $C_3$ . Понеже той е нагласен на максимален капацитет, началото на обхвата се настройва с ядрата на



Фиг. 3.15

бобините до получаване на честота 150 kHz. Ако честотата не може да се нагласи с преместване на ядрото, необходимо е да се донавият или развият навивки от бобината  $L_1$ . След това роторът на кондензатора  $C_3$  се завърта до получаване на минимален капацитет и чрез тример-кондензатора  $C_6$  се настройва честотата 500 kHz. Отново кондензаторът  $C_3$  се връща в изходно състояние (максимален капацитет) и се проверява честотата. Ако честотомерът не отчита 150 kHz, пристъпва се към ново настройване с ядрото на бобината. След това се проверява край на обхвата и ако има разлика в честотата, извършва се корекция с  $C_6$ . Така с няколко проверки и донастройки се фиксират двете крайни точки на всеки подобхват. Стойностите вътре в обхвата се намират с въртене на оста на кондензатора  $C_3$  и нанасяне на честотите директно върху скалата. Възможно е стрелката на генератора да бъде неподвижна, а скалата да се изработи във формата на диск и да се закрепи върху оста на кондензатора  $C_3$ .

Когато е извършена настройката на високочестотния генератор, се пристъпва към изпробване на модулятора. Модулираните трептения могат също да се наблюдават на екрана на осцилоскоп. Дълбочината на модулацията не трябва да надвишава 30%. Това изискване се налага от факта, че при подаване на високочестотен сигнал с модулация 30% към входа на радиоприемник във високоговорителя се чува чист и ясен тон без изкривявания.

Настройването и калиброването на генератора може да се извърши и с помощта на фабричен радиоприемник, но точността в този случай ще бъде много ниска.

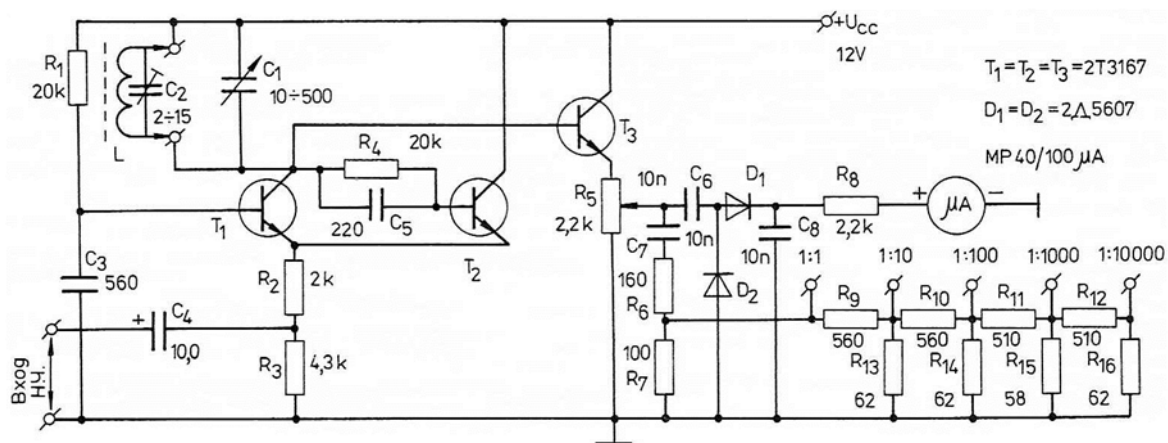
### 3.10. LC-ГЕНЕРАТОР, ИЗПЪЛНЕН С ТРИ ТРАНЗИСТОРА

Схемата на LC-генератор с три транзистора е показана на фиг. 3.16. Този генератор е предназначен за настройване на радиоприемници, работещи в честотния обхват от 140 kHz до 30 MHz. Съдържа възбудител ( $T_1$ ,  $T_2$ ), буферно стъпало - емитерен повторител ( $T_3$ ), променливотоков волтметър и затихвател.

Генераторът покрива следните обхвати: 140 ÷ 330 kHz, 315 ÷ 780 kHz; 715 ÷ 1800 kHz; 1.8 ÷ 4.6 MHz; 4.4 ÷ 12.5 MHz; 11.3 ÷ 30 MHz.

Изходното напрежение на генератора има максимална амплитуда 100 mV. Бобините  $L$  са сменяеми за всеки подобхват и данните за тях са дадени в табл. 3.1. Телата за бобините имат диаметър от 6 до 8 mm с феритно ядро.

Настройването и калиброването на генератора се извършва по начина, описан в раздел 3.9.



Фиг. 3.16

Таблица 3.1

Обхват №	Честота, MHz	Брой навивки	Проводник	Вид на намотката	Стъпка
I	0,14 ÷ 0,33	585	ПЕЛ 0,1	Многослойна	
II	0,315 ÷ 0,78	255	ПЕЛ 0,12	Многослойна	
III	0,715 ÷ 1,8	100	ПЕЛ 0,12	Многослойна	
IV	1,6 ÷ 4,6	23	ПЕЛ 0,27	Двуслойна	0,15
V	4,4 ÷ 12,5	6,5	ПЕЛ 0,55	Еднослойна	0,5
VI	11,3 ÷ 30	2.5	ПЕЛ 0,7	Еднослойна	0,7

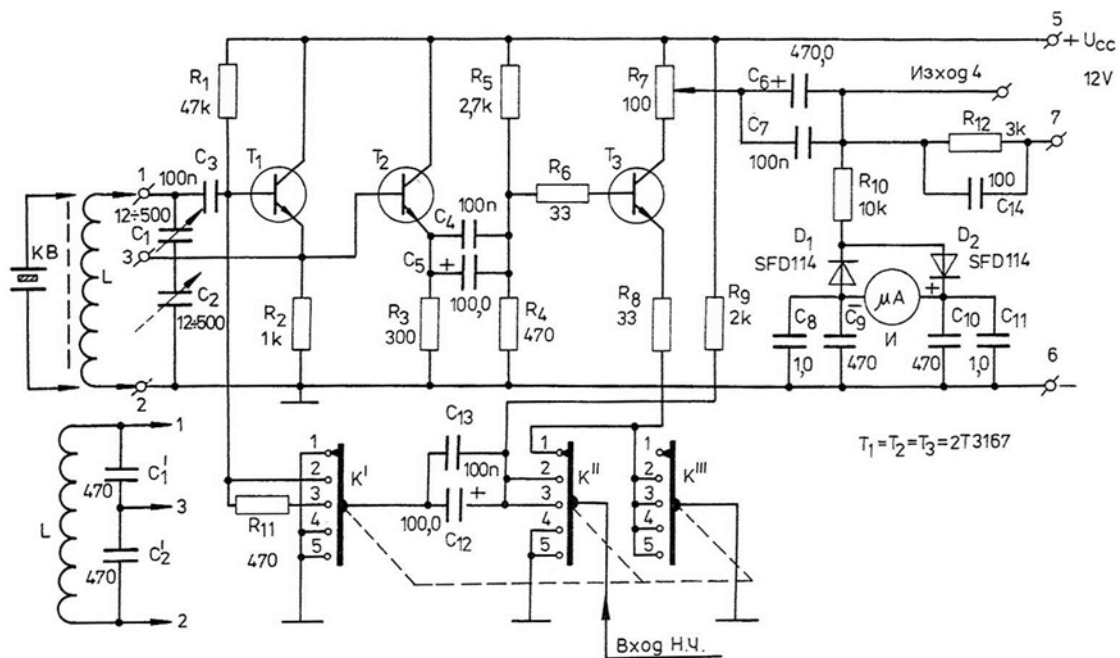
### 3.11. LC-ГЕНЕРАТОР, ИЗПЪЛНЕН С ТРИ ТРАНЗИСТОРА И ШИРОКОЛЕНТОВ КРАЕН УСИЛВАТЕЛ

Принципната схема на уреда е показана на фиг. 3.17. Задаващият генератор е изработен по капацитивна триточкова схема ( $T_1$ ). Плавната настройка на честотата се извършва с кондензаторите  $C_1$ ,  $C_2$ . Обхватите се променят чрез подмяна на бобините  $L$ , които се включват между буксите 1 и 2. Капацитивната триточкова схема позволява по лек начин да се осъществи кварцова стабилизация на честотата. В конкретния случай това се постига, като вместо бобината  $L$  се включи кварцовият резонатор КВ.

Задаващият генератор ( $T_1$ ) е отделен от крайното стъпало чрез буфера ( $T_2$ ), изпълнен по схема на емитерен повторител. Връзката между първите две стъпала е галванична, с което се постига подобряване на честотната и фазовата характеристика на уреда. За намаляване на честотната нестабилност, както и за стабилизация на амплитудата на изходния сигнал е необходимо захранващото напрежение да е стабилизирано.

Изходното стъпало ( $T_3$ ) е нерезонансно. Вместо трептящ кръг в колекторната верига на транзистора е включен регулируемият резистор  $R_7$ , с чиято помощ изходният сигнал може да се променя плавно по амплитуда. С резисторите  $R_4$  и  $R_5$  се осигурява постоянно токовият режим на транзистора  $T_3$ , а с резистора  $R_6$  се подобрява неговата устойчивост при високите честоти. Крайното стъпало е обхванато от отрицателна обратна връзка по ток, осъществена от резистора  $R_8$ . Отрицателната обратна връзка стабилизира коефициента на усилване, разширява честотната лента на усилвателя, повишава входното му съпротивление и облекчава съгласуването между стъпалата. Изходният сигнал се извежда от буква 4, която е свързана с входа на амплитудния детектор посредством прехвърлящите кондензатори  $C_6$  и  $C_7$ .

Амплитудният детектор е изпълнен по схема с удвояване на напрежението. За намаляване на грешките при измерване на нискофреkwотни сигнали кондензаторите  $C_8$  и  $C_{11}$  се подбират с достатъчно голям капацитет. За високите честоти те са блокирани от слюдените кондензатори  $C_9$  и  $C_{10}$ . Резисторът  $R_{10}$  линеаризира скалата на



Фиг. 3.17

стрелковия уред (и). Волтметърът измерва ефективната стойност на изходния сигнал.

Когато ключът К е в положение 4, емитерът на транзистора  $T_3$  чрез резистора  $R_8$  и контактите на ключа К се свързва на маса. Транзисторът  $T_3$  в случая работи по схема с общ емитер. В този режим уредът може да се използва като генератор на висока честота, широколентов усилвател или волтметър, измерител на капацитет, индуктивност или Q-метър - приложения, които се разглеждат по-нататък.

Когато уредът работи като високочестотен генератор, изходното му напрежение се регулира стъпално с помощта на допълнителни външни затихватели (фиг. 3.18). По своите технически характеристики те превъзхождат затихвателите от друг тип в честотния обхват от 0 до 50MHz. Изпълнени са като коаксиални звена с различно затихване. Първото звено има затихване 10 пъти (20 dB), второто - 100 пъти (40 dB), а третото 1000 пъти (60 dB). С тази конструкция затихватели е възможно да се получи пълно затихване -  $10^6$  пъти (120 dB), без да се използва превключвател.

Широколентовият затихвател се състои от три звена (фиг. 3.19). Всяко звено представлява отрязък от коаксиална линия, на която централният проводник е премахнат, а вместо него е включен резистор с подходящо съпротивление. Единият край на този резистор е свързан с входната бухса, а другият с изходната бухса и резистор със съпротивление 75  $\Omega$ . Монтажният капацитет значително се намалява при използване на бухси вместо превключвател на обхватите.

Данните за трептящия кръг са дадени в табл. 3.2. В колона 3 е нанесено нивото на изходния сигнал, а в колона 5 - стойностите на допълнителните капацитети  $C'_1$  и  $C'_2$ , включени паралелно на  $C_1$  и  $C_2$ .

Капацитетът на кръга при включени допълнителни кондензатори се определя по формулата

$$C_k = \frac{(C_1 + C'_1) \cdot (C_2 + C'_2)}{C_1 + C'_1 + C_2 + C'_2}.$$

Съотношението между максималната честота  $f_{max}$  на която генераторът може да се настрои, и минималната му честота  $f_{min}$  се нарича коефициент на покритие (припокриване). Той се определя по формулата

$$K = \frac{f_{max}}{f_{min}} = \sqrt{\frac{C_{kmax} + C_M}{C_{kmin} + C_M}},$$

където  $C_M = 40 \div 50$  pF е капацитетът на монтажа.

Индуктивността на бобините  $L_K$  за всеки подобхват може да се изчисли по израза

$$L_K \approx \frac{2,53 \cdot 10^4}{f^2 \cdot C_K}, \mu H$$

където  $C_K$ , pF;  $f$ , MHz.

