



ОРГАНИЗАЦИЯ  
ЗА СЪДЕЙСТВИЕ  
НА ОТБРАНАТА  
ЦЕНТРАЛЕН СЪВЕТ

1

# ЕЛЕКТРОНИК



ИНЖ. ПЕТЪР Г. СТОЙКОВ

# ЕЛЕКТРОНИК I

ВТОРО ПРЕРАБОТЕНО ИЗДАНИЕ

ДЪРЖАВНО ИЗДАТЕЛСТВО „ТЕХНИКА“  
СОФИЯ. 1988

## УДК 621.382

В книгата са дадени основни понятия за електронните елементи и указания за монтирането и свързването им в електронни схеми. Разгледани са различни токозахранващи източници, галванични елементи, трансформатори, токоизправители, електронни стабилизатори, зарядни устройства за акумулатори и др. Съдържанието на материала е съобразено с програмата за обучение на младежите в системата на ОСО.

Книгата е ръководство за работа с комплект от електронни елементи, но може да се използва и самостоятелно. Тя е предназначена за юноши и младежи, обучаващи се в системата на ОСО, и за неорганизираните в клубове радиолюбители с различна степен на подготовка.

© Петър Ганчев Стойков, 1981  
с/о Jusautor, Sofia

### 621.3

Електроник-1

Автор инж. *Петър Ганчев Стойков*

Рецензенти на първото издание: доц. к. т. н. инж. *Иван Илиев Стоянов*  
к.т.н. инж. *Жечко Бойчев Бойчев*

Рецензент на второто издание: доц. к. т. н. инж. *Димитър Симеонов Русев*

Националност българска

Второ преработено издание

Код 03 95331

1192-32-88

Изд. № 15739

Научен редактор на второто издание инж. *Илиана Сумрова*

Художник *Димитър Капсаров*

Художествен редактор *Вихра Стоева*

Технически редактор *Юлия Йорданова*

Коректор *Виолета Андреева*

Дадена за набор на 25.ІІ.1987 г. ,

Подписана за печат м. януари 1988 г.

Излязла от печат м. януари 1988 г.

Формат 70 x 100/16

Печ. коли 4,50

Изд. коли 5,83

УИК 6,02

Тираж 10 000 + 94

Безплатно

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

Набор и печат: ПИИЦ към МФ "ЛЮДМИЛА ЖИВКОВА" - СОФИЯ

## ПРЕДГОВОР

Поредицата електронни конструктори започва с „Електроник-1” и завършва с "Електроник - 6". Теоретичният материал и практическите указания са разпределени тематично на две основни части. Първата част включва "Електроник - 1,2,3" и е предназначена за по-слабо подготвени радиолюбители. Втората част включва "Електроник-4,5 и 6" и е предназначена за радиолюбители, притежаващи известна теоретична и практическа подготовка.

Задачата на „Електроник-1” е да научи радиолюбителите да си служат с инструменти, да "четат" и монтират електронни схеми, да изчисляват и изработват трансформатори, да създават токоизправители и стабилизатори. Наложително е като окончателен резултат да се създадат най-малко два стабилизирани токоизправителя, които са необходими за работа със следващите конструктори от поредицата. Тази книга е помагало както за реализиране на схемите, описани в текста, така и за разширяване на възможностите им чрез преизчисляване и използване на други елементи според нуждата. Елементите от комплекта могат лесно да се набавят и от пазара, което дава възможност при повреда всеки от тях да бъде подменен.

Второто издание е преработено частично. Разгледани са допълнително акумулатори и зарядни устройства за тях, както и устройства за възстановяване на галванични елементи.

Авторът благодари на колегите си, дали мнения, препоръки и забележки по първото издание, които са отразени във второто.

Всички забележки и препоръки ще бъдат приети с благодарност на адреса на издателството: София - 1000, бул. "Руски" 6, ДИ "Техника"

*Авторът*

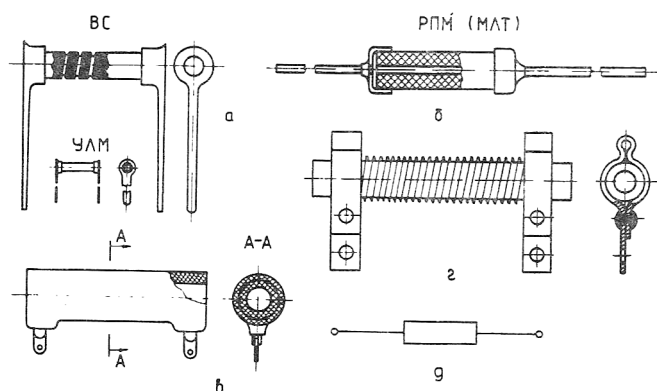
# 1. НЯКОИ ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ ЗА ПАСИВНИТЕ ЕЛЕКТРОННИ ЕЛЕМЕНТИ

## 1.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Отделните елементи се свързват в завършена електронна апаратура по т. нар. схема. Елементите от схемата символично се означават със знаци, благодарение на които се "четат" електронните схеми. Обикновено тези схеми се делят на блокови, принципни и монтажни. В тази книга за някои от електронните схеми са дадени по една принципна и една монтажна схема. Любителят конструктор има пълна свобода при избора на разположението на елементите върху печатната платка. Препоръчва се те да бъдат монтирани от обратната страна на фолиото. Ако този начин затруднява любителите с по-малък опит, елементите могат да се разположат и от страната на фолиото.

## 1.2. РЕЗИСТОРИ

Резисторите се употребяват най-широко в радиоелектронните апаратури. Поглъщането на електрическа енергия от резисторите е основното средство за нейното регулиране и разпределяне в нужните количества между елементите на схемата. Общият вид и символичното означение на резистора са показани на фиг. 1.1.



фиг. 1.1

За производството на резистори се използват материали с голямо специфично съпротивление - въглерод, тънки метални слоеве, метални окиси и др. Върху повърхността на резистора е отбелязана стойността на неговото съпротивление в омове  $\Omega$ , килоомове  $k\Omega$  или мегаомове  $M\Omega$ , както и допустимото отклонение на съпротивлението от номиналната стойност в проценти. Съществува и означение с различни цветове (т. нар. цветен код). У нас не е прието означаване на стойностите на резисторите посредством цветния код. Когато съпротивлението на резистора е

от порядъка на омове, върху повърхността му се изписва само цифрата с номиналната стойност на съпротивлението и отклонението в проценти. Когато съпротивлението на резистора е от порядъка на килоомове, след цифрата с номиналната стойност се изписва малката буква k, а когато съпротивлението е от порядъка на мегаомове, след цифрата с номиналната стойност се изписва главната буква M.

### 1.3. ЗАКОН НА ОМ

Съпротивлението R се измерва в омове  $\Omega$ , токът I - в амperi A, а напрежението U - във волтове V.

От зависимостта  $U = RI$  след преобразуване могат да се запишат зависимостите

$$R = \frac{U}{I} \text{ и } I = \frac{U}{R}$$

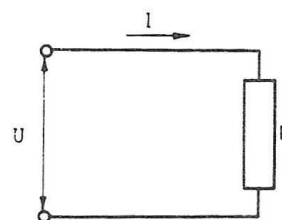
**Пример.** Даден е резистор със съпротивление  $R = 2400 \Omega$ , свързан във верига, по която протича ток  $I = 0,01 \text{ A}$  (фиг. 1.2).

Какво напрежение е приложено на изводите на резистора?

$$U = RI = 2400 \cdot 0,01 = 24 \text{ V.}$$

**Пример.** Даден е резистор със съпротивление  $R = 1000 \Omega$ , който е включен към източник на постоянен ток с напрежение  $U = 12 \text{ V}$ . Какъв ток протича по веригата?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{1000} = 0,012 \text{ A}$$



Фиг. 1.2

### 1.4. НОМИНАЛНА МОЩНОСТ

Мощността на резистора, която той може да разсейва продължително време в околното пространство при непрекъснат товар и при определени климатични условия, без да се изменят параметрите му, се нарича номинална мощност. Съществуват резистори с разсейвана мощност 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4 W и т.н.

Разсеяната електрическа енергия върху резистора се определя от закона на Джаул-Ленц

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Номиналната мощност на избрания резистор трябва винаги да бъде от 1,5 до 2 пъти по-голяма от изчислената. За мощности, по-големи от 4 W, а понякога и 2 W, се употребяват жични резистори (фиг. 1.1 в, г).

### 1.5. БОБИНИ

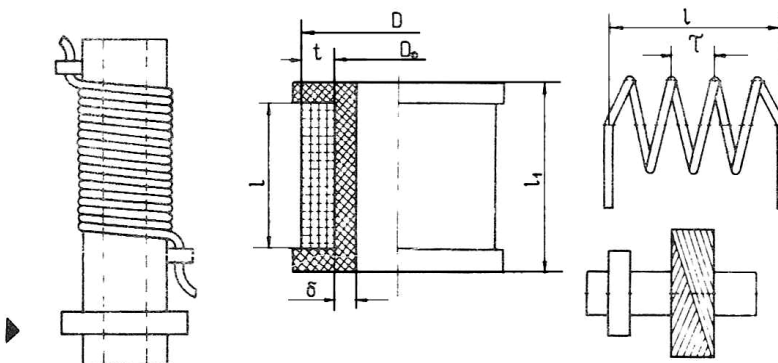
Бобината представлява намотка от проводник с малко съпротивление. Индуктивността L е неин основен параметър, който я характеризира и се измерва в хенри H. Символичното означение и общият вид на бобината са показани на фиг. 1.3 и 1.4. Бобините могат да бъдат със или без феромагнитна сърцевина, еднослойни, многослойни и т.н.

### 1.6. КОНДЕНЗАТОРИ

Кондензаторът притежава свойството да натрупва електрически заряди. Той се състои от две метални плочи, разделени с диелектрик. Основният параметър, който характеризира кондензатора, е неговият капацитет C. Той зависи от площта на плочите му и от дебелината и типа на диелектрика, намиращ се между тях.

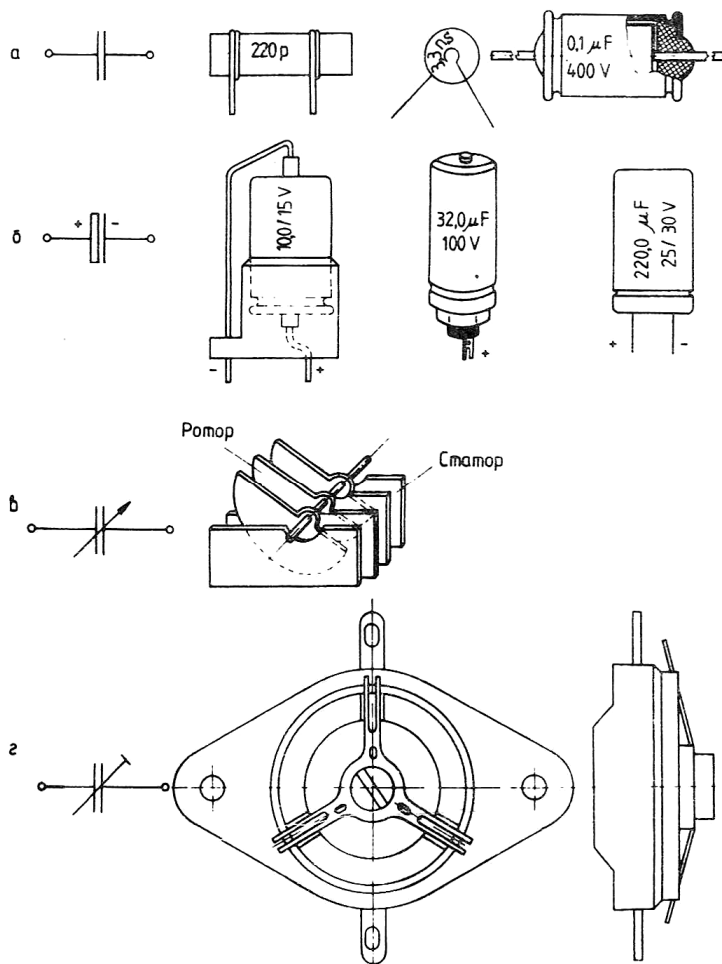


Фиг. 1.3



Фиг. 1.4

Капацитетът на кондензатора се измерва във фаради F. Символичните означения на кондензаторите са показани на фиг. 1.5. На фиг. 1.5а е показан кондензатор с постоянен капацитет, на фиг. 1.5б - електролитен кондензатор, на фиг. 1.5в - кондензатор с променлив капацитет и на фиг. 1.5г - тример-кондензатор (донастройващ кондензатор, чийто капацитет се изменя в малки граници).



Фиг. 1.5

В зависимост от използвания диелектрик кондензаторите могат да бъдат хартиени, стирофлексни, керамични, слюдени и т.н.

Върху повърхността на кондензатора се отбелязват стойността на капацитета му, толерансът в % и работното напрежение. Не бива да се превишава работното напрежение, тъй като се създава опасност за диелектрика на кондензатора от "пробив", при което кондензаторът става негоден.

Основните представки за образуването на названията на дробни и кратни измервателни единици са следните:

$$p = piko = \frac{1}{1000000000\ 000} = \frac{1}{10^{12}} = 10^{-12};$$

$$n = nano = \frac{1}{1000000000} = \frac{1}{10^9} = 10^{-9}$$

$$\mu = micro = \frac{1}{1000000} = \frac{1}{10^6} = 10^{-6}$$

$$m = milli = \frac{1}{1000} = \frac{1}{10^3} = 10^{-3}$$

$$c = centi = \frac{1}{100} = \frac{1}{10^2} = 10^{-2}$$

$$d = deci = \frac{1}{10} = \frac{1}{10^1} = 10^{-1}$$

$$da = deca = 10 = 10^1$$

$$h = hecto = 100 = 10^2$$

$$k = kilo = 1000 = 10^3$$

$$M = mega = 1000000 = 10^6$$

$$G = giga = 1000000000 = 10^9$$

$$T = tera = 1000000000\ 000 = 10^{12}$$

**Примери:**  $50000000W = 50 \cdot 10^6 W = 50 MW$ ;

$$\frac{1}{1000} \Omega = 1m\Omega$$

$$2000V = 2kV;$$

$$\frac{3}{10000} A = \frac{300}{1000000} = 300\mu A = 0,3mA = 0,0003A$$

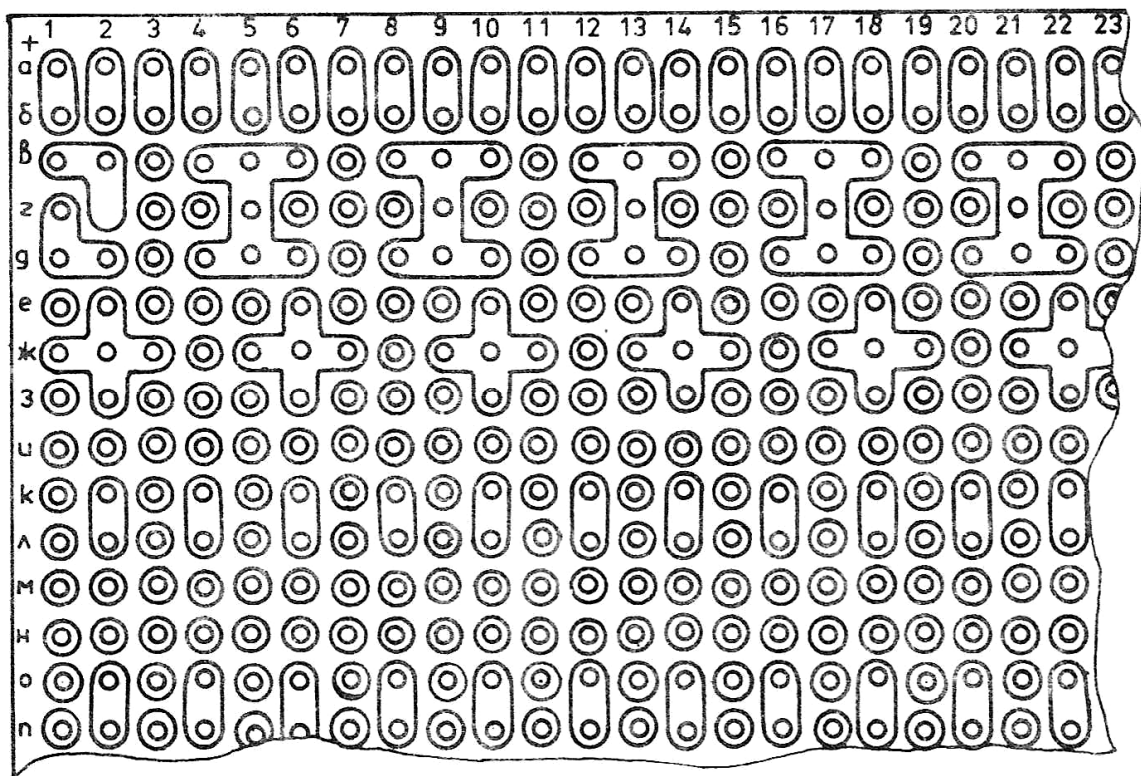
$$\frac{1}{100} H = \frac{10}{1000} H = 10mH$$

$$\frac{47}{1000000} F = 47 \cdot 10^{-6} F = 47\mu F$$

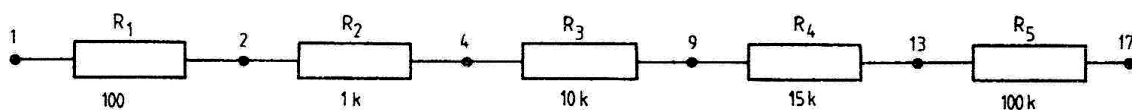
$$\frac{22}{1000000000} F = 22nF$$

## 1.7. МОНТИРАНЕ НА ПОСТОЯННИ РЕЗИСТОРИ

В комплекта конструктор "Електроник - 1" има универсални платки, върху които предстои да се монтират елементите. На фиг. 1.6 е показана част от една *универсална платка*. Погледната откъм фолиото, тя има вертикални редове (стълбове), означени с арабски цифри, и хоризонтални редове, означени с букви. Платката е опроводена от конструктивни съображения за удобно извеждане на входовете и изходите на монтираните елементи, както и за създаване на връзки между тях.



Фиг. 1.6



Фиг. 1.7

**Последователно свързване на резистори.** Избират се 5 резистора от комплекта например със следните стойности:

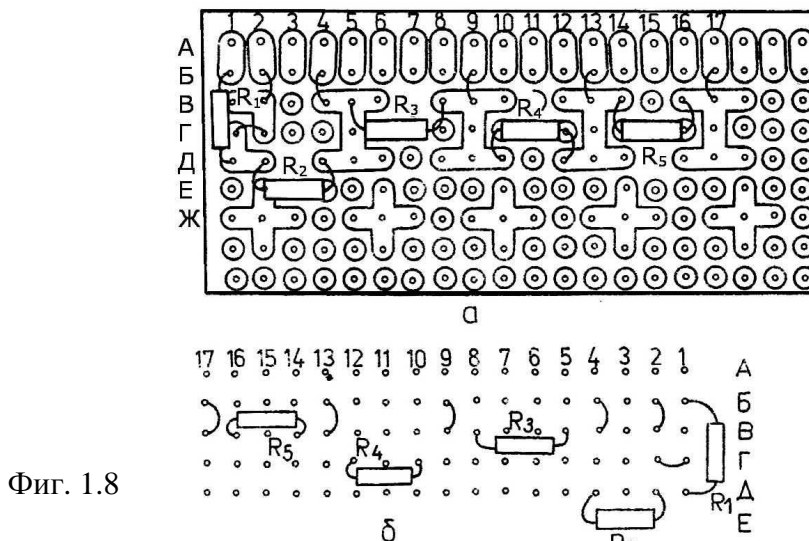
$R_1=100\Omega$ ,  $R_2=1k\Omega$ ,  $R_3=10k\Omega$ ,  $R_4=15k\Omega$  и  $R_5=100k\Omega$ .

**Пример.** Да се свържат резисторите по схемата, показана на фиг. 1.7 и да се изчисли новополученото съпротивление.

$$R_{\text{екв}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 100 + 1000 + 10000 + 15000 + 100000 = 126,1 \text{ k}\Omega.$$

$$R_{\text{екв}} = 126,1 \text{ k}\Omega.$$

Един от възможните варианти за монтиране на резистори върху платката е показан на фиг. 1.8. На фиг.1.8а са показани резисторите от страната на спойките, а на фиг. 1.8б - от страната на елементите. Може да се направи уговорка тези две страни да се наричат съответно поглед откъм фолиото и поглед откъм елементите.



Фиг. 1.8

**Паралелно свързване на резистори.** Дадени са резистори със следните стойности:  $R_1=1\text{k}\Omega$ ,  $R_2=10\text{k}\Omega$ ,  $R_3=100\text{k}\Omega$

**Пример.** Да се свържат резисторите по схемата, показана на фиг. 1.9 и да се изчисли еквивалентното съпротивление.

$$\frac{1}{R_{\text{екв}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}; \quad R_{\text{екв}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3};$$

$$R_{\text{екв}} = \frac{1 \cdot 10 \cdot 100}{1 \cdot 10 + 1 \cdot 100 + 10 \cdot 100} = \frac{100}{110} \approx 900\Omega$$

На фиг. 1.10 е показан вариант на монтиране на резисторите върху печатната платка.

**Смесено свързване на резистори.** Дадени са резисторите

$R_1=100\Omega$ ,  $R_2=1\text{k}\Omega$ ,  $R_3=10\text{k}\Omega$ ,  $R_4=15\text{k}\Omega$ ,  $R_5=100\text{k}\Omega$ .

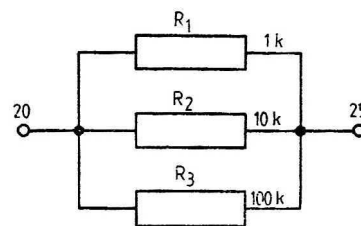
**Пример.** Да се свържат резисторите по схемата, показана на фиг. 1.11а и да се изчисли еквивалентното съпротивление.

$$R_{e1} = R_1 + R_2 + R_3 = 0,1 + 1 + 10 = 11,1 \text{ k}\Omega,$$

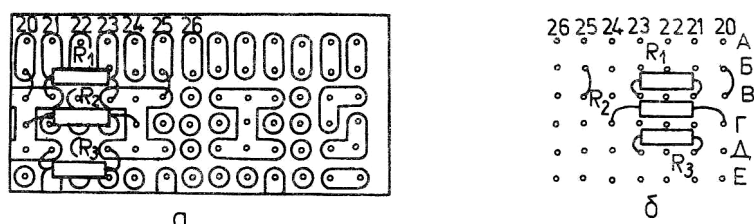
$$\frac{1}{R_{e2}} = \frac{1}{R_{e1}} + \frac{1}{R_4}; \quad R_{e2} = \frac{R_{e1} \cdot R_4}{R_{e1} + R_4} = \frac{11,1 \cdot 15}{11,1 + 15} \approx 6,4 \text{ k}\Omega$$

$$R_e = R_{e2} + R_5 = 6,4 + 100 \approx 106,4 \text{ k}\Omega$$

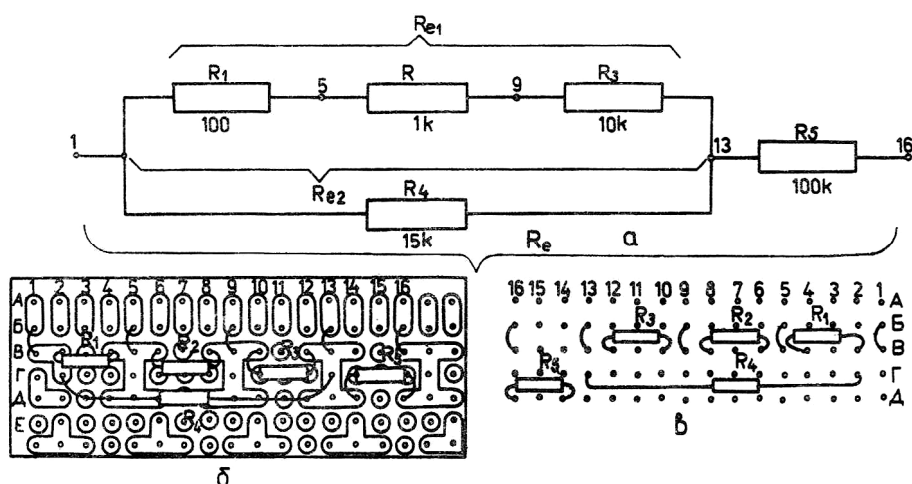
Монтираните резистори са показани на фиг. 1.11б и в.



Фиг. 1.9



Фиг. 1.10



Фиг.1.11

## 1.8. МОНТИРАНЕ НА ПРОМЕНЛИВИ РЕЗИСТОРИ

В много от електронните схеми се налага да се използват променливи резистори - потенциометри, тример-потенциометри или реостати. Основните характеристики на променливите (композиционните) резистори съответстват на тези на постоянните резистори.

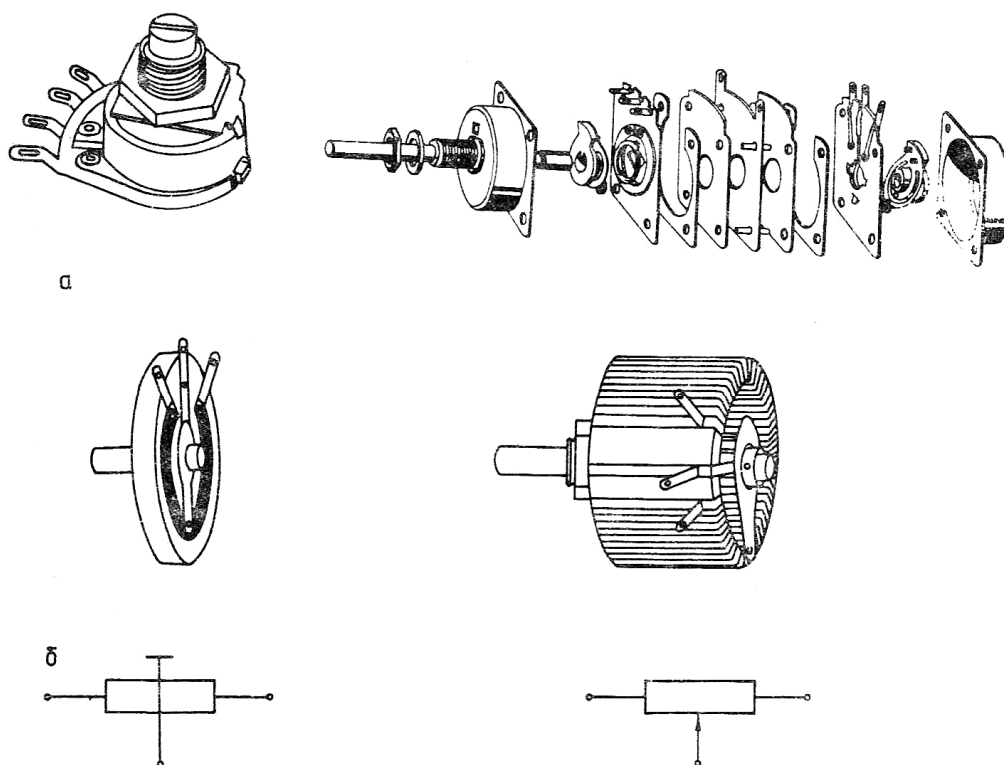
Потенциометрите имат следното устройство. Провеждащият елемент е подковообразна пластинка от изолационен материал, върху която е нанесена композиция или е закрепен обемен съпротивителен елемент. Подковообразната пластинка, закрепена към основата, се захваща с помощта на нитове, които създават контакт с провеждащия елемент и с изводните краища. В центъра на така оформения статор на резистора е разположена ос, върху която е закрепен плъзгач.

На фиг. 1.12а са показани тример-потенциометър и потенциометър, а на фиг. 1.12б - тяхното символично означение. На фиг. 1.13 е показан начин за монтиране на тример-потенциометър върху печатна платка.

## 1.9. МОНТИРАНЕ НА КОНДЕНЗАТОРИ

Последователно свързване на кондензатори. Дадени са кондензаторите  $C_1 = 10 \text{ nF}$  и  $C_2 = 22 \text{ nF}$ . Да се свържат по схемата, показана на фиг. 1.14 и да се изчисли еквивалентният капацитет.

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad C_e = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{10 \cdot 22}{10 + 22} = 6,88 \text{ nF}$$



Фиг. 1.12

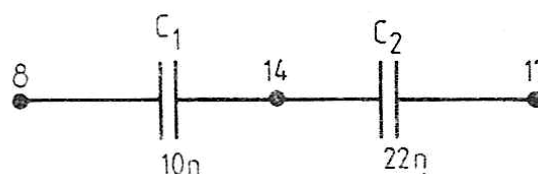
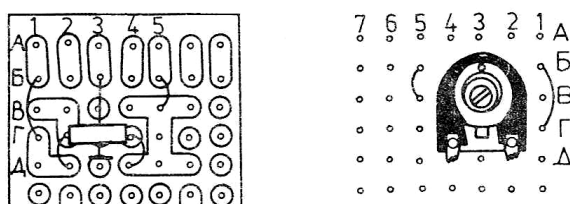
Фиг. 1.13 ►

Монтираните кондензатори са показани на фиг. 1.15.

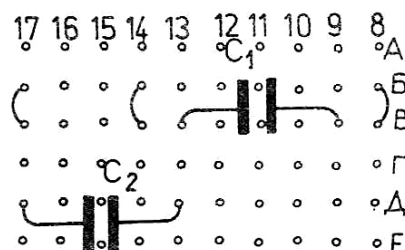
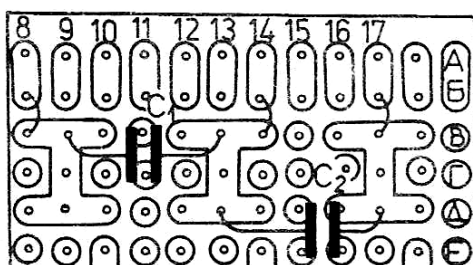
### Паралелно свързване на кондензатори.

Дадени са кондензаторите  $C_1 = 10\text{nF}$ ,  $C_2 = 22\text{nF}$  и  $C_3 = 47\text{nF}$ . Да се свържат по схемата, показана на фиг. 1.16 и да се изчисли еквивалентният капацитет.