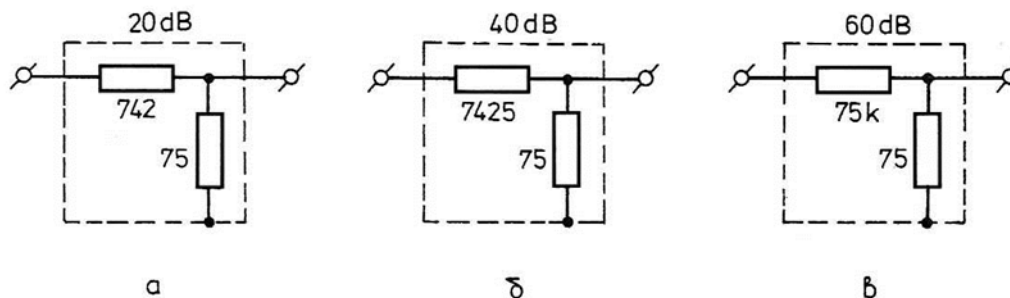
Таблица 3.2

Честотен обхват, MHz	Грешка при установяване на честотата, %	Изходно напрежение, V	Кръгова индуктивност $L_K$ , $\mu H$	Забележка
0,24 ÷ 0,33	±0,5	2	1000	$C'_1, C'_2$
0,328 ÷ 0,44	±0,5	2	466	$C'_1, C'_2$
0,44 ÷ 0,64	±0,5	2	466	
0,6 ÷ 0,84	±0,5	2	105	$C'_1, C'_2$
0,8 ÷ 1,6	±0,5	2	105	
1,5 ÷ 4,2	±0,5	2	30,1	
3,4 ÷ 7,9	±0,5	1,5	6,8	
7,5 ÷ 17,1	±0,5	1,1	1,5	
16,1 ÷ 36,1	±1	0,35	0,34	

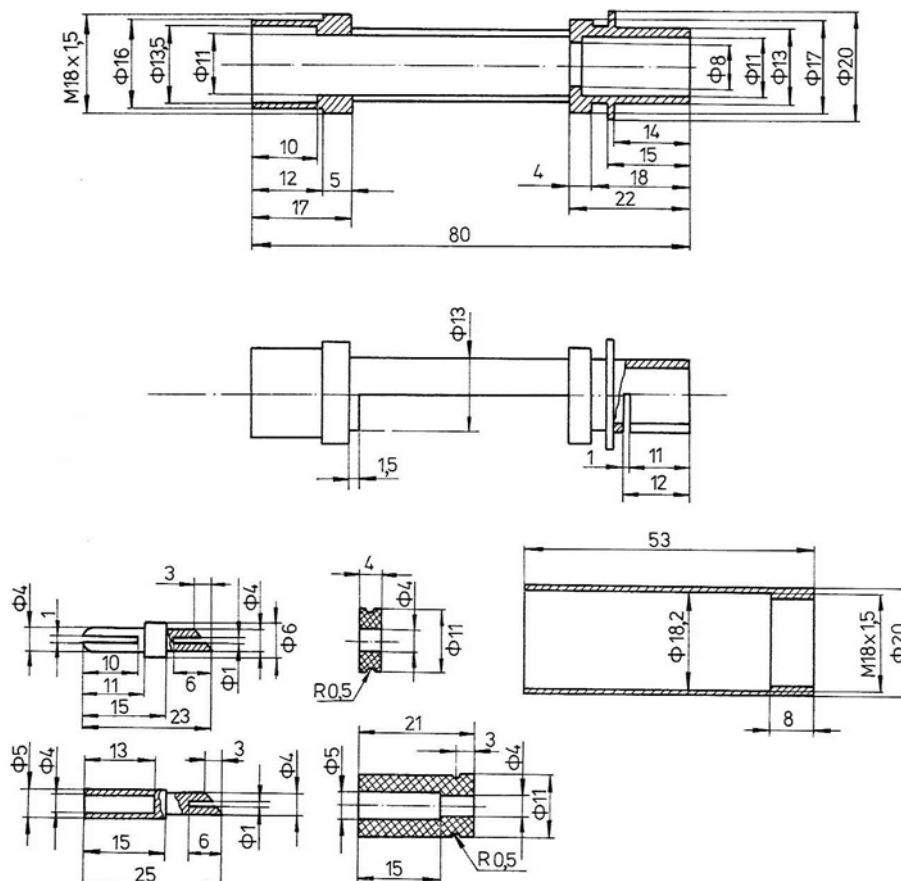
Когато от клемите 1, 2 и 3 се изключи кръговата бобина  $L_K$ , а капацитетът на кондензаторите  $C_1 \div C_2$  се нагласи на минимална стойност, генераторът може да се използва като широколентов усилвател.

В този случай входният сигнал се подава между клемите 1 и 2, а изходният се отвежда от клемата 4. Лентата на пропускане на усилвателя е от 20 Hz до 30 MHz при коефициент на усилване от 2 до 3 пъти. Максималният изходен сигнал е 2 V при товарно съпротивление 75  $\Omega$  и дължина на коаксиалния кабел 2 m.

Генераторът може да се използва и като високочестотен волтметър. Входната верига и капацитетът на кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  се запазват същите както при широколентовия усилвател. Входното напрежение се отчита по стрелковия индикатор. Обхватът на измерваните напрежения е от 0,1 V до 2,0 V при честотна лента от 200 Hz ÷ 20 MHz. Входното съпротивление на уреда е 20 k $\Omega$ , Грешката при измерването не надвишава ±5%.



Фиг. 3.18



Фиг. 3.19

### 3.12. ЗАТИХВАТЕЛИ

Изходните вериги осигуряват получаването и отчитането от изхода на генератора на необходимите стойности от калибрирано високочестотно или нискочестотно напрежение до стойности единици или части от микроволта. Непосредственото измерване на такива малки напрежения в широк честотен обхват може да се осъществи само със сложен многообхватен волтметър. Поради това във високочестотните генератори се използват косвени методи за дозиране на изходното напрежение. С прост еднообхватен високочестотен волтметър (например диоден) като показания на фиг. 1.24 се измерва нивото на високочестотно напрежение само ако то се подава на затихвател, с чиято помощ на изхода може да се получи част от това напрежение.

В този раздел на книгата ще бъдат разгледани няколко схеми на затихватели, използвани в електроизмерителните уреди.

На фиг. 3.20 е показана схемата на затихвател, изчислен за получаване на калибрирани напрежения от 1 V до 1  $\mu$ V.

Тук напрежението от изхода на генератора се подава на главния затихвател - потенциометърът  $R_1$ . С негова помощ то може да се нагласи на коя да е стойност от 0,1 V до 1 V при стабилна максимална стойност на изходната амплитуда, равна на 1 V. Зад копчето на плавния затихвател може да се постави скала с 10 цели деления (например 0,1 ÷ 1). По-нататъшното отслабване на изходното напрежение се постига със стъпален затихвател, състоящ се от пет Г-образни клетки. Всяка клетка съдържа два резистора и понижава напрежението 10 пъти.

Изходното напрежение се изчислява като произведение от показанията на скалите на плавния и на стъпалния затихвател. Например, за да се получи напрежение  $50 \mu\text{V}$ , превключвателят К се поставя в положение  $10 \mu\text{V}$ , а стрелката на главния затихвател се поставя срещу числото 5. Вместо превключвателя К може да се използват букси, като всяка една, заедно с резистора, трябва грижливо да се екранира.

Изчисляването на стъпалния затихвател започва от резистора  $R_{11}$  на последната клетка. Съпротивлението на този резистор трябва да е такова, че при положение  $1 \mu\text{V}$  на ключа К да се получи една предварително приета стойност за  $R_{\text{изх}} = 20 \Omega$ . Такава стойност се приема с оглед съгласуването на генератора със съпротивлението на антенния вход на радиоприемниците. Ако междинните положения на превключвателя К трябва да съответстват на десеторното изменение на изходното напрежение, съпротивленията на резисторите  $R_{11}$  и  $R_{10}$  се изчисляват по следния начин:

$$R_{11} = 1,1 \cdot R_{\text{изх}} = 1,1 \cdot 20 = 22 \Omega; \quad R_{10} = 9 \cdot R_{11} = 198 \Omega.$$

За да не се измени изходното съпротивление, когато превключвателят К се постави на положение „ $10 \mu\text{V}$ “, е необходимо съпротивлението на дясната част на схемата между точките  $\delta$  и  $ж$  да е равно на  $R_{11}$ . Това условие определя избора на  $R_9$ :

$$R_9 = \frac{(R_{10} + R_{11}) \cdot R_{11}}{R_{10}} = \frac{(198 + 22) \cdot 22}{198} = 24,44 \Omega.$$

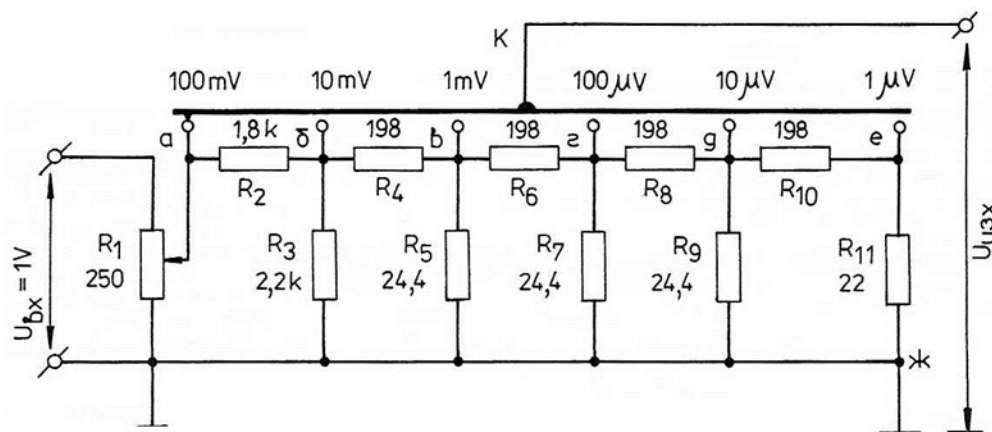
Определянето на останалите елементи от схемата в съответствие с разгледаните принципни положения става съгласно с равенствата:

$$R_4 = R_6 = R_8 = R_{10} = 198 \Omega,$$

$$R_5 = R_7 = R_9 = 24,4 \Omega$$

Ако превключвателят К се намира в положение „ $100 \text{ mV}$ “, изходното съпротивление на генератора е непостоянно - то зависи от положението на плъзгача на потенциометъра  $R_1$ . Съвсем незначително влияние на потенциометъра  $R_1$  се чувства и при положение на превключвателя „ $10 \text{ mV}$ “.

При плавното регулиране на изходното напрежение се изменя товарът на високочестотната част на генератора. За отслабване на това влияние, както и за подобряване на линейността на скалата на плавния затихвател е необходимо съпротивлението на  $R_1$  да бъде значително по-малко (в границите  $5 \div 10$  пъти) от входното съпротивление на степенчатия затихвател между точките  $a$  и  $ж$ . Но при по-малко съпротивление на  $R_1$  товарът на възбудителя или на усилвателя на генератора може да се окаже недопустимо голям. Затова съпротивлението на резистора  $R_1$  не трябва да се взема по-малко от  $150 \div 300 \Omega$ . За тази цел обаче е необходимо да се увеличи и входното съпротивление на степенчатия затихвател. Това е причината в първата клетка да се използват по-високоомни резистори, отколкото в останалите



Фиг. 3.20

клетки. Техните съпротивления се определят по формулите.

$$R_2 \leq 10 \cdot R_4 = 10 \cdot 198 = 1980 \, \Omega. \text{ Приемаме } R_2 = 1,8 \, k\Omega;$$

$$R_3 = \frac{R_4 \cdot R_2}{0,9 \cdot (10 \cdot R_4 - R_2)} = \frac{198 \cdot 1800}{0,9 \cdot (1980 - 1800)} = 2,2 \, k\Omega$$

Ако  $R_2 = 10 \cdot R_4$ , то  $R_3 = \infty$ . Следователно резисторът  $R_3$  е излишен.

Друг вариант на затихвател е показан на фиг. 3.21. Напрежението от плъзгача на главния затихвател  $R_1$  се подава направо на буква 3, която се използва за получаване на високочестотно напрежение в границите от  $0,1 \, V \div 1 \, V$ . Резисторът  $R_{12}$  създава товар за ненатоварената част на потенциометъра  $R_1$ . Приема се неговото съпротивление да бъде равно на входното съпротивление на степенчатия затихвател.

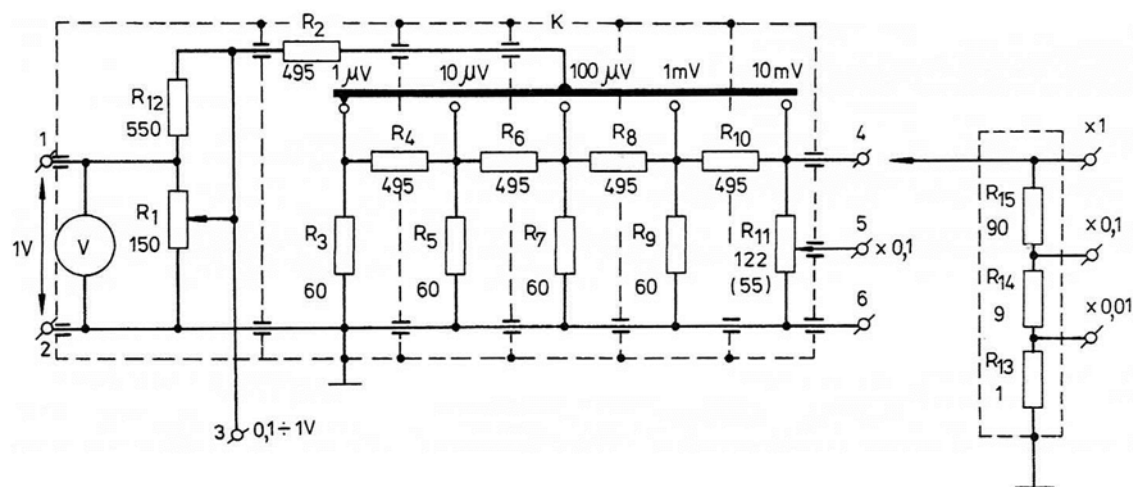
Една десета част от напрежението, получавано от плавния затихвател, се подава на степенчатия през резистора  $R_2$ . Главна особеност на този затихвател е, че регулирането става от страната на входа - плъзгачът на степенчатия превключвател е свързан с входа.

За да се получи правилно делене на напреженията, необходимо е входното съпротивление на затихвателя да бъде еднакво при всички положения на превключвателя  $K$  и да е по-голямо от входното съпротивление в буква 4 с около 11 пъти. За получаване на значително входно съпротивление, осигуряващо възможност за подходящ подбор на съпротивлението на потенциометъра  $R_1$ , стъпалният затихвател трябва да има сравнително голямо входно съпротивление, най-малко от порядъка на  $50 \div 100 \, \Omega$ . Изходното съпротивление може да се намали до около  $0,1 \cdot R_{11}$  при използване на буксата 5, която е свързана с извод на една десета част от съпротивлението на резистора  $R_{11}$ .

Следователно отчетеното изходно напрежение в буква 5 представлява  $0,1$  част от напрежението в буква 4.

Изходният кабел се избира коаксиален, за да се избягнат възможните грешки поради затихване на напрежението в него. Високочестотната енергия се предава по кабела почти без загуби, ако изходното съпротивление на генератора и товарът в края на кабела са равни на вълновото съпротивление на последния.

Ако изходното съпротивление на генератора е  $R_{\text{изх}} = 50 \, \Omega$  и коаксиалният кабел има вълново съпротивление  $100 \, \Omega$ , необходимо е съпротивлението на резистора  $R_{11}$  да бъде не  $55 \, \Omega$ , а да се увеличи на  $122 \, \Omega$ , за да не се шунтира изходът. В действителност като постоянен изходен товар на края на кабела се включва група от резистори ( $R_{13}$ ,  $R_{14}$ ,  $R_{15}$ ) с общо съпротивление  $100 \, \Omega$ . Изводите от тази група осигуряват изходно съпротивление до  $1 \, \Omega$  и  $10 \, \Omega$  при намаляване на напрежението от 10 до 100 пъти.

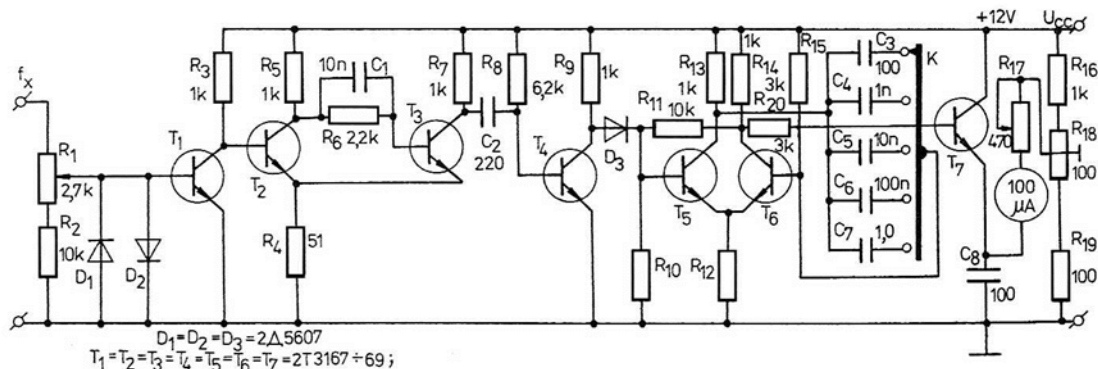


Фиг. 3.21

## 4. ЕЛЕКТРОНЕН АНАЛОГОВ ЧЕСТОТОМЕР

Схемата на електронен аналогов честотомер е показана на фиг. 4.1. В уреда е използван принципът за измерване на средния ток на импулси с постоянна продължителност, следващи честотата на изследвания сигнал. При всички подобхвати се използва една и съща скала на микроамперметъра с градуировка от 0 до 100.

Честотомерът се състои от амплитуден ограничител (резисторите  $R_1$ ,  $R_2$  и диодите  $D_1$ ,  $D_2$ ), усилвател-ограничител ( $T_1$ ), тригер на Шмит ( $T_2$ ,  $T_3$ ), електронен ключ ( $T_4$ ), чакащ мултивибратор ( $T_5$ ,  $T_6$ ) и емитерен повторител ( $T_7$ ).



Фиг. 4.1

Изследваният сигнал отпушва транзистора  $T_1$ , в резултат на което се задейства тригерът на Шмит. На неговия изход се формират правоъгълни импулси с продължителност на предния фронт от 0,15 до 0,2  $\mu$ s, които запущат  $T_4$ . Положителният импулс, снет от колектора на  $T_4$ , запуска чакащия мултивибратор. Продължителността на изработвания от последния импулс се определя от кондензаторите  $C_3 \div C_7$  в зависимост от положението на ключа К. За отделните подобхвати тя е: 3,3 ms, 0,33 ms, 33  $\mu$ s, 3,3  $\mu$ s, 0,33  $\mu$ s. От изхода на емитерния повторител импулсите постъпват на измерителния уред. Ако не постъпват импулси, транзисторът  $T_7$  е запущен. Неговият праг на отпушване се подбира с резисторите  $R_{17}$  и  $R_{18}$ .

Входното съпротивление на уреда е около 2,7 k $\Omega$ . Грешката при измерването не надвишава  $\pm 5\%$ . Входното напрежение може да варира от 0,5 до 50 V. Обхватът на измерваните честоти е от 10 Hz до 1,0 MHz. Горната граница на измерваните честоти за всеки подобхват има следните стойности: 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1,0 MHz. Градуирането на уреда се извършва с помощта на фабричен честотомер и осцилоскоп.

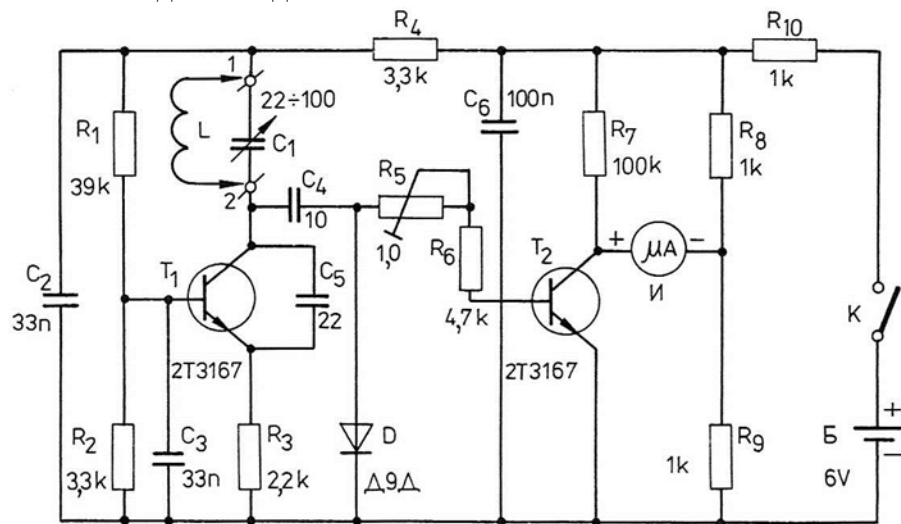
## 5. ГРИДДИПМЕТРИ И ИНДИКАТОРИ НА ИНТЕНЗИТЕТА НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНОТО ПОЛЕ

Гриددипметърът е уред за установяването и приблизителното измерване на резонансната честота на трептящите кръгове. При определени условия той може да се използва и за настройване на антени.

По своето устройство гриددипметърът представлява генератор на висока честота, която може да се променя степенчато с подмяна на кръговите бобини и плавно с промяна на кръговия капацитет. Когато кръговата бобина на генератора се доближи до друг трептящ кръг, изследваният кръг отнема енергия от кръга на генератора, ако двата кръга са настроени в резонанс. Тази промяна на първоначалните условия от работата на генератора се установява с измерителен уред, свързан на подходящо място в схемата. Основни предимства на транзисторните гриددипметри са техните малки размери и маса и независимото им електрозахранване.

## 5.1. ТРАНЗИСТОРЕН ГРИДДИПМЕТЪР

Гриددипметърът (фиг. 5.1) съдържа генератор ( $T_1$ ), детектор ( $D$ ) и постояннотоков усилвател ( $T_2$ ). Обратната връзка на генератора е капацитивна - от колектора към емитера на транзистора  $T_1$ . Осъществена е с кондензатора  $C_5$ . Кръговата бобина е с два извода.



◀ Фиг. 5.1

Конструктивни данни за кръговите бобини за отделните подобхвати при кръгов капацитет 100 pF са дадени в табл. 5.1.

С гриددипметъра се работи по следния начин. Доближава се бобината на генератора до изследвания кръг. Със завъртане на оста на кондензатора  $C_1$ , се променя честотата на гриددипметъра. Когато между двата кръга настъпи резонанс, рязко спада големината на протичащия през уреда  $I$  ток. В този момент се отчита честотата от скалата, която директно е свързана с оста на кондензатора.

Таблица 5.1

Честотен обхват, $f$ , MHz	Брой навивки	Проводник, mm	Тяло на бобината, диаметър, mm	Дължина на бобината, mm
1,7 ÷ 3,2	195	0,16	19	20
2,7 ÷ 5,0	110	0,25	19	20
4,4 ÷ 7,8	51	0,25	19	20
7,5 ÷ 13,5	24	0,25	19	20
12 ÷ 22	21	0,50	19	20
20 ÷ 36	14	0,50	19	20

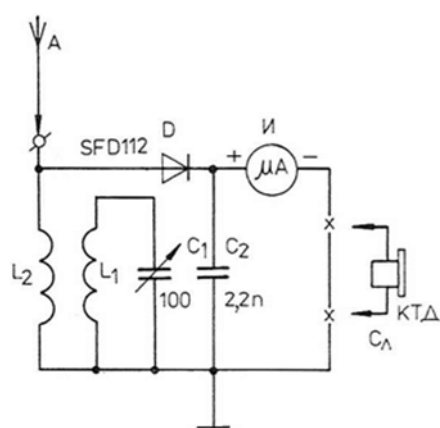
## 5.2. ИНДИКАТОРИ НА ИНТЕНЗИТЕТА НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНОТО ПОЛЕ

При настройване на антени и при съгласуването им с крайното стъпало на радиопредавателите се използват индикатори на електромагнитното поле. Обикновено те се конструират и изработват с настройван трептящ кръг. Това са селективни (избирателни) индикатори. С тях може да се измерва интензитетът на полето едва тогава, когато са настроени на съответната честота. Те обединяват функциите на индикатора на интензитета на електромагнитното поле с тази на вълномера.

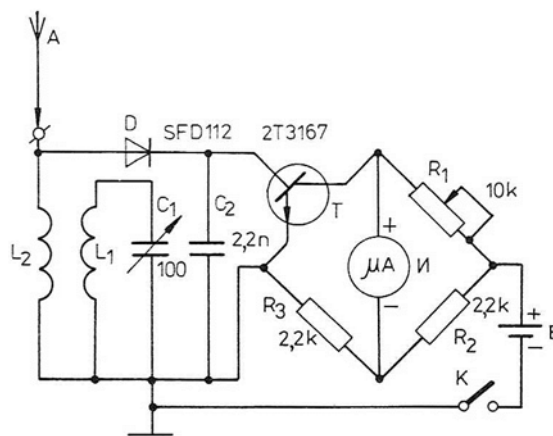
Най-прост селективен индикатор на интензитета на полето е показан на фиг. 5.2. Бобината  $L_1$  и кондензаторът  $C_1$  образуват паралелен трептящ кръг. Към входа на индикатора е включена помощна антена  $A$ . За да бъде селективен кръгът  $L_1$ ,  $C_1$ , той не трябва да се шунтира силно нито от помощната антена, нито от диода  $D$ .

За това спомага бобината  $L_2$ , която има "слаба" връзка с кръга  $L_1, C_1$ .

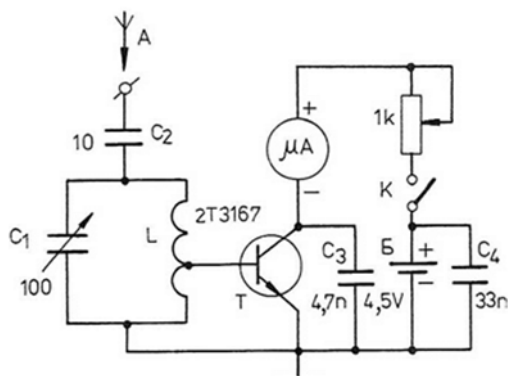
Високочестотният сигнал се приема от помощната антена. При голям интензитет на полето индикаторът дава показание и без кръгът  $L_1, C_1$  да е настроен в резонанс с честотата на предавателя. При донастройване на кръга индикаторът показва изразен



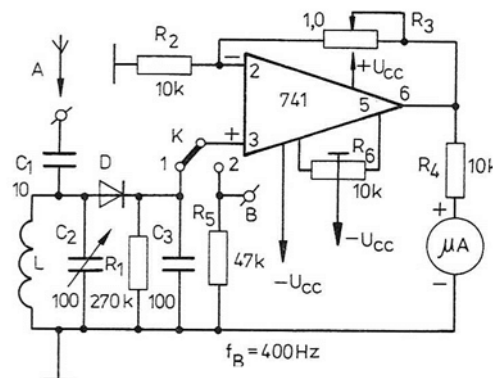
Фиг. 5.2



Фиг. 5.3



Фиг. 5.4



Фиг. 5.5

максимум на приетия сигнал. При по-малък интензитет на полето индикаторът реагира едва тогава, когато трептящият кръг се настрои в резонанс с честотата на предавателя. Бобините  $L_1$  и  $L_2$  могат да бъдат сменяеми както при гриддипметъра.

Освен като индикатор на интензитета на полето този уред може да се използва и за търсене на смущения в отделните стъпала на радиопредавателя, както и за неутрализация на лампите. Ако се прекъсне връзката между измерителния уред и земя и се включат последователно слушалки, получава се детекторен приемник, който позволява да се прослушва собственият предавател.

Чувствителността на индикатора на интензитета на полето може значително да се повиши чрез използване на допълнителен транзисторен постоянен ток усилвател (фиг. 5.3). Напрежението, изправяно от полупроводниковия диод  $D$ , се подава в базата на транзистора  $T$ . Колекторният ток се компенсира с помощта на променливия резистор  $R_1$ . При липса на сигнал стрелката на индикатора трябва да показва нула.

Друга схема на селективен индикатор на интензитета на полето е показана на фиг. 5.4. При него липсва диодът, а базата е включена на разстояние  $\frac{1}{3}$  от края на бобината  $L$ , за да не шунтира резонансния кръг. Дължината на помощната антена зависи от дължината на приеманата вълна и обикновено се избира с размер  $\lambda/2$ , но това условие не е задължително.

Значително подобряване на параметрите на измерителя на интензитета на полето може да се постигне, ако се използва интегрален операционен усилвател с регулируем коефициент на усилване (фиг. 5.5). Ключът К свързва неинвертиращия вход на операционния усилвател към изхода на детектора - положение 1, или за калибровка - положение 2. Калибровъчният сигнал се подава на букса В. Коефициентът на усилване се регулира с помощта на потенциометъра  $R_3$  и може да има стойности от 1 до 100.

## 6. ЕЛЕКТРОНЕН ОСЦИЛОСКОП

Процесите, които протичат в радиотехническите устройства, са сложни и се определят от много параметри. Непосредственото им измерване със стрелкови или цифрови уреди не винаги е възможно. Незаменими в това отношение са електронните осцилоскопи, които са предназначени за наблюдаване, изследване и фотографиране на различни електрически процеси върху екрана на електроннолъчева тръба. Освен получаването на преценка за качеството на изследваните процеси с осцилоскопите могат да се измерят редица параметри на тези процеси, като амплитудни и моментни стойности на напреженията и токовете, продължителност на импулси, фазова разлика, коефициент на амплитудна модулация. Могат да се открият появяващи се изкривявания при преминаване на сигналите през електрическите вериги и т. н.

Като индикатори в осцилоскопите се използват електроннолъчеви тръби с електростатична фокусировка и отклонение. Изследваният процес се наблюдава във вид на светеща крива, която възниква на екрана на тръбата в резултат на бомбардирането му от тесен сноп бързодвижещи се електрони.