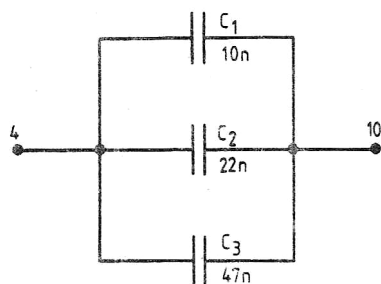
$$C_C = C_1 + C_2 + C_3 = 10 + 22 + 47 = 79\text{nF}.$$



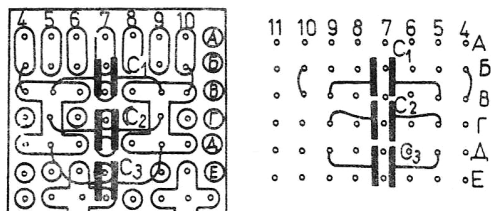
Фиг. 1.14



Фиг. 1.15



◀ Фиг. 1.16

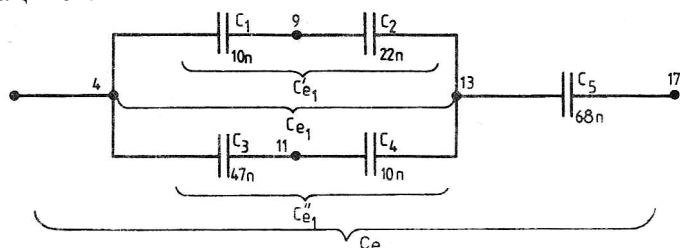


Фиг. 1.17

Монтираните кондензатори са показани на фиг. 1.17.

**Смесено свързване на кондензатори.** Дадени са кондензаторите  $C_1 = 10 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 22 \text{ nF}$ ,  $C_3 = 47 \text{ nF}$ ,  $C_4 = 10 \text{ nF}$ ,  $C_5 = 68 \text{ nF}$ .

Да се свържат по схемата, показана на фиг. 1.18, и да се изчисли еквивалентният капацитет.



Фиг. 1.18

$$C_{e1} = C'_{e1} + C''_{e1}; \quad \frac{1}{C'_{e1}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad \frac{1}{C''_{e1}} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4};$$

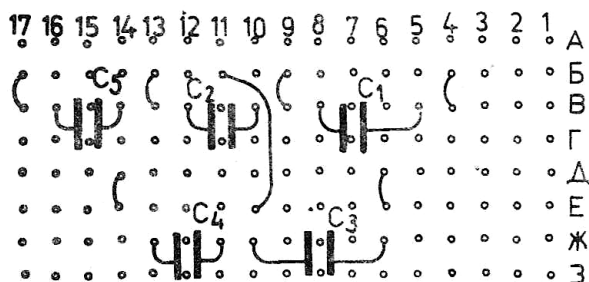
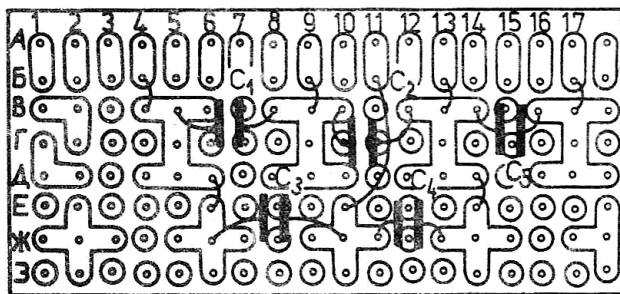
$$C'_{e1} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{10 \cdot 22}{10 + 22} = 6,8 \text{ nF};$$

$$C''_{e1} = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = \frac{47 \cdot 10}{47 + 10} = 8,25 \text{ nF};$$

$$C_{e1} = C'_{e1} + C''_{e1} = 6,8 + 8,25 = 15,05 \text{ nF}$$

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_{e1}} + \frac{1}{C_5},$$

$$C_e = \frac{C_5 C_{e1}}{C_5 + C_{e1}} = \frac{68 \cdot 15,5}{68 + 15,5} = 12,35 \text{ nF}$$



Фиг. 1.19

Монтираните кондензатори са показани на фиг. 1.19.

## 2. ПРАКТИКА НА КОНСТРУИРАНЕТО

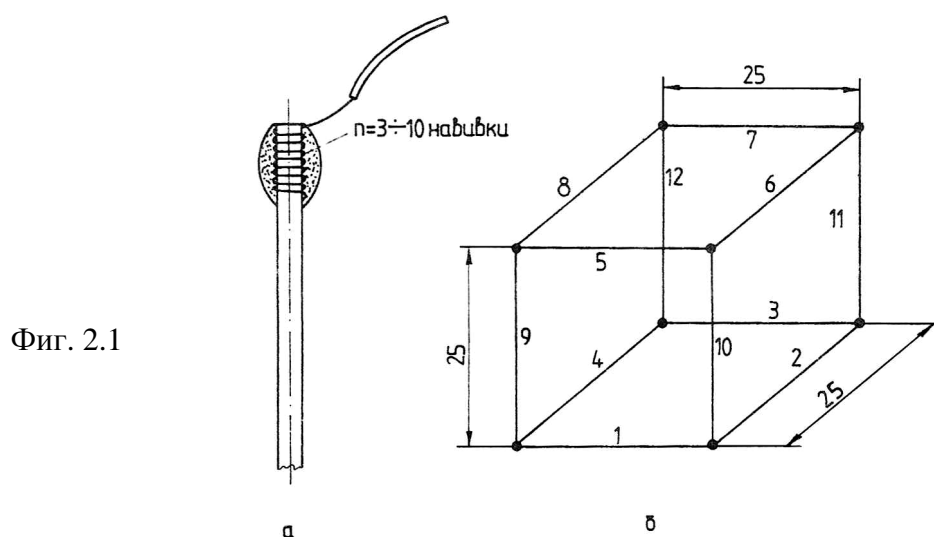
### 2.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Конструирането на електронна апаратура изисква майсторство, а то, както е известно, се придобива с *опит*. В тази глава е споделен собствен и чужд опит, натрупан в много дълъг период от време. Вие разполагате с комплект от елементи, с които трябва да се запознаете и да започнете монтирането им. Ако обаче искате да изработите проект на неописано устройство и да го осъществите, разчитайте само на собствените си сили, опит и знания.

### 2.2. ЗАПОЯВАНЕ

Преди всичко трябва да се научите да правите спойки. Голяма част от любителите не знаят да запояват. Обикновено се смята, че запояването е много проста работа и затова на него не се отделя достатъчно внимание. Това обаче е неправилно. Необходимо е да разгледате с внимание и разбиране точката, където са описани методите за монтаж и запояване, както и инструментите, необходими за извършване на този вид работа. Ако нямате поне десетгодишен стаж и опит в работа с поялник или пък не сте завършили техникум или курс, в който специално се изучава монтаж на електронни елементи, не бъдете самонадеяни и не мислете, че знаете всичко за запояването.

Съществуват различни методи за обучение по монтаж и запояване на електронни елементи. В основата на всеки от тях лежи практиката. Много преподаватели от техникуми и технически институти препоръчват следния метод (2.1 б). На обучавания се дава гол меден проводник с дължина 300 mm и диаметър от 2 до 3 mm (може и изолиран проводник, на който да се свали изолацията). Този проводник се нарязва на 12 еднакви части с дължина по 25 mm всяка. От тях трябва да се изработи куб, като страните му се свързват чрез запояване. Разрешава се да се използват клещи с дълги плоски челюсти, поялник и припой. Не се разрешава да се използват държачи, стиски или други приспособления и инструменти! Необходимо е да се научите да държите конструкцията неподвижна по време на охлаждането след запояването.



Фиг. 2.1

След като кубът е готов, оставете спойките да изстинат. За целия опит са необходими не повече от петнадесет минути. Поставете куба на дланта си и го стиснете, като свивате ръката си в юмрук. Ако макар и една от спойките се разруши, вземете нов проводник и повтаряйте опита до получаване на достатъчно здрави спойки.

Може да се препоръча и опитът, илюстриран на фиг. 2.1а. Вземете парче проводник, който се използва за монтажна работа. Зачистете част от проводник с диаметър от 2 до 3 mm и дължина от 15 до 20 cm. Свалете изолацията от монтажния проводник на дължина 15 до 20 mm от края. Навийте няколко навивки от зачистения край на монтажния проводник върху дебелия проводник и ги запойте. Повтаряйте упражнението, докато се получи здраво съединение, блестяща и грижливо изработена спойка.

Обикновеното запояване, което се налага да се извършва в повечето случаи, изисква да се спазват няколко правила.

1. Използвайте само висококачествен припой за радиоелектронен монтаж и никога вече употребяван припой. Новият припой съдържа флюс от колофон, който предпазва повърхността от окисляване и разрушаване на спойката. Лошокачествените припои съдържат флюс в по-малко количество, което често се оказва недостатъчно за добра спойка. **НИКОГА НЕ ИЗПОЛЗУВАЙТЕ ПРИПОИ С КИСЕЛА ПАСТА** или припой за тенекеджийски или калайджийски цели. Ако се съмнявате в качеството на вашия припой, по-добре не го употребявайте. Вземете нов припой за радиоелектронни цели.

2. Нагрявайте мястото на съединението до такава температура, при която положеният върху него припой да може да се разтопи. Припоят трябва да може да се разтопи благодарение на топлината, отдавана в мястото на съединението. Най-често допусканата грешка е, че припоят се стопява от поялника с надеждата, че стичайки се от него, припоят ще прилепне към мястото на съединението. Това е неправилен метод, но все още се използва, без да се обръща внимание на препоръките.

3. Мястото на съединението трябва да се почисти много добре. За целта може да се използва гума, шкурка, разтворител или друго подходящо средство, с което повърхностите в мястото на съединението могат да се направят блестящи и чисти.

4. Мястото на съединението трябва да бъде неподвижно, докато разтопеният припой се втвърди. Ако в мястото на съединението по време на запояването повърхностите се движат, спойката става "студена". Такова съединение е сиво на цвят, грапаво, чупливо и поресто.

5. Не прегрявайте мястото на спойката. Прегряването води до изпарение на флюса, а често и до повреждане на запояваните елементи.

6. Припоят не трябва да е нито малко, нито много. Последната препоръка може да се отнесе към грешките, които често допускат начинаещите. Използвайте точно толкова припой, колкото е необходимо, за да се покрие мястото на съединението, без да го претрупвате. Два съседни извода могат да се допрат, ако са претрупани с припой и да повредят устройството, което сте създали. Установено е, че масата на една печатна платка може да нарасне до два пъти поради неправилно запояване. Натрупването на много припой в мястото на свързването не означава сигурна спойка.

### **2.3. ИЗБОР НА ПОДХОДЯЩИ ИНСТРУМЕНТИ**

"За всяка работа използвайте съответен инструмент" или „използвайте инструментите според тяхното предназначение". Тези съвети можете да чуете от добри, опитни специалисти. Всеки инструмент има своето предназначение, в съответствие с което трябва да се употребява. Монтирането на електронните елементи предполага използването на точно определени инструменти,

Винаги е необходим комплект от дребни инструменти за ръчна работа. Почти всеки конструктор предпочита едни инструменти и има предубеждение към други. Има обаче такива инструменти, които се използват от всички. Това се обяснява с характера на изпълняваните работи. Ето някои от тези инструменти:

- клещи с плоски удължени челюсти за фина механична работа;
- клещи с плоски удължени челюсти с размер от 100 до 150 mm;
- клещи-секачки малки;
- клещи-секачки с размер от 100 до 150 mm;
- отвертки с прави остриета (комплект часовникарски) с размер от 1,5 до 9,5 mm;
- отвертки с кръстат връх;
- пълен комплект от малки гаечни ключета (с размер до 22 mm);
- пълен комплект от гаечни ключета със сърповидна дръжка;
- малък раздвижен ключ;
- поялник.

Що се отнася до отвертките и гаечните ключове, бързо ще се убедите, че наред с обикновените е целесъобразно да имате инструменти с удължени или с по-къси дръжки. Може да се използва комплект от инструменти, в които ножчетата, отвертките, шилата и други накрайници се монтират към една универсална дръжка. Типът на комплекта от инструменти е въпрос на навик и предпочитание.

Малките клещи-секачки трябва да имат прави външни страни на челюстите откъм режещата част, за да може да се използват близо до повърхността на печатната платка. Някои клещи-секачки имат изкривена режеща част и се използват с успех най-често при обемен монтаж върху шаси или върху лицева плоча.

При добрите клещи-секачки режещите части в затворено състояние се допират на върха. При покупка даже измежду инструментите от не много високо качество може да се подбере добър екземпляр, ако се направи следният експеримент. Вземете секачките и ги обърнете към светлината така, че страната с издълбаването да бъде обърната към вас и да се вижда просвет между режещите ръбове на челюстите. При добре заточени челюсти вие ще трябва да видите неголям просвет в началото на режещия ръб близо до оста, а на края просвет не бива да се наблюдава. Не използвайте и не купувайте клещи-секачки с неравни челюсти или такива, чиито краища на челюстите не се срещат, а още по-малко такива, при които режещите ръбове се допират навсякъде другаде, но не и на върха.

Запомнете: клещите за зачистване на проводници и клещите-секачки са два инструмента с различно предназначение. Много любители пък и специалисти често зачистват изолацията на проводниците с помощта на клещи-секачки, а това е лоша практика. При този начин на работа проводникът почти винаги остава наранен или пречупен, в резултат на което след известно време се прекъсва. Освен това при използване на секачките за зачистване изолацията на проводника се разтегля и смачква, в резултат на което краят на проводника получава много неугледен вид. Ако от серийните стандартни инструменти не можете да намерите това, което ви е необходимо, купете такива, които чувствате, че имат добро качество. След работа с добри инструменти няма да имате вече желание за работа с лоши. Добрият инструмент може да се разпознае по вида на режещите части. Те трябва да приличат на острието на добре наточен нож.

Запояването и разпояването са необходими операции при създаването на електронни конструкции и изискват определени навици и майсторство. Много конструктори смятат тези операции за леки и прости, докато не възникнат съществени проблеми.

Една от най-честите грешки е неправилният или незадоволителният избор на поялник. Даже и за най-леките монтажни работи са необходими два поялника от различен тип. Голяма част от печатните платки могат да се запояват с поялник с мощност 25 W

или 12,5 W с малък заострен накрайник. За по-големи детайли или при обемен монтаж е необходим поялник с мощност 100 W или 150 W. Необходимо е да се изработят и използват различни типове накрайници към тези поялници. Трябва да имате няколко тънки конични и плоски прави и криви накрайници, както и един широк плосък накрайник с ширина до 25 mm.

Разпояването, колкото и невероятно да звучи това, не е по-просто от запояването. Да разпоява би могъл всеки, но да се избегне повреждането на елементите или печатното фолио върху платката съвсем не е лесно. Друга неприятност при неправилно разпояване е разливането на припой върху голяма част от платката. Дори и при най-внимателен оглед трудно могат да се забележат получените свързвания накъсо между някои от пистите или изводите на елементите, което може да причини сериозни повреди след включване на схемата.

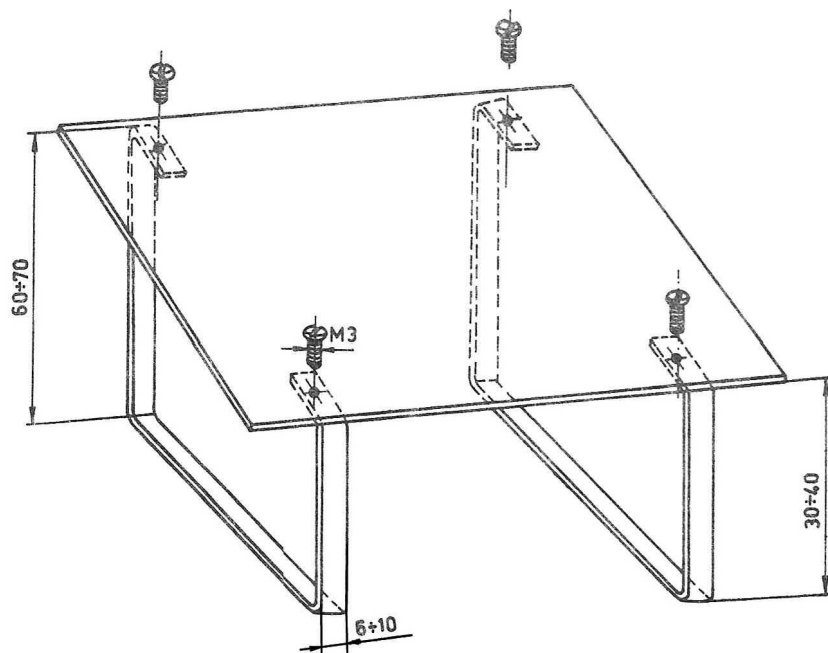
Съществуват два основни метода за обирание на припоя при разпояването:

- метод на всмукване чрез специални помпи;
- капилярен метод.

Тъй като първият метод изисква сложни и скъпи съоръжения и приспособления, които трудно могат да се намерят или конструират и изработят, тук е описан и се препоръчва вторият метод.

Приспособлението от капилярен тип представлява част от медна кабелна оплетка ("ширмовка"), която може да се свали от ширмован нискочестотен кабел. Необходимата дължина е от 10 до 15 cm. При разпояване единият край на оплетката се допира до разпояваната спойка и се притиска с нагретия накрайник на поялника. Нагретият и разтопен припой прониква вътре в оплетката благодарение на капилярния ефект. При този метод мястото на спойката остава идеално чисто без повреждане на елементите и фолиото.

Ако не разполагате с инструменти за механична работа, наложително е да си набавите някои от тях, за да не се налага да работите с подръчни приспособления. Необходимо е да разполагате с ръчна бормашина („дрелка”), а още по-добре с електрическа. Освен това е необходим комплект от пили с кръгло, правоъгълно, триъгълно и квадратно сечение, комплект от малки ("часовникарски") пилички, но-

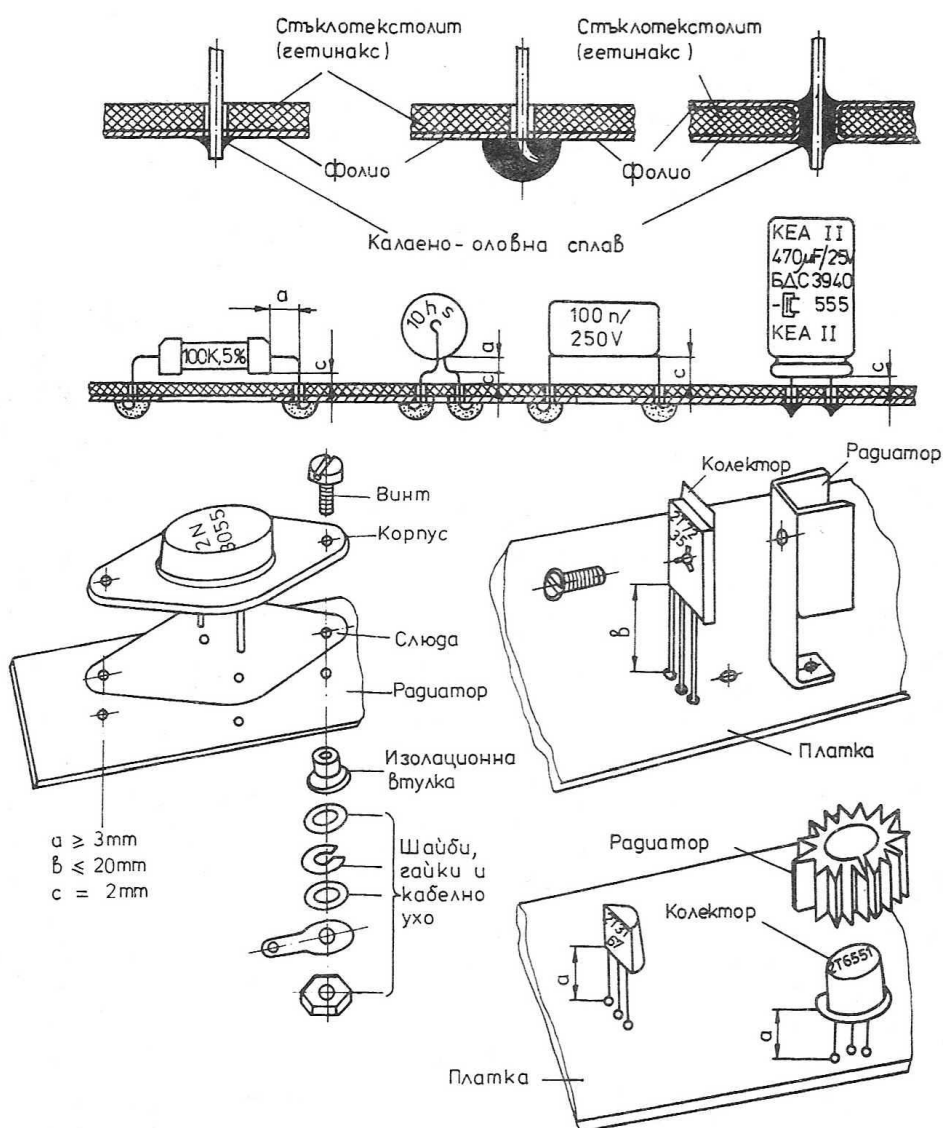


Фиг. 2.2

жица за ламарина, ножовка, шлосерски център, чертилка, чук до 150 грама, свредла от 0,75 до 14 mm, метчици и флашки от M2 до M6.

Като шаси към конструктора “Електроник-1” може да се използва конструкцията, показана на фиг. 2.2. Тя е проста за изработка и е по силите на всеки начинаещ любител. Състои се от две метални ленти с дебелина от 1 до 2 mm, изработени от желязна или алуминиева ламарина. Върху горните извивки на лентите се закрепва универсалната печатна платка. Така тя е достъпна както от страната на елементите, така и от страната на фолиото. Може да се постави подходящо оформена лицева плоча, закрепена посредством винтове към вертикалната част на лентите. Остава да се изработят капацити.

На фиг. 2.3 е показано как може да се оформят изводите на елементите и как да се разположат върху печатната платка.



Фиг. 2.3

## 3. ТОКОЗАХРАНВАНЕ

### 3.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

За да функционират електронните устройства, те трябва на бъдат захранвани с електроенергия с определени параметри. Обхватът на консумираните мощности е голям - от миливатове до десетки мегавати, и зависи от електронното устройство, което черпи тази мощност.

Токозахранващите устройства са преобразователи на даден вид енергия в електрическа с точно определени параметри. Променливотоковата енергия е един от най-достъпните видове електрическа енергия, наложила се поради големите удобства, свързани с пренасянето и преобразуването и в постояннотокова. Друг вид токоизточници са химическите, които са удобни както за захранване на стационарни консуматори, така и за мобилни.

### 3.2. ГАЛВАНИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ

Всеки галваничен елемент се състои от два електрода, поставени в съд със специален разтвор, наречен електролит. В резултат на химичното взаимодействие между електродите и електролита върху тях се натрупват заряди, при което между електродите се създава потенциална разлика. Ако външните изводи на електродите се свържат с проводник, през него ще протече ток вследствие на потенциалната разлика.

В галваничните елементи химичната енергия се превръща в електрическа, поради което те се наричат химически токоизточници. Процесите в галваничните елементи могат да бъдат обратими и необратими. В зависимост от това химичните токоизточници се делят на две основни групи: първични и вторични. Първичните елементи отдават електрическа енергия за сметка на разлагане на отрицателния електрод в електролита (процесът е необратим). Вторичните елементи се наричат акумулатори. Те отдават електрическа енергия за сметка на преминаването на електродите от едно състояние в друго (процесът е обратим, т.е. акумулаторите са галванични елементи с голям брой цикли на зареждане - разреждане).

### 3.3. ПАРАМЕТРИ НА ГАЛВАНИЧНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

Основните параметри на галваничните елементи са електродвижещото напрежение (е.д.н.), капацитетът (Q) и вътрешното съпротивление ( $R_i$ ).

*Електродвижещо напрежение* (е.д.н.) се нарича напрежението между положителния и отрицателния електрод при отворена външна верига. Големината на е.д.н. се определя от химичните свойства на електролита и електродите и не зависи от размерите им. Обикновено масово произвежданите галванични елементи имат е.д.н. от порядъка на 1,2 до 1,5 V.

*Капацитет* (Q) на галваничните елементи представлява количеството електричество (в амперчас- A/h), отдавано от елемента при неговото разреждане. Капацитетът се определя по формулата

$$Q = I_p \cdot t,$$

където  $I_p$ , A, е разрядният ток;  
 $t$ , h - времето за разреждане.

Ако са известни капацитетът и разрядният ток, може да се изчисли колко часа ще работи захранващият източник до пълното си разреждане.

Например, ако капацитетът на химичния токоизточник е  $Q = 0,5$  A/h, към неговите изводи може да се включи товарно съпротивление, през което в продължение

на 10 часа ще протича ток с големина 0,05 А (50 mA) или в продължение на 5 часа ток с големина 0,1 А (100 mA).

Голямо влияние върху капацитета на галваничните елементи оказва времето за съхранение им. При по-дълго съхранение капацитетът на източника намалява. Срокът за съхранение зависи от конструкцията на елемента и от температурата на околната среда. Превишаването на този срок не само намалява капацитета на елементите, но може да доведе до отделяне на разтвор от амониев хлорид, който сериозно поврежда електронната апаратура.

Влиянието на температурата върху работата на галваничните елементи зависи от нейната големина. При минус 20<sup>0</sup>С електролитът замръзва и батерията не може да се използва. В температурния обхват от 0 до 10<sup>0</sup>С галваничните елементи работят с понижена мощност. Нормална работа се осигурява при температура на околната среда + 20<sup>0</sup>С. Капацитетът значително се повишава (до 180 %) при температура + 40<sup>0</sup>С, но продължителното разреждане води до бързото му намаляване. При температура + 50<sup>0</sup>С и по-висока настъпва бързо саморазреждане на галваничния елемент и в крайна сметка той се разрушава.

Вътрешното съпротивление ( $R_i$ ) на химичния токоизточник зависи от максималния ток, който токоизточникът може да отдаде на товара. Колкото по-малко е вътрешното съпротивление на токоизточника, толкова по-голям ток може да протече през товарното съпротивление.

Вътрешното съпротивление може да се разглежда както при постоянен, така и при променлив ток. То зависи от товара, разрядния ток, времето и температурата на съхранение на галваничния елемент. Вътрешното съпротивление по променлив ток зависи от честотата, при която работи апаратурата. За премахване на паразитната обратна връзка (самовъзбуждане на захранваната апаратура) паралелно на клемите на батерията се свързва кондензатор с достатъчно голям капацитет (от 2000 до 10 000 $\mu$ F), шунтиращ токоизточника за променливия ток.

При по-голям разряден ток загубите на енергия във вътрешното съпротивление нарастват, което се проявява като нагряване на елементите. При нагряване вътрешното съпротивление на галваничния елемент нараства. С оглед пълното използване на капацитета на първичния източник се препоръчва щадящ режим, при който да не се превишава разрядният ток, указан от завода-производител.

Първичните токоизточници притежават способността да се самовъзстановяват. Това тяхно качество се проявява както при щадящ, така и при форсиран режим. При конструиране на апаратура с батерийно захранване трябва да се предвиди отделна пластмасова кутия за батериите, за да се предпази електронното устройство в случай на изтичане на разтвор от електролита или отделяне на агресивни газове и изпарения.

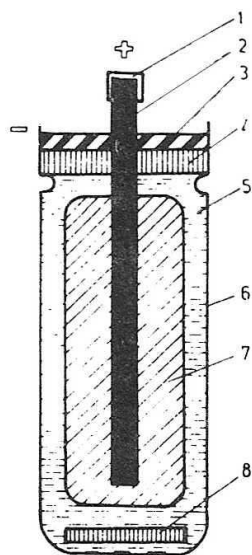
При изчисляване на токозахранващо устройство с батерии се имат предвид следните параметри:

- работно напрежение (максимално и минимално);
- вид на разряда;
- капацитет или време за разреждане;
- място за разполагане на батерията в апаратурата;
- маса.

Изправността на първичните елементи (особено онези, чийто срок за съхранение е изтекъл) се проверява чрез измерване на-тока на късо съединение. Когато елементът е некачествен (неправилно експлоатиран, с изтекъл срок за съхранение), неговото вътрешно съпротивление е повишено и това води до намаляване на тока на късо съединение. Негоден за използване се счита онзи източник, чийто ток на късо съединение е намален с 1/2 от номиналната му стойност и през време на измерването рязко пада.

### 3.4. ПЪРВИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ

Според конструктивното оформление и вида на електролита първичните елементи биват сухи, полусухи и течни. Най-широко приложение са намерили въгленово-цинковите сухи елементи (фиг. 3.1). При тях положителният електрод 2 е изработен от графит, поставен в деполяризатор 7, който представлява смес от манганов двуокис ( $\text{MnO}_2$ ) и графит на прах. За електролит 5 се използва воден разтвор



Фиг. 3.1

от амониев хлорид ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), с който е напоено вещество, притежаващо поглъщаща способност (пшенично брашно, дървени стърготини или хартия). Цинковият цилиндър 6, в който е поместен галваничният елемент, изпълнява функциите на отрицателен електрод. Върху графитния електрод (отгоре) е набита метална капачка 1. На дъното на цилиндъра и при отвора са поставени две шайби от картон - 4 и 8. Елементът е злят отгоре с херметизираща маса 3.

Основните предимства на сухите елементи са простата и удобна експлоатация, нечувствителността им към механични сътресения, удобство при употреба (използват се при всяко положение в пространството без опасност от изливане на електролита).

### 3.5. ВТОРИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ (АКУМУЛАТОРИ)

Акумулаторите се състоят от положителни и отрицателни плочи, потопени в съд с подходящ електролит. Според материала, от който са направени, се различават две основни групи акумулатори: оловни (киселинни) и алкални. Най-голямо приложение намират оловните акумулатори. Алкалните акумулатори се делят на желязно-никелови, кадмиево-никелови и сребърно-цинкови.

*Алкалните акумулатори* в сравнение с оловните са по-съвършени. Техните предимства са:

- по-голяма механична издръжливост;
- нечувствителност към претоварване и къси съединения;
- нечувствителност към изменения на околната температура;
- малко саморазреждане.

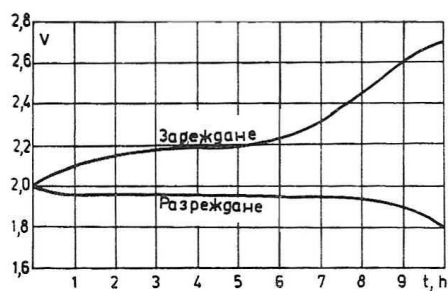
*Оловните акумулатори* в сравнение с алкалните имат по-голям капацитет, по-малко вътрешно съпротивление, по-нестабилно напрежение на клемите.

Основните характеристики на акумулаторите са същите, както и на първичните елементи: електродвижещо напрежение, капацитет и вътрешно съпротивление.

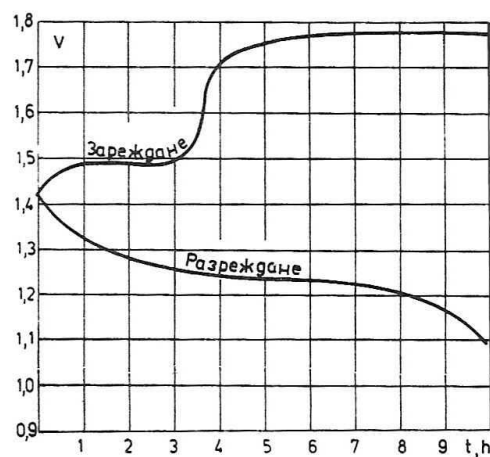
*Електродвижещо напрежение* е измерената потенциална разлика между полюсите

на акумулатора, когато през него протича ток (режим на разреждане). На фиг. 3.2 е показана графиката на напреженията на оловен акумулатор, а на фиг. 3.3 - на алкален акумулатор в режим на зареждане и разреждане.

Капацитетът се изчислява по формулата, дадена за първичните елементи. Номинален е онзи капацитет, който при определена температура акумулаторът може да отдаде при разреждане на ток с точно определена стойност. Капацитетът зависи от броя и размерите на акумулаторните плочи, разстоянието между тях, количеството



Фиг. 3.2



Фиг. 3.3

на електролита и неговата гъстота, тока на разреждане и температурата на околната среда. Обикновено капацитетът се дава за десетчасов режим на разреждане при номинален ток.

Вътрешното съпротивление за оловните акумулатори е от порядъка на  $0,001 \div 0,1 \Omega$  и зависи от процеса на разреждане. Вътрешното съпротивление на алкалните акумулатори може да се определи по приблизителната формула

$$R_i = \frac{0,1}{Q_{10}}, \Omega$$

където  $Q_{10}$  A/h, е капацитетът на акумулатора за 10 h.

### 3.6. СВЪРЗВАНЕ НА ГАЛВАНИЧНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

#### И ПОЛУЧАВАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕ ПОСРЕДСТВОМ ДЕЛИТЕЛ

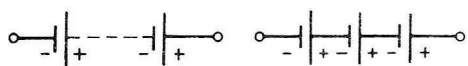
Когато е необходимо да се получи напрежение или ток, по-големи, отколкото може да даде един галваничен елемент, се използват батерии. Те представляват галванични елементи, свързани последователно, паралелно или смесено.

При *последователно свързване* плюсьт на единия галваничен елемент се свързва с минуса на другия (фиг. 3.4). Електродвижещото напрежение, измерено между свободните полюси на първия и последния галваничен елемент, е равно на сумата от е.д.н. на отделните галванични елементи. Вътрешното съпротивление също е равно на сумата от вътрешните съпротивления на отделните галванични елементи. Капацитетът на батерията е равен на капацитета на единичния галваничен елемент. При елементи с различен капацитет общият капацитет на батерията е равен на най-малкия от капацитетите на отделните елементи.

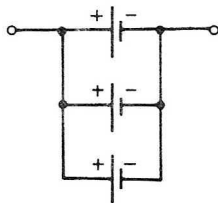
При *паралелно свързване* (фиг. 3.5) положителните полюси се свързват помежду си и образуват общия положителен полюс на батерията. Отрицателните полюси също се свързват помежду си и образуват отрицателния полюс на батерията. Електродвижещото напрежение на батерията е равно на електродвижещото напрежение на единичния елемент. Капацитетът на батерията нараства  $n$  пъти ( $n$  - броят

на паралелно свързаните елементи), а вътрешното съпротивление намалява  $n$  пъти,

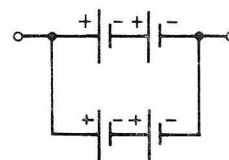
При *смесено свързване* (фиг. 3.6) галваничните елементи се разлепят на групи, Във всяка група галваничните елементи се свързват последователно, а отделните групи – паралелно. Електродвижещото напрежение на батерията е равно на сумата от електродвижещите напрежения на групите от последователно свързани галванични елементи а капацитетът е равен на капацитета на един елемент, умножен по броя на



Фиг. 3.4



Фиг. 3.5



Фиг. 3.6

паралелно свързаните групи. Смесеното свързване се използва тогава, когато е необходимо от батерията да се получи не само голямо електродвижещо напрежение, но и голям разряден ток. Свързването на акумулаторите в батерии се подчинява на закономерностите, валидни за първичните елементи.

От една батерия могат да се получат различни напрежения (по-малки или равни на номиналното) посредством делител.

**Пример.** Да се определят напреженията  $U_1, U_2, U_3, U_4$ , получени от една батерия посредством делител. Използвани са три плоски сухи батерии тип 3R12 ( $E_1 = E_2 = E_3 = 4,5V$ ;  $E_0 = E_1 + E_2 + E_3 = 13,5V$ ), един потенциометър  $R = 100\text{ k}\Omega$  и един постоянен резистор  $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ , свързани по схемата, показана на фиг. 3.7.

През затворената верига протича ток  $I_0$ . От закона на Ом може да се запише съотношението  $E_0 = U_1 + U_4$ ,

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_4}{R} = \frac{U_2 + U_3}{R_2 + R_3}, \quad U_4 = U_2 + U_3, \quad E_0 = I_0 R_1 + I_0 R$$

$$I_0 = \frac{E_0}{R_1 + R} = \frac{13,5}{(10 + 100) \cdot 10^3} = \frac{13,5}{110 \cdot 10^3};$$

$$I_0 = 1,227 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

тогава

$$U_1 = R_1 I_0 = 10 \cdot 10^3 \cdot 1,227 \cdot 10^{-4} = 1,227 \text{ V}$$

$$U_4 = R I_0 = 100 \cdot 10^3 \cdot 1,227 \cdot 10^{-4} = 12,27 \text{ V}$$

$$\text{но } E_0 = U_1 + U_4 = 1,227 + 12,27 \approx 13,5 \text{ V}$$

Следователно при преместване на плъзгача на потенциометъра напрежението  $U_3$  може да се регулира плавно от  $U_3 = 0 \text{ V}$  (плъзгачът в долно по схемата положение) до  $U_1 = U_4 = 12,27 \text{ V}$ . Получава се напрежение, регулируемо в определени граници.

Ако се изработи скала, градуирана във волтове, може да се отчита изходното напрежение на делителя. При линейен закон на изменение на съпротивлението на потенциометъра може да се получи равномерно разпределение на стойностите на изходното напрежение.

Разсъжденията дотук не са съобразени със съпротивлението на товара, което се включва успоредно на резистора  $R_3$ , т.е. делителят е разгледан на празен ход.

**Пример.** Да се определи преразпределението на мощностите и токовете във веригата при  $I_T = 10 \text{ mA}$  и  $U_0 = 10,9 \text{ V}$  съгласно фиг. 3.8.

Резисторът  $R_1$  има защитни функции и предпазва токозахранващия източник от претоварване при погрешно включване на по-голям товар или при късо съединение

в изходната верига. Ако се допусне, че ток на късо съединение  $I_{kc}$  от порядъка на 300 mA не е опасен за разрушаването на батерията, може да се запише

$$R_1 = \frac{E_0}{I_{kc}} = \frac{13,5}{0,3} = 45\Omega$$

Избира се стандартен резистор  $R_1 = 47\Omega$ . Преизчислява се токът на късо съединение  $I_{kc}$  съобразно с новата стойност на резистора  $R_1 = 47\Omega$ :

$$I_{kc} = \frac{E_0}{R_1} = \frac{13,5}{47} = 0,287 A$$

Избират се  $R_2 + R_3 = 250\Omega$ . Тогава токът, който минава през  $R_1 + R$ , е

$$I'_0 = \frac{E_0}{R_1 + R} = \frac{13,5}{47 + 250} = 45,5 mA$$

Определя се падът на напрежение върху резистора R:

$$U_0 = I'_0 R = 0,0455 \cdot 250 = 11,36 V$$

$$U_0 + U_1 = E_0 = 11,36 + 2,14 = 13,5 V$$

Определя се падът на напрежение върху резистора  $R_1$ :

$$U_1 = I'_0 R_1 = 0,045 \cdot 46 = 2,14 V$$

При крайно дясно положение на плъзгача на променливия резистор R на изхода на делителя се получава максимално напрежение  $U_0 = 11,36 V$ . Допълнително включеният товар с ток  $I_T = 10 mA$  води до ново преразпределение на токовете. Тогава

$$I_0 = I_T + I'_0 = 0,0455 + 0,01 = 0,0555 mA$$

Падът на напрежение върху  $R_1$  е

$$U_1 = I_0 R_1 = 0,0555 \cdot 47 = 2,6 V$$

$$U_0 = E_0 - U_1 = 13,5 - 2,6 = 10,9 V$$

Следователно максималната стойност на захранващото напрежение е  $U_0 = 10,9 V$ . Тя може да се изменя плавно в границите от 0 до 10,9V.

Може да се определят мощностите, разсейвани върху предпазния и регулиращия резистор:

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} = \frac{2,6^2}{47} = 0,144 W$$

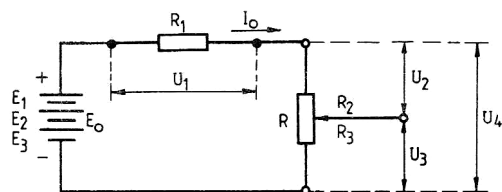
Избира се резистор с допустима разсеяна електрическа мощност 1/4W или 1/2 W:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{11,36^2}{250} = 0,515 W$$

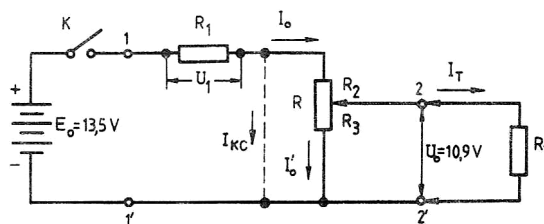
Избира се резистор с допустима разсеяна електрическа мощност 1 W. Добре е да се запомнят съотношенията

$$\frac{V}{A} = \Omega; \quad \frac{V}{mA} = k\Omega; \quad \frac{V}{\mu A} = M\Omega,$$

които са особено полезни за по-нататъшната работа



Фиг. 3.7



Фиг. 3.8

# ТРАНСФОРМАТОРИ

## 4.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Трансформаторът представлява електромагнитно устройство, което преобразува и предава електрическата енергия от една електрическа верига на друга. Когато енергията се пренася по електромагнитен път, устройството е трансформатор, а когато енергията се пренася комбинирано (по електромагнитен и електрически път), устройството се нарича автотрансформатор.

## 4.2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ НА ТРАНСФОРМАТОРА

Действието на трансформатора се основава на взаимната електромагнитна индукция. Трансформаторът се състои от две или повече магнитно свързани намотки, които нямат пряка електрическа връзка помежду си. Ако през една от намотките се пропусне променлив електрически ток, създаденият от нея променлив магнитен поток индукира в другата намотка променливо електродвижещо напрежение. При затваряне на нейната верига през консуматор протича променлив ток. По този начин електрическата енергия се предава от едната верига в другата.

За ефективно предаване на енергията е необходима добра магнитна връзка между двете намотки. Поради това при ниски честоти на тока трансформаторите се изработват с железен магнитопровод.

Магнитопроводът се набира от отделни листове от електротехническа стомана с дебелина от 0,1 до 0,5 mm. По този начин се увеличава специфичното електрическо съпротивление на материала и се намаляват загубите от вихрови токове. За същата цел отделните листове от магнитопровода се изолират с лаково покритие.

Ако първичната намотка е за по-високо напрежение, а вторичната за по-ниско, трансформаторът е *понижаващ*. Ако първичната намотка е за по-ниско напрежение, а вторичната за по-високо, трансформаторът е *повишаващ*. Когато двете намотки са за едно и също напрежение, трансформаторът е *разделителен*.

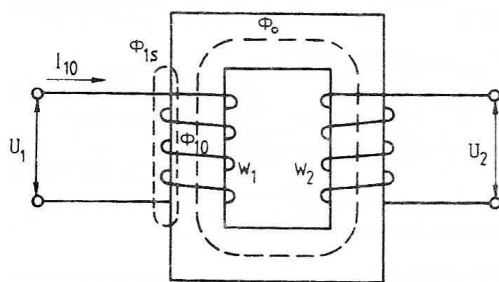
**Работа на трансформатора на празен ход.** При този режим на работа на трансформатора първичната му намотка е включена към източника на електрическа енергия, а вторичната му верига е отворена, т.е. вторичният ток  $I_2 = 0$ .

На фиг. 4.1 е изобразен еднофазен двунамотъчен трансформатор, работещ в режим на празен ход. Под действието на приложеното напрежение  $U_1$  във веригата на първичната намотка, която има  $w_1$  навивки, протича ток  $I_{10}$ , наречен ток на празен ход. Този ток създава в първичната намотка магнитодвижещото напрежение  $E_{10} = I_{10}w_1$  и магнитния поток  $\Phi_{10}$ . Една малка част от магнитния поток се затваря през въздуха и образува т.нар. поток на разсейване  $\Phi_{1s}$ , а по-голямата част се затваря през магнитопровода, обхваща вторичната намотка и образува основния магнитен поток  $\Phi_0$ .

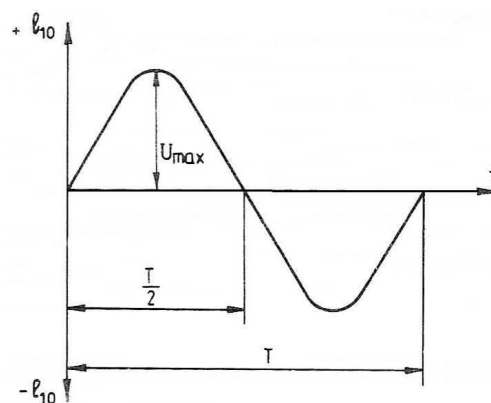
Във вторичната намотка се индукира електродвижещо напрежение  $e_{20}$ , пропорционално на броя на навивките на вторичната намотка и на изменението на основния магнитен поток.

Основният магнитен поток се изменя по синусоиден закон, тъй като токът, който го създава, също се изменя по синусоиден закон. Електродвижещото напрежение  $e_{10}$ , има вида, показан на фиг. 4.2. Ако максималната му стойност е  $U_{1\max}$  ефективната му стойност може да се изчисли от зависимостта

$$U_1 = \frac{U_{1\max}}{\sqrt{2}}, \quad U_{1\max} = 1,4U_1$$



Фиг. 4.1



Фиг. 4.2

Аналогично за вторичното напрежение може да се запише

$$U_2 = \frac{U_{2\max}}{\sqrt{2}}, \quad U_{2\max} = 1,4U_2$$

Електродвижещите напрежения  $e_{10}$  и  $e_{20}$ , са пропорционални на съответния брой навивки. Следователно напреженията  $U_1$  и  $U_2$  са също пропорционални съответно на броя навивки  $w_1$  и  $w_2$ .

От отношението  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = n$  (известно като коефициент на трансформация)

може да се запише  $U_1 = nU_2$

**Работен режим на трансформатора.** Ако към вторичната намотка на трансформатора се включи някакъв консуматор на електрическа енергия, през веригата протича ток  $I_2$ . Този ток създава магнитно поле, насочено срещу основното магнитно поле и стремящо се да го премахне. За да се запази потокът  $\Phi_0$  постоянен, през първичната намотка протича допълнителен товарен ток  $I_1$ .

В общия случай входната мощност на идеалния трансформатор е равна на изходната. Ако обаче се вземат предвид загубите на енергия от намагнитващия ток, известни като загуби в желязния магнитопровод от вихрови токове и хистерезис, загубите от активното съпротивление в проводниците на намотките и от индуктивността на разсейване, в енергийния баланс на първичната и вторичната намотка се въвежда една поправка, която дава количествена оценка за разликата между входната и изходната мощност. Тази оценка се дава чрез параметъра коефициент на полезно действие на трансформатора (к.п.д.) и представлява отношението на изходната към входната мощност.

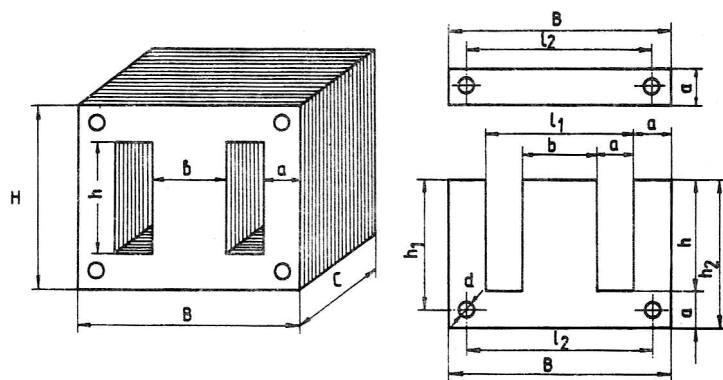
$$\eta_{Tp} = \frac{P_2}{P_1}$$

На фиг. 4.3 е показан магнитопроводът на трансформатора, на фиг. 4.4 - тялото, върху което се разполагат намотките, а на фиг. 4.5 - символичното означение на трансформатора.

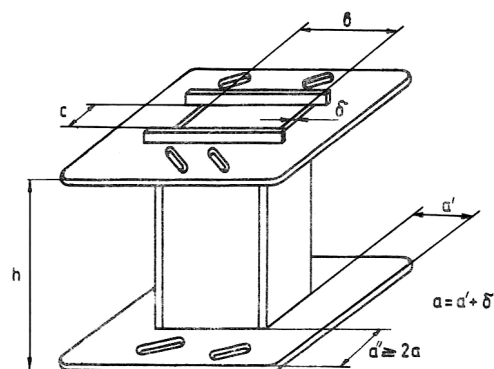
### 4.3. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ТРАНСФОРМАТОРА

Съществуват точни и подробни методи за изчисляване на трансформатор. Тук се разглеждат два начина, основаващи се на ориентировъчни формули, които са удобни за практически цели.

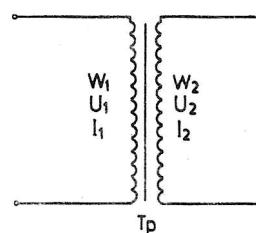
**Първи начин за изчисляване на маломощен мрежов трансформатор.** Препоръчва се следната последователност.



Фиг. 4.3



Фиг. 4.4



Фиг. 4.5

1. Изходни данни:

- а.** Напрежение на вторичната намотка  $U_2$  във V при натоварен трансформатор;
- б.** Ток на вторичните намотки в A при натоварен трансформатор.

2. Ред на изчисление:

**а.** Полезната мощност на трансформатора  $P_{Tp}$  във VA е равна на сумата от мощностите на вторичните намотки

$$P_{Tp} = \sum P_2 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + U_4 I_4 + \dots + U_n I_n.$$

**б.** Мощността  $P_1$ , консумирана от захранващата мрежа

$$P_1 = \frac{P_{Tp}}{\eta_{Tp}},$$

където  $\eta_{Tp}$  е коефициентът на полезно действие на трансформатора (к. п. д.).

Обикновено  $\eta_{Tp}$  зависи от мощността на трансформатора и от материала, от който е изработен магнитопроводът, и за маломощни трансформатори може да приема стойности от 0,7 до 0,96.

**в.** Ток в първичната намотка  $I_1$  в A:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1}.$$

**г.** Избор на подходяща магнитна сърцевина (вж. фиг. 4.3).

$$S'_c S'_0 = \frac{\alpha \cdot 2,5}{B_m \Delta} P_{Tp}, \quad S'_c = bc, \quad S'_0 = ah.$$

където  $S'_c$  е брутното сечение на сърцевината в  $\text{cm}^2$ :

$S'_0$  - сечението на отвора на сърцевината в  $\text{cm}^2$ .

$\alpha$  - коефициентът, зависещ от мощността, чиято стойност се избира от табл. 4.1;

$\Delta$  - плътността на тока в проводниците в  $\text{A/mm}^2$ .

Както се вижда от таблицата,  $B_m$  заема близки стойности за различните мощности и характеризира материала като функция от интензивността на магнитното поле.

Таблица 4.1

| $P_{Tp}, \text{A}$      | $\leq 1$        | $1 \div 10$     | $10 \div 100$    | $100 \div 1000$  |
|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| $\alpha$                | 4,5             | 3,75            | 2,2              | 1,5              |
| $B_m, \text{T}$         | 0,8             | 0,9             | 1,0              | 1,1              |
| $\Delta, \text{A/mm}^2$ | 3               | 3               | 2,5              | 2,5              |
| $\eta_{Tp}$             | $0,7 \div 0,82$ | $0,75 \div 0,9$ | $0,82 \div 0,94$ | $0,87 \div 0,96$ |

Брутните сечения  $S'_c$  и  $S'_0$  се изчисляват въз основа на фиг. 4.3 :

$$S'_c = bc, \quad S'_0 = ah$$

д. Брой навивки  $w_0$  за напрежение един волт.

$$w_0 = \frac{45}{B_m S'_c}, \quad S_c = (0,9 \div 0,95) S'_c$$

където  $S_c$  е активното сечение на магнитната сърцевина в  $\text{cm}^2$ .

е. Брой навивки  $w_1$  на първичната намотка:

$$w_1 = w_0 U_1.$$

ж. Диаметърът  $d_1$  на проводника на първичната намотка се определя от табл. 4.2. в зависимост от  $I_1$  и  $\Delta$ , като обикновено се избира  $\Delta = 2,5 \div 3 \text{ A/mm}^2$ .

з. Броят навивки  $w_2$  на вторичната намотка се определя както  $w_1$  като се изчислява нова стойност  $w'_2$ , тъй като е необходимо да се компенсира падът на напрежение в съпротивлението на намотката  $w'_2 = w_2 + \Delta w_2$ ,

$$\text{където } w_2 = \frac{w_0}{57} (\Delta_1 + \Delta_2) l_{cp} w_2;$$

$\Delta_1$  и  $\Delta_2$  са плътности на тока съответно в първичната и вторичната намотка в  $\text{A/mm}^2$  ( $\Delta_1$  се избира с по-малка стойност от  $\Delta_2$  от конструктивни съображения с оглед по-добро охлаждане).

$l_{cp}$  - средната дължина на една навивка в m.

**Втори начин за изчисляване на маломощен мрежов трансформатор.** Препоръчва се този начин да се използва за проверка, т.е. след изчисляване по първия начин може да се извърши проверка посредством дадената номограма (фиг. 4.6).

Номограмата е построена, като са използвани следните формули:

$$S_{CT} = 1,25 \sqrt{P_{Tp}}, \quad w_0 = \frac{4,5 \cdot 10}{B_m S_{CT}} = \frac{3,6 \cdot 10}{B_m \sqrt{P_{Tp}}}, \quad w = w_0 U, \quad d = 1,13 \sqrt{\frac{I}{\Delta}},$$

където  $S_{CT}$  е сечението на стоманеното ядро ( $0,4 \div 40 \text{ cm}^2$ );

$P_{Tp}$  - необходимата мощност на трансформатора ( $0,1 \div 1000 \text{ W}$ );

$w_0$  - броят навивки на един волт ( $1 \div 100 \text{ нав/V}$ );

$w$  - общият брой навивки ( $1 \div 100 \text{ 000 навивки}$ );

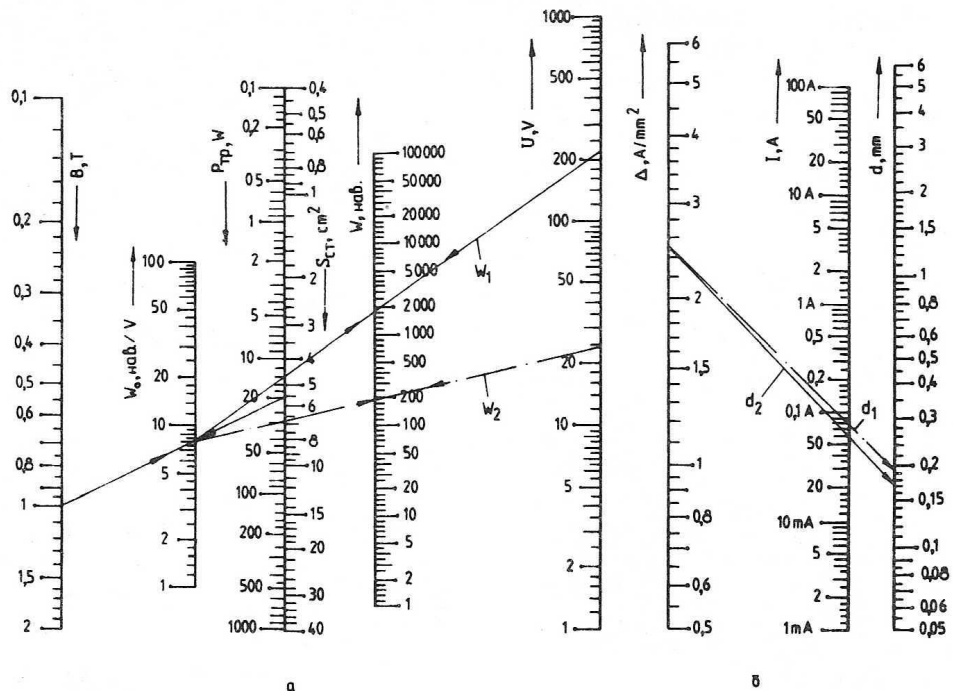
Пример:

$S_{CT} = 5,5 \text{ cm}^2$  ;  
 $B_m = 1 \text{ T}$  ;  
 $U_1 = 220 \text{ V}$  ;  
 $U_2 = 24 \text{ V}$  ;  
 $I_2 = 60 \text{ mA}$  ;

---

Отчитаме:

$w_0 = 8,3 \text{ наб./V}$  ;  
 $w_1 = 1830 \text{ наб.}$  ;  
 $w_2 = 211 \text{ наб.}$  ;  
 $d_2 = 0,16 \div 0,18 \text{ mm}$  ;  
 $P_T = 16 \text{ W}$  ;  
 $P_1 = \frac{P_{TP}}{\eta_{TP}} = \frac{16}{0,9} = 17,7 \text{ W}$  ;  
 $I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{17,7}{220} = 80 \text{ mA}$  ;  
 $d_1 = 0,19 \text{ mm}$  ;



Фиг. 4.6

- $\Delta$  - плътността на протичащия ток ( $0,5 + 6 \text{ A/mm}^2$ );
- $d$  - диаметърът на използвания проводник ( $0,05 \div 6 \text{ mm}$ );
- $I$  - токът, протичащ през намотката ( $1 \text{ mA} \div 100 \text{ A}$ );
- $B_m$  - магнитната индукция през сечението на ядрото ( $0,1 \div 2 \text{ T}$ );
- $U$  - напрежението, приложено върху намотката ( $1 \div 1000 \text{ V}$ ).

Ред на изчисление:

**а.** Изчислява се общата мощност на всички вторични намотки

$$P_{TP} = \sum_{i=1}^n I_i U_i = I_1 U_1 + I_2 U_2 + \dots I_n U_n$$

**б.** Определя се сечението на стоманеното ядро от функционалната скала

$$S_{CT} = f(P_{TP}).$$

**в.** Определя се  $w_0$ . За целта се използва лявата част на номограмата (фиг. 4.6). Върху скалите  $B$  и  $P$  се нанасят дадените стойности. През получените точки се прекарва права, която пресича скала  $w_0$ , откъдето се отчита стойността.

**г.** Определя се  $w$  за всяка намотка. На скалата се нанася съответстващото на определената намотка напрежение. Съединява се получената точка с точката върху скалата чрез нова права. Тя пресича скала  $w$  и в пресечната точка се отчита стойността.

**д.** Диаметърът на проводника за всяка намотка се определя, като се използва номограмата. На скала  $I$  се нанася стойността на тока, протичащ през съответната намотка. На скалата  $\Delta$  се нанася избраната допустима плътност на тока. През така получените точки се прекарва права, която определя върху скалата  $d$  търсената стойност.

**е.** От табл. 4.3 се избира стандартен размер на трансформаторна ламела и се отчита сечението на прозореца на сърцевината  $S_0$ .

**ж.** Изчислява се запълването на трансформатора, като проводникът се разглежда като квадратче със страна, равна на диаметъра. Отчита се и дебелината на изолацията между отделните намотки и дебелината на макарата.

Сумата от площите на сеченията на отделните намотки  $S_M$  трябва да отговаря на условието

$$S_M \leq 0,8S_0$$

При превишаване на това съотношение трябва да се избере ядро с по-голямо сечение и да се проведат повторно изброените дотук пресмятания.

**Пример.** Даден е трансформатор със следните данни:  $S'_c = bc = 2,0 \cdot 2,5 = 5,0 \text{ cm}^2$ ,  $S'_0 = ah = 1,0 \cdot 3,0 = 3 \text{ cm}^2$ . Да се провери изчислението на трансформатора при следните изисквания:  $U_1 = 220 \text{ V}$ ,  $U_2 = 24 \text{ V}$ ,  $I_2 = 60 \text{ mA}$ .

Изчисление:

$$P_{Tp} = P_2 = U_2 I_2 = 24 \cdot 0,06 = 1,44 \text{ VA}, \quad P_1 = \frac{P_{Tp}}{\eta_{Tp}} = \frac{1,44}{0,9} = 1,6 \text{ VA}$$

Наличното ядро може да осигури мощност

$$P_{Tp} = \frac{S'_c S'_0 B_m \Delta}{\alpha \cdot 2,5} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 1,2 \cdot 5}{2,2 \cdot 2,5} \approx 6,82 \text{ VA} \quad P_1 = \frac{6,82}{0,9} = 7,6 \text{ VA}$$

Очевидно трансформаторът няма да се използва напълно по мощност за целите на опита, който искаме да проведем. С оглед използване на трансформатора и за други цели ще се ограничим върху изчисляване на първичната намотка съобразно мощността, която може да се получи от трансформатора.

$$w_0 = \frac{45}{B_m S_c}; \quad S'_c = (1,05 \div 1,1) S_c S'_c = 5,0 \text{ cm}^2$$

$$S_c = (0,9 \div 0,95) \cdot S'_c = (0,9 \div 0,95) \cdot 5,0 = (4,5 \div 4,75) \text{ cm}^2$$

$$w_0 = \frac{45}{1,4,7} = 9,5 \text{ нав/V}; \quad w_1 = w_0 U_1 = 9,5 \cdot 220 = 2090 \text{ нав.}$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{7,6}{220} = 3,45 \cdot 10^{-2} \text{ A} = 34,5 \text{ mA}$$

При  $\Delta = 2,5 \text{ A/mm}$  от табл. 4.2 се избира  $d_1 = 0,13 \div 0,14 \text{ mm}$ .

Изчисляване на вторичната намотка:

$$w_2 = U_2 w_0 = 24 \cdot 9,5 = 228 \text{ нав.} \quad w'_2 = w_2 + \Delta w_2$$

$$\Delta w_2 = \frac{w_0}{57} (\Delta_1 + \Delta_2) l_{cp} w_2 = \frac{9,5}{57} (2,5 + 2,5) \cdot 0,078 \cdot 228 = 14 \text{ нав.}$$

$$w'_2 = 228 + 14 = 242 \text{ нав}, \quad I_2 = 0,06 \text{ A}, \quad d_2 = 0,16 \div 0,18 \text{ mm}, \quad \Delta_2 = 2,5 \text{ A/mm}^2$$

Пресмятането може да се извърши и по начина, посочен в номограмата.