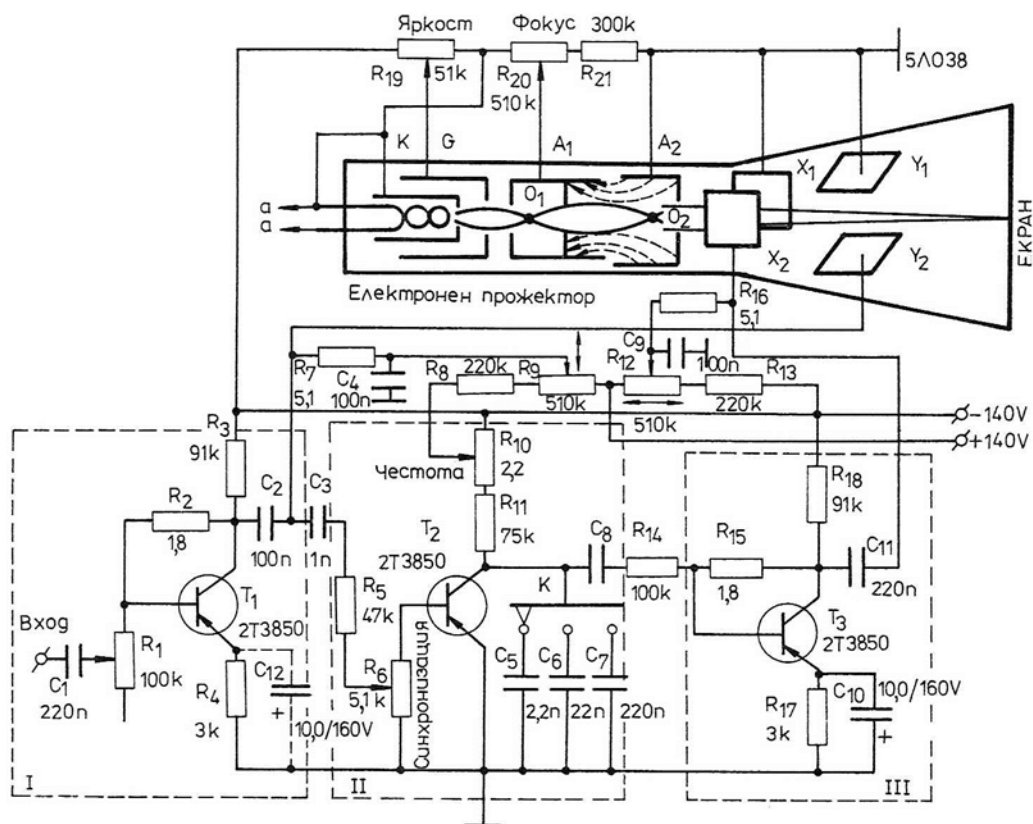
Електроннолъчевата тръба е електровакуумен прибор с удължен стъклен балон в цилиндрична форма, който на единия си край има конусообразно разширение. Разположените в балона електроди се разделят на две групи. Едните от тях влизат в състава на електронния прожектор, който създава електронния лъч, насочен по оста на тръбата. Другите електроди - отклонителните плочи - служат за управляване на електронния лъч при движението му към екрана, който е нанесен върху вътрешната повърхност на основата на конуса.

Електронният прожектор (фиг. 6.1) се състои от нагриван катод К, управляващ електрод Г и два анода  $A_1$  и  $A_2$ . Електроните се отделят от катода, в централната част на който е нанесен окисен слой. Катодът често се свързва с единия край на отоплителната жичка  $a-a$  направо или чрез резистор с малко съпротивление, с което се изключва възможността от възникване на значителна потенциална разлика или пробив на изолацията между катода и отоплителната жичка.

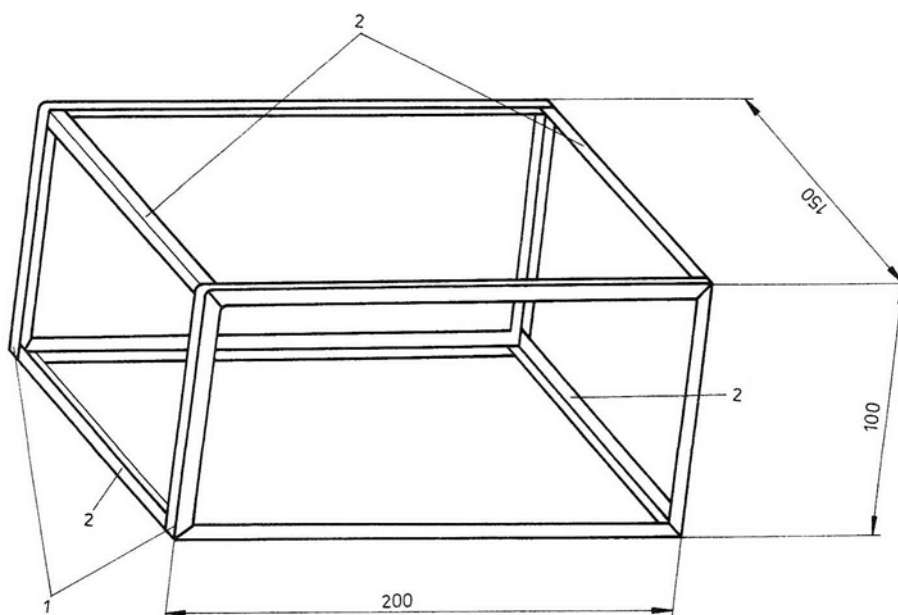
Електронният лъч се регулира чрез управляващия електрод Г, който е направен във формата на метален цилиндър, обгръщащ катода. Върху основата на този цилиндър (точно в центъра) има малък отвор. На управляващия електрод се подава отрицателно (по отношение на катода) напрежение от порядъка на няколко десетки волта, под действие на което електроните се концентрират около оста на тръбата. Тук те попадат в ускоряващото поле на анода  $A_1$  и част от тях, като преодоляват отблъскващото действие на основата на цилиндъра Г, прескачат неговия централен отвор и се устремяват към анода. Потенциалът на управляващия електрод се изменя с потенциометъра  $R_{19}$ . При тази регулировка се променя количеството електрони, от които е образуван електронният лъч. Следователно променя се и предизвиканата от него яркост на светене на екрана. При отрицателно напрежение на управляващия електрод електронният лъч напълно се запушва и изображението на екрана изчезва.

Електроните придобиват необходимата скорост на движение под действие на двата цилиндрични анода  $A_1$  и  $A_2$ , които са разположени около оста на тръбата. Като попаднат в първия анод след пресичане на пътищата им в точка  $O_1$  те продължават движението си по разходящи траектории. За да се получи тънък електронен лъч, на

анодите са направени диафрагми във вид на преградки с тесни отвори в центъра.  
Окончателното оформяне на потока от електрони в електронен лъч и фокусирането



Фиг. 6.1



Фиг.6.2

му става под влияние на електростатичното поле между първия и втория анод.

Екранът на тръбата представлява нанесен върху стъклото много тънък слой от специално вещество - луминофор, което свети под действие на ударите на електроните.

Разглежданият осцилоскоп е предназначен за изследване на електрически сигнали с честота до 20 kHz. Той съдържа следните основни стъпала:

I - усилвател за вертикално отклонение на лъча;

II - генератор на напрежението за развивка;

III - усилвател на напрежението за развивка.

Освен тези стъпала осцилоскопът има вериги за регулиране и захранване на електроннолъчевата тръба. Отместването на лъча в хоризонтална и вертикална посока се извършва съответно с потенциометрите  $R_{12}$  и  $R_9$ . Яркостта се регулира с  $R_{19}$ , а фокусировката с  $R_{20}$ . Честотата на развивката може да се променя в границите от 30 Hz до 20 kHz грубо с превключване на кондензаторите чрез ключа К и фино с потенциометъра  $R_{10}$ .

Чувствителността на усилвателя за вертикално отклонение може да се увеличи, като се включи кондензаторът  $C_{12}$ . В такъв случай обаче се намалява входното съпротивление на стъпалото. Синхронизацията може да се осъществи с честотата на изследвания сигнал, като нивото му се регулира с потенциометъра  $R_6$ .

На фиг. 6.2 е показана примерна механична конструкция, която може да се използва за монтиране както на осцилоскоп, така и на други електронни уреди. Основни части на кутията са двете рамки 1 и свързващите детайли 2, които се изработват от стоманени винкели с размери 10 x 10 mm или 10 x 15 mm и дебелина на материала от 0,5 до 0,7 mm. Свързването на конструкцията става по ъглите чрез запояване или с помощта на апарат за точкова заварка. Когато кутията бъде сглобена, могат да се изработят капациите - по един за дъното, задната и лицевата страна. Горният капак се прави от ламарина, огъната във формата на буквата П, така че да покрие и страничните отвори. Закрепването на капациите към конструкцията може да стане с винтове М 3 x 10, като предварително на съответните места се пробият отвори и точно срещу тях от вътрешната страна на винкелите се запоят гайки М 3. Върху долния, задния, а при необходимост и върху горния капак трябва да се пробият отвори с диаметър 4 ÷ 5 mm за охлаждане на електронните елементи. Лицевата плоча може да се изработи от алуминий или пластмаса.

Всички оси на органите за управление се разполагат така, че да е удобно манипулирането с уреда. Преди пробиването на лицевата плоча е желателно да и се начертае работен чертеж в подходящ мащаб. Така най-добре могат да се видят разстоянията между осите на потенциометрите, превключвателите, буксите и др. След завършване на кутията се пристъпва към предварителен механичен монтаж на всички части, от които е съставен уредът с цел да се отстранят допуснатите грешки при изработката. Едва тогава уредът се демонтира, кутията се боядисва и всички части окончателно се закрепват в нея. След това се пристъпва към настройването и калиброването на уреда.

## **7. УРЕДИ ЗА ПРОВЕРКА НА ПАСИВНИ ЕЛЕКТРОННИ ЕЛЕМЕНТИ**

### **7.1. МОСТОВИ МЕТОДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ СЪПРОТИВЛЕНИЯ**

Най-точен метод за измерване на електрически съпротивления е този, при който се използват мостове за постоянен ток. В най-общия случай мостът се състои от четири съпротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$  (фиг. 7.1), които образуват затворен четириъгълник. Страните на този четириъгълник се наричат рамена на моста. В единия диагонал на

моста е включен източник на постоянно напрежение (Б), а в другия - чувствителен галванометър (микроамперметър  $I$ ) с нула в средата на скалата, който е предназначен да показва нулевата стойност на тока.

Мостът се нарича уравновесен или балансиран, ако във веригата на галванометъра не тече ток; това може да се получи само ако потенциалите на върховете  $a$  и  $b$  са равни. Състоянието на равновесие се постига чрез съответен подбор на съпротивленията в рамената на моста.

Да предположим, че мостът, показан на фиг. 7.1, е уравновесен. В този случай в индикаторния диагонал не се отклонява ток и през съпротивленията  $R_1$  и  $R_2$  протича токът  $I_1$ , а през съпротивленията  $R_3$  и  $R_4$  - токът  $I_2$ . Тъй като не съществува разлика в потенциалите на точките  $a$  и  $b$ , тези токове създават еднакви падове на напрежение върху съпротивленията на резисторите  $R_1$  и  $R_4$ , както и върху  $R_2$  и  $R_3$ , т. е.

$$I_2 \cdot R_4 = I_1 \cdot R_1$$

$$I_2 \cdot R_3 = I_1 \cdot R_2$$

Като разделим първото равенство на второто, намираме

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_1}{R_2}, \text{ откъдето } R_4 \cdot R_2 = R_3 \cdot R_1$$

Следователно в уравновесения мост произведенията от съпротивленията в срещуположните рамена са равни. Ако едно от тези съпротивления, например  $R_4$  е неизвестно, то може да се намери с формулата

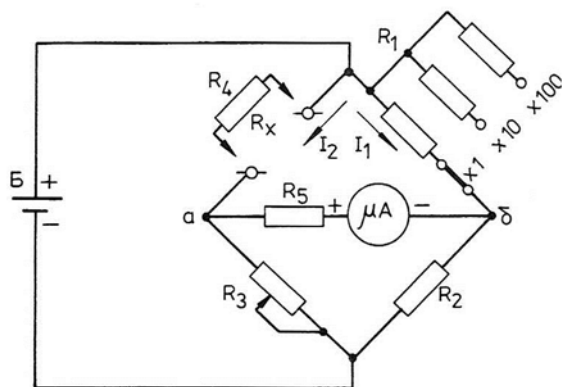
$$R_4 = R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3$$

## 7.2. ИЗМЕРИТЕЛИ НА ИНДУКТИВНОСТ

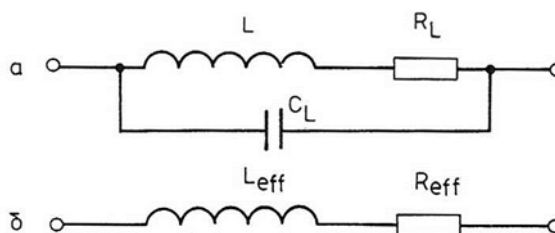
Основен параметър, с който се характеризират бобините на трептящите кръгове, на дроселите и трансформаторите, е индуктивността. Във високочестотните вериги намират приложение бобини с индуктивност от порядъка на стотни микрохенри до десетки милихенри. Бобините, които се използват в нискочестотните вериги, имат значително по-голяма индуктивност, достигаща до десетки и стотици хенри.

Освен с индуктивността  $L$  всяка бобина се характеризира и с известен собствен капацитет между навивките  $C_L$  и активно съпротивление  $R_L$ , разпределено по дължината на проводника, от който е навита бобината. С известно приближение може да се приеме, че  $L$ ,  $C_L$  и  $R_L$  са съсредоточени в едно място и образуват затворен трептящ кръг със собствена резонансна честота (фиг. 7.2)

$$f_L = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_L}}$$



Фиг. 7.1



Фиг. 7.2

Поради влиянието на капацитета  $C_L$  при високите честоти вместо истинската индуктивност  $L$  се измерва нейната ефективна стойност  $L_{\text{eff}}$ , която може значително да се различава от  $L$ , измерена при ниски честоти. Вместо активното съпротивление  $R_L$  при високи честоти се използва  $R_{\text{eff}}$ , което е значително по-голямо от  $R_L$ . Характерен параметър на бобините е техният качествен фактор. Той се определя с формулата

$$Q_L = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\text{eff}}}{R_{\text{eff}}}.$$

За измерване параметрите на бобините се използват методите на волтметра-амперметра, резонансния и мостовият метод.

*Измерване на индуктивност по резонансния метод.* Кръгът на резонансните схеми, които се използват за измерване на индуктивност, се състои от образцов кондензатор  $C_n$  и от измерваната бобина  $L_x$ . Той се свързва с изхода на високочестотен генератор (фиг. 7.3), чиято честота на трептенията  $f_n$  е известна. Когато  $f_n$  е равна на резонансната честота на кръга, индуктивността  $L_x$  може да се изчисли по формулата

$$L_x = \frac{2,53 \cdot 10^4}{f_n^2 \cdot C_k},$$

където  $f_n$ , MHz;  $C_k$ , pF.

Кондензаторът  $C$  се избира с малък капацитет с оглед да се получи остра резонансна крива.

Генераторът, който бе разгледан в раздел 3 (фиг. 3.15), може да се използва за измерване на индуктивности по метода на резонанса. Начинът на свързване е показан на фиг. 7.4. Обхватът на измерваните индуктивности е от 1  $\mu$ H до 0,3 H. Бобината с неизвестна индуктивност се включва между букса 7 и допълнителната букса 8, към която е свързан кондензаторът  $C$ .