Първичната намотка заема сечение, което може да бъде изчислено, като след пресмятането се прави проверка за изпълнение на условието  $S_M \leq 0,8S_0$

На фиг. 4.7 е показано разположението на намотките върху тялото на бобината:

$\delta_p$  е дебелината на изолацията между редовете, зависи от дебелината на проводника, от които е навита съответната намотка:

$$\delta_p = 0,01 + 0,03 \text{ mm при } d \leq 0,3 \text{ mm},$$

$$\delta_p = 0,05 \text{ mm при } 0,3 \leq d \leq 0,6 \text{ mm},$$

$$\delta_p = 0,07 \text{ mm при } 0,6 \leq d \leq 0,9 \text{ mm},$$

$$\delta_p = 0,12 \text{ mm при } d \geq 0,9 \text{ mm};$$

$h_n$  - дължината на намотката.

Таблица 4.2

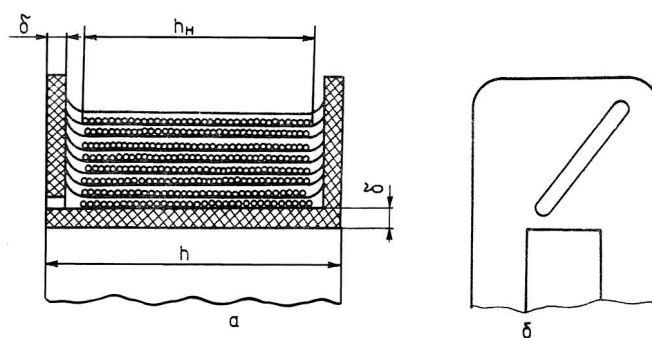
| Диаметър,<br>mm | Напречно<br>сечение, mm <sup>2</sup> | Съпротив-<br>ление, Ω/m | Допустим ток, А, при плътност: |                    |                      |                    |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
|                 |                                      |                         | 1.5A/mm <sup>2</sup>           | 2A/mm <sup>2</sup> | 2.5A/mm <sup>2</sup> | 3A/mm <sup>2</sup> |
| 1               | 2                                    | 3                       | 4                              | 5                  | 6                    | 7                  |
| 0,08            | 0,00503                              | 3,48                    | 0,0076                         | 0,010              | 0,0126               | 0,0151             |
| 0,09            | 0,00636                              | 2,75                    | 0,096                          | 0,012              | 0,0159               | 0,0191             |
| 0,10            | 0,00785                              | 2,23                    | 0,0118                         | 0,015              | 0,0196               | 0,0235             |
| 0,11            | 0,00950                              | 1,84                    | 0,0143                         | 0,019              | 0,0238               | 0,0285             |
| 0,12            | 0,01130                              | 1,55                    | 0,0169                         | 0,022              | 0,0283               | 0,0339             |
| 0,13            | 0,01330                              | 1,32                    | 0,0199                         | 0,026              | 0,0333               | 0,0399             |
| 0,14            | 0,01540                              | 1,14                    | 0,0231                         | 0,030              | 0,0385               | 0,0462             |
| 0,15            | 0,01770                              | 0,988                   | 0,0265                         | 0,035              | 0,0442               | 0,0530             |
| 0,16            | 0,02010                              | 0,870                   | 0,0302                         | 0,040              | 0,0503               | 0,0603             |
| 0,17            | 0,0227                               | 0,770                   | 0,0340                         | 0,045              | 0,0568               | 0,0681             |
| 0,18            | 0,0255                               | 0,686                   | 0,0383                         | 0,051              | 0,0638               | 0,0765             |
| 0,19            | 0,0284                               | 0,616                   | 0,0426                         | 0,056              | 0,0710               | 0,0852             |
| 0,20            | 0,0314                               | 0,557                   | 0,0471                         | 0,063              | 0,0785               | 0,0942             |
| 0,21            | 0,0346                               | 0,506                   | 0,0520                         | 0,069              | 0,0870               | 0,1040             |
| 0,22            | 0,0380                               | 0,460                   | 0,0570                         | 0,076              | 0,0950               | 0,1140             |
| 0,23            | 0,0416                               | 0,422                   | 0,0630                         | 0,083              | 0,1041               | 0,1250             |
| 0,24            | 0,0452                               | 0,387                   | 0,0680                         | 0,090              | 0,1132               | 0,1360             |
| 0,25            | 0,0491                               | 0,356                   | 0,0740                         | 0,098              | 0,1241               | 0,1470             |
| 0,26            | 0,0531                               | 0,329                   | 0,0790                         | 0,106              | 0,1325               | 0,1590             |
| 0,27            | 0,0573                               | 0,306                   | 0,0860                         | 0,115              | 0,1435               | 0,1720             |
| 0,28            | 0,0616                               | 0,284                   | 0,0930                         | 0,123              | 0,1540               | 0,1850             |
| 0,29            | 0,0661                               | 0,265                   | 0,0990                         | 0,132              | 0,1650               | 0,1980             |
| 0,30            | 0,0707                               | 0,248                   | 0,1060                         | 0,141              | 0,1760               | 0,2120             |
| 0,31            | 0,0755                               | 0,232                   | 0,1140                         | 0,151              | 0,1890               | 0,2270             |
| 0,32            | 0,0804                               | 0,218                   | 0,1200                         | 0,1610             | 0,2010               | 0,2410             |
| 0,33            | 0,0850                               | 0,205                   | 0,1290                         | 0,1710             | 0,2140               | 0,2570             |
| 0,34            | 0,0908                               | 0,193                   | 0,1370                         | 0,1820             | 0,2375               | 0,2730             |
| 0,35            | 0,0962                               | 0,182                   | 0,1450                         | 0,1920             | 0,2405               | 0,2890             |
| 0,36            | 0,1020                               | 0,172                   | 0,1530                         | 0,2040             | 0,2550               | 0,3060             |
| 0,37            | 0,1080                               | 0,162                   | 0,1620                         | 0,2160             | 0,2700               | 0,3240             |
| 0,38            | 0,1130                               | 0,155                   | 0,1690                         | 0,2260             | 0,2830               | 0,3390             |
| 0,39            | 0,119                                | 0,147                   | 0,1770                         | 0,2380             | 0,2960               | 0,3540             |
| 0,40            | 0,126                                | 0,139                   | 0,1890                         | 0,2520             | 0,3150               | 0,3780             |
| 0,41            | 0,132                                | 0,133                   | 0,1980                         | 0,2640             | 0,3300               | 0,3960             |
| 0,42            | 0,139                                | 0,126                   | 0,2090                         | 0,2780             | 0,3480               | 0,4170             |
| 0,43            | 0,145                                | 0,121                   | 0,2180                         | 0,2900             | 0,3680               | 0,4350             |
| 0,44            | 0,152                                | 0,115                   | 0,2280                         | 0,3040             | 0,3800               | 0,4560             |
| 0,45            | 0,159                                | 0,110                   | 0,2390                         | 0,3180             | 0,3980               | 0,4770             |
| 0,46            | 0,166                                | 0,105                   | 0,2490                         | 0,3320             | 0,4150               | 0,4980             |
| 0,47            | 0,173                                | 0,101                   | 0,2590                         | 0,3460             | 0,4330               | 0,5190             |
| 0,48            | 0,181                                | 0,0966                  | 0,2730                         | 0,3620             | 0,4530               | 0,5430             |
| 0,49            | 0,189                                | 0,0926                  | 0,2840                         | 0,3780             | 0,4780               | 0,5670             |
| 0,50            | 0,196                                | 0,0892                  | 0,2940                         | 0,3920             | 0,4900               | 0,5880             |
| 0,51            | 0,204                                | 0,0858                  | 0,3060                         | 0,4080             | 0,5100               | 0,6120             |
| 0,52            | 0,212                                | 0,0825                  | 0,3180                         | 0,4240             | 0,5320               | 0,6360             |
| 0,53            | 0,221                                | 0,0793                  | 0,3320                         | 0,4420             | 0,5530               | 0,6630             |
| 0,54            | 0,229                                | 0,0754                  | 0,3440                         | 0,4580             | 0,5730               | 0,6870             |
| 0,55            | 0,238                                | 0,0735                  | 0,3570                         | 0,4760             | 0,5950               | 0,7140             |
| 0,56            | 0,246                                | 0,0711                  | 0,3690                         | 0,4920             | 0,6150               | 0,7380             |
| 0,57            | 0,255                                | 0,0687                  | 0,3880                         | 0,5100             | 0,6430               | 0,7750             |
| 0,58            | 0,264                                | 0,0663                  | 0,3960                         | 0,5280             | 0,6600               | 0,7920             |
| 0,59            | 0,273                                | 0,0641                  | 0,4090                         | 0,5460             | 0,6830               | 0,8190             |
| 0,60            | 0,283                                | 0,0618                  | 0,4250                         | 0,5660             | 0,7080               | 0,8490             |

Таблица 4.2 (продължение)

| 1    | 2     | 3       | 4      | 5      | 6      | 7      |
|------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 0,66 | 0,342 | 0,0512  | 0,5150 | 0,6840 | 0,8570 | 1,0300 |
| 0,70 | 0,385 | 0,0455  | 0,5800 | 0,7700 | 0,9650 | 1,1600 |
| 0,76 | 0,454 | 0,0385  | 0,6800 | 0,9080 | 1,1340 | 1,3600 |
| 0,80 | 0,503 | 0,0348  | 0,7550 | 1,0100 | 1,2600 | 1,5100 |
| 0,86 | 0,581 | 0,0301  | 0,8700 | 1,1600 | 1,4500 | 1,7400 |
| 0,90 | 0,636 | 0,0275  | 0,9550 | 1,2700 | 1,5900 | 1,9100 |
| 0,96 | 0,724 | 0,0242  | 1,0850 | 1,4500 | 1,8100 | 2,1700 |
| 1,00 | 0,785 | 0,0223  | 1,1700 | 1,5700 | 1,9600 | 2,3500 |
| 1,10 | 0,96  | 0,0184  | 1,4300 | 1,9000 | 2,3800 | 2,8500 |
| 1,20 | 1,13  | 0,0155  | 1,6900 | 2,2600 | 2,8800 | 3,3900 |
| 1,30 | 1,33  | 0,0134  | 1,9900 | 2,6600 | 3,3300 | 3,9900 |
| 1,40 | 1,54  | 0,0114  | 2,3100 | 3,0800 | 3,8500 | 4,6200 |
| 1,50 | 1,77  | 0,00989 | 2,6600 | 3,5400 | 4,4300 | 5,3100 |
| 1,60 | 2,01  | 0,0087  | 3,0200 | 4,0200 | 5,0300 | 6,0300 |
| 1,70 | 2,27  | 0,0077  | 3,4100 | 4,5400 | 5,6800 | 6,8100 |
| 1,75 | 2,41  | 0,00726 | 3,6200 | 4,8200 | 6,0300 | 7,2300 |
| 1,80 | 2,54  | 0,00689 | 3,8100 | 5,0800 | 6,3500 | 7,6200 |
| 1,90 | 2,84  | 0,00616 | 4,2600 | 5,6800 | 7,1000 | 8,5200 |
| 2,00 | 3,14  | 0,00557 | 4,7100 | 6,2800 | 7,8500 | 9,4200 |

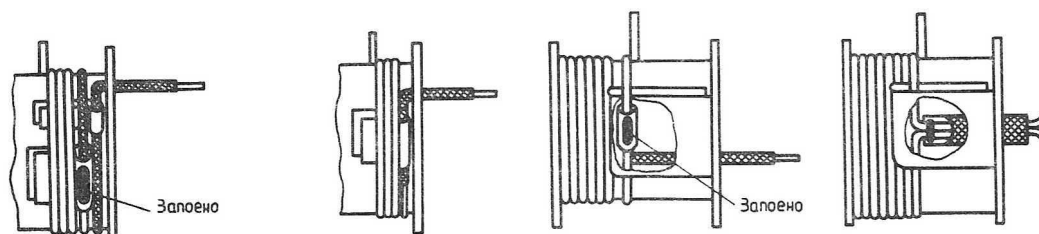
Таблица 4.3

| Тип  | Размери, mm |                |     |     |    |                |                |    |   | Прозорец см <sup>2</sup> |
|------|-------------|----------------|-----|-----|----|----------------|----------------|----|---|--------------------------|
|      | c           | l <sub>1</sub> | b   | B   | h  | h <sub>1</sub> | h <sub>2</sub> | a  | d |                          |
| Ш12  | 12          | 24             | -   | 36  | 18 | -              | 24             | -  | - | 1,08                     |
| ШМ12 | -           | -              | -   | 36  | -  | -              | -              | 6  | - | -                        |
| Ш16  | 16          | 32             | -   | 48  | 24 | -              | 32             | -  | - | 1,92                     |
| ШМ16 | -           | -              | -   | 48  | -  | -              | -              | 8  | - | -                        |
| Ш20  | 20          | 40             | 50  | 60  | 30 | 30             | 40             | -  | 4 | 3                        |
| ШМ20 | -           | -              | 50  | 60  | -  | -              | -              | 10 | 4 | -                        |
| Ш24  | 24          | 48             | 60  | 72  | 36 | 42             | 48             | -  | 4 | 4,32                     |
| ШМ24 | -           | -              | 60  | 72  | -  | -              | -              | 12 | 4 | -                        |
| Ш28  | 28          | 56             | 70  | 84  | 42 | 49             | 56             | -  | 5 | 5,88                     |
| ШМ28 | -           | -              | 70  | 84  | -  | -              | -              | 14 | 5 | -                        |
| Ш32  | 32          | 64             | 80  | 96  | 48 | 56             | 64             | -  | 5 | 7,68                     |
| ШМ32 | -           | -              | 80  | 96  | -  | -              | -              | 16 | 5 | -                        |
| Ш36  | 36          | 72             | 90  | 108 | 54 | 63             | 72             | -  | 6 | 9,72                     |
| ШМ36 | -           | -              | 90  | 108 | -  | -              | -              | 18 | 6 | -                        |
| Ш40  | 40          | 80             | 100 | 120 | 60 | 70             | 80             | -  | 6 | 12                       |
| ШМ40 | -           | -              | 100 | 120 | -  | -              | -              | 20 | 6 | -                        |
| Ш44  | 44          | 88             | 110 | 132 | 66 | 77             | 88             | -  | 6 | 14,52                    |
| ШМ44 | -           | -              | 110 | 132 | -  | -              | -              | 22 | 6 | -                        |
| Ш50  | 50          | 100            | 125 | 150 | 75 | 87,5           | 100            | -  | 7 | 18,75                    |
| ШМ50 | -           | -              | 125 | 150 | -  | -              | -              | 25 | 7 | -                        |



Фиг. 4.7

**Указания за практическо изработване на трансформатора.** На фиг. 4.8 са показани три начина за изработване на изводите. Макаратата се монтира върху дървено трупче, като точно в центъра на трупчето се пробива отвор с диаметър  $5 \div 8 \text{ mm}$ . В така пробития отвор се вкарва метална ос с резба по цялата дължина или само в двата края. Единият край на оста се закрепва в патронника на ръчна бормашина, а другият се свързва с оста на механичен брояч. Трупчето се затяга към оста с четири гайки по две от двете страни. Намотките трябва да се навият много грижливо, като



Фиг. 4.8

се изолират редовете и отделните намотки. Добре е намотките да се навият навивка до навивка, а не безредно.

**ВНИМАНИЕ! ИЗВОДИТЕ НА ПЪРВИЧНАТА НАМОТКА ДА СЕ СВЪРЖАТ С МРЕЖОВИЯ ШНУР ПОСРЕДСТВОМ ЛУСТЪРКЛЕМА! ДОКОС-ВАНЕТО НА ИЗВОДИТЕ И ЛУСТЪРКЛЕМАТА ПРИ ВКЛЮЧЕН В МРЕЖАТА ШНУР Е НЕДОПУСТИМО, ТЪЙ КАТО Е ОПАСНО ЗА ЖИВОТА!**

Готовият трансформатор се закрепва върху печатната платка посредством издатъците на кожата.

## 5. ТОКОИЗПРАВИТЕЛИ

### 5.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Електрозахранването на електронната апаратура освен от галванични елементи се осъществява и от електрическата мрежа. Следователно необходимо е да се преобразува променливото напрежение в постоянно. Устройствата, които служат за такова преобразуване, се наричат токоизправители.

Обратното преобразуване на постоянното напрежение в променливо се извършва от устройства, наречени инвертори.

Електронните устройства, които се използват в токоизправителите, се наричат електрически вентили. Най-широко приложение в съвременните токоизправители намират полупроводниковите диоди.

### 5.2 ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ДИОДИ

Полупроводниците са вещества, които по своето относително съпротивление заемат междинно положение между проводниците и изолаторите. Силната зависимост на съпротивлението на полупроводниците от температурата е тяхна основна особеност, която ги отличава от другите вещества.

Полупроводниковият диод представлява прибор с два извода, в който са използвани свойствата на PN прехода. В зависимост от конструкцията си полупроводниковите диоди се делят на две групи - точкови и плоскостни. Освен това диодите се групират според тяхното предназначение (изправителни, детекторни, импулсни, опорни и др.), мощността им (маломощни, средно мощни и мощни), работната им честота (нисочестотни, височестотни) и използвания полупроводник (германиеви, силициеви, селенови, медноокисни и др.).

За свойствата и особеностите на диодите се съди по тяхната волт-амперна характеристика, която представлява зависимостта на тока през диода от приложеното напрежение.

На фиг. 5.1 е показана осреднената волт-амперна характеристика на един силициев токоизправителен диод.

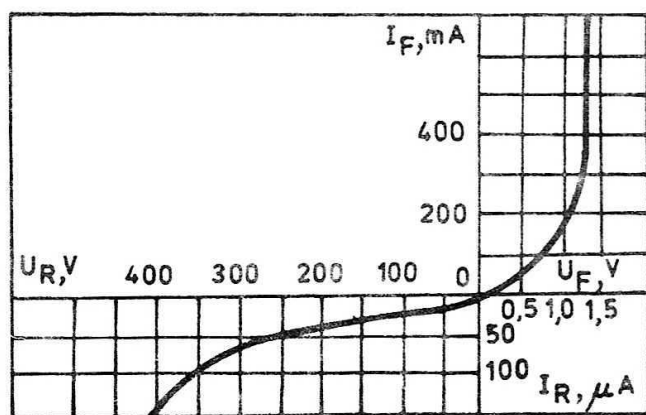
Десният участък от характеристиката съответства на право включване. При малки напрежения в права посока токът през диода нараства бавно и едва при напрежение над 1 V се увеличава рязко. Този участък от характеристиката се нарича "коляно". Неговото съществуване е свързано с преминаването на токоносителите през потенциалната бариера. При по-нататъшно увеличаване на напрежението в права посока токът през диода нараства бързо. Всеки диод може да пропусне в права посока точно определен ток.

Левият участък на характеристиката съответства на обратно включване на външния токоизточник спрямо диода. Трябва да се подчертае, че мащабите на обратното напрежение и обратния ток са други, защото обратното напрежение не е вече части от волта, а няколкостотин волта, освен това токът в обратна посока е по-малък от тока в права посока. Разликата в мащабите е много важна и трябва да се има предвид при използване на справочниците!

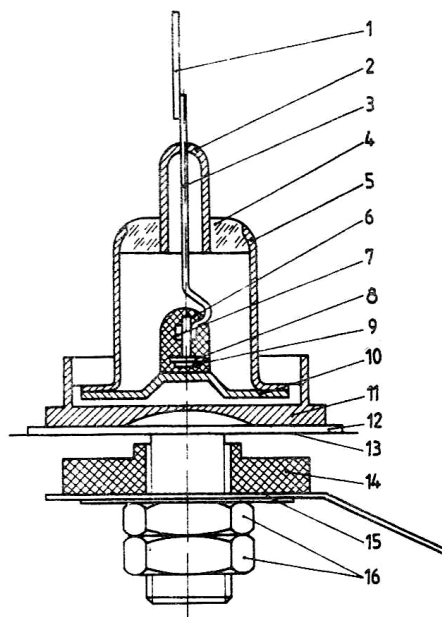
Параметрите на токоизправителните диоди са:

- а) допустимо обратно напрежение  $U_R$  - най-голямото напрежение в обратна посока (по амплитудна стойност), което не бива да се надвишава по време на работа;
- б) среден изправен ток  $I_0$  - най-голямата стойност на изправения ток, който преминава през диода продължително време, без диодът да се повреди;
- в) обратен ток  $I_R$  - обратният ток през диода, когато му действа допустимото обратно напрежение  $U_R$ ;
- г) пад на напрежението върху диода  $U_F$  - падът на напрежението между двата края на диода, когато през него протича максимален изправен ток.

На фиг. 5.2 е показан силициев диод в разрез. Както се вижда от чертежа, диодът се състои от следните детайли: 1 - извод, който се намира в горната част;



Фиг. 5.1



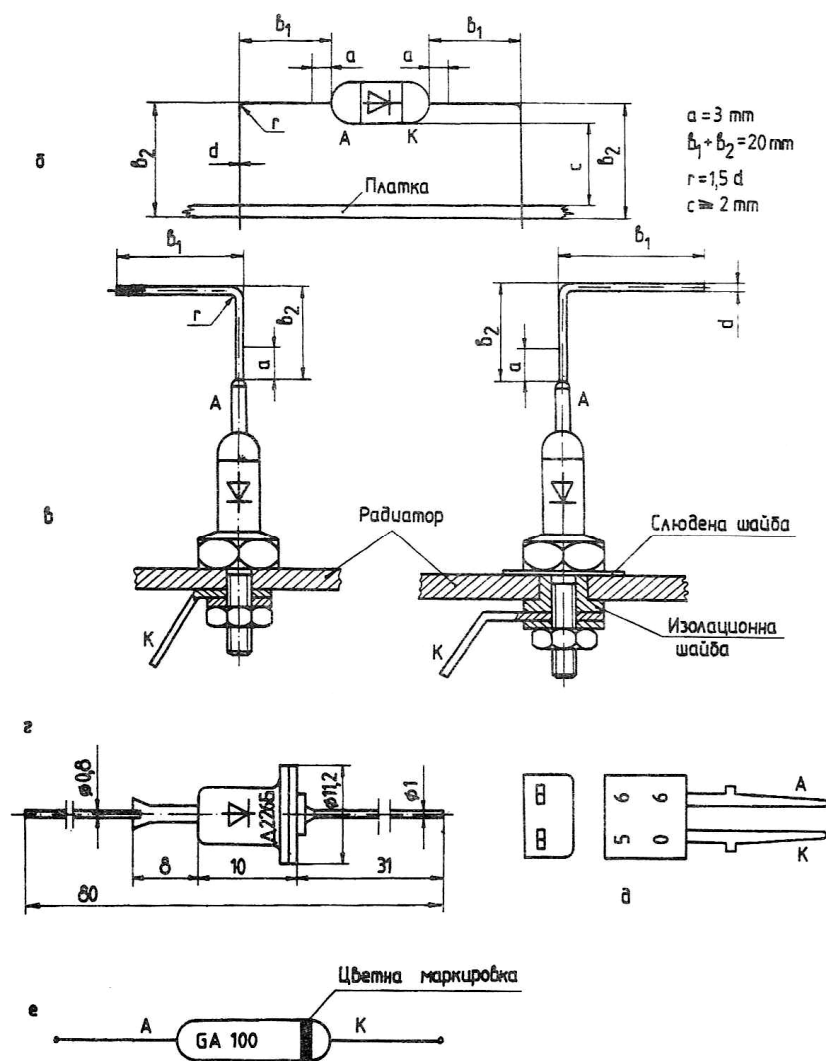
Фиг. 5.2

2 - държател на извода; 3 - удължение на извода, изолирано от корпуса посредством изолатор 4; 5 - горна чашка на корпуса; 6 - спойка между алуминиев щифт 7 и силициевия кристал 8; 9 - сплав от злато и антимоно, която споява силициевия кристал 8 с долния токоотвеждащ електрод 10; 11 - долна чашка на корпуса; 12 - меден радиатор; 13 - слюдена шайба; 14 - шайба; 15 - кабелно ухо; 16 - крепежни гайки.

При монтиране на маломощни точкови диоди изводът откъм страната на диода (посоченият размер  $a$ ) трябва да се държи здраво с метален пинцет или малки клещички, за да се осигури добро топлоотнемане. Работата се улеснява много, ако изводите се калайдисат предварително. Полупроводниковите вентили работят добре само до определена температура, която не бива да се превишава. За целта те не бива да се монтират близо до нагряващи се елементи (лампи, трансформатори, радиатори на мощни транзистори и др.).

При необходимост от изправителен диод с по-голямо обратно напрежение може да се използват няколко последователно свързани диода, като всеки диод се шунтира с един резистор със съпротивление от 50 до 100 k $\Omega$ . Това се прави с оглед да се изравнят обратните съпротивления на диодите, за да се получи през отрицателния полупериод на изправяното напрежение почти еднакво напрежение върху всеки диод.

Когато е необходимо да се получи по-голям ток, диодите могат да се свържат



Фиг. 5.3

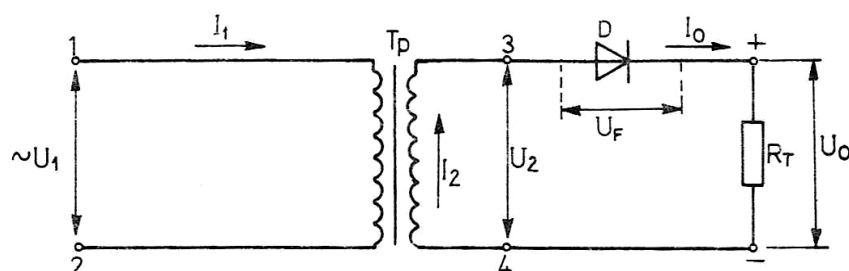
паралелно. В този случай също се налага да се поставят изравняващи резистори. Те изравняват съпротивленията на диодите в права посока, като на практика се свързват последователно на всеки диод и имат съпротивление от части от ома до 5 ома.

На фиг. 5.3 са показани различни видове диоди, като са посочени начините за монтирането им върху печатната платка или върху радиатор за охлаждане.

### 5.3. ТОКОИЗПРАВИТЕЛНИ СХЕМИ

Най-разпространените еднофазни изправителни схеми са:

- еднополупериодни (фиг. 5.4);
- двуполупериодни (фиг. 5.6);
- мостови (фиг. 5.8).



Фиг. 5.4

#### Принцип на действие и изчисляване на еднофазна еднополупериодна схема.

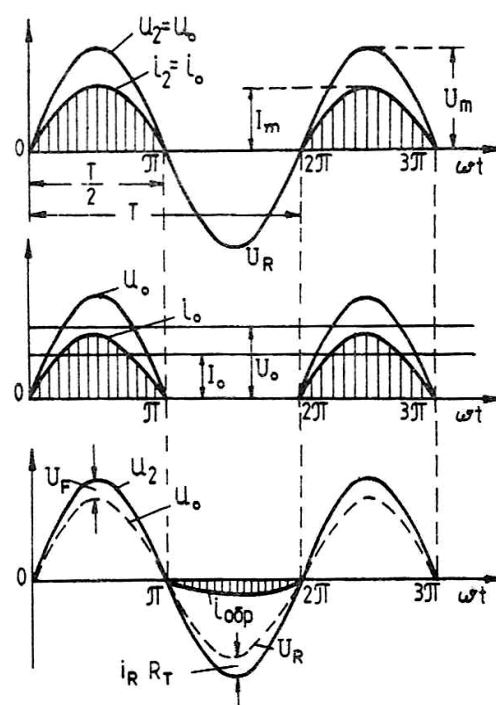
Схемата на фиг. 5.4 съдържа мрежов трансформатор  $Tr$ , токоизправителен вентил  $D$  и товарно съпротивление  $R_T$ . Първичната

намотка на трансформатора  $Tr$  е свързана към захранващата мрежа с напрежение  $U_1$ . Последователно на вторичната намотка с напрежение  $U_2$  са свързани вентилът и товарното съпротивление. Поради еднопосочната проводимост на вентила ток през товара протича само през положителния полупериод на напрежението  $U_2$ . През отрицателния полупериод вентилът оказва много голямо съпротивление и ток не протича.

Коефициентът на пулсации на изправеното напрежение е отношението на амплитудата на основната променлива  $U_{\sim}$  към стойността на изправеното напрежение  $U_0$ .

$$K_n = \frac{U_{\sim}}{U_0}$$

За този вид схеми коефициентът на пулсации е  $K_n = 1,57$ .



Фиг. 5.5

Недостатъци на еднофазната еднополупериодна схема:

- а) големи размери на трансформатора;

б) голямо обратно напрежение и голяма амплитуда (максимална стойност) на тока на вентилите;

в) голям коефициент на пулсации;

г) малък коефициент на полезно действие (к. п. д.) на токоизправителя.

Единственото предимство на схемата е нейната простота. Използува се при захранване на консуматори с много малка мощност.

Действието на схемата е пояснено на фиг. 5.5.

**Пример.** Дадени са величините  $U_0 = 9 \text{ V}$  и  $I_0 = 30 \text{ mA}$ . Да се определят изходните данни за изчисляване на трансформатора и се подбере типът на вентилите.

Изчисляват се:

а) ефективната стойност на напрежението на вторичната намотка

$$U_2 = 2,22 U_0 = 2,22 \cdot 9 = 20 \text{ V};$$

б) ефективната стойност на тока на вторичната намотка

$$I_2 = 1,57 I_0 = 1,57 \cdot 30 = 47 \text{ mA};$$

в) обратното напрежение

$$U_R = 3,14 U_0 = 3,14 \cdot 9 = 28,3 \text{ V};$$

г) средната стойност на анодния ток

$$I_{cp} = I_0 = 30 \text{ mA};$$

д) ефективната стойност на анодния ток

$$I = 1,57 I_0 = 1,57 \cdot 30 = 47 \text{ mA}.$$

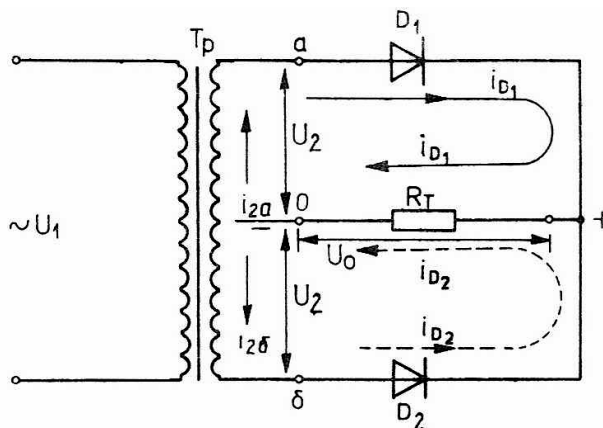
Избира се вентил от типа КД1104, който удовлетворява изискванията.

#### Принцип на действие и изчисляване на еднофазна двуполупериодна схема.

Схемата на фиг. 5.6 се състои от трансформатор  $T_p$ , чиято вторична намотка е разделена на две половини (намотки  $O - a$  и  $O - b$ ), двата вентила  $D_1$  и  $D_2$ , и товарното съпротивление  $R_T$ . Анодите на вентилите са съединени съответно към точките  $a$  и  $b$  на вторичната намотка на трансформатора, а катодите им са свързани в обща точка. Товарното съпротивление  $R_T$  е свързано между средната точка на трансформатора  $O$ , която в случая има отрицателна полярност и общата точка, в която са свързани катодите на вентилите. Дадената схема всъщност представлява съчетание на два еднофазни еднополупериодни изправителя, които имат общ товар.

Действието на схемата е следното (фиг. 5.7). През първия полупериод, когато потенциалът на точка  $a$  е положителен, а на точка  $b$  - отрицателен спрямо средната точка на трансформатора, ток протича през вентила  $D_1$  товарното съпротивление  $R_T$  и горната половина на намотката (участъка  $O - a$ ). През това време вентилът  $D_2$  не пропуска ток, тъй като неговият анод има отрицателна полярност. През следващия полупериод потенциалите на точките  $a$  и  $b$  се променят, т.е. точката  $a$  получава отрицателна полярност, а точката  $b$  - положителна. Ток протича през вентил  $D_2$ , а вентил  $D_1$  е запушен.

Фиг. 5.6



През товарното съпротивление  $R_T$  преминава ток в една и съща посока през време както на положителните, така и на отрицателните полупериоди на захранващото променливо напрежение. Токоизправителните вентили при тази схема се отпушват и запускат последователно, като всеки от тях пропуска ток само през време на един полупериод.

Коефициентът на пулсации при този вид схеми е  $K_n = 0,67$ . Много важен е фактът, че двете напрежения на вторичната намотка трябва да са напълно еднакви.

Предимствата на двуполупериодната схема са следните:

- а) поради по-доброто използване на трансформатора неговите размери и маса са значително по-малки;
- б) максималната стойност на тока през всеки вентил е два пъти по-малка;
- в) поради двойното увеличаване на честотата на изправеното напрежение се намалява коефициентът на пулсации.

**Пример.** Дадени са величините  $U_0 = 9\text{ V}$  и  $I_0 = 60\text{ mA}$ . Да се подберат вентили и се определят изходните данни за трансформатора.

Изчисляват се:

а) ефективното напрежение на вторичната намотка

$$U_2 = 1,11 U_0 = 1,11 \cdot 9 = 9,99\text{ V};$$

б) ефективната стойност на тока на вторичната намотка

$$I_2 = 0,785 I_0 = 0,785 \cdot 60 = 47,5\text{ mA};$$

в) обратното напрежение

$$U_R = 3,14 U_0 = 3,14 \cdot 9 = 28,3\text{ V};$$

г) средната стойност на анодния ток

$$I_{cp} = 0,5 I_0 = 0,5 \cdot 60 = 30\text{ mA};$$

д) ефективната стойност на анодния ток

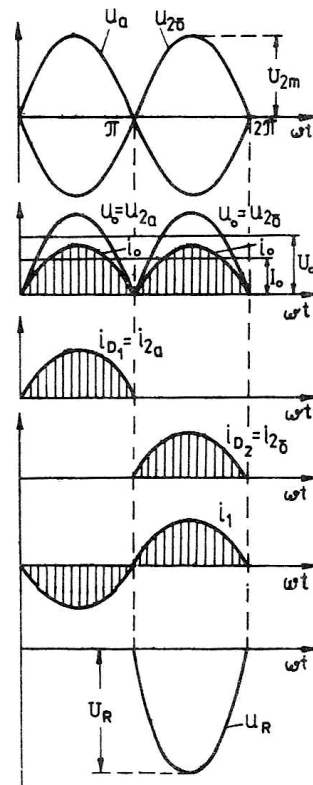
$$I = 0,785 I_0 = 0,785 \cdot 60 = 47,5\text{ mA}.$$

Избират се вентили тип КД1101 до 1104.

Необходимо е да се пресметне броят на навивките на трансформатора и да се спазят указанията за симетричността на вторичните намотки.

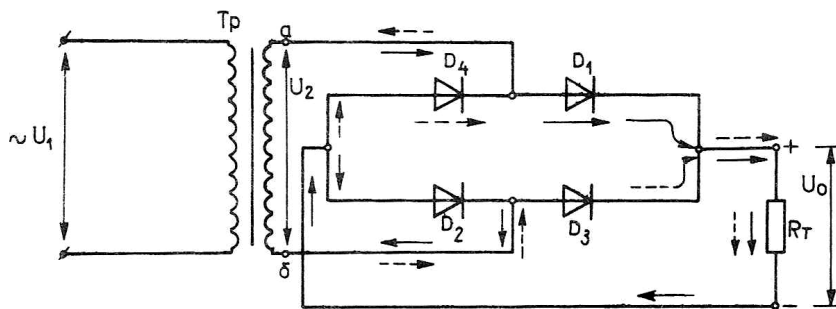
#### Принцип на действие и изчисляване на еднофазна мостова схема.

Двуполупериодно изправяне може да се осъществи с токоизправителни вентили, свързани в мостова схема. На фиг. 5.8 е показана принципната схема на такъв изправител.



Фиг. 5.7

Фиг. 5.8



Състои се от трансформатор  $Tr$ , четири вентила  $D_1, D_2, D_3, D_4$ , свързани в мостова схема, и товарно съпротивление  $R_T$ .

Захранващото напрежение на мостовата схема от трансформатора е включено в единия диагонал на моста, а в другия е свързано товарното съпротивление  $R_T$ . За разлика от предната схема мостовата схема е двутактна, тъй като ток през вторичната намотка протича както през време на положителния, така и през време на отрицателния полупериод.

Нека в първия полупериод потенциалът на точката  $a$  е положителен, а на точката  $b$  - отрицателен. Ток протича през вентила  $D_1$ , товарното съпротивление  $R_T$ , вентила  $D_2$  и вторичната намотка на трансформатора. Посоката на този ток е показана с прекъснати линии. В това време през вентилите  $D_3$  и  $D_4$  не протича ток, те са запушени и се намират под действие на обратното напрежение. През следващия полупериод потенциалите на точките  $a$  и  $b$  се променят, следователно тогава ток протича през вентилите  $D_3$  и  $D_4$ , а вентилите  $D_1$  и  $D_2$  са запушени и се намират под действие на обратното напрежение. Посоката на този ток е показана с прекъснати линии, т.е. от точка  $b$ , вентил  $D_3$ , товарното съпротивление  $R_T$ , вентил  $D_4$ , точка  $a$  и вторичната намотка на трансформатора  $Tr$ . През товарното съпротивление  $R_T$  посоката на тока и през двата полупериода е еднаква. Коефициентът на пулсации при този вид схеми е  $K_n = 0,67$ .

Времедиаграмата на мостовата схема е показана на фиг. 5.9.

Някои предимства на мостовата схема са:

- а) малка типова мощност на трансформатора;
- б) напрежението на вторичната намотка е два пъти по-малко (липсва едната половина от вторичната намотка и не е необходим среден извод на трансформатора);
- в) обратното напрежение на всеки вентил е два пъти по-малко.

**Пример.** Дадени са величините  $U_0 = 15 \text{ V}$  и  $I_0 = 60 \text{ mA}$ . Да се определят изходните данни за изчисляване на трансформатора и да се подбере типът на вентилите.

Изчисляват се:

- а) ефективната стойност на напрежението на вторичната намотка

$$U_2 = 1,11 U_0 = 1,11 \cdot 15 = 16,6 \text{ V};$$

- б) ефективната стойност на тока на вторичната намотка

$$I_2 = 1,11 I_0 = 1,11 \cdot 60 = 66,6 \text{ mA};$$

- в) обратното напрежение

$$U_R = 1,57 U_0 = 1,57 \cdot 15 = 23,5 \text{ V};$$

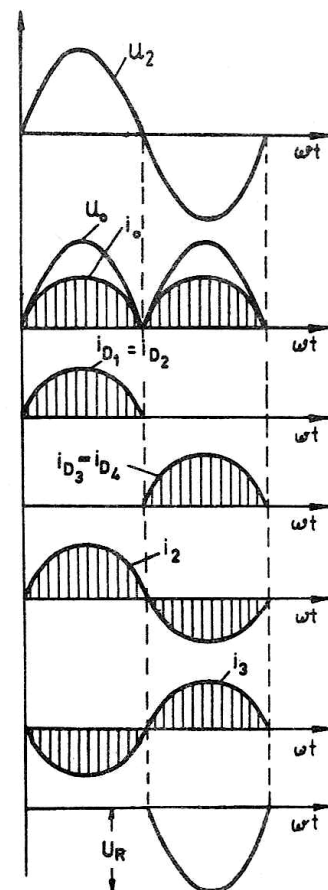
- г) средната стойност на анодния ток

$$I_{cp} = 0,5 I_0 = 0,5 \cdot 60 = 30 \text{ mA};$$

- д) ефективната стойност на анодния ток

$$I = 0,785 I_0 = 0,785 \cdot 60 = 47,5 \text{ mA}.$$

Избират се вентили от типа КД1101 до 1104.

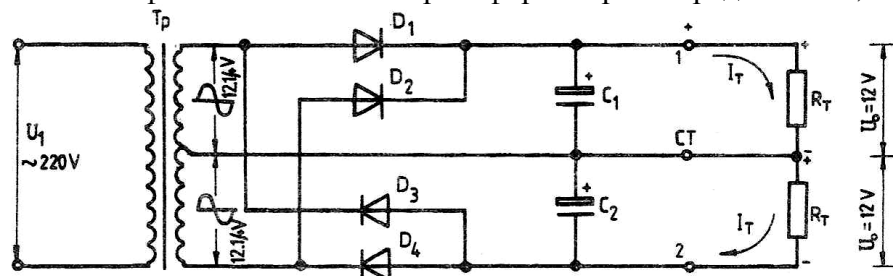


Фиг. 5.9

**Мостова схема за две напрежения.** В много случаи при захранване на електронни устройства се изисква както положително, така и отрицателно захранващо напрежение. Тези напрежения се измерват спрямо общия (замасен) извод.

За да се получи положително и отрицателно напрежение, трансформаторът трябва да има или две вторични намотки, или една вторична намотка със среден извод.

На фиг. 5.10 е показан трансформатор със средна точка, захранван от мрежа с



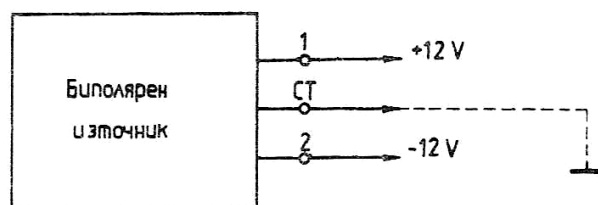
напрежение 220 V. Напрежението на вторичната намотка е 24 V. Диодите  $D_1$  и  $D_2$  осигуряват на извод 1 положително напрежение спрямо средната точка, а диодите  $D_3$  и  $D_4$  - отрицателно напрежение на извод 2 спрямо средната точка. Схемата може да се разглежда като два двуполупериодни токоизправителя, свързани последователно.

Исходните изводи на токоизправителя от фиг. 5.10 могат да бъдат комбинирани, както е показано на фиг. 5.11.

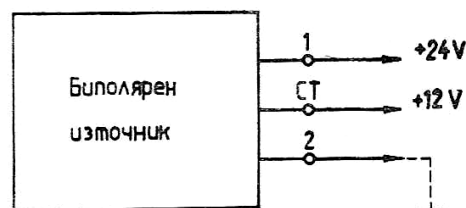
Ако средната точка се замаси, получава се биполярен източник на напрежение. Ако се замаси извод 2, получава се източник на две положителни напрежения. Ако се замаси извод 1, получава се източник на две отрицателни напрежения. Всичко дотук илюстрира увеличените възможности при използването на трансформатор със среден извод.

Биполярните източници намират приложение при захранването на измервателни и нискочестотни усилватели, интегрални операционни усилватели и други електронни устройства.

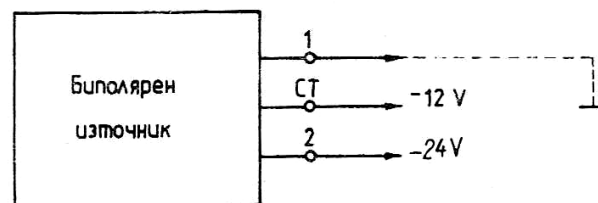
Основните формули за изчисляване на еднофазни токоизправители са дадени в табл. 5.1, където  $n = w_1/w_2$  е коефициент на трансформация.



а



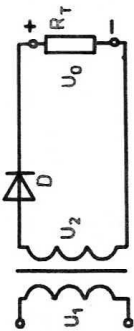
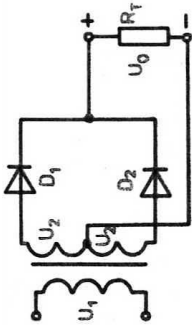
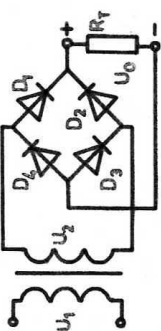
б



в

Фиг. 5.11

Таблица 5.1

| Наименование на схемата | Принципна схема   | Данни на трансформатора                    |                                     |                                     |                | Данни на вентилите            |             |             |                   | Пулсации               |                              |
|-------------------------|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------------|------------------------|------------------------------|
|                         |   | Ефективно напрежение на вторичната намотка | Ефективен ток на вторичната намотка | Ефективен ток на първичната намотка | Типова мощност | Максимално обратно напрежение | Аноден ток  |             | Брой на вентилите | Коефициент на пулсации | Честота на основния хармоник |
|                         |   | $U_2, V$                                   | $I_2, A$                            | $I_1, A$                            | $P_{Tp}, VA$   | $U_R, V$                      | $I_{cp}, A$ | $I, A$      |                   | $K_n$                  | $f, Hz$                      |
| Еднопупроводна          |    | $2,22 U_0$                                 | $1,57 I_0$                          | $1,21 \frac{I_0}{n}$                | $3,09 P_0$     | $3,14 U_0$                    | $I_0$       | $1,57 I_0$  | 1                 | 1,57                   | 50                           |
| Двупупроводна           |   | $1,11 U_0$                                 | $0,785 I_0$                         | $1,11 \frac{I_0}{n}$                | $1,48 P_0$     | $3,14 U_0$                    | $0,5 I_0$   | $0,785 I_0$ | 2                 | 0,67                   | 100                          |
| Мостова                 |  | $1,11 U_0$                                 | $1,11 I_0$                          | $1,11 \frac{I_0}{n}$                | $1,23 P_0$     | $1,57 U_0$                    | $0,5 I_0$   | $0,785 I_0$ | 4                 | 0,67                   | 100                          |

## 6. ИЗГЛАЖДАЩИ ФИЛТРИ

### 6.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

При захранване на различни електронни устройства променливата съставка на изправеното напрежение създава нежелателното явление, наречено „фон” или „брум”, което в повечето случаи смущава силно тяхната работа. Това обстоятелство налага да се използват средства за намаляване на коефициента на пулсации до допустимата му стойност.

Ефективното действие на изглаждащия филтър се определя от неговия коефициент на изглаждане  $S$ , който се изразява чрез отношението на коефициента на пулсации на изхода на токоизправителя  $K_{n1}$ , към коефициента на пулсации на изхода на филтъра  $K_{\phi 1}$ :

$$S = \frac{K_{n1}}{K_{\phi 1}}$$

### 6.2 ВИДОВЕ ИЗГЛАЖДАЩИ ФИЛТРИ

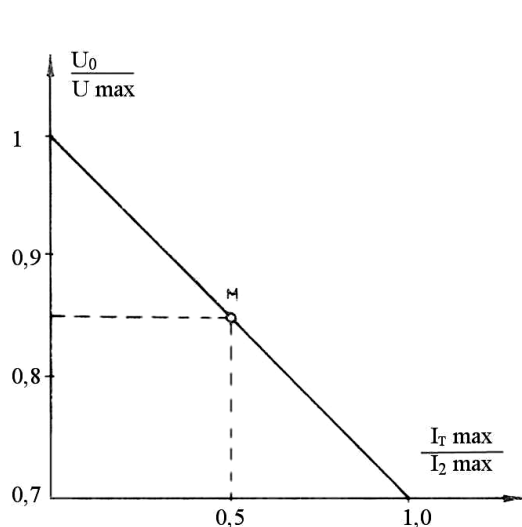
В зависимост от съставните елементи и схемните решения се различават следните основни видове изглаждащи филтри: индуктивни и капацитивни; П- и Г- образни; еднозвенни и многозвенни; резонансни и др.

Най-прост изглаждащ филтър е кондензаторът с голям капацитет, включен паралелно на изходните клеми на токоизправителя. Капацитетът на филтърния кондензатор се избира от няколкостотин до няколко хиляди микрофарада.

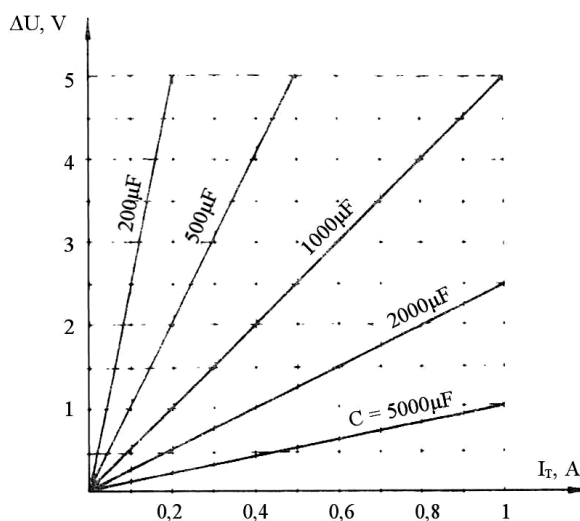
Такъв филтър е показан на фиг. 5.10, като кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  са включени паралелно на изходите на двата токоизправителя. Кондензаторите  $C_1$  и  $C_2$  филтрират съответно положителното и отрицателното напрежение.

Средната стойност и големината на пулсациите при натоварен токоизправител могат да бъдат определени приблизително от фиг. 6.1 и 6.2.

От фиг. 6.3 се вижда, че пулсиращото напрежение намалява с увеличаване на капацитета на филтърния кондензатор. Увеличаването на капацитета два пъти води до намаляване на пулсациите също два пъти. Ако няма осцилоскоп, паралелно на товара може да се включи променливотоков волтметър и да се измери приблизително



фиг. 6.1

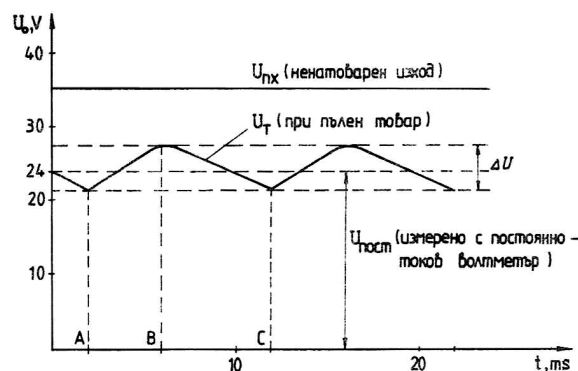


Фиг. 6.2

стойността на напрежението  $U_{\text{пульс}}$ , което е свързано с двойната амплитуда на пулсиращото напрежение  $\Delta U$  със съотношението

$$U_{\text{пульс}} \approx \frac{\Delta U}{3}.$$

На фиг. 6.3 са показани напреженията  $U_{\text{пх}}$ ,  $U_{\text{Т}}$ ,  $U_{\text{пост}}$  и  $\Delta U$  на изхода на токоизправител с филтриращ кондензатор. Постоянното напрежение на изходите на товарното



Фиг. 6.3

съпротивление  $U_{\text{пост}}$  дели интервала  $\Delta U$  на две равни части. Минималната моментна стойност на напрежението на изходите на товарното съпротивление е

$$U_{T \min} = U_{\text{пост}} - \frac{\Delta U}{2}.$$

$U_{\min}$  има най-малка стойност при максимален ток през товара, при което  $U_{\text{пост}}$  намалява, а  $\Delta U$  расте.

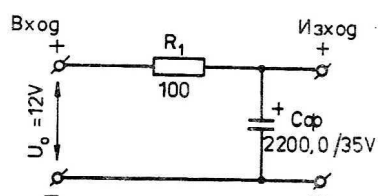
Когато освен филтърният кондензатор  $C_{\text{ф1}}$  се добави и резисторът  $R_1$  (фиг. 6.4), се получава делител на пулсиращото напрежение. Колкото по-малко е съпротивлението на кондензатора  $C_{\text{ф1}}$  в сравнение със съпротивлението на резистора  $R_1$ , толкова пулсиращото напрежение, приложено на кондензатора  $C_{\text{ф1}}$  ще бъде по-малко от пулсиращото напрежение на изхода на токоизправителя, следователно пулсиращото напрежение може да се намали с увеличаване на съпротивлението на резистора  $R_1$ . Но постояннотоковата съставка на изправеното напрежение ще създаде пад върху резистора  $R_1$  и общото изправено напрежение ще намалее.

При по-голяма амплитуда на пулсациите се използват повече Г-звена от RC групи, които образуват П-филтър (фиг. 6.5). Коефициентът на пулсации на такъв филтър се получава като произведение от коефициентите на пулсации на отделните звена.

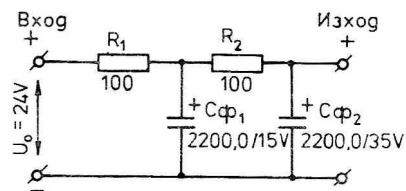
За намаляване на загубите и подобряване на филтрацията се използват LC филтри. На фиг. 6.6 е показан Г-образен LC филтър, състоящ се от индуктивността  $L_1$  и капацитета  $C_{\text{ф1}}$ . Индуктивността притежава голямо съпротивление за променливия ток и малко съпротивление за постоянния ток. Пулсиращото напрежение се преразпределя от елементите  $LC_{\text{ф1}}$ , по такъв начин, че основната част пада върху бобината, а по-малката - върху кондензатора. В същото време поради малкото активно съпротивление на бобината напрежението на изхода на филтъра малко се отличава от напрежението на изхода на токоизправителя.

Когато е необходимо да се увеличи коефициентът на изглаждане, се свързват последователно две LC звена (фиг. 6.7).

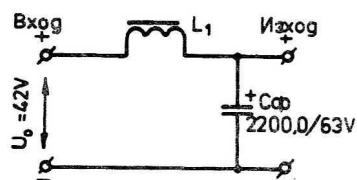
Пулсиращото напрежение на еднозвенов филтър може да се намали значително, ако паралелно на бобината  $L_1$ , се свърже кондензаторът  $C$  (фиг. 6.8), който с индуктивността  $L$  образува паралелен трептящ кръг, настроен на честотата на токоизправителя (50 Hz за еднополупериодната схема и 100 Hz за двуполупериодната).



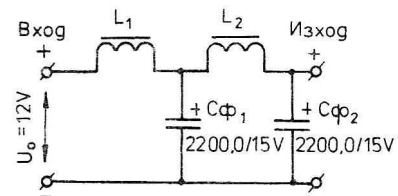
Фиг. 6.4



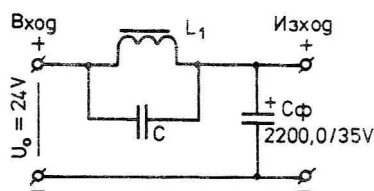
Фиг. 6.5



Фиг. 6.6



Фиг. 6.7

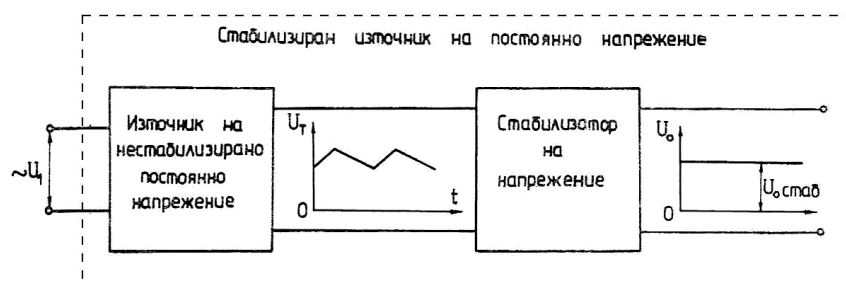


Фиг. 6.8

## 7. СТАБИЛИЗАТОРИ НА НАПРЕЖЕНИЕТО

### 7.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Нестабилизираните токозахранващи източници имат два основни недостатъка: при нарастване на тока през товара постоянната съставка на напрежението на изхода на източника намалява, а пулсиращото напрежение расте. Тези нежелани явления могат да се сведат до минимум, ако към изхода на нестабилизиран източник се включи схема за стабилизиране на напрежението, както е показано на фиг. 7.1. Получената схема се нарича стабилизирани източник на напрежение.

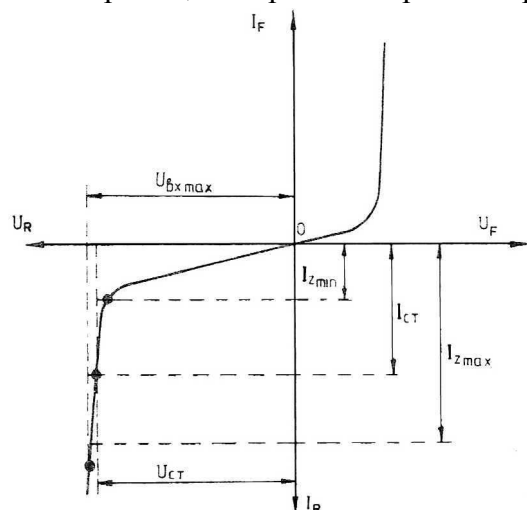


Фиг. 7.1

### 7.2. ПАРАМЕТРИЧНИ СТАБИЛИЗАТОРИ

Основни елементи на параметричните полупроводникови стабилизатори са специалните плоскостни силициеви диоди, наречени ценерови диоди или стабилитрони. При право включване (първи квадрант на фиг. 7.2) стабилитронът работи като

силициев диод. Напрежението на неговите изводи малко зависи от тока и обикновено има стойност от 0,6 до 0,7 V. Ако обаче към стабилитрона се включи напрежение с обратна полярност (трети квадрант на фиг. 7.2), с увеличаване на  $U_{\text{вх}}$  се достига до т. нар. точка на пробив. Характерно за тези диоди е, че при тази стойност на обратното напрежение  $U_R$  диодът може да се възстанови, ако не се претовари прекомерно до настъпване на термичен пробив. Напрежението, при което настъпва електрически пробив, се нарича ценовото напрежение  $U_z$ .



Фиг. 7.2

Обратният ток през диода до момента на настъпване на електрически пробив е много малък, а след това дори и при съвсем малко увеличаване на обратното напрежение нараства много бързо. Този ток се нарича ценов ток  $I_z$ , а областта, в която настъпва този ефект, се нарича ценова област.

За премахване на опасността от термичен пробив, който би предизвикал разрушаване на PN прехода, последователно на диода се включва подходящ ограничителен резистор. В този случай загубната мощност върху диода няма да е по-голяма от допустимата и той може да работи много дълго

време без опасност от повреда.

Основните параметри, характеризиращи параметричните стабилизатори на напрежение, са:

а) коефициент на стабилизация  $K = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta U_0}$  при  $\Delta I_0 = 0$  и  $\Delta T = 0$  (показва колко

пъти измененията на изходното напрежение  $\Delta U_0$  са по-малки от измененията на входното напрежение  $\Delta U_{\text{вх}}$ );

б) изходно съпротивление  $R_i = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0}$  при  $\Delta U_{\text{вх}} = 0$  и  $\Delta T = 0$

в) температурен коефициент  $TKH_z = \frac{\Delta U_0}{\Delta T}$  при  $\Delta U_{\text{вх}} = 0$  и  $\Delta I_0 = 0$  (показва

колко пъти се изменя  $U_0$  при изменение на околната температура с  $1^\circ$ ), където

$\Delta T$  е постоянната температура;

$\Delta I_0$  - токът при отворена изходна верига;

$\Delta U_{\text{вх}}$  - постоянното входно напрежение.

### 7.3. СХЕМА НА ПАРАМЕТРИЧЕН СТАБИЛИЗАТОР

От фиг. 7.3 може да се направи кратък анализ, който е полезен за изчисляване на този тип стабилизатори:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{СТ}} + U_R, \quad U_R = IR, \quad U_{\text{вх}} = U_{\text{СТ}} + IR, \text{ но}$$

$$I = I_T + I_z; \text{ тогава}$$

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{СТ}} + R(I_T + I_z) \text{ или}$$

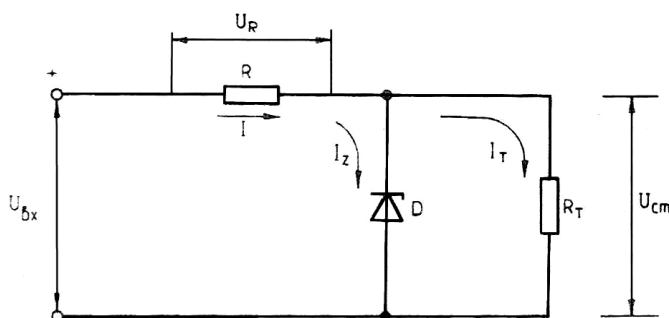
$$U_{\text{СТ}} = U_{\text{вх}} - U_R = U_{\text{вх}} - RI_T - RI_z.$$

Могат да се посочат някои приблизителни енергийни съотношения, които ще помогнат при определяне на режима на стабилизатора:

$$U_{ex} = (1,5 \div 3)U_{cm} \quad R > \frac{U_{ex\max} - U_{cm}}{I_{z\max} + I_{T\min}}$$

$$I_{z\min} = (0,05 \div 0,1)I_{z\max} \quad R < \frac{U_{ex\min} - U_{cm}}{I_{z\min} + I_{T\max}}$$

**Пример,** Дадени си величините  $U_{CT} = 10 \text{ V}$ ,  $I_{T\min} = 10 \text{ mA}$ ,  $I_{T\max} = 20 \text{ mA}$ . Да се определят величините  $R$ ,  $U_{BX}$ ,  $I_{z\max}$  и  $I_{z\min}$ .  
 $U_{BX} = (1,5 \div 3)U_{CT} = (1,5 \div 3) \cdot 10 = 24 \text{ V}$   
 $U_{BX\min} = 15 \text{ V}$ ,  $U_{BX\max} = 30 \text{ V}$



Фиг. 7.3

Избира се по каталог типът на диода, като се спазват условията

$$U_Z = U_{CT} = 10 \text{ V}, I_{z\max} = 26 \text{ mA}, I = 5 \text{ mA}, I_{z\min} = 1,2 \div 2,4 \text{ mA}$$

Определя се стойността на резистора  $R$ :

$$R < \frac{30 - 10}{26 + 10} = 555 \Omega; \quad R > \frac{15 - 10}{2 + 20} = 227 \Omega.$$

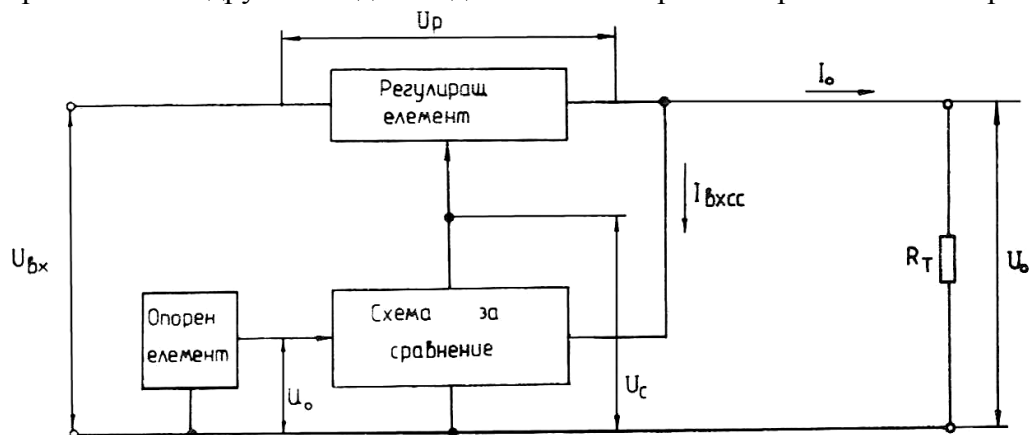
Избира се стандартна стойност за  $R$ , която се намира между двете изчислени. В дадения случай е подбрана стойност  $430 \Omega$  и диод от типа Д 810.