Измерването се извършва с промяна на честотата на генератора до получаване на максимално показание на външния високочестотен волтметър, включен паралелно на кондензатора  $C_n$ . Индуктивността се изчислява по посочената вече формула, но тук  $C_k = C + C_n$ .

*Измерване на индуктивност по мостов метод.* Мостовите схеми за измерване на индуктивност се конструират с образцови кондензатори  $C_2$  с променлив капацитет (фиг. 7.5) или с променливи резистори  $R_3$  (фиг. 7.6). В единия диагонал на моста се включва външен генератор, а в другия - нулев индикатор. Паралелно на кондензатора  $C_2$  (вж. фиг. 7.5) се свързва променливият резистор  $R_2$ , който служи за уравновесяване на активното съпротивление  $R_x$  на измерваната бобина  $L_x$ . При равновесие на моста, което се постига с промяна на параметрите на  $R_1$ ,  $R_2$  и  $C_2$  (при постоянна честота), неизвестната индуктивност  $L_x$  и съпротивлението  $R_x$  се определят по формулите

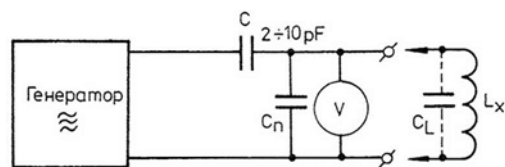
$$L_x = C_2 \cdot R_1 \cdot R_3; R_x = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$$

Следователно кондензаторът  $C_2$  и резисторът  $R_2$  могат да имат скали за директно отчитане на измерваните индуктивности и на загубите в тях.

При кондензатор  $C_2$  с постоянен капацитет и променливи резистори  $R_2$  и  $R_3$  (фиг. 7.6) разширяването на измерителните обхвати става с превключвателя  $K_1$  едната секция на който -  $K_1'$  - превключва резисторите  $R_1$  а другата -  $K_1''$  - кондензаторите  $C_2$ . Отчитането на индуктивността  $L_x$  става по скалата на резистора  $R_3$ , като се взема под внимание множителят, определен от положението на превключвателя  $K_1$ . Скалата на резистора  $R_2$  може да се градуира в стойности на качествения фактор на бобината, който се определя от израза

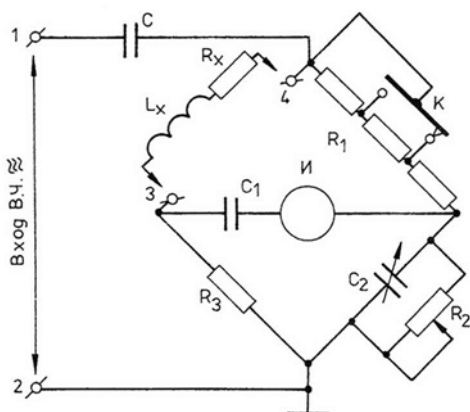
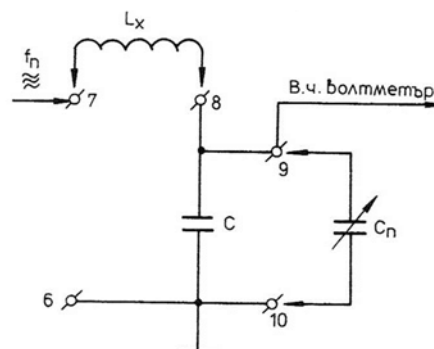
$$Q_x = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_2 \cdot R_2$$

*Измерване на индуктивности с директно отчитане.* Уредът, чиято схема е показана на фиг. 7.7, има измерителен обхват от 10  $\mu\text{H}$  до 10 mH, разделен на четири подобхвата: 10  $\mu\text{H}$ , 100  $\mu\text{H}$ ; 1 mH; 10 mH. Използван е т.нар.мултивибраторен метод, заключаващ се в следното. Когато мултивибраторът, изпълнен с транзисторите  $T_1$ ,  $T_2$ , генерира симетрични импулси, средният ток през микроамперметъра, включен между емитерите на транзисторите  $T_3$  и  $T_4$ , е равен на нула. При включване на бобина с

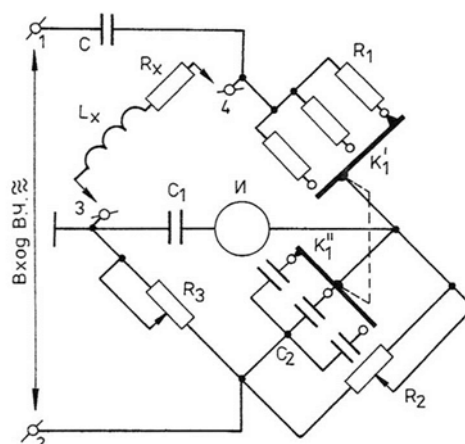


Фиг. 7.3

Фиг. 7.4 ►



Фиг. 7.5



Фиг. 7.6

неизвестна индуктивност  $L_x$  към клемите 1 и 2 през уреда протича ток, пропорционален на измерваната индуктивност. Нелинейността на скалата зависи от индуктивността на бобините  $L_1 \div L_{12}$  и не надвишава 5%.

Калибрирането на уреда се извършва с резистора  $R_5$ , а нулирането преди започване на измерването се постига с промяна на съпротивлението на резистора  $R_1$ .

### 7.3. ИЗМЕРИТЕЛИ НА КАПАЦИТЕТ

Основният параметър, с който се характеризират кондензаторите, е техният капацитет  $C$ . В радиоапаратите се използват кондензатори от различен тип и предназначение. Капацитетите им са в границите от около 1 pF до няколко хиляди микрофарада.

Необходимата точност при измерване на капацитетите на кондензаторите зависи от областта на използването им. Кондензаторите, които влизат в състава на трептящите кръгове, трябва да се избират особено старателно и грешките при определяне на капацитетите им да бъдат по-малки от 1 %. При избор на блокиращи, разделителни,

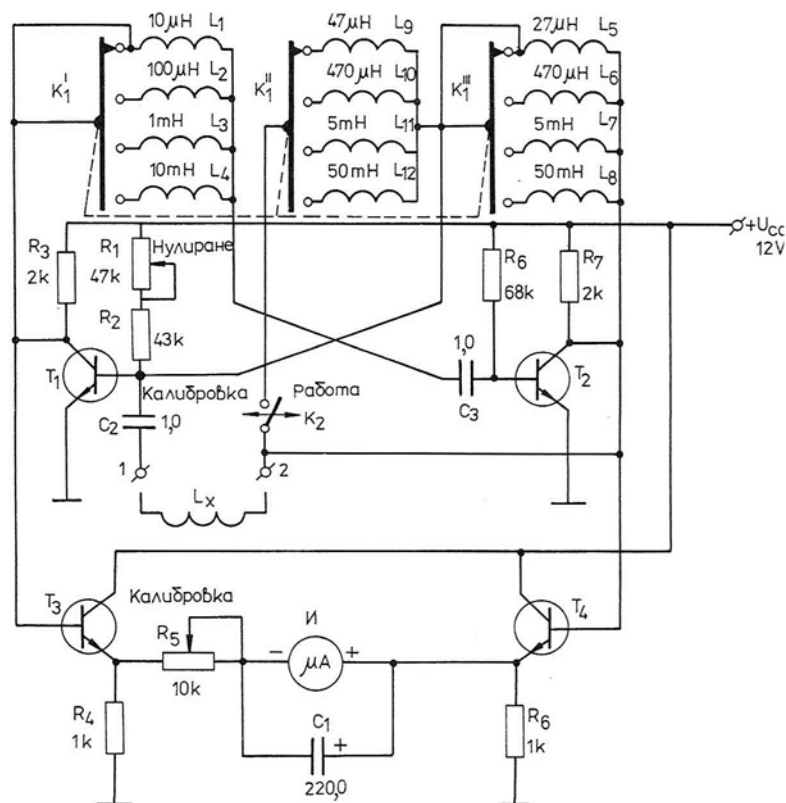
свързващи и други кондензатори обикновено се допускат значителни отклонения на капацитета (20 ÷ 50%) и измерването може да стане с прости методи.

Във включения в електрическата верига кондензатор се получават загуби на енергия, които възникват преди всичко в диелектрика, както и вследствие на некачествена изолация между изводите.

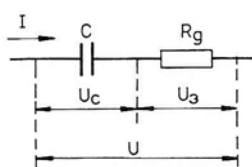
С оглед на отчитане на загубите заместващата схема на кондензатора може да се представи в два варианта: като капацитет  $C$ , включен последователно със загубно съпротивление  $R_z$  (фиг. 7.8), или като капацитет  $C$ , шунтиран от утечното съпротивление  $R_y$  (фиг. 7.9).

Поради наличие на загуби в диелектрика на кондензатора ъгълът между векторите на тока и напрежението е по-малък от  $90^\circ$ . Разликата  $\delta = 90 - \varphi$  дава илюстрация за загубите в кондензатора. Този ъгъл може да бъде определен, ако са известни  $U_C$  и  $U_z$  или  $I_C$  и  $I_y$ . Изчислява се по следните формули:

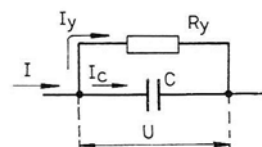
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_y}{U_C} = \frac{I_y}{I_C} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot R_z = \frac{1}{2 \cdot \pi f \cdot C \cdot R_y}.$$



Фиг. 7.7



Фиг. 7.8



Фиг. 7.9

Най-простите проверки на кондензаторите за пробив или късо съединение се извършват с омметър. Проверката за прекъснати изводи на кондензаторите с голям капацитет се извършва, като в променливотоковата верига последователно с кондензатора се включи пробна лампичка или волтметър.

Годността на кондензаторите може да се провери и чрез включване на изводите им към постояннотоков източник. Кондензатор, чието утечно съпротивление е голямо, може да остане зареден продължително време без видимо намаляване на получения заряд. Когато към такъв кондензатор се включи омметър, стрелката на измерителя вследствие на зарядния ток малко ще се отклони, след което поради голямото утечно съпротивление ще се върне в изходното или близко до него положение. Следващите кратковременни включвания на омметъра към кондензатора, повтаряни в интервал от няколко секунди, не трябва да предизвикват отклонения на стрелката на измерителя. Когато утечното съпротивление на кондензатора е малко, отклонение на стрелката ще се наблюдава при всяко включване на омметъра. За проверка на утечката на кондензаторите с капацитет, по-голям от 100 pF, като чувствителен индикатор могат да се използват високоомни телефонни слушалки, свързани последователно с нисковолтова батерия. Когато утечното съпротивление е малко, при всяко включване на индикатора към кондензатора в слушалката ще се чува прашене. При добрите кондензатори прашене се чува само при първото включване.

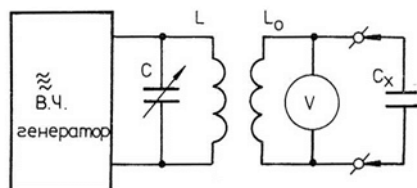
Приложеното към кондензатора напрежение не трябва да е по-високо от неговото допустимо работно напрежение. Ако в процеса на измерването кондензаторът се зарежда със значително напрежение, трябва да се потърси възможност за бързото му разреждане след завършване на измерването. Най-добре е разреждането да се извърши чрез съединяване изводите на кондензатора с нискоомен резистор.

*Резонансни измерители на капацитет.* Резонансният метод се използва за измерване на малки капацитети. Той се основава на използването на резонансните свойства на единичните трептящи кръгове, които съдържат индуктивност  $L$  и капацитет  $C$ . При свързване на такъв кръг с източник на променливо напрежение, честотата на който е равна на собствената честота на кръга, токът и напрежението в неговите елементи достигат максимални стойности.

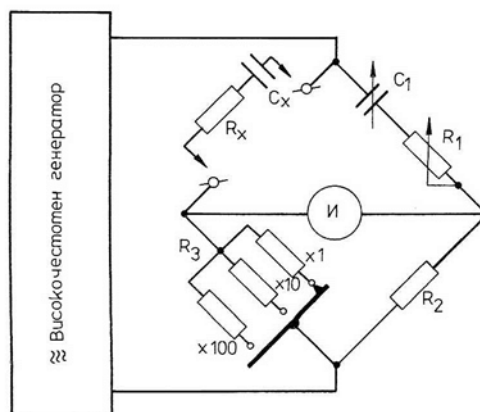
Резонансният измерител на капацитети (фиг. 7.10) съдържа образцова индуктивност  $L_0$  и измерван капацитет  $C_x$  които образуват трептящ кръг, свързан индуктивно с кръга  $LC$  на високочестотния генератор. Чрез изменение на капацитета  $C$  генераторът се настройва в резонанс със собствена честота  $f_0$  на измерителния кръг. Отчитането се извършва по максималното показание на индикатора на резонанса, който в случая е електронен волтметър. Неизвестният капацитет се определя по формулата

$$C_x = \frac{2,53 \cdot 10^4}{f_0^2 \cdot L_0}, \text{ pF};$$

Където  $f_0$ , MHz;  $L_0$ ,  $\mu\text{H}$



Фиг. 7.10



Фиг. 7.11 ►

При постоянна индуктивност  $L_0$  върху оста на ротора на кондензатора  $C$  може да се постави допълнителна скала (към скалата на честотите), градуирана направо в стойности на  $C_x$ .

*Мостови методи за измерване параметрите на кондензаторите.* На фиг. 7.11 е показана схема на декаден мост за измерване на параметрите на кондензаторите. Уравновесяването на този мост става чрез образцовите елементи  $C_1$  и  $R_1$ . При равновесие на моста неизвестните параметри се определят по формулите

$$C_x = C_1 \cdot \frac{R_2}{R_3}; R_x = R_1 \cdot \frac{R_2}{R_3}.$$

Следователно при постоянно съотношение  $R_2/R_3$  кондензаторът  $C_1$ , и резисторът  $R_1$  могат да се комплектоват със скали, градуирани в стойности на  $C_x$  и  $R_x$ . Измерителният обхват може да се разшири чрез изменение в 10-кратно съотношение на едно от активните съпротивления (например  $R_3$ ).

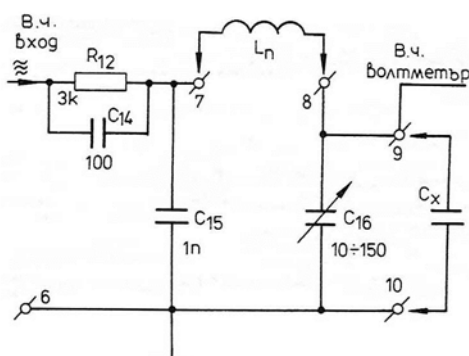
#### 7.4. КОМБИНИРАНИ УРЕДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА БОБИНИ И КОНДЕНЗАТОРИ

*Приставка за измерване на капацитет.* Методът на резонанса за измерване на индуктивности може да бъде приложен и за измерване на кондензатори, като се използва отново генераторът от фиг. 3.15. Приставката, разгледана на фиг. 7.4, няма да претърпи други изменения освен това, че вместо бобината  $L_x$  се използва образцова бобина  $L$ . Схемата на комбинираната приставка за измерване на капацитет и индуктивност е показана на фиг. 7.12.