## 7.4. КОМПЕНСАЦИОННИ СТАБИЛИЗАТОРИ

Действието на компенсационния стабилизатор може да се поясни с помощта на блоковата схема, показана на фиг. 7.4. Основните елементи на схемата са:

- регулиращ елемент – транзистор или интегрална схема;
- схема за сравнение;
- опорен елемент.

При изменение на изправеното входно напрежение  $U_{BX}$  се изменя и изходното напрежение  $U_0$ . Измененията на  $U_0$  се подават на единия от входовете на схемата за сравнение. На другия вход се подава стабилизирано напрежение от опорния елемент



Фиг. 7.4

Двете напрежения се сравняват в схемата за сравнение, които изработва напрежение  $U_c$  за управление на проводимостта на регулиращия елемент, а оттук - и на пада на напрежението върху него  $U_p$ .

Фазата на  $U_c$  е такава, че ако  $U_{вх}$  се увеличава,  $U_p$  също се увеличава, а  $U_0$  намалява. Големината на изменението на  $U_p$  зависи от големината на  $U_c$ , а то от своя страна е пропорционално на разликата на напреженията  $U_0$  и  $u_0$ . Чрез така създадената отрицателна обратна връзка от изхода към входа на стабилизатора измененията на  $U_{вх}$  се компенсират.

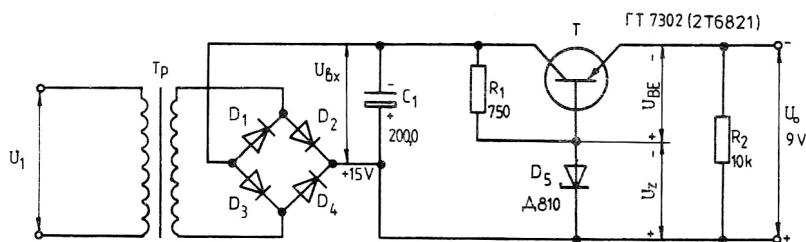
Напрежението  $U_0$  се изменя в много по-малки граници в сравнение с изменението на  $U_{вх}$ . По същия начин се компенсират и измененията на  $U_0$ , предизвикани от измененията на консумирания ток  $I_0$ . Следователно отрицателната обратна връзка не само стабилизира  $U_0$  но и намалява изходното съпротивление  $R_i$  на токоизточника.

Когато регулиращият елемент е включен последователно на товара, се получава компенсационен стабилизатор от последователен тип, а когато е паралелно на товара - от паралелен тип. Най-голямо приложение намират схемите от последователен тип.

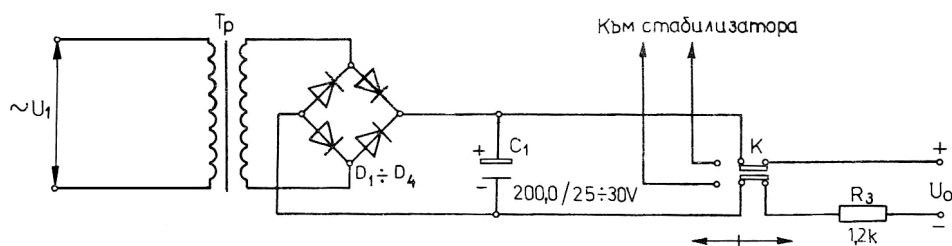
## 7.5. СХЕМИ НА КОМПЕНСАЦИОННИ СТАБИЛИЗАТОРИ

**Компенсационен стабилизатор с един-транзистор.** На фиг. 7.5 е показана една от най-простите схеми на компенсационни стабилизатори. Опорен елемент е ценовият диод  $D_5$ , а транзисторът  $T$ , включен по схема с общ колектор, е едновременно регулиращ елемент и схема за сравнение. Ако напрежението  $U_{вх}$  се увеличи, увеличава се и изходното напрежение  $U_0$ . При тази схема  $U_z = U_{BE} + U_0$  където  $U_z$  е напрежението на стабилизация на диода  $D_5$ , а  $U_{BE}$  - напрежението между базата и емитера на транзистора. Тъй като  $U_z = \text{const}$ , увеличаването на  $U_{вх}$  води до намаляване на  $U_{BE}$ , т.е. до намаляване на проводимостта на транзистора и до увеличаване на пада на напрежението върху него. Налице е отрицателна обратна връзка (ООВ), която се противопоставя на увеличаването на  $U_0$ .

Разгледаната схема може да се използва като зарядно устройство за акумулаторна батерия тип 7КВМ - 0,1. За целта е необходимо да се направи едно допълнително изменение, показано на фиг. 7

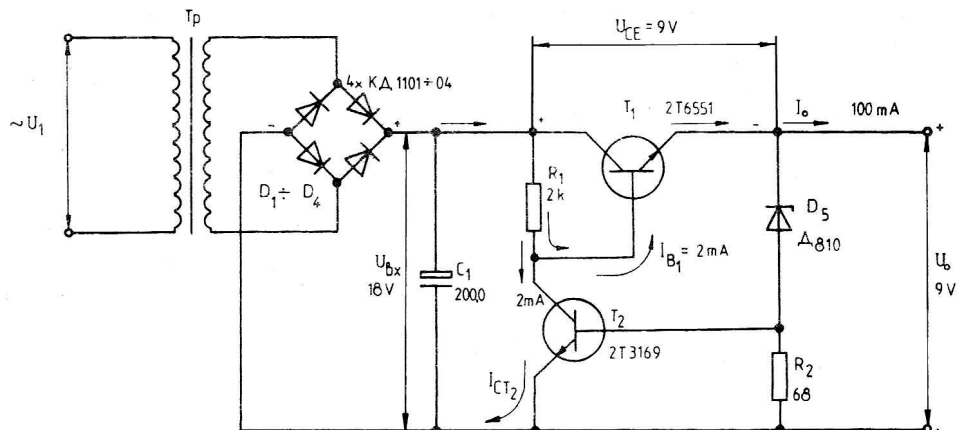


Фиг. 7.5



Фиг. 7.6

**Компенсационен стабилизатор с два транзистора.** Схемата (фиг. 7.7) е изпълнена с два транзистора  $T_1$  и  $T_2$ , като първият се използва като регулиращ елемент, а вторият като схема за сравнение. По отношение на товара  $T_1$  е включен по схема с общ колектор. Схемата за сравнение представлява постояннотоков усилвател, в който транзисторът  $T_2$  е включен по схема с общ емитер. Източник на опорното напрежение (опорният елемент) е параметричният стабилизатор с диода  $D_5$  и резистора  $R_2$

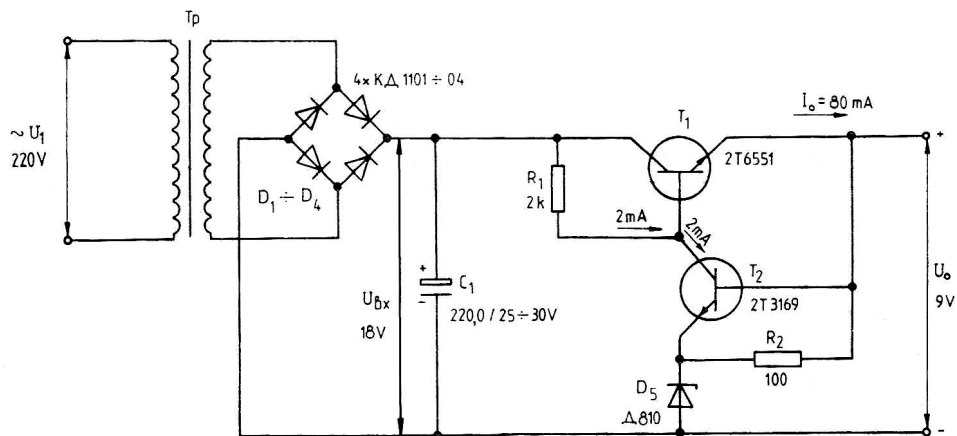


Фиг. 7.7

При увеличаване на  $U_{BX}$  с  $\Delta U_{BX}$  се увеличават  $U_0$  с  $\Delta U_0$  и  $I_0$  с  $\Delta I_0$  при  $R_T = \text{const}$ . Част от  $U_0$ , определена от коефициента на стабилизация на параметричния стабилизатор, постъпва на прехода база - емитер на  $T_2$ . Транзисторът се отпусна още повече и колекторният му ток  $I_{C2}$  се увеличава, създавайки по-голям пад върху  $R_1$ . В резултат базовият ток  $I_{B1}$  и емитерният ток  $I_{E1}$  намаляват, а напрежението върху колектора и емитера на  $T_1$  се увеличава. Така чрез увеличаването на напрежението върху регулиращия елемент се компенсира изменението  $\Delta U_{BX}$ , а  $U_0$  се изменя с  $\Delta U_0 \ll \ll \Delta U_{BX}$ .

Широкото приложение на схемите от фиг. 7.5, 7.7 и 7.8 се ограничава от факта, че за тях  $U_0 \approx U_z$ , където  $U_z$  е напрежението на стабилизация на опорния диод, т.е. големината на  $U_0$  зависи от  $U_z$ .

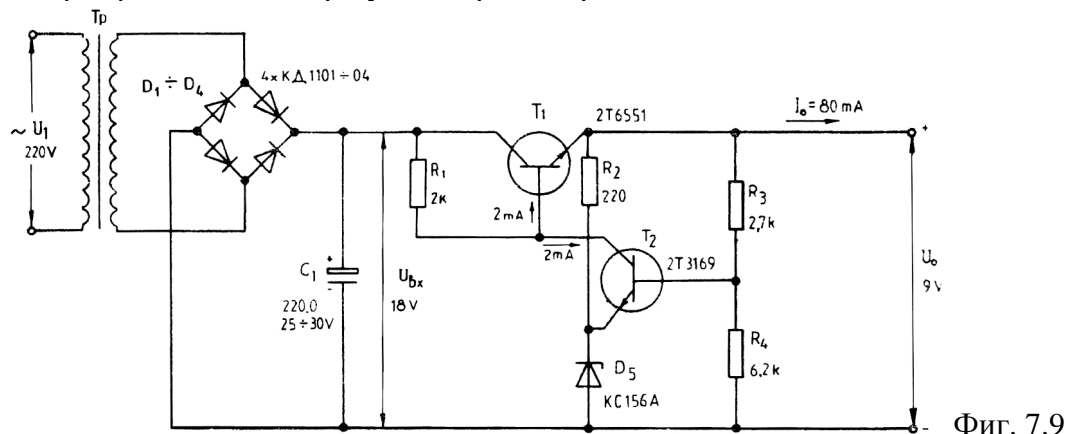
**Компенсационен стабилизатор с опорен диод в емитерната верига на транзистора в схемата за сравнение (фиг. 7.8).** Базата на  $T_2$  е свързана непосредствено с изхода на стабилизатора, а източникът на опорно напрежение с  $R_2$  и  $D_5$  е включен в емитерната верига на транзистора.



Фиг. 7.8

Предимството на тази схема е, че транзисторът  $T_2$  работи при по-ниско напрежение  $U_{CE}$  което я прави подходяща за стабилизиране на по-високо напрежение.

**Компенсационен стабилизатор с делител в схемата за сравнение.** Схемите с делител във веригата на емитера позволяват изходното напрежение да се избира в по-широк обхват. Опорният източник с  $R_2$  и  $D_5$  (фиг. 7.9) е включен в емитерната верига на транзистора  $T_2$  в схемата за сравнение, а базата се захранва от изхода на стабилизатора чрез делител, образуван от резисторите  $R_3$  и  $R_4$ .



За изходното напрежение може да се запише

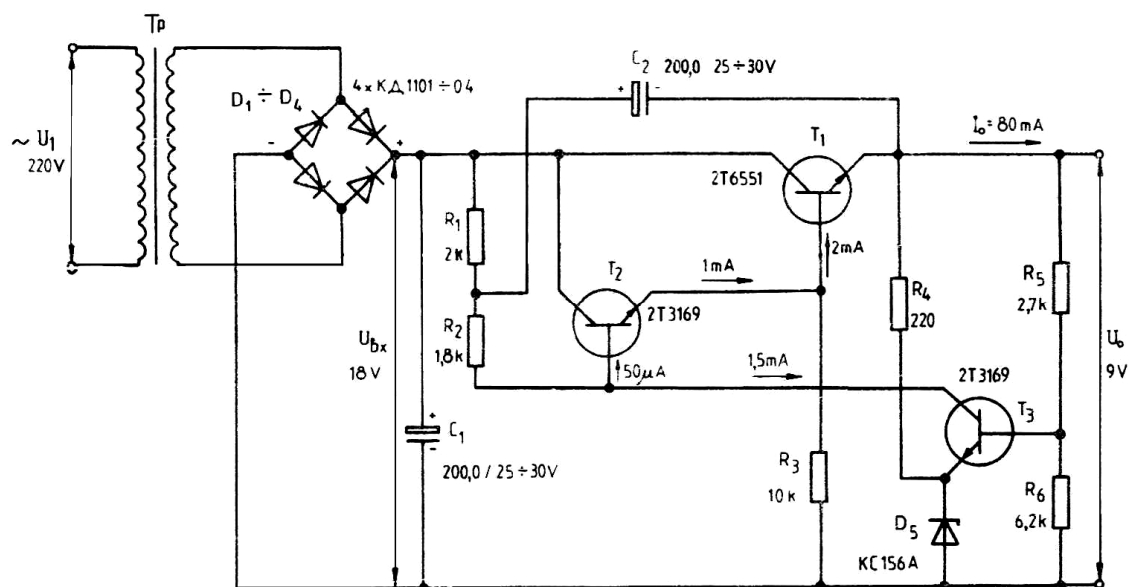
$$U_0 \approx \frac{1}{\chi} U_z$$

където  $\chi = R_4 (R_3 + R_4)$  е коефициентът на делене на делителя  $R_3 R_4$ .

Следователно може да се направи изводът, че желаното  $U_0$  се получава чрез подбор не само на  $U_z$ , но и на стойността на  $\chi$ . При реализация на схемата може да се препоръча  $\chi > 0,5$  или

$$\chi = \frac{U_z}{U_0}$$

**Компенсационен стабилизатор със съставен транзистор в регулирания елемент.** Като регулиращ елемент са използвани два транзистора  $T_1$  и  $T_2$  свързани по схема Дарлингтон (фиг. 7.10). Те образуват съставен транзистор, чийто динамичен



Фиг. 7.10

коэффициент на усилване по ток  $\beta = \beta_{T1}\beta_{T2}$  е няколко хиляди. С  $\beta_{T1}$  и  $\beta_{T2}$  са означени динамичните коефициенти на усилване на транзисторите  $T_1$  и  $T_2$ . При малка консумация се влошават параметрите на схемата. За избягване на този недостатък е включен резистор  $R_3$ . Неговата стойност е подбрана така, че минималният емитерен ток на  $T_2$  да бъде приблизително равен на 1 mA.

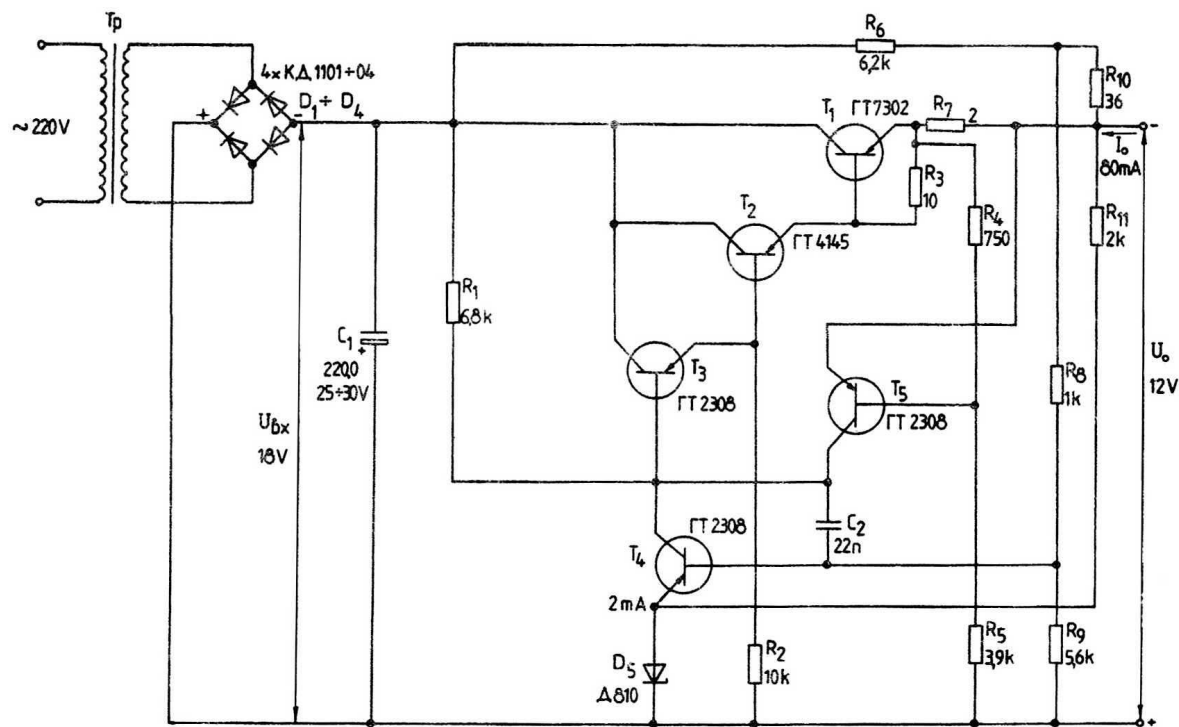
Предимството на схемата е това, че съставният транзистор в регулиращия елемент позволява да се повиши коефициентът на стабилизация  $K$  и да се намали вътрешното съпротивление на стабилизатора  $R_i$ .

Стабилизаторите имат и филтриращи свойства, като коефициентът на изглаждане на пулсациите е  $K_{\text{и}} = K$ , където  $K$  е коефициентът на стабилизация. В разглежданата схема обаче  $K_{\text{и}} > K$ , тъй като напрежението, захранващо базата на  $T_2$ , се филтрира от групата  $R_1C_2$ .

**Компенсационен стабилизатор с права връзка с делител, включен успоредно на регулиращия елемент.** Тъй като стабилността на  $U_0$  е много по-голяма от тази на  $U_{\text{вх}}$ , може да се приеме, че измененията на напрежението върху  $R_{10}$  са пропорционални на измененията на  $U_{\text{вх}}$ , т. е. налице е права връзка (фиг. 7.11).

Чрез делителя за отрицателна обратна връзка с резисторите  $R_8$  и  $R_9$  измененията на напрежението върху  $R_{10}$ , постъпват на базата на транзистора  $T_4$  от схемата за сравнение.

Стабилизаторът е защитен от претоварване по ток и от късо съединение на изхода. Схемата за защита с елементите  $T_5$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  и  $R_7$ , работи по следния начин. При  $I_0 = 0$  върху прехода база-емитер на  $T_5$  действава запушващо напрежение, което се подава от делителя  $R_4R_5$ . Транзисторът  $T_5$  е запушен и схемата за защита не влияе върху работата на стабилизатора. Транзисторът  $T_5$  остава в това състояние, докато през  $R_7$  протича ток  $I \ll I_{0\text{max}}$ . При определена стойност на  $I_0$ , по-голяма от  $I_{0\text{max}}$  върху  $R_7$  се образува пад, който компенсира напрежението от делителя и отпуща  $T_5$ . При протичане на още по-големи токове през  $R_7$  транзисторът  $T_5$  се насища, а съставният



Фиг. 7.11

регулиращ транзистор  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , се запуща. След отстраняване на претоварването или късото съединение на изхода, стабилизаторът възстановява работата си.

Този начин на защита на регулиращите транзистори налага максималните пробивни напрежения между колекторите и емитерите на  $T_1$ ,  $T_2$ , и  $T_3$ , да са по-големи от максималната стойност  $U_{\text{вх max}}$  на входното напрежение.

Предимството на тази схема за защита е малката разсейвана мощност върху регулиращите транзистори при претоварване и късо съединение на изхода. Общ недостатък на всички стабилизатори със защита е по-голямото им изходно съпротивление, което се дължи на включения във веригата на изходния ток резистор  $R_7$ . Обикновено при избиране на резистор  $R_7$  се търси компромис между увеличаването на  $I_{0\text{кc}}$  и  $R_i$  (вътрешното съпротивление). За дадената схема  $R_7$  се изработва от подходящ съпротивителен проводник (например парче реотан).

**Компенсационен стабилизатор с положителна обратна връзка по ток.** За разлика от разгледаните вече схеми, при които стабилизирането на изходното напрежение се постига чрез използване на отрицателна обратна връзка по напрежение, на фиг. 7.12 е показана схема с положителна обратна връзка по ток, реагираща на измененията на  $I_0$ .

Напрежението върху  $R_6$  е пропорционално на  $I_0$  и през  $R_5$  и  $D$  то се прилага върху прехода база-емитер на  $T_3$ . При намаляване на съпротивлението на товара  $R_T$  се увеличава  $I_0$  и намалява  $U_0$ . На намаляването на  $U_0$  противодейства отрицателната обратна връзка по напрежение. Увеличава се и падът върху  $R_6$ , който запуща още повече  $T_3$ . Намалява  $I_{\text{СТЗ}}$ , което води до още по-голямо нарастване на  $I_{B2}$  и  $I_{B1}$  а оттам и на  $I_{E1}$  компенсиращ намаляването на  $U_0$ . Следователно при изменение на  $U_0$  поради изменение на  $I_0$  положителната обратна връзка по ток действа в една и съща посока с отрицателната обратна връзка по напрежение. Затова намалява изходното съпротивление  $R_i$ . Колкото по-голямо е съпротивлението на резистора  $R_6$ , толкова по-дълбока е положителната обратна връзка по ток и толкова по-малка е стойността на  $R_i$ . Ако  $R_6$  е по-голямо от изходното съпротивление, измерено, когато няма положителна обратна връзка по ток,  $R_i$  става отрицателно, т.е. при увеличаване на  $I_0$  се увеличава и  $U_0$ . В този случай схемата е неустойчива и се самовъзбужда.

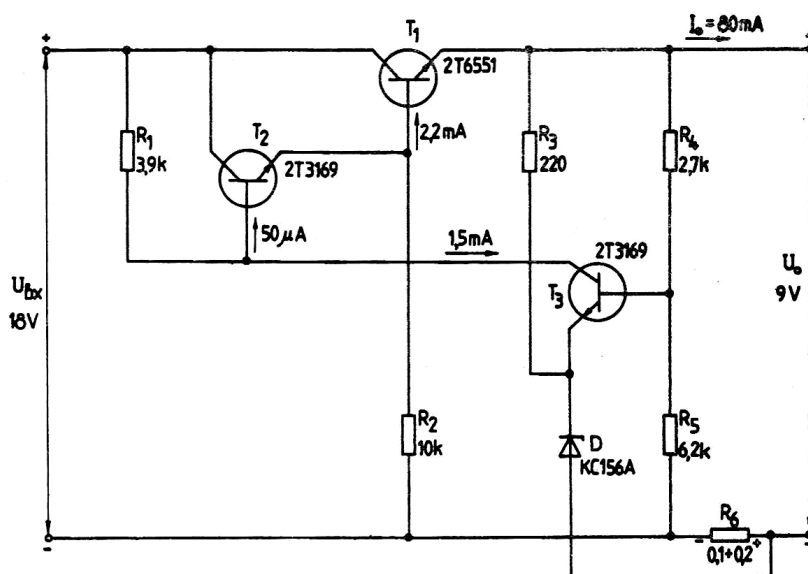
#### **Компенсационен стабилизатор за захранване на интегрални схеми.**

Захранващото напрежение на интегралните схеми трябва да бъде стабилизирано и двата източника трябва да осигуряват еднакви по големина и противоположни по знак напрежения. Тези изисквания най-добре може да се изпълнят с използването на токоизправителя, показан на фиг. 5.10. Към изхода на този токоизправител се включва стабилизатор.

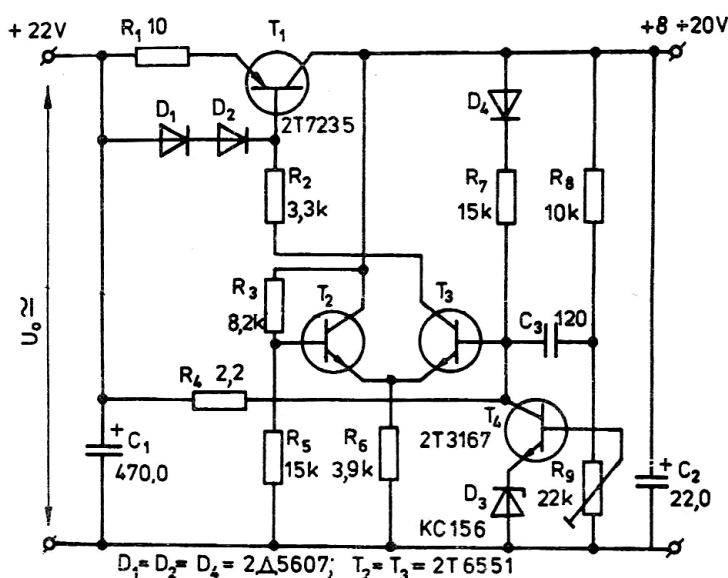
На фиг. 7.13 е показана схемата на стабилизатор за положително напрежение, което може да се регулира плавно в границите от 8 до 20V. Схемата за отрицателното напрежение е същата и затова не е показана на чертежа. Променя се само полярността на кондензаторите, диодите и транзисторите.

Изправеното напрежение се подава през резистора  $R_1$  на емитера на транзистора  $T_1$ , който работи с последователно регулиране. Електронният стабилизатор включва елементите  $R_1$ ,  $D_1$  и  $D_2$ , и ограничава тока във външната верига до 70 mA.

Транзисторите  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_4$ , са включени във веригата на обратната връзка и работят по схема с общ емитер, което осигурява малко изходно съпротивление на стабилизатора. Опорното напрежение се получава от диода  $D_3$  включен в емитерната верига на транзистора  $T_4$ . Напрежението на опорния диод се получава от изхода на стабилизатора. Схемата притежава верига за първоначално пускане, която се състои от диода  $D_4$  и резистора  $R_1$ . След свързване на захранващото напрежение в първия момент транзисторът  $T_1$  е запущен, поради което диодът  $D_4$  е запущен. Транзисторът  $T_3$  се отпушва под действие на тока, постъпващ през резистора  $R_4$ . В резултат на това се отпушва транзисторът  $T_1$  и стабилизаторът преминава в нормално работно състояние. Тогава диодът  $D_4$  се отпушва и транзисторът  $T_4$  се управлява само от тока, по-



Фиг. 7.12



Фиг. 7.13

стъпващ от изхода на стабилизатора през диода  $D_4$  и резистора  $R_7$ . Смушения от входа към изхода на стабилизатора не могат да проникнат, тъй като съпротивлението на резистора  $R_7$  е много по-малко от това на  $R_4$ .

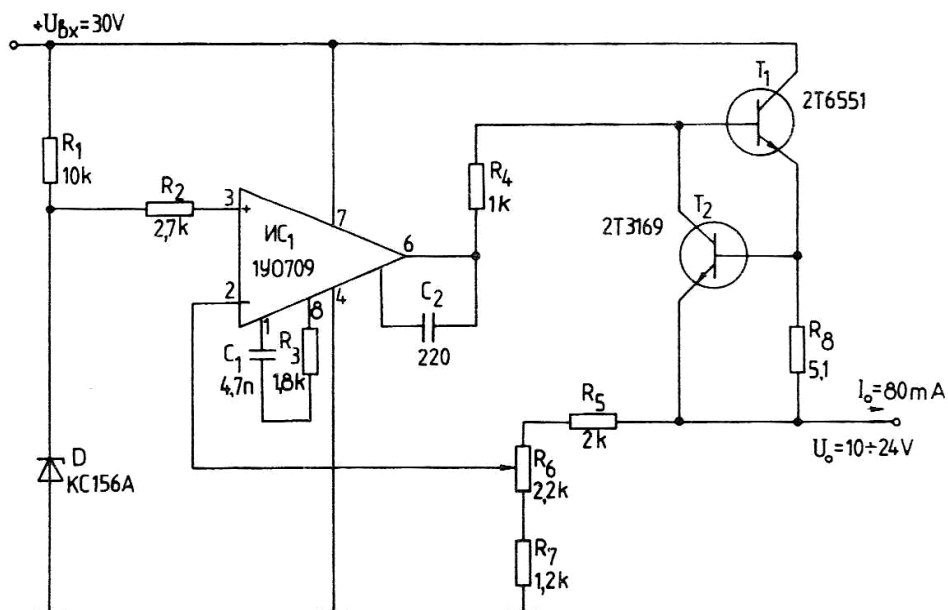
Изходното напрежение се настройва чрез изменение на съпротивлението на резистора  $R_9$ . Входното напрежение може да достигне до 30 V.

**Компенсационен стабилизатор с интегрални схеми.** Операционният усилвател е постоянен ток усилвател с диференциален вход (има два входни извода) и един изход. Неговите най-важни свойства (много голям коефициент на усилване, много висок входен импеданс, ниска цена и др.) го правят много подходящ за използване в различни случаи.

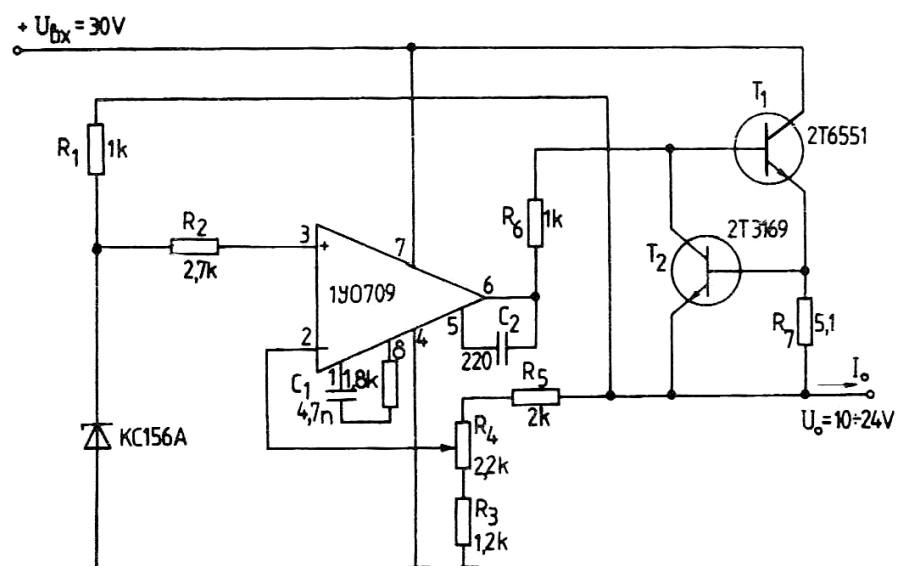
В областта на електрозахранването операционните усилватели имат голямо приложение, особено при различните стабилизатори и регулатори на напрежение и ток. Използването им в тези области става възможно чрез допълнително външно

включване на различни елементи. Напоследък се разработиха специални интегрални схеми с вградени операционни усилватели, предназначени само за стабилизатори на напрежение и ток, без да е необходимо да се включват допълнителни елементи. Когато е необходимо да се разшири тяхното действие (за по-голям ток или напрежение), се налага да се включват допълнителни елементи - мощни транзистори, кондензатори, резистори и др.

Тук не се разглеждат основното описание на операционните усилватели, характеристиките и изискванията към техните захранващи токоизточници, а са дадени някои типични принципни схеми на стабилизаторите на напрежение.



Фиг. 7.14



Фиг. 7.15

На фиг. 7.14 е показан стабилизатор токoизправител, чието изходно напрежение може да се регулира чрез потенциометъра  $R_6$  в границите от 10 до 24 V. Параметричният стабилизатор е реализиран с елементите D и  $R_1$  и захранва неинвертиращия вход на интегралния операционен усилвател 1УО709. Входът на параметричния стабилизатор е включен към нестабилизираното входно напрежение  $U_{вх}$ .

На фиг. 7.15 е показана разновидност на схемата от фиг. 7.14. Двете схеми се различават по начина на захранване на параметричния стабилизатор. Напрежението за захранване на параметричния стабилизатор от фиг. 7.15 е взето от изхода на стабилизатора.

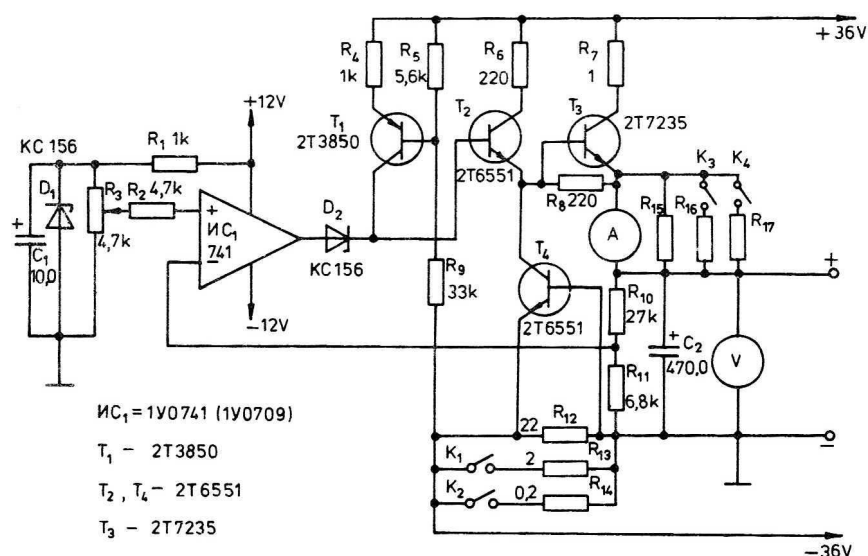
Разположението на изводите на интегралната схема 1УО709 е показано на фиг. 7.16, като е даден поглед отдолу, отгоре и отстрани за цокъл тип ТО-99.

На фиг. 7.17 е показан стабилизатор, при който е осигурена възможност за регулиране на изходното напрежение в границите от 0 до 30V при максимален ток до 3A. Стабилизаторът съдържа регулируем усилвател ( $ИC_1$ ), усилвател на мощност ( $T_1 \div T_4$ ) с електронен предпазител и източник на опорно напрежение ( $D_1$  и  $D_2$ ).

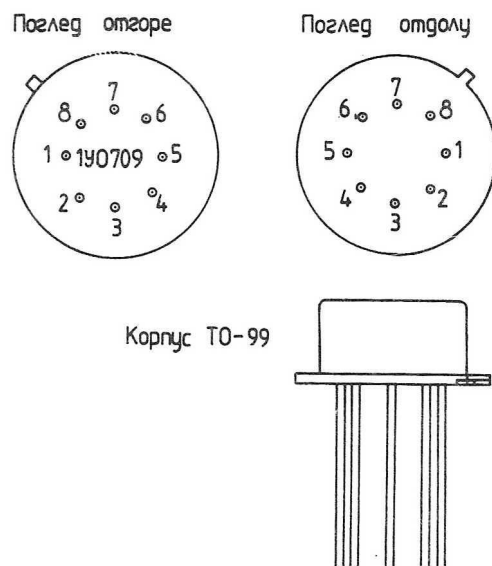
На входа на операционния усилвател се сравнява част от опорното напрежение с отклонената от делителя  $R_{10}$ ,  $R_{11}$  част от изходното напрежение, така че разликата между двете напрежения да бъде винаги 0V.

Максималният изходен ток се ограничава от електронен предпазител до 30 mA, 300 mA или 3 A. Обхватите на задействуване на предпазителя се превключват едновременно със съответните обхвати на амперметъра. Показанията на амперметъра не съответстват на тока през товара, тъй като в същата точка са свързани делителят  $R_{10}$ ,  $R_{11}$  и волтметърът. Грешката не превишава 3% при обхват 30 mA.

Когато вместо интегрален операционен усилвател тип 741 се използва тип 709, последователно на диода D, трябва да се свърже резистор със съпротивление 1 k $\Omega$ .



Фиг. 7.17



Фиг. 7.16

## 8. ЛИНЕЙНИ СТАБИЛИЗАТОРИ

### СЪС СПЕЦИАЛИЗИРАНИ ИНТЕГРАЛНИ СХЕМИ ТИП 723

#### 8.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

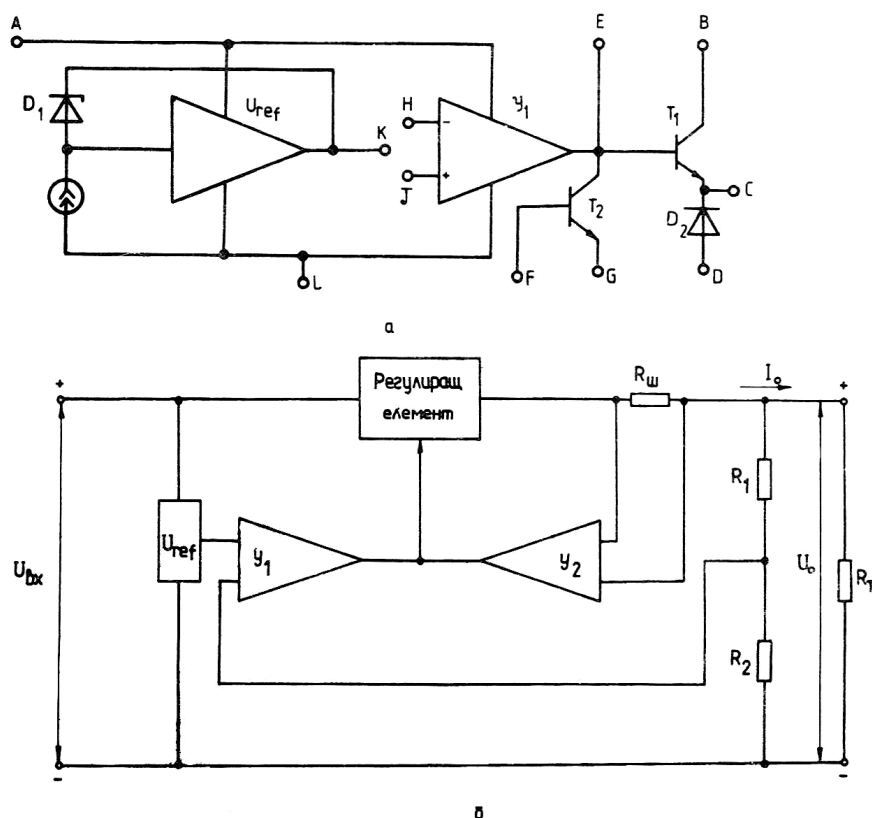
Необходимостта от стабилизатори за захранване на различни апаратури доведе до разработване на специални интегрални схеми - стабилизатори на напрежение.

Схемите от типа 723, MC1560, LM100,  $\mu$ A7800 и др. представляват миниатюризирани и унифицирани стабилизатори. Те съдържат източник на опорно напрежение, диференциален усилвател, регулиращо стъпало и защита от токово претоварване.

#### 8.2. ОПИСАНИЕ НА СТАБИЛИЗАТОРА 723

Стабилизаторът 723 е един от най-разпространените интегрални стабилизатори. Предназначен е за широка употреба, има температурно компенсирани източник на опорно напрежение, схема за защита по ток и осигурява товарен ток до 150 mA при  $T_a = 25^{\circ}\text{C}$ . Интегралният стабилизатор може да се използва в схеми на последователни и паралелни линейни стабилизатори. Обхватът на изходните стабилизирани напрежения е от 2 до 37 V.

Блоковата схема на стабилизатора 723 е показана на фиг. 8.1, а принципната му електрическа схема - на фиг. 8.2. С  $U_{\text{ref}}$  на блоковата схема е означен източникът на опорно напрежение. Той е изпълнен (фиг. 8.2) с елементите  $D_1$ ,  $D_3$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_7$ ,  $T_8$ ,  $T_{12}$  и  $T_{13}$ . Полевият транзистор  $T_{12}$  работи като диод, тъй като гейтът и сорсът му са дадени на едно място. Така през него тече постоянен ток, захранващ центровия диод  $D_1$ . Транзисторът  $T_3$  също е свързан като диод и служи за температурна компенсация на центровото

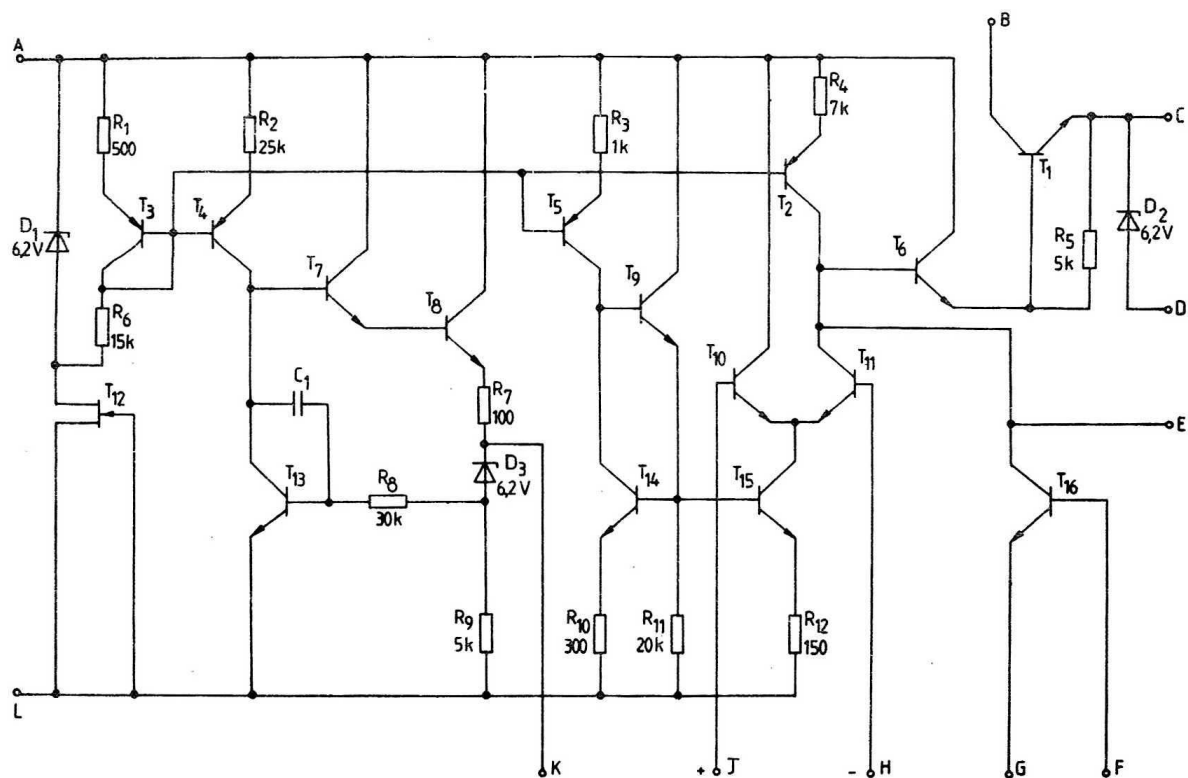


Фиг. 8.1-а,б

напрежение, снемано чрез делителя  $R_1$   $T_3$  и  $R_6$ . Част от ценовото напрежение се подава на базата на  $T_4$  работещ в режим на токов генератор (има много голямо динамично съпротивление).

За да се осигури стабилно опорно напрежение, токът през ценовия диод  $D_3$  трябва да бъде постоянен. Стабилизацията през този диод се извършва по веригата  $R_9$ ,  $R_8$ ,  $T_{13}$ ,  $T_4$ ,  $T_7$  и  $T_8$  по следния начин. Напрежението върху  $R_9$ , което е пропорционално на тока през  $D_3$  посредством  $R_8$  се подава на  $T_{13}$ . Последният работи като усилвател с голямо усиление, тъй като в колектора му е свързан източник на ток  $T_4$  с голямо съпротивление, а за товар има голямото входно съпротивление на съставния транзистор  $T_7$ ,  $T_8$ . Ако токът през  $D_3$  се намали, например поради консумация на ток при натоварване на източника на опорно напрежение, транзисторът  $T_{13}$  започва да се запушва и потенциалът на колектора му нараства. Това води до отпушване на емитерният повторител  $T_7$ ,  $T_8$  и съответно до повишаване на тока през диода  $D_3$ . Източникът на опорно напрежение ще има толкова по-малък изходен импеданс, колкото еквивалентният коефициент на усиление по ток за съставния транзистор  $T_7$ ,  $T_8$  е по-голям. Тъй като общото усиление на веригата за стабилизиране на тока през диода  $D_3$  е много голямо, За осигуряване на устойчива работа е използван кондензатор  $C_1$ . Резисторът  $R_7$  защитава източника на опорно напрежение от късо съединение или претоварване.

Усилвателят  $U_1$  от фиг. 8.1а сравнява опорното и стабилизираното напрежение и усилюва разликата им, която управлява регулиращия елемент - транзистора  $T_1$ . Последният е реализиран на фиг. 8.2 като диференциален усилвател чрез транзисторите  $T_{10}$  и  $T_{11}$ , Източник на емитерен ток е токовият генератор  $T_{15}$ , който се захранва от  $T_9$ . Напрежението върху  $R_{11}$  се стабилизира чрез обратна връзка по веригата  $T_{14}$ ,  $T_5$ ,  $T_9$ , действаща както в случая с източника на опорно напрежение. Транзисторът  $T_2$  който работи в режим на токов генератор, представлява температурно стабилизирано



Фиг. 8.2

голямо колекторно съпротивление за  $T_{11}$ , натоварена с голямото входно съпротивление на емитерния повторител  $T_6$ ,  $T_1$ .

Крайното стъпало на стабилизатора изпълнява функциите на регулиращ елемент. На фиг. 8.2 това са транзисторите  $T_1$  и  $T_6$ , свързани като съставен транзистор в режим на емитерен повторител за получаване на максимално усилване по ток при минимално фазово закъснение. Тъй като при  $T_a = 25^\circ\text{C}$  максимално допустимият ток в колектора на  $T_1$  е 150 mA и бързо спада с повишение на околната температура, мощността на стабилизатора може да се увеличи чрез външно включване на допълнителни по-мощни транзистори. За целта колекторът на  $T_1$  е изведен отделно.

Ценеровият диод дава възможност за свързване на стабилизатора в схеми за стабилизиране на отрицателни напрежения, като осигурява правилен режим на работа на регулатора.

Тъй като усилването на  $U_1$  обикновено е над 1000, в много случаи се налага да се използват елементи за честотна корекция. За целта от колектора на  $T_{11}$  е направен извод, който се свързва с маса през кондензатор с капацитет от 1 до 5 nF или с инвертиращия извод през кондензатор с капацитет от 100 до 500 pF.

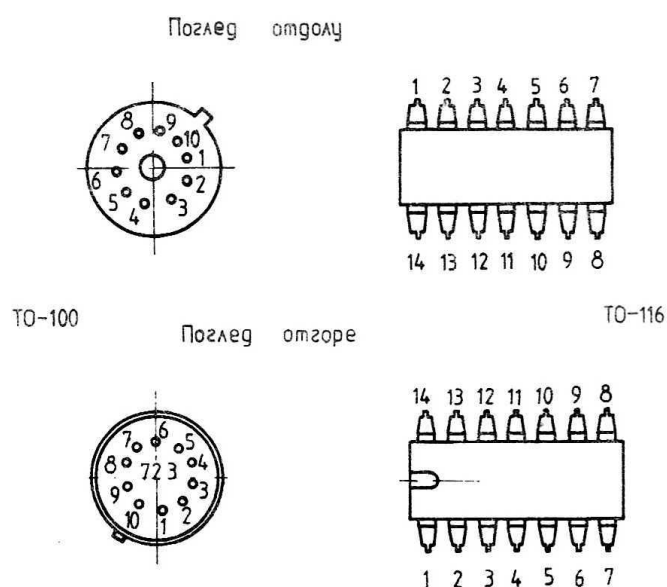
Транзисторът  $T_{16}$  е предназначен за защита на стабилизатора от претоварване по ток. Съпротивлението  $R_{ш}$  (фиг. 8.1 б) се свързва между емитера и базата на транзистора, като стойността на  $R_{ш}$  се определя от израза

$$R_{ш} = \frac{0,65}{I_{огр}},$$

където 0,65 V е приложеното напрежение между емитер - база на  $T_{16}$ .

$I_{огр}$  - стойността, до която трябва да се ограничи токът през товара.

Емитерът на  $T_{16}$  се свързва външно с инвертиращия вход на стабилизатора (базата на  $T_{11}$ ). Когато токът в товара превиши стойността  $I_{огр}$ ,  $T_{16}$  се отпушва и отнема тока  $T_6$ , като го запушва и ограничава регулиращия елемент. Интегралната схема 723 има корпус TO-100 (кръгъл метален) или TO-116 (двуредов, пластмасов). Номерата на изводите от корпуса и функционалното им предназначение са посочени в табл. 8.1, а външният вид на двата корпуса с поглед отгоре и отдолу е показан на фиг. 8.3.



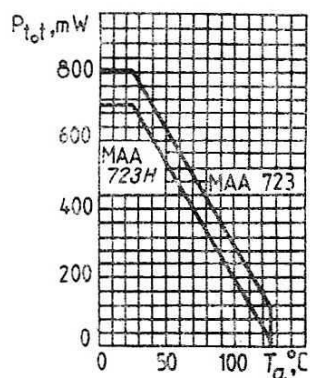
Фиг. 8.3

Таблица. 8.1

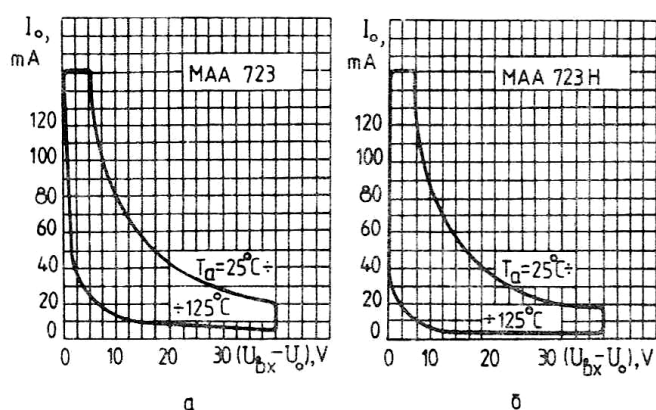
| Предназначение  | Означение<br>на фиг. 8.3 | Тип на корпуса |        |
|---|--------------------------|----------------|--------|
|   |                          | ТО-100         | ТО-116 |
| Положително захранващо напрежение (+E или V+)   | A                        | 8              | 12     |
| Колектор на регулиращия транзистор ( $U_c$ или $V_c$ )                                | B                        | 7              | 11     |
| Емитер на регулиращия транзистор и изход на стабилизатора ( $U_{out}$ или $V_{out}$ ) | C                        | 6              | 10     |
| Ценерово напрежение 6,2V ( $U_z$ или $V_z$ )  | D                        | –              | 9      |
| Извод за честотна корекция (comp, freq comp)  | E                        | 9              | 13     |
| База на токоограничаващия транзистор ( $C_l$ или CURRENT LIMIT)                       | F                        | 10             | 2      |
| Емитер на токоограничаващия транзистор ( $C_s$ или CURRENT SENSE)                     | G                        | 1              | 3      |
| Инвертиращ вход на усилвателя ( $i$ или INV, IN)                                      | H                        | 2              | 4      |
| Неинвертиращ вход на усилвателя (NI, + или NONINV. IN)                                | J                        | 3              | 5      |
| Опорно напрежение ( $U_{ref}$ )   | K                        | 4              | 6      |
| Отрицателно захранващо напрежение ( $-E_{ax}$ или $V_-$ )                             | L                        | 5              | 7      |

При изпълнение на интегралната схема върху корпус ТО-100 не е направен извод за ценеровото напрежение. Това налага да се използва допълнително външен ценеров диод с ценерово напрежение 6,2 V.

На фиг. 8.4 е показана зависимостта на максималната разсейвана мощност  $P_{tot}$  от температурата. При  $T_a 25^{\circ}\text{C} = 800 \text{ mW}$  за МАА723 и  $P_{tot} = 700 \text{ mW}$  за МАА723Н. Най-голяма част от  $P_{tot}$ , се пада на мощността разсейвана от регулиращите транзистори



Фиг. 8.4



Фиг. 8.5

схема, е значително по-малка. Ако например изходният ток е  $I_0 = 100 \text{ mA}$ , а  $U_{\text{BX}} - U_0 = 5 \text{ V}$ , с достатъчна за практиката точност може да се приеме, че  $P_{\text{tot}} = 0,15 = 0,5 \text{ W}$ . От фиг. 8.4 се вижда, че с тази мощност схемата МАА723 може да работи при температура до около  $70^\circ\text{C}$ . Не трябва обаче да се допуска температурата на околната среда да надвишава примерно  $55 \div 60^\circ\text{C}$ , за да е сигурно, че разсейваната от интегралната схема мощност няма да се окаже по-голяма от допустимата за дадената температура.

На фиг. 8.5 и 8.5б са показани кривите на максимално допустимите разсейвани мощности съответно за МАА723 и МАА723Н. От тях може да се отчете например, че при  $U_{\text{BX}} - U_0 = 10 \text{ V}$  и температура  $T_a = +25^\circ\text{C}$  изходният ток  $I_0$  на МАА723 (фиг. 8.5а) не трябва да бъде по-голям от  $80 \text{ mA}$ , за да не се претовари интегралната схема по мощност.

При  $U_{\text{BX}} - U_0 = 10 \text{ V}$ , но при  $T_a = +125^\circ\text{C}$  токът  $I_0$  на схемата не трябва да бъде по-голям от около  $12 \text{ mA}$  по същите съображения.

### 8.3. ТИПОВИ СТАБИЛИЗАТОРИ НА НАПРЕЖЕНИЕ.

#### ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ВЪНШНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

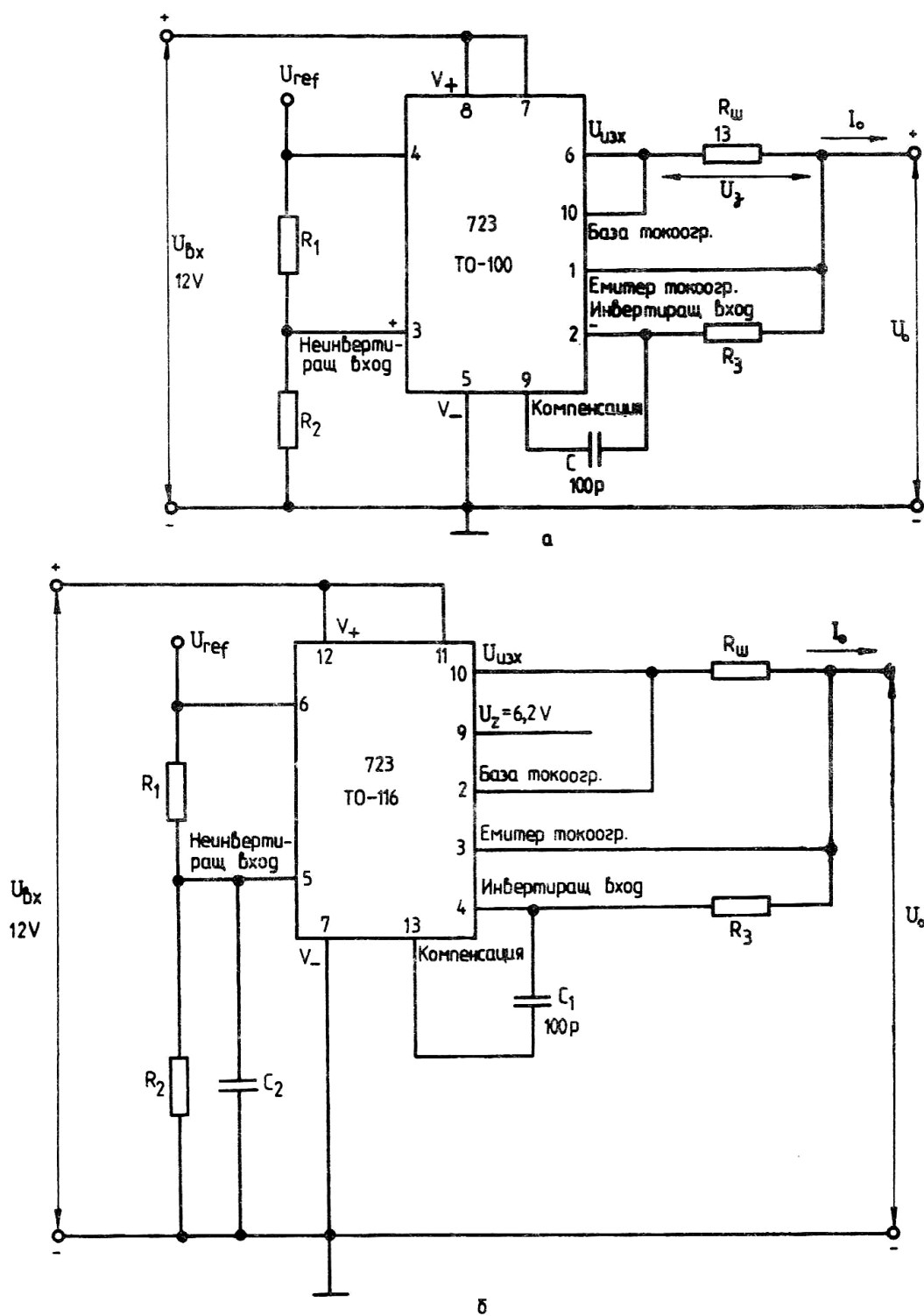
Съществува значителен брой схеми на стабилизатори, в които се използват линейни интегрални схеми от типа 723. Тук се разглеждат само основните случаи на свързване на интегралната схема 723 - стабилизатори на напрежение под  $7 \text{ V}$ , стабилизатори на напрежение над  $7 \text{ V}$ , стабилизатори на положително и на отрицателно напрежение, "плаващи" стабилизатори за високо напрежение, както и токоограничаващите възможности на схемата 723.

**Стабилизатори на напрежение от 2 до  $7 \text{ V}$ .** Стабилизаторите на напрежение се разделят на две групи - за напрежение от 2 до  $7 \text{ V}$  и от 7 до  $37 \text{ V}$  в зависимост от стойността на опорното напрежение  $U_{\text{ref}}$ . В линейната интегрална схема 723 то е  $U_{\text{ref}} = 7,15 \pm 0,35 \text{ V}$ .