Измерваният кондензатор  $C_x$  се включва към клеми 9 и 10, а образцовата бобина (с известна индуктивност) - към клеми 7 и 8. Честотата на генератора се променя до получаване на максимално показание на външния волтметър, включен паралелно на кондензатора  $C_x$ . Фината настройка за получаване на максимално показание на външния волтметър се постига с промяна на капацитета на кондензатора  $C_{16}$ . Върху ротора на този кондензатор е монтиран диск с деления, показващи неговия капацитет. Неизвестният капацитет на кондензатора  $C_x$  се определя по формулата

$$C_x = \frac{2,53 \cdot 10^4}{f_o^2 \cdot L_n} - C_{16}, \text{ pF};$$

където  $L_n, \mu\text{H}; f_o, \text{MHz}$ .



Фиг. 7.12

При  $C_x < 1 \text{ nF}$  е целесъобразно измерването да се извършва при честоти  $f > 1 \text{ MHz}$ . При  $C_x > 1 \text{ nF}$  грешката е около 50%. При  $C_x > 1 \text{ nF}$  се препоръчва да се използват честоти от порядъка на  $f \leq 250 \text{ kHz}$ . Обхватът на измерваните капацитети е от 10 pF до 100 nF.

## 7.5. ИЗМЕРВАНЕ НА КАЧЕСТВЕН ФАКТОР НА БОБИНА

Разгледаната приставка може да се използва и за измерване на качествен фактор на бобини  $Q$ .

Измерителят на  $Q$ -фактор представлява последователен трептящ кръг, състоящ се от измерителен кондензатор  $C_{16}$  и изследваната индуктивност  $L_x$ , която се включва вместо  $L_n$ . Когато се извършва измерване, буксите 9 и 10 са свободни. При резонанс напрежението върху кондензатора  $C_{16}$  ще бъде

$$U_C = \frac{U_o}{\omega \cdot C_{16} \cdot r_L}.$$

Но тъй като при резонанс също  $\frac{1}{\omega C} = \omega \cdot L$ , то

$$Q = \frac{\omega \cdot L_x}{R_L} = \frac{U_C}{U_o},$$

където  $U_o$  е напрежението между буксите 7 и 6;  
 $U_C$  - напрежението между буксите 9 и 10.

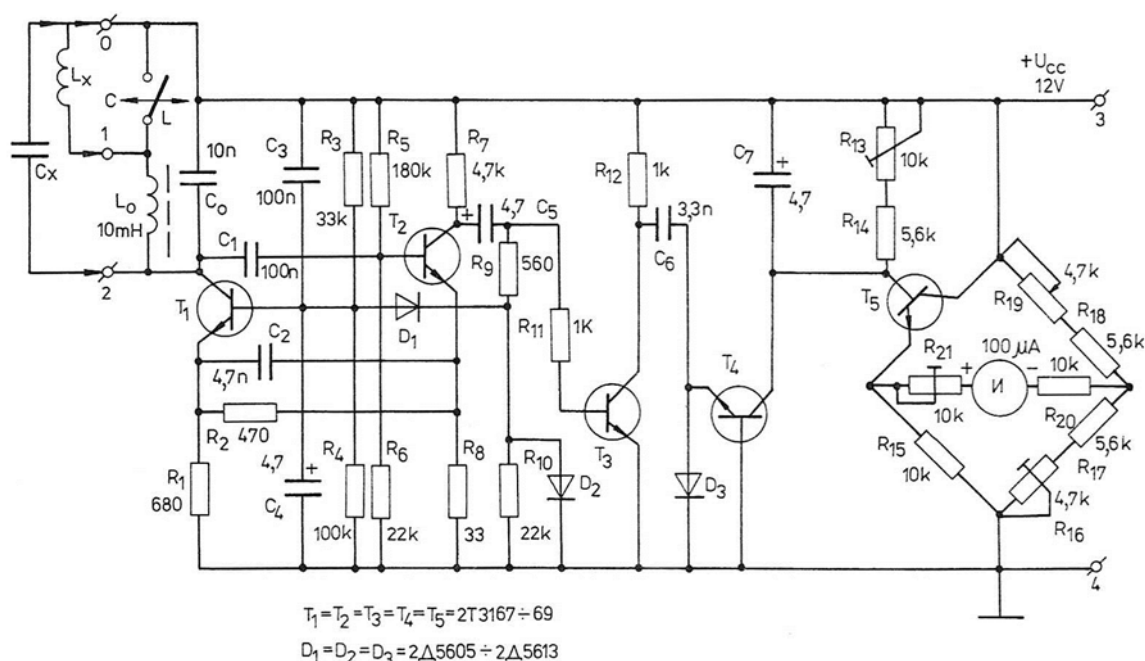
## 7.6. УРЕД ЗА ДИРЕКТНО ИЗМЕРВАНЕ НА КАПАЦИТЕТ И ИНДУКТИВНОСТ

Схемата на LC-измерителя е показана на фиг. 7.13. Тя съдържа генератор ( $T_1$ ,  $T_2$ ), в трептящия кръг на който са включени елементите  $L_o$ ,  $C_o$ . Генераторът осигурява постоянна амплитуда на високочестотните трептения от порядъка на  $30 \div 40 \text{ mV}$ . Ако към кондензатора на трептящия кръг  $C_o$  се включи паралелно кондензатор с неизвестен капацитет  $C$ , или пък последователно на бобината на трептящия кръг  $L_o$  се включи бобина с неизвестна индуктивност  $L_x$  при  $C_o = C_x$  или  $L_o = L_x$  честотата намалява с 0,707 от основната. Това изменение на  $f_o$  се подава на транзисторите  $T_3$ ,  $T_4$ , а оттам на емитерния повторител ( $T_5$ ), в чийто изход е включен индикаторът  $И$ , отчитащ тази разлика. Измерителният уред, транзисторът  $T_5$  и елементите  $R_{15}$ ,  $R_{16}$ ,  $R_{17}$  и  $R_{18} + R_{19}$  образуват мостова схема. Измерителят се нулира с потенциометъра  $R_{19}$  при отворен вход (буксите 1 и 2 са свободни). Когато  $L_x = L_o$  или  $C_x = C_o$  с помощта на тример-потенциометъра  $R_{21}$  се нагласява уредът да показва номиналното си отклонение. Първоначалната калибровка се постига с резистора  $R_{16}$ , а с тример-потенциометъра  $R_{13}$  се изравнява производственият толеранс на  $C_6$  в различните измерителни обхвати.

В табл. 7.1 са дадени стойностите на  $C_o$ ,  $L_o$  и  $C_6$ , както и съответните честоти  $f_o$  без включен измерителен обект (буксите 1 и 2 са свободни при отклонение на стрелката на уреда до номиналното му показание).

Разграфяването на скалата за всички обхвати е еднакво. Калибрирането на уреда може да се извърши с известни стойности на  $C$  и  $L$ .

Промяната на обхватите може да се осъществи или с галетен превключвател с девет положения, или чрез външно включване на елементите  $L_o$ ,  $C_o$ ,  $C_6$  и  $R_{13}$ .



Фиг. 7.13

Таблица 7.1

№	Обхват	$L_o$ , mH	$C_o$ , nF	$C_6$ , nF	$f_o$ , kHz	$f_x$ при $L_x = L_o$ ( $C_x = C_o$ )
1	100 pF	1	0,1	0,1	502	355
2	1 nF	1	1	0,33	158	112
3	10 nF	10	10	3,3	15,8	11,2
4	100 nF	10	100	10	5,02	3,55
5	10,0 μH	0,01	10	0,1	502	355
6	100,0 μH	0,1	10	0,33	158	112
7	1 μH	10	10	1	50,2	35,5
8	10 μH	10	10	3,3	15,8	11,2
9	100 μH	100	10	3,3	5,02	3,55

## 7.7. R L C-ИЗМЕРИТЕЛЕН МОСТ

Комбинираният измерител (фиг. 7.14) има следните основни обхвати:

съпротивление, kΩ: 1, 10, 100, 1000, 10000, 100000;

капацитет, μF: 0,001, 0,01, 0,1, 1,0, 10,0, 100,0;

индуктивност, H: 0,001, 0,01, 0,1, 1,0, 10,0, 100,0.

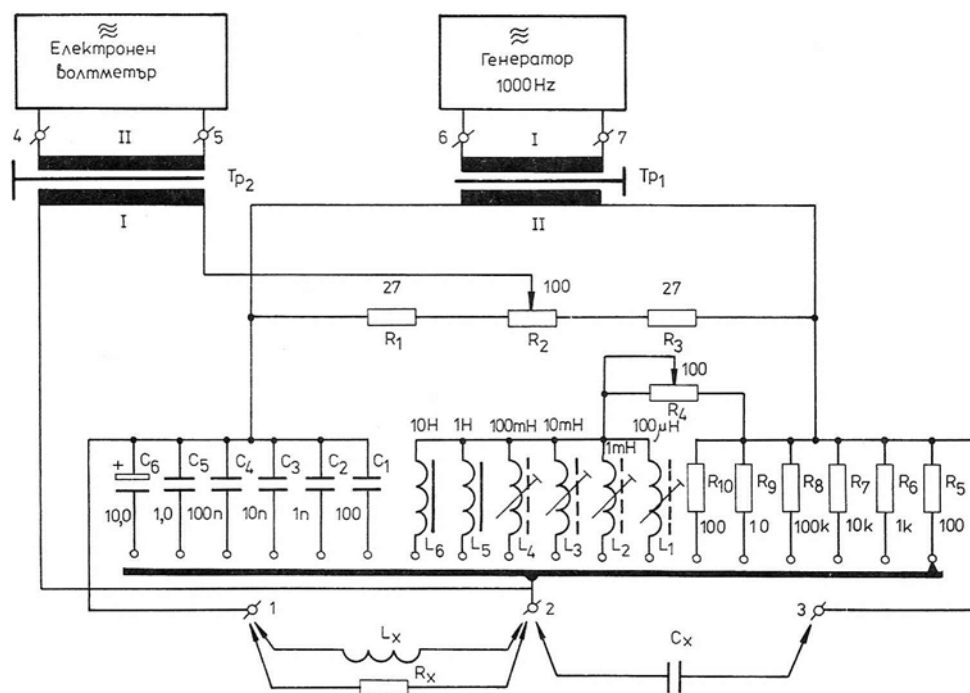
Уредът има пет входни букси 1, 2, 3 - за включване на изследваните елементи  $R_x$ ,  $C_x$  и  $L_x$ , и 6, 7 - за свързване към външен генератор, който работи на честота 1 kHz. Има също две изходни букси 4 и 5 за свързване с входа на електронен волтметър. Измерителният мост съдържа елементите:  $R_5 \div R_{10}$ ,  $L_1 \div L_6$  и  $C_1 \div C_6$ . Балансирането на моста се осъществява с потенциометъра  $R_2$ , върху чиято ос е монтирана скала. Данните за обходите са следните:

$L_1 = 100 \mu H$ ;  $n_1 = 55$  навивки, ПЕЛ 0,1;

$L_2 = 1 mH$ ;  $n_2 = 150$  навивки, ПЕЛ 0,1;

$L_3 = 10 mH$ ;  $n_3 = 500$  навивки, ПЕЛ 0,27;

$L_4 = 100 mH$ ;  $n_4 = 1560$  навивки, ПЕЛ 0,1.



Фиг. 7.14

Бобините  $L_5$  и  $L_6$  могат да се изработят върху тяло от изходен или драйверен трансформатор на транзисторен радиоприемник, като  $L_5 = 1 \text{ H}$ ;  $n_5 = 1565$  навивки, ПЕЛ 0,07; а  $L_6 = 10 \text{ H}$ ;  $n_6 = 4500$  навивки, ПЕЛ 0,07.

Трансформаторите  $Tr_1$  и  $Tr_2$  също са драйверни, взети от транзисторен радиоприемник, на които средният извод не се използва. Първичната намотка на трансформатора  $Tr_1$  се свързва към буксите 6 и 7, а вторичната с електронната схема. Трансформаторът  $Tr_2$  е свързан чрез вторичната си намотка и буксите 4 и 5 с волтметъра за променливо напрежение, а първичната му намотка - с електронната схема.

Образцовите бобини, кондензатори и резистори се подбират и настройват много грижливо, като стойностите им се проверяват с фабричен измерител. Отклоненията от посочените стойности не трябва да надвишават  $\pm 1 \%$ .

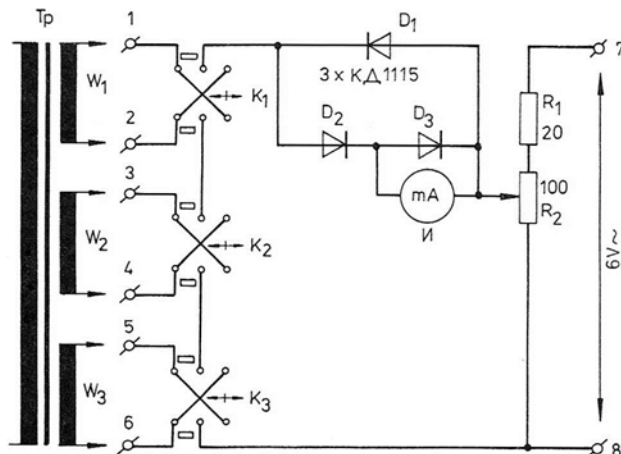
## 7.8. УРЕД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ПОСОКАТА НА НАВИВАНЕ НА НАВИВКИТЕ НА ТРАНСФОРМАТОРИТЕ

За правилното включване на трансформаторите и променливотоковите мотори при липса на маркировка на изводите е необходимо да се знае посоката на навиване на навивките (начало и край). Схема на уреда за определяне на посоката на навиване на намотките е показана на фиг. 7.15. Тя съдържа превключвателите  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ , измерителната система  $II$ , диодите  $D_1 \div D_3$ , постоянния резистор  $R_1$ , променливия резистор  $R_2$ , входните букси 1  $\div$  6 и изходните букси 7 и 8. Принципът на действие на уреда се заключава в измерване на променливия ток в последователно включените намотки  $w_1 \div w_3$ .

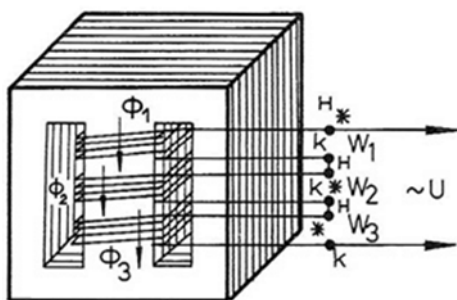
В еднофазните трансформатори при съгласувано свързване (краят на предишната намотка е свързан с началото на следващата) магнитните потоци в магнитопровода, породени от протичащите токове през намотките, имат еднаква посока (фиг. 7.16). Общият магнитен поток в магнитопровода е равен на сумата от потоците, създадени от отделните намотки. Общото индуктивно съпротивление на намотките

при съгласувано свързване е максимално, а токът във веригата е минимален.

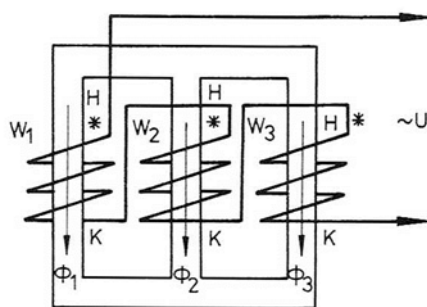
При насрещно свързване на намотките (краят на предишната е свързан с края на следващата) магнитните потоци, създадени от тези две намотки, са насочени един срещу друг. Сумарният магнитен поток в този случай е равен на разликата от двата потока. Общото индуктивно съпротивление ще бъде минимално, а токът във веригата максимален.



Фиг. 7.15



Фиг. 7.16



Фиг. 7.17

При трифазните трансформатори и електромотори, когато свързването е съгласувано, магнитните потоци са насочени насрещно (фиг. 7.17). Общото индуктивно съпротивление на последователно включените намотки ще бъде минимално, а токът във веригата максимален. Ако една от намотките е включена насрещно, двата потока ще имат еднакви посоки. Общото индуктивно съпротивление ще се увеличи, а токът във веригата ще намалее. Следователно, като се измерва токът в последователно свързаните намотки при различно включване на техните изводи, може да се определи посоката на навиването им. За измерването е необходимо да се включат намотки, броят на навивките на които не се различава с повече от 80%. Посоката на навиването се определя от положението на ключовете  $K_1 \div K_3$ : в еднофазните трансформатори по минималното отклонение на стрелката на измерителния уред, а при трифазните трансформатори и моторите за променлив ток - по максималното показание на уреда. Диодите  $D_1$  и  $D_2$  дават възможност за измерване на променлив ток с помощта на постояннотоков микроамперметър. Диодът  $D_3$  предпазва измерителния уред при неправилно разположение на плъзгача на потенциометъра  $R_2$ . Максимално допустимият ток на диодите в права посока трябва да бъде по-голям от 300 mA.

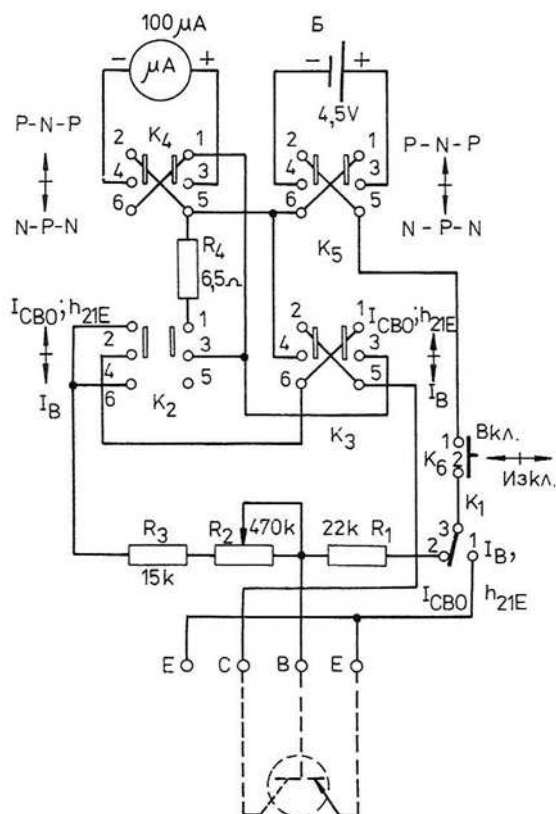
## 8. УРЕДИ ЗА ПРОВЕРКА НА АКТИВНИ ЕЛЕКТРОННИ ЕЛЕМЕНТИ

### 8.1. УРЕДИ ЗА ПРОВЕРКА НА ТРАНЗИСТОРИ

Преди монтажа им в електронните устройства активните елементи - диоди, транзистори, тиристори и интегрални схеми, трябва да бъдат проверени. Това спестява много време при последващата настройка и пускането на устройствата в действие. Уредът, показан на фиг. 8.1, е предназначен за измерване на обратния колекторен ток  $I_{CB0}$  и на статичния коефициент на предаване по ток  $h_{21E}$  при условие, че са фиксирани базовият ток  $I_B$  и колекторният ток  $I_K$ .

Изпитваният транзистор се включва към клемите Е, В, С. С помощта на двата ключа  $K_4$  и  $K_5$  (тип ТП 1 - 2) измерителната система и захранващият източник Б се превключват в едно или друго положение в зависимост от вида на транзистора - N P N или P N P. Режимът на измерване се избира с ключовете  $K_2$  и  $K_3$ . Базовият ток се установява с резистора  $R_2$ . Резисторът  $R_1$  е ограничителен и предпазва микроамперметъра при пробив в колекторния преход на изпитвания транзистор. Резисторът  $R_3$  също е ограничителен и предпазва уреда от токов удар при неправилно поставен плъзгач на резистора  $R_2$  - в крайно ляво (по схемата) положение.

Работата с уреда се заключава в следното. В зависимост от типа на транзистора ключовете  $K_4$  и  $K_5$  се поставят съответно в положение N P N или P N P. Ключовете  $K_2$  и  $K_3$  се включват в положение  $I_B$ , а  $K_1$  - в положение 1. Свързват се изводите на изпитвания транзистор с клемите Е, В, С. Натиска се бутонът  $K_6$  и с потенциометъра  $R_2$  се нагласява подходящ базов ток (например подбран по каталожни данни). Отпуска се бутонът  $K_6$  и се превключват ключовете  $K_2$  и  $K_3$  в положение  $I_{CB0}$  и  $h_{21E}$ . Натиска се бутонът  $K_6$  и се отчита стойността на  $h_{21E}$  от скалата на системата, директно разграфена в  $h_{21E}$ . Ако скала та не е градуирана по този начин, трябва да се изработи таблица

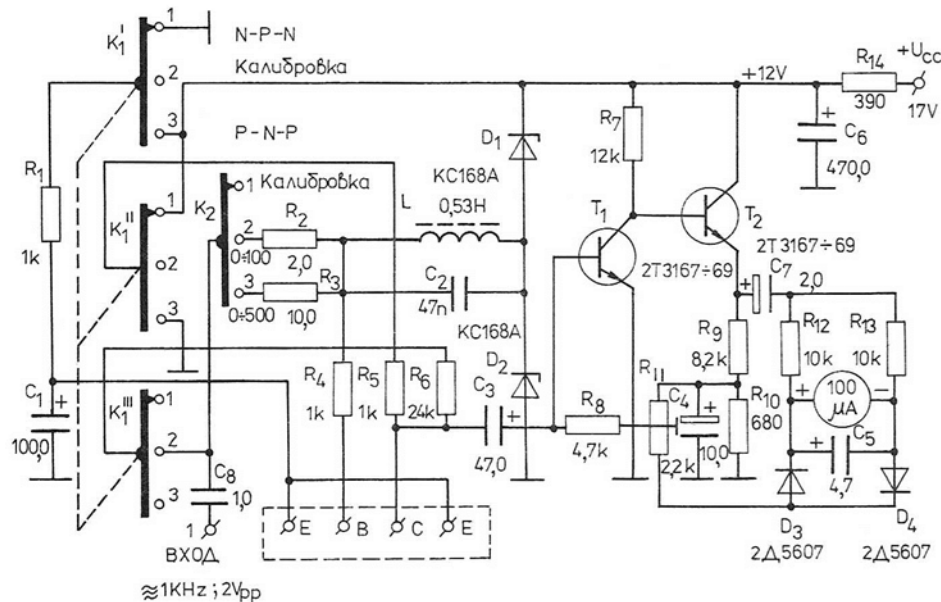


Фиг. 8.1

или номограма за превръщане на показанията на уреда в единици на  $h_{21E}$ .

Когато се отчита токът  $I_{KB0}$ , ключът K, се превключва към съответния символ и емитерът на транзистора остава свободен.

На фиг. 8.2 е показана схемата на друг уред за проверка на транзистори, който измерва динамичния коефициент на усилване по ток  $\beta$ . Той е съставен от ключовете  $K_1$  и  $K_2$ , клемите за включване на изпитвания транзистор - E, B, C, входната буква 1 и измерителния усилвател, изпълнен с транзисторите  $T_1$ ,  $T_2$ .



Фиг. 8.2

Стойностите на  $\beta$  се отчитат в два подобхвата, които се превключват с ключа  $K_2$ .

Преди да се включи изпитваният транзистор, извършва се калибровка на уреда. Превключват се ключовете  $K_1$  и  $K_2$  на положение калибровка. Напрежението на външния генератор, което е с честота 1 kHz и амплитуда 2 V, се подава на буква 1. Оттам през кондензатора  $C_8$ , плъзгача на ключа  $K_1$ , ограничителния резистор  $R_6$  и кондензатора  $C_3$  постъпва в базата на транзистора  $T_1$  - измерителният усилвател. Степента на усилването се регулира с  $R_{11}$  така, че стрелката на микроамперметъра да показва 80% от пълното си отклонение. От емитерния повторител, изпълнен с транзистора  $T_2$ , чрез резисторите  $R_{11}$  и  $R_8$  се осъществява положителна обратна връзка. Тя намалява входното съпротивление на измерителния усилвател до стойност, по-малка от 100  $\Omega$ , така че изпитваният транзистор се измерва практически с изход, свързан накъсо.

В режим на измерване превключвателят K, се поставя в съответното положение в зависимост от типа на измервания транзистор, а ключът  $K_2$  - в положение 0 ÷ 100 или 0 ÷ 500.

Входният сигнал постъпва на буква 1 и посредством ключа  $K_2$  и единия от резисторите  $R_2$  или  $R_3$  се подава на базата на изпитвания транзистор. Постояннотоковият режим на базата на последния (клемата B) се осигурява от делителя, образуван от диодите  $D_1$  и  $D_2$  и индуктивността L. Последната заедно с кондензатора  $C_2$  образуват трептящ кръг, предварително настроен в резонанс на работната честота, така че разпространението на променливотоковия сигнал се ограничава до базата на изпитвания транзистор. Това е така, защото еквивалентното съпротивление на кръга е по-голямо от 1 M $\Omega$ . От друга страна, кръгът LC<sub>2</sub> ограничава базовия ток на изпитвания транзистор, тъй като при включването му емитерният кондензатор  $C_1$  се зарежда през прехода база - емитер.

Бобината L може да се навие върху макара от изходен или драйверен трансформатор на транзисторен радиоприемник. Тя съдържа 700 навивки от проводник ПЕЛ 0,5 ÷ 0,68. Нейната индуктивност трябва да бъде близка до стойността 0,53 H. Кръгът се настройва в резонанс грубо чрез подмяна на кондензатора C<sub>2</sub>. След уточняване на резонансната честота, която трябва да е близка до 1 kHz, се пристъпва към градуиране на уреда. Градуировката се извършва след калибровката. Например при микроамперметър с номинален ток 100 μA (при калибровка 80 μA) тази стойност отговаря на β = 100 или 500 в зависимост от положението на ключа К<sub>2</sub>. При по-малки показания на микроамперметъра се съставя таблица за привеждане на стойностите им в коефициент на усилване по ток β. За препоръчване е градуировката да се извърши и уточни с няколко "еталона" предварително измерени транзистори с фабричен измерител при същия режим.

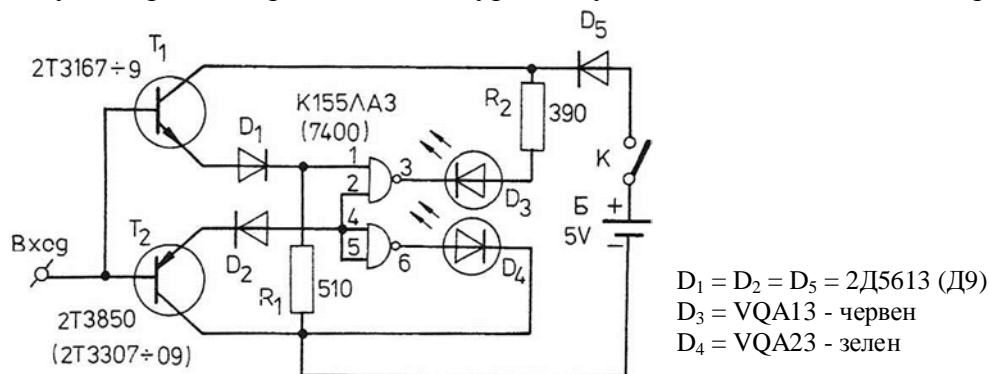
## 8.2. УРЕДИ ЗА ПРОВЕРКА НА ЛОГИЧЕСКИ СХЕМИ

При конструирането на устройства с цифрови интегрални схеми обикновено се налага проверяване на входните и изходните сигнали. Ако захранващото напрежение е  $5,0\text{ V} \pm 5\%$ , сигналът логическа нула е в същност 0,2 V (типичен), но може да варира в границите от 0 до 0,8 V. Типична стойност на логическата единица е сигнал с напрежение 3 V, но то може да бъде от 2,0 V до 5,5 V. Интервалът от 0,8 до 2,0 V е неопределена област.

Логическите състояния на входовете и изходите на цифровите интегрални схеми се контролират с волтметър и осцилоскоп. Волтметърът може да се използва само в случаите, когато изменението на входния и изходния сигнал не е бързо. При по-високи честоти волтметърът показва някаква средна стойност на измерваното напрежение, която може да бъде погрешно причислена към неопределената зона напрежения. В тези случаи е по-добре да се използва осцилоскоп, с чиято помощ могат да се наблюдават много бързи процеси.

Много удобни и сравнително прости са логическите пробници за цифрови интегрални схеми, които в статичен режим на работа на изследваното устройство превъзхождат волтметрите, а в динамичен напълно заменят осцилоскопите.

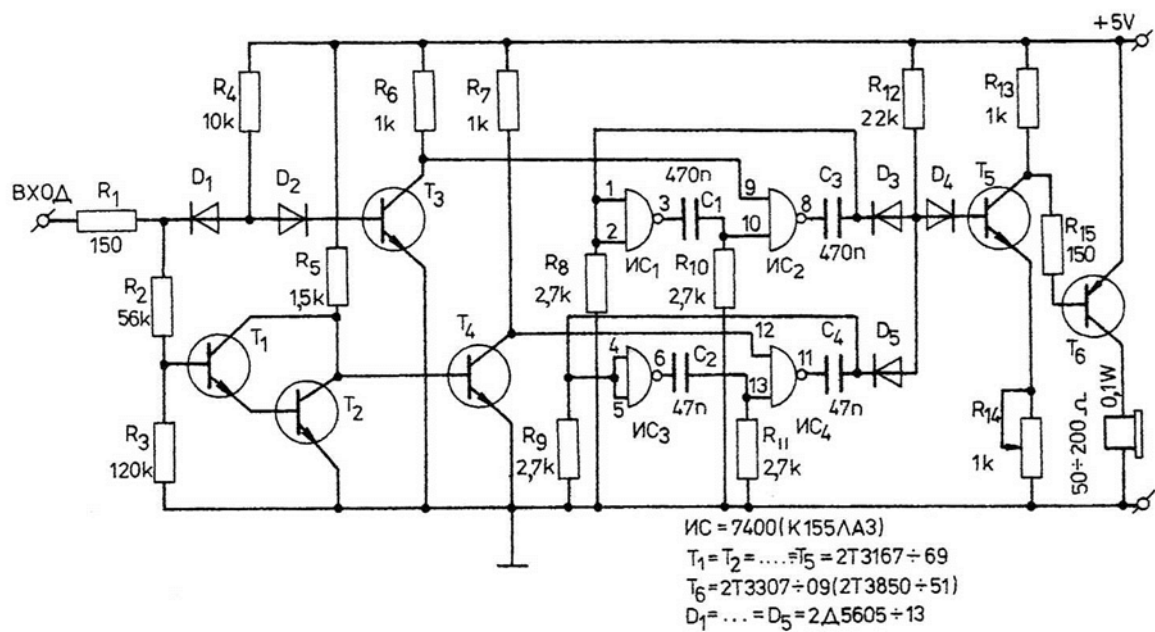
На фиг. 8.3 е показана схемата на логически пробник за индикация на логическа нула и единица. При липса на входен сигнал транзисторите T<sub>1</sub> и T<sub>2</sub> са запушени и на изход 3 на интегралната схема се получава напрежение с високо ниво, а на изход 6 с ниско ниво. При това положение светодиодите D<sub>3</sub> и D<sub>4</sub> не се "запалват". Когато на входа се подаде сигнал, съответстващ на логическа нула, транзисторът T<sub>2</sub> се отпушва. На изход 6 на логическата схема се получава сигнал с високо ниво и светодиодът D<sub>4</sub> се "запалва". При подаване на входа на сигнал, съответстващ на логическа единица, се отпушва транзисторът T<sub>1</sub> (T<sub>2</sub> е сигурно запушен) и на изход 3 на интегралната схема



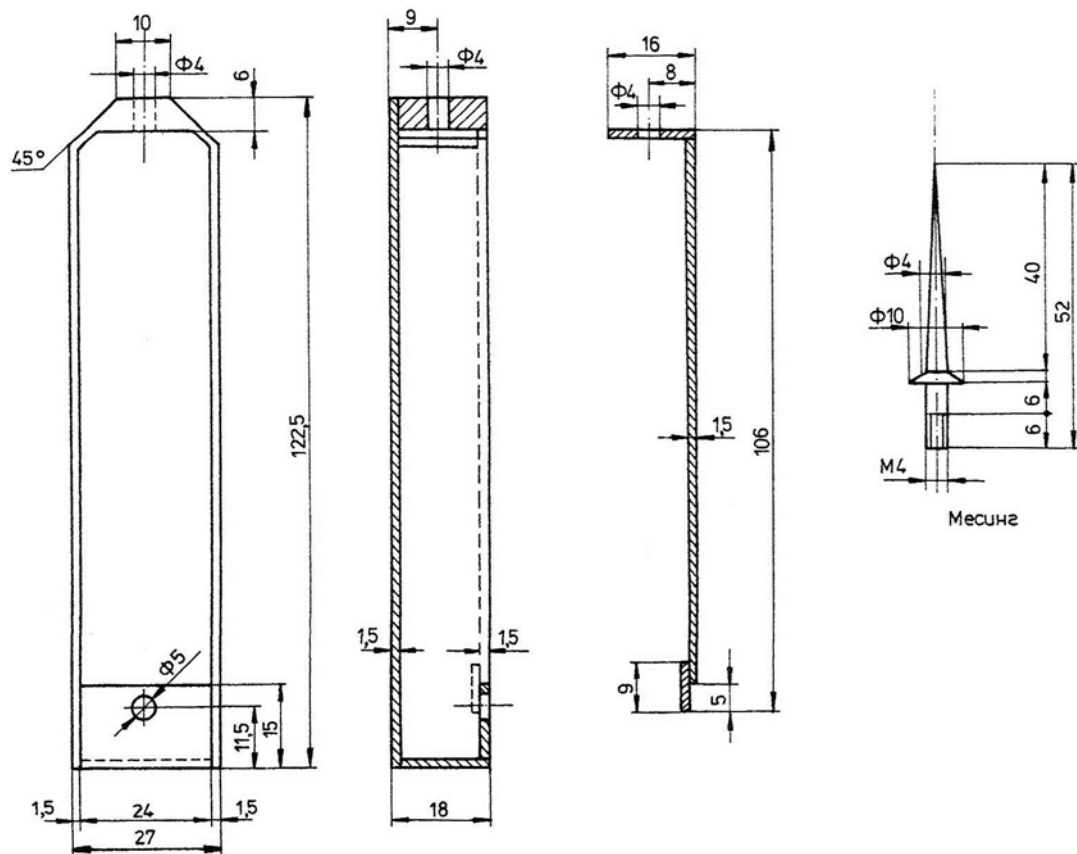
Фиг. 8.3

се получава сигнал с ниско ниво - запалва се светодиода  $D_3$ .

На фиг. 8.4 е показана схемата на логически пробник със звукова индикация. Той се използва успешно за проверка на цифрови схеми и устройства, работещи при честоти до 20 kHz.



Фиг. 8.4



Фиг. 8.5

Пробникът съдържа една интегрална схема от типа 7400 (K155ЛА3), шест транзистора, пет диода, няколко кондензатора и резистора и слушалка за слухов апарат или телефонен капсул, тип КТД-1 със съпротивление  $200 \div 250 \Omega$ .

Интегралната схема има четири двувходови И - НЕ елемента, свързани като генератори два по два. Нискочестотните генератори се управляват от ключова логическа схема в зависимост от нивото на входния сигнал. Честотата на всеки от генераторите се определя от RC-група. За генератора, реализиран с ИС<sub>1</sub> и ИС<sub>2</sub> (условно ще го наречем първи), това са групите R<sub>3</sub>C<sub>3</sub>, R<sub>10</sub>C<sub>1</sub>, а за генератора, реализиран с ИС<sub>3</sub> и ИС<sub>4</sub> - втори, това са групите R<sub>9</sub>C<sub>4</sub> и R<sub>11</sub>C<sub>2</sub>. Тъй като кондензаторите са различни, то и честотите на генераторите са различни. Така за генератора (ИС<sub>3</sub>, ИС<sub>4</sub>), сигнализиращ логическа единица, честотата е около 4 kHz, а за генератора (ИС<sub>1</sub>, ИС<sub>2</sub>), сигнализиращ логическа нула, тя е 300 Hz.

Входното стъпало се управлява от постъпилния сигнал и в зависимост от нивото му се задейства винаги единият от двата генератора. При липса на входен сигнал транзисторът Т<sub>3</sub> е отпушен благодарение на режима, осигурен от резистора R<sub>4</sub> и диода D<sub>2</sub>. Напрежението на неговия колектор е близко до нула и първият генератор (ИС<sub>1</sub>, ИС<sub>2</sub>) не работи. Транзисторите Т<sub>1</sub> и Т<sub>2</sub> са запущени и поради връзката им с Т<sub>4</sub> вторият генератор (ИС<sub>3</sub>, ИС<sub>4</sub>) също не работи.

При постъпване на сигнал, съответстващ на логическа нула, транзисторът Т<sub>3</sub> се запущва и се задейства първият генератор (ИС<sub>1</sub>, ИС<sub>2</sub>).

При постъпване на сигнал, съответстващ на логическа единица, се отпушва транзисторът Т<sub>3</sub>, при което се заземява входът на първия генератор (ИС<sub>1</sub>, ИС<sub>2</sub>) и генерациите му спират. Тогава се отпушват транзисторите Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub> и се запущва Т<sub>4</sub>, при което започва да работи вторият генератор (ИС<sub>3</sub>, ИС<sub>4</sub>).

Разликата в честотите на двата генератора позволява логическата единица и логическата нула да бъдат различавани сигурно. Изходите на генераторите са свързани с входа на нискочестотен усилвател. Силата на звука се регулира с резистора R<sub>14</sub>.

На фиг. 8.5 е показана конструкцията на кутията на пробника. Всички детайли са изработени от листов пластмасов материал и след това са залепени помежду си.

Проверката на линейни интегрални схеми може да се извърши, като същите се свържат в усилвателен или генераторен режим и се следи нивото на сигнала им - в първия случай на входа и на изхода, а във втория - само на изхода.

## ИСПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Берг, А. И. и др. Конструкции советских и чехословацких радиолюбителей. М., Энергия, 1979.
2. Борноволоков, Э. П. и др. Радиолюбительские схемы. К., Техника, 1982.
3. Борисов, В. В. Юный радиолюбитель. М., Энергия, 1979.
4. Волков, В. С. Радиолюбительский измерительный прибор. М., Радио и связь, 1983.
5. Галкин, В. И. Начинающему радиолюбителю. Минск, Беларусь, 1983.
6. Горбатый, В. И. Любительские УКВ радиокomплексы. М., Радио и связь, 1985.
7. Джуров, К. Д. и др. Електрониката в прегледите на ТНТМ, кн. 6. С., Техника, 1983.
8. Дробница, Н. А. 30 схем радиолюбительских устройств, М., Радио и связь, 1982.
9. Иванов, Б. С. В помощь радиокружку. М., Радио и связь, 1982.
10. Манолов, С. И. и др. Генератори. С., Техника, 1982.
11. Меерсон, А. М. Радиоизмервателна техника. С., Техника, 1971.
12. Нейчев, С. К. и др. Електронни устройства с линейни интегрални схеми. С., Техника, 1978.
13. Стойков, П. Г.. Електроник - 1. С., Техника, 1981.
14. Стойков, П. Г.. Електроник - 2. С., Техника, 1984.
15. Списание "Радио, телевизия, електроника" - 1984, 1985.
16. Списание "Радио" - 1985.

# СЪДЪРЖАНИЕ

- Предговор 3**
- 1. Общи сведения за измерванията и измерителните уреди 4
  - 1.1. Измерване на постоянен ток 5
  - 1.2. Измерване на постоянно напрежение 9
  - 1.3. Омметри 11
  - 1.4. Измерителни уреди за променлив ток 13
  - 1.5. Детекторни измерителни уреди 15
  - 1.6. Универсални измерителни уреди 16
- 2. **Електронни измерителни уреди 17**
  - 2.1. Електронни волтметри за постоянно напрежение 17
  - 2.2. Комбиниран измерителен уред (ампер-волт-омметър) 19
  - 2.3. Електронни измерителни уреди с интегрални операционни усилватели 20
  - 2.4. Волтметър за променливо напрежение с високо входно съпротивление 21
- 3. **Нискочестотни измерителни генератори 22**
  - 3.1. Нискочестотни LC-генератори 22
  - 3.2. Нискочестотни RC-генератори 23
  - 3.3. Нискочестотен генератор, изпълнен с три транзистора и мост на Вин в обратната връзка 24
  - 3.4. Нискочестотен RC-генератор със стабилизация на изходното напрежение 24
  - 3.5. Импулсни генератори 25
  - 3.6. Генериране на импулси, изпълнен по схема на мултивибратор с колекторно-базови връзки 27
  - 3.7. Импулсен генератор, осигуряващ различни по форма изходни импулси 28
  - 3.8. Високочестотни измерителни генератори 29
  - 3.9. LC-генератор, изпълнен с два транзистора 31
  - 3.10. LC-генератор, изпълнен с три транзистора 32
  - 3.11. LC-генератор, изпълнен с три транзистора и широколентов краен усилвател 33
  - 3.12. Затихватели 36
- 4. **Електронен аналогов честотомер 39**
- 5. **Гриддипметри и индикатори на интензитета на електромагнитното поле 39**
  - 5.1. Транзисторен гриддипметър 40
  - 5.2. Индикатори на интензитета на електромагнитното поле 40
- 6. **Електронен осцилоскоп 42**
- 7. **Уреди за проверка на пасивни електронни елементи 44**
  - 7.1. Мостови методи за измерване на електрически съпротивления 44
  - 7.2. Измерители на индуктивност 45
  - 7.3. Измерители на капацитет 47
  - 7.4. Комбинирани уреди за измерване на параметрите на бобини и кондензатори 50
  - 7.5. Измерване на качествен фактор на бобина 51
  - 7.6. Уред за директно измерване на капацитет индуктивност 51
  - 7.7. R L C-измерителен мост 52
  - 7.8. Уред за определяне посоката на навиване на трансформаторите 53
- 8. **Уреди за проверка на активни електронни елементи 55**
  - 8.1. Уреди за проверка на транзистори 55
  - 8.2. Уреди за проверка на логически схеми 57
- Използвана литература 60

### ЕЛЕКТРОНИК 3

Автор инж. *Петър Ганчев Стойков*

Рецензенти: доц. к. т. н. инж. *Димитър Симеонов Русев*

к. т. н. инж. *Жечко Бойчев Бойчев*

Националност българска

Първо издание

9533112231

Код 03  $\frac{3192-9-87}{3192-9-87}$

Изд. № 15188

Научен редактор инж. *Василка Петрова*

Художник *Димитър Капсаров*

Технически редактор *Юлия Йорданова*

Коректори

*Ася Карадимова*

*Анелия Стоянова*

Дадена за набор на 19.IX.1986 г.

Подписана за печат м. януари 1987 г.

Излязла от печат м. февруари 1987 г.

Формат 70 x 100/16

Печ. коли 4

Изд. коли 5,18

УИК 5,90

Тираж 5000+96

Безплатно

Държавно издателство "Техника", бул. Руски 6, София

Набор ФНЦ "Г. Димитров" - София

Печат ДП "Дунав" - Русе