Схемата на стабилизатор на напрежение от 2 до  $7 \text{ V}$  е показана на фиг. 8.6 а и б съответно за корпус ТО-100 и ТО-116. В стабилизаторите за ниско напрежение част от  $U_{\text{ref}}$  се сравнява с пълното изходно напрежение. Неинвертиращият вход на усилвателя се захранва с опорното напрежение  $U_{\text{ref}}$  чрез делителя с резисторите  $R_1$  и  $R_2$ , а инвертиращият - с изходното напрежение чрез резистор  $R_3$  като по този начин се създава отрицателна обратна връзка по напрежение. Стойността на изходното напрежение  $U_0$  се определя от съотношението между  $R_1$  и  $R_2$  и от  $U_{\text{ref}}$  по формулата

$$U_0 = U_{\text{ref}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

$T_1$  и  $T_6$ . Тя се определя от пада на напрежението  $U_{\text{BX}} - U_0$  и от тока през тях. Максималната стойност ( $U_{\text{BX}} - U_0$ ) е  $40 \text{ V}$ , а максималният изходен ток е  $I_0 = 150 \text{ mA}$  за двете схеми. Ако стабилизаторът е предназначен за захранване на по-мощни консуматори, към интегралната схема може да се включи допълнителен мощен транзистор както по схема с общ емитер, така и по схема с общ колектор. Мощността, разсейвана от останалите елементи на интегралната



Фиг. 8.6

Таблица 8.2

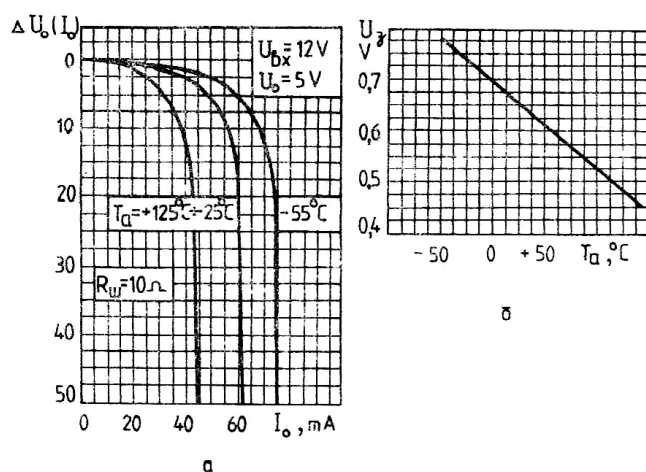
| $U_0, V$ | $R_1, k\Omega$ | $R_2, k\Omega$ | $R_3, k\Omega$ |
|----------|----------------|----------------|----------------|
| 2        | 5,15           | 2,0            | 1,144          |
| 3        | 4,12           | 3,01           | 1,74           |
| 5        | 2,15           | 4,99           | 1,50           |
| 6        | 1,15           | 6,04           | 0,966          |

В табл. 8.2 са показани стойностите на  $R_1$  и  $R_2$  за няколко стойности на  $U_0$ . Ако резисторите  $R_1$  и  $R_2$  се подберат с точност до  $\pm 1\%$ , стойността на  $U_0$  се установява с точност до  $\pm 5\%$  за МАА723 и с  $\pm 7\%$  за МАА723Н. Вероятността температурният дрейф на изходното напрежение да бъде минимален е най-голяма, ако резисторът  $R_3$  се избере от съотношението

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Кондензаторът  $C_1 = 100 \text{ pF}$  се включва за честотно компенсиране на операционния усилвател.

Резисторът за защита  $R_{\text{ш}}$  е включен между базата и емитера съответно на транзистора  $T_{16}$  (фиг. 8.2). Падът на напрежението върху него се определя от големината на тока  $I_0$ . При увеличаване на  $I_0$  настъпва момент (при  $U_3 \approx 0.65 \text{ V}$ ), когато  $T_{16}$  се отпушва. Образува се затворена верига на дълбока отрицателна обратна връзка по ток. Стабилизаторът на напрежение се превръща в стабилизатор на ток (източник с голямо изходно съпротивление), който се противопоставя на по-нататъшното увеличаване на  $I_0$ . Товарната характеристика на стабилизатора при  $U_0 = 5 \text{ V}$  и  $R_{\text{ш}} = 10 \Omega$  ( $I_3 = 63 \text{ mA}$ ) при задействане на защитата се изменя, както е показано на фиг. 8.7а. С увеличаване на температурата защитата се задействува при по-малка стойност на изходния ток. Това се дължи на зависимостта на напрежението  $U_3$ , при което се задействува защитата от температурата на кристала, изобразена на фиг. 8.7 б. С нарастване на температурата  $U_3$  намалява. Стойността на резистора  $R_{\text{ш}}$  е изчислена при разглеждане на устройството и действието на интегралната схема тип 723.



Фиг. 8.7

За да има смисъл включването на защитата, необходимо е да се изпълнява условието  $P_{\text{tot}}^i \geq U_{\text{ex}} I_3$ , където  $P_{\text{tot}}^i$  е максималната допустима мощност на интегралната схема при очакваната максимална температура на околната среда.

Мощността, разсейвана от интегралната схема при късо съединение на изхода, е по-голяма от тази, която се разсейва при нормален работен режим. Ето защо използването на защитата при ограничаване на

изходния ток е свързано с необходимостта

от осигуряване на достатъчен запас по мощност и това е главният ѝ недостатък.

При  $U_{\text{bx}} = 12 \text{ V}$  стабилизаторите, показани на фиг. 8.6, имат коефициент на стабилизация  $K \approx 3000$  и  $R_i \approx 0.05 \Omega$ ,  $I_{0\text{max}} \approx 40 \text{ mA}$ . При  $R_{\text{ш}} = 13 \Omega$  защитата се задействува при  $I_3 = 50 \text{ mA}$ . Коефициентът на стабилизация  $K$  при  $R_{\text{ш}} = 0 \Omega$  е около 7000, а  $R_i \approx 0.04 \Omega$ .

**Стабилизатори на напрежение от 7 до 37 V.** При този вид стабилизатори неинвертиращият вход на операционния усилвател се захранва от  $U_{\text{ref}}$  чрез  $R_3$ . За получаване на отрицателна обратна връзка по напрежение инвертиращият вход се захранва от делителя  $R_1, R_2$ , включен към изхода на стабилизатора. Изходното напрежение  $U_0$  е

$$U_0 = U_{\text{ref}} \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Тук  $R_3$  също се определя от съображения за минимална температурна нестабилност на  $U_0$ :

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Стойностите на  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  за няколко напрежения в обхвата от 7 до 37 V са показани в табл. 8.3. Стабилизаторите, построени по тази схема, имат същите параметри, както схемата за напрежение от 2 до 7 V.

Таблица 8.3

| $U_0$ , V | $R_1$ , k $\Omega$ | $R_2$ , k $\Omega$ | $R_3$ , k $\Omega$ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 9         | 1,87               | 7,15               | 1,45               |
| 12        | 4,87               | 7,15               | 2,90               |
| 15        | 7,87               | 7,15               | 3,75               |
| 18        | 10,89              | 7,15               | 4,32               |
| 24        | 16,90              | 7,15               | 5,02               |

Схемата на стабилизатор на напрежение от 7 до 37 V е показана на фиг. 8.8 а и б съответно за корпус ТО-100 и ТО-116. Схемата за защита на стабилизаторите за напрежение от 7 до 37 V може да се състави и както е показано на фиг. 8.9. Напрежението за запущване на транзистора на защитата се получава от делителя  $R_3 R_4$ . Транзисторът се управлява от пада на напрежението върху  $R_{III}$  от  $I_0$ . Стойностите на  $R_1$  и  $R_2$  в зависимост от  $U_0$  се определят от табл. 8. 3.

Стойностите на елементите за защита могат да се изчислят, като се използват формулите

$$I_3 = \frac{U_0}{R_{III}} S + \frac{U_3}{R_{III}} (1 + S)$$

$$I_{0к.с.} = \frac{U_3}{R_{III}} (1 + S), \text{ където } S = \frac{R_3}{R_4}.$$

**Пример.** Да се определят стойностите на елементите за защита на стабилизатор за напрежение  $U_0 = 5$  V при  $U_{вх} = 14$  V,  $I_{0max} = 50$  mA и температура на околната среда  $T_a = +25^\circ\text{C}$ .

1. Определя се стойността на  $I_3$ . За намаляване на влиянието на защитата върху параметрите на стабилизатора токът  $I_3$  се избира с  $20 \div 40$  % по-голям от  $I_0$ . Нека  $I_3 = 70$  mA.

2. Определя се  $U_3$  при температура  $T_a = 25^\circ\text{C}$ . От фиг. 8.7 б се отчита  $U_3 = 0,65$  V.

3. Формулата  $I_3 = \frac{U_0}{R_{III}} S + \frac{U_3}{R_{III}} (1 + S)$  има смисъл при

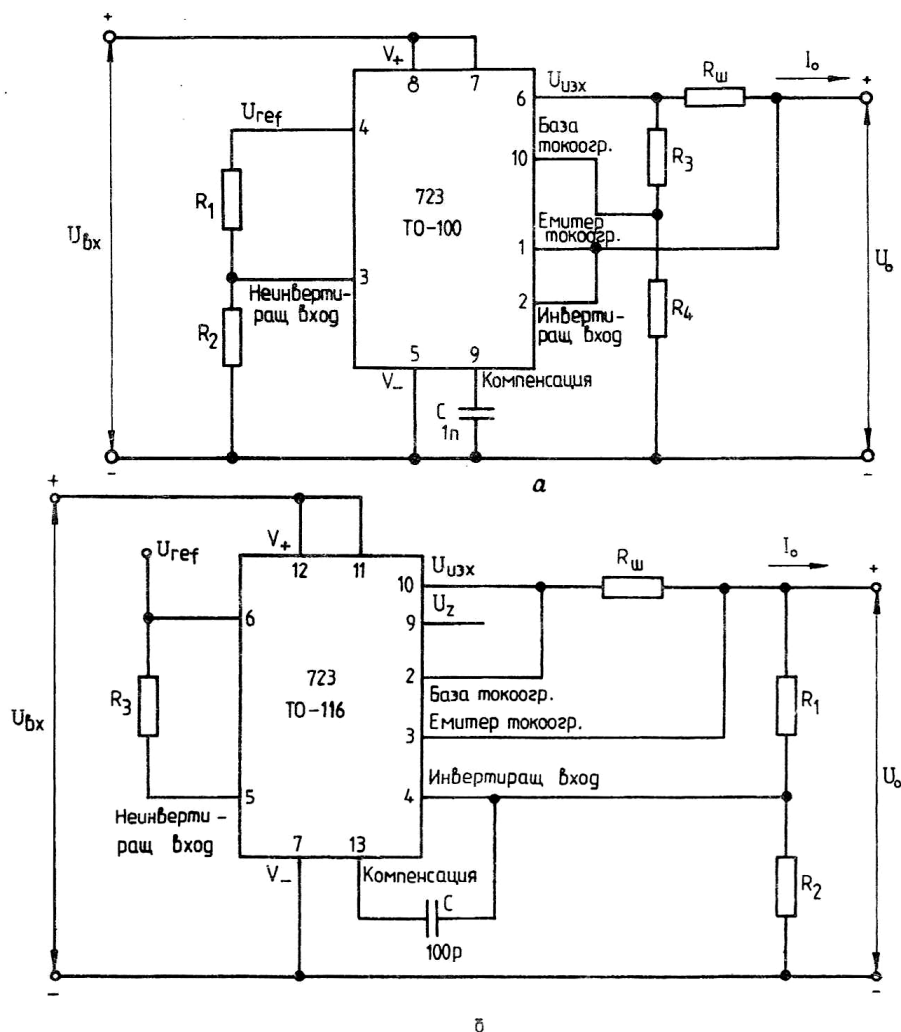
$$P_{III} \geq R_{III \min}, \quad P_{III} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{0,65}{0,07} \approx 10 \Omega$$

Избира се  $R_{III} = 12 \Omega$ .

4. От формулата се определя

$$S = \frac{R_3}{R_4} = \frac{I_3 R_{III} - U_3}{U_0 + U_3} = \frac{70 \cdot 10^{-3} \cdot 12 - 0,65}{5 + 0,65} = 0,034$$

5. От формулата  $I_{0к.с.} = \frac{U_3}{R_{III}} (1 + S)$  се определя  $I_{0к.с.} = \frac{0,65}{12} (1 + 0,034) \approx 56$  mA



Фиг. 8.8-а,б

Получената стойност за  $I_{0к.с.}$  е голяма. Тя може да се намали, ако се избере  $R_{ш}$  с по-голямо съпротивление. Избира се  $R_{ш} = 50\Omega$ . Повтарят се изчисленията по т. 4 и 5. Получава се  $S = 0,5$  и  $I_{0к.с.} = 20 \text{ mA}$ . Тази стойност на  $I_{0к.с.}$  е задоволителна.

6. Определят се съпротивления на резисторите  $R_3$  и  $R_4$ . Сумата от съпротивления на  $R_3$  и  $R_4$  не трябва да бъде по-голяма от около  $3 \text{ k}\Omega$ , като по-големите стойности съответстват на по-високи изходни напрежения. Избира се  $R_3 = 510\Omega$ .

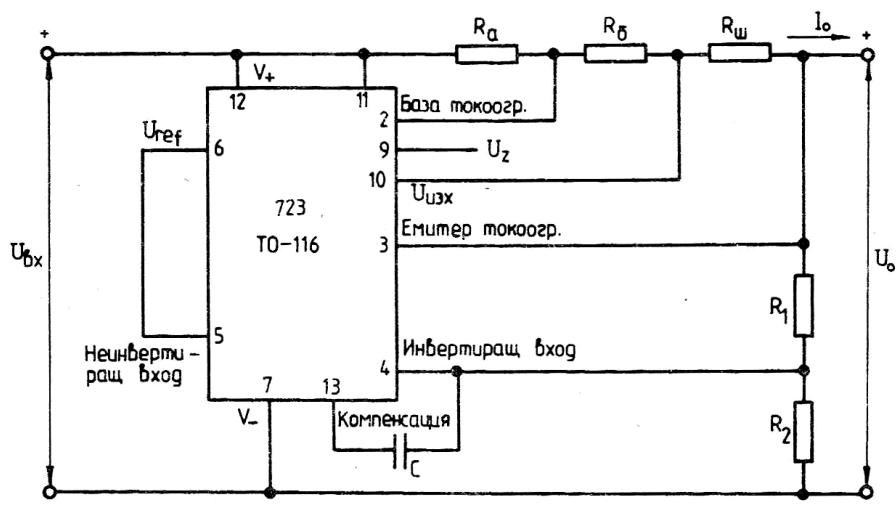
Следователно  $R_4 = \frac{R_3}{S} = \frac{510}{0,5} = 1,02 \text{ k}\Omega$ . Избира се стандартна стойност  $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$ .

Разгледаната схема за защита може да се използва и в стабилизаторите на напрежение  $U_0 = 7 \div 37 \text{ V}$ . Сумата от съпротивления на делителя в случая трябва да бъде в границите от 3 до около  $10 \text{ k}\Omega$ .

Когато е необходимо изходното напрежение да се регулира допълнително чрез потенциометър, препоръчва се токът през делителя да се удвои. Ако съпротивлението на потенциометъра се избере

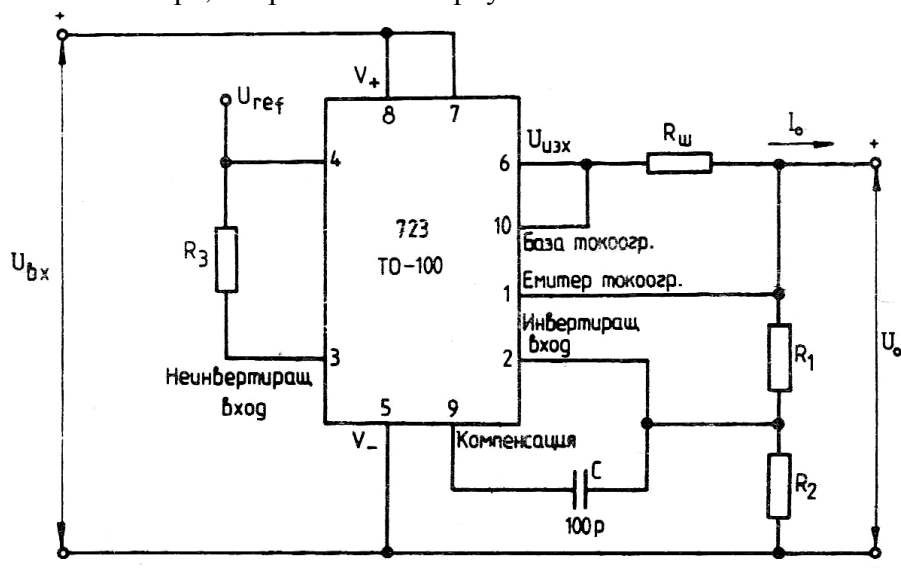
$$R_n = 0,15 \frac{U_{ref}}{I_{дел}}$$

изходното напрежение може да се регулира в границите  $\pm 10 \%$  от номиналната му стойност.

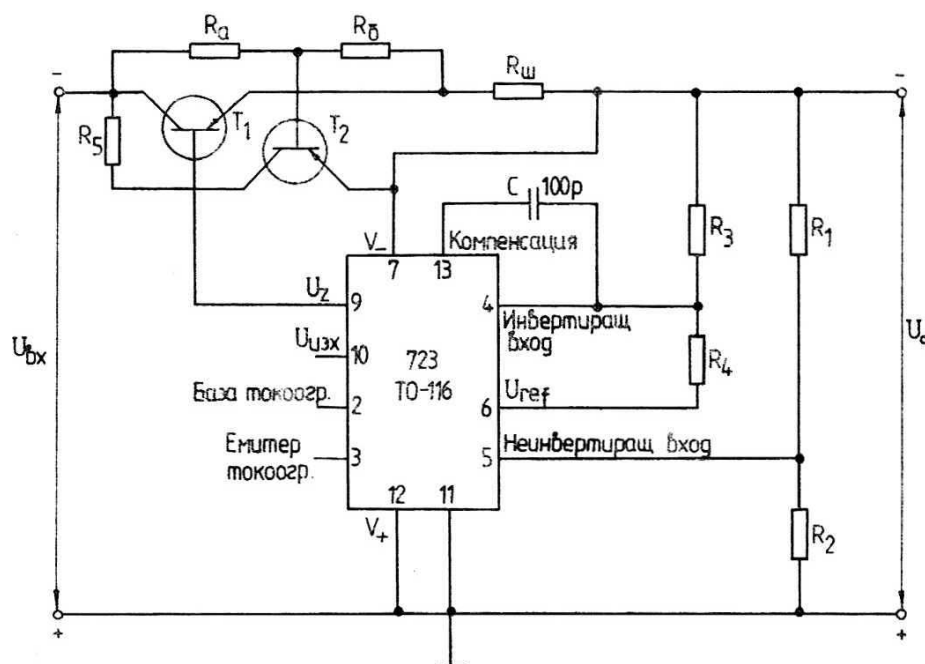


Фиг. 8.9

В разгледаните дотук схеми защитата се осъществява от резистор  $R_{ш}$ . Такъв начин на защита при големи стойности на  $I_0$  изисква прекомерно мощен транзистор, което не е оправдано. Много по-пълноценно се защитава стабилизаторът, ако токът на късо съединение се ограничи до стойност, която да бъде значително по-малка от номиналния товарен ток. Това се постига чрез осигуряване на участък с отрицателен наклон на волт-амперната характеристика на стабилизатора. Методът се нарича токоограничаване с връщаща се характеристика. На фиг. 8.10 и 8.11 са показани схеми, които използват този метод при стабилизатори на положителни и отрицателни напрежения. Предимство на тези схеми е, че са изградени от минимален брой елементи. Към измененията на тока за схемата от фиг. 8.10 чувствителен е вътрешният токоограничаващ транзистор; за схемата от фиг. 8.11 такъв е външният транзистор  $T_2$ . Същността на защитата се състои във въвеждане на положителна обратна връзка чрез нарастване на тока през резисторите  $R_a$  и  $R_b$  в условията на късо съединение. Те имат сравнително голямо съпротивление и стойностите им се определят така, че при пълно късо съединение на изхода (когато  $T_1$  поема изцяло входното напрежение) върху  $R_b$  да се получи напрежение от около 0,51 V. Когато се получи късо съединение на изхода на стабилизатора, напрежението върху



Фиг. 8.10



$R_{ш}$  нараства и започва да отпушва  $T_2$ , (фиг. 8.11), а той започва да отпушва  $T_1$  тъй като намалява базовия му ток. Напрежението върху  $T_1$  започва да нараства, а колекторният му ток намалява. Транзисторът  $T_2$  вече се поддържа отпушен за сметка на напреженията върху  $R_6$  и  $R_{ш}$ .

Колкото повече се запущва транзисторът  $T_1$ , толкова повече нараства частта от напрежението върху резистора  $R_6$ . Частта от напрежението върху  $R_{ш}$  намалява, тъй като товарният ток се ограничава до стойност, значително по-малка от номиналната. Ако в момента, когато напрежението върху  $R_{ш}$  все още съдейства за отпушването на  $T_2$ , късото съединение отпадне, стабилизаторът възстановява работата си автоматично. Ако обаче поради някаква причина (например увеличение на  $U_{вх}$ ) напрежението върху  $R_6$  нарасне дотолкова, че е в състояние да поддържа отпушен  $T_2$ , стабилизаторът остава блокиран и възстановяването му изисква външна намеса. Блокирането му настъпва поради ефекта на стопроцентова положителна обратна връзка чрез  $R_6$ . Възможността за блокиране зависи от чувствителността, т.е. усилването на транзистора  $T_2$  и е вероятно, когато  $R_5$  има по-голяма стойност, а усилването по ток  $\beta$  на  $T_1$  е голямо.

Съпротивленията на резисторите  $R_1 \div R_4$  и за двете схеми се пресмятат, както и при останалите стабилизатори. Резисторът  $R_3$  се изчислява от израза

$$R_a = \frac{U_{ex \max}}{I_{del}},$$

където  $I_{del}$  е токът през делителя  $R_a R_b$  и се избира 1 mA.

Резисторът  $R_6$  се избира  $510\Omega$ , така че в режим на късо съединение напрежението върху него да бъде  $0,51\text{ V}$ , т.е. достатъчно, за да изведе транзисторът  $T_2$  от запущено състояние. Тогава съпротивлението на  $R_{ш}$ , се определя от израза

$$R_{III} = \frac{0,51 \frac{U_{CE}}{R_1}}{I_{оп}}$$

където  $U_{CE} = U_{BX} - U_0$  е напрежението колектор-емитер на регулиращия транзистор;  
 $I_{огр}$  - избраният ток, при който трябва да се задейства защитата.

## 9. ЗАРЯДНИ УСТРОЙСТВА

### 9.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Безотказната работа на акумулаторните батерии зависи от режима на експлоатация на последните и в частност от начина на зареждането и разреждането им. Зарядният ток се определя с формулата:

$I_z = 0,1 \cdot Q$  - за оловните акумулатори,

$I_z = 0,25 \cdot Q$  - за алкалните акумулатори.

където  $Q$  е капацитетът на акумулаторната батерия в Ah,

$I_z$  - средният заряден ток в A,

Зареждането с по-голям ток води до деформация на акумулаторните плочи и до разрушаването им. Зареждането с по-малък ток води до сулфатизация на плочите и намаляване на капацитета на батерията. При експлоатацията на акумулаторните батерии често се допуска грешка, като се подава дву-трикратно по-голям заряд по пътя на увеличаване на продължителността на зареждането. Това, както показва практиката, увеличава дебелината на активния слой на положителните плочи и ускорява тяхното разрушаване. Данни за зарядния ток на акумулатора се посочват върху неговия корпус или в инструкцията за експлоатация, която го съпровожда.

### 9.2. ЗАРЯДНИ УСТРОЙСТВА ЗА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

Степента на зареденост на акумулатора може да се контролира по гъстотата на електролита (за оловните) и по напрежението на изводите (за алкалните).

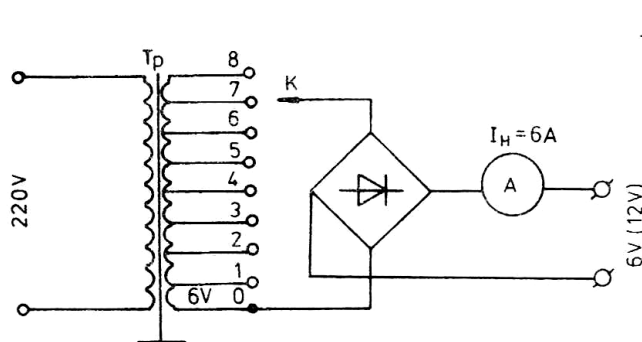
Завършването на заряда на оловните акумулатори може да се установи по напрежението на неговите клетки ( $2,5 \div 2,6$  V), по достигането на гъстотата на електролита до определена стойност, която повече не се изменя, по настъпване на обилно газоотделяне - електролитът „кипи“. Прието е електрическият капацитет, който се предава при зараждането, да е с около  $15 \div 20\%$  по-голям от дадения в процеса на разреждането. Оловните акумулатори са чувствителни към презареждане и недозареждане. При алкалните акумулатори след завършване на зареждането на плочите им се установява постоянно напрежение от 1,1 до 1,7 V на елемент.

Зарядните устройства обикновено се състоят от понижаващ трансформатор и регулатор на зарядния ток с токоизправител. Съществуват различни схеми за регулиране на зарядния ток: чрез реостат, включен последователно във вторичната намотка на трансформатора, чрез кондензатори включени последователно в първичната намотка на трансформатора; чрез изводи във вторичната намотка и превключватели за избор на подходящо напрежение и ток; чрез тиристорни устройства и електронни схеми за управление на зарядния ток.

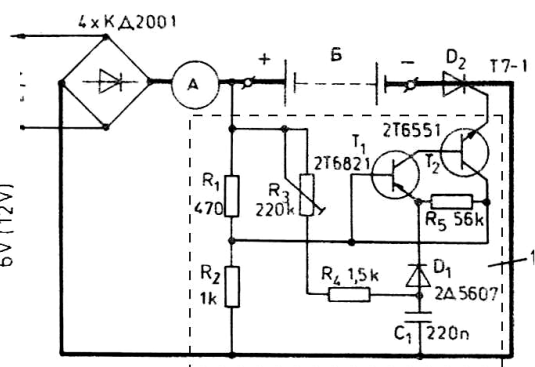
На фиг. 9.1 е показана схема на зарядно устройство с използване на изводи във вторичната намотка. Напрежението се променя с преместване на един банан-щекер (К) върху буксите 1 ÷ 8. Между извод 0 и 1 на трансформатора напрежението е 6 V, а между изводите 1 ÷ 2, 2 ÷ 3 и 3 ÷ 4 е по 0,5 V. Между изводите 0 ÷ 5 напрежението е 12 V, между изводите 5 ÷ 6, 6 ÷ 7 и 7 ÷ 8 - по 0,5 V, а между 0 ÷ 8 то е 13,5 V. С показаното устройство могат да се зареждат акумулаторни батерии с номинално напрежение 6 и 12 V.

На фиг. 9,2 е показано тиристорно зарядно устройство, което се различава от вече разгледаното по това, че последователно на зарежданата батерия е включен тиристорът D<sub>2</sub>. Веригата за управлението му е означена като отделен блок 1.

Устройството е предназначено за зареждане на оловни акумулаторни батерии с номинално напрежение 12 V. Трансформаторът трябва да има мощност 250 VA. Вторичната намотка трябва да осигурява напрежение 21 V при ток 10 A. Означените



Фиг. 9.1



Фиг. 9.2

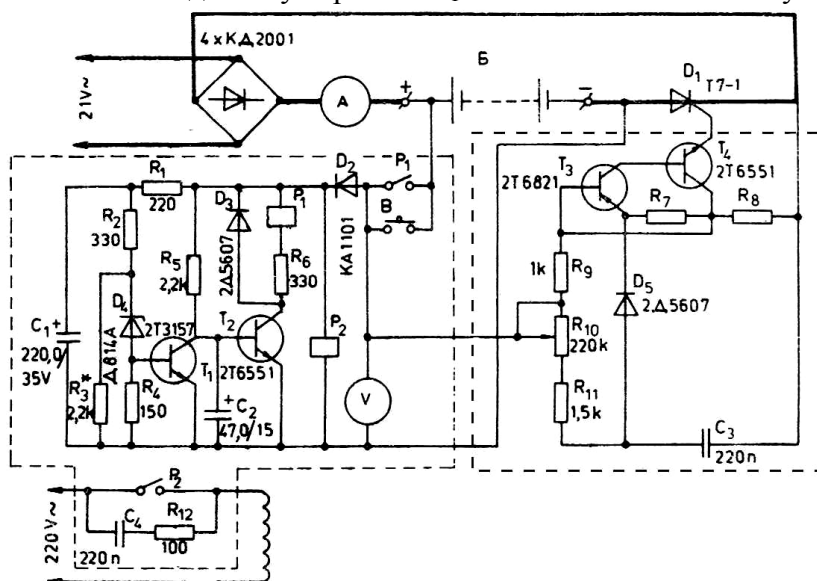
на схемата връзки с тъмни плътни линии трябва да се реализират с проводници със сечение най-малко 1,5 mm. Изправителните диоди и тиристорът трябва да се монтират на радиатори.

Зарядният ток се регулира чрез фазово управление на тиристора. Потенциометърът  $R_3$  се свързва така, че при крайно ляво положение на неговия плъзгач съпротивлението му да има максимална стойност, а при крайно дясно - минимална. Колкото сумарното съпротивление на резистора  $R_4$  и потенциометъра  $R_3$  е по-малко, толкова по-бързо се зарежда кондензаторът  $C_1$ . Така транзисторите  $T_1$  и  $T_2$  пропускат в началото на всеки полупериод и отпушват тиристора  $D_2$ . При голяма стойност на съпротивлението  $R_3 + R_4$ , кондензаторът  $C_1$  се зарежда по-бавно, транзисторите  $T_1$  и  $T_2$  и тиристорът  $D_1$  се отпушват по-късно. По този начин тиристорът работи като управляем електронен ключ.

С устройството могат да се зареждат акумулаторни батерии с напрежение от 3 до 12 V без излишна загуба на енергия.

Разгледаната схема може да се усъвършенства с добавяне на блок за автоматичен контрол на степента на зареденост на акумулатора (фиг. 9.3). С това се намалява вероятността от презареждане на акумулаторната батерия.

Зарядното устройство се включва след свързване на акумулаторната батерия. Натиска се бутонът В. Ако полярността на батерията е свързана правилно, през диода  $D_2$  протича ток. Релето  $P_2$  сработва и трансформаторът се включва към електрическата мрежа чрез контакта на  $P_2$ . Транзисторът  $T_2$  получава управляващ ток през резистора  $R_5$  и тогава се задействува релето  $P_1$ . Със своя контакт то шунтира бутона В, така че

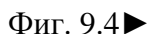


Фиг. 9.3

При зареждане на акумулаторната батерия напрежението на клемите се повишава. При достигане на определена стойност на напрежението центровият диод  $D_4$  се отпушва и транзисторът  $T_1$  става чувствителен към изменението на напрежението на акумулаторната батерия. По-нататъшното повишаване на напрежението на акумулаторната батерия води до отпушване на транзистора  $T_1$  и по този начин той шунтира базата на транзистора  $T_2$ , който се запушва. Тогава изключва релето  $P_1$  а после и  $P_2$ . Схемата за контрол остава без захранващо напрежение.

При погрешно свързване на батерията зарядното устройство не може да бъде включено поради наличието на диода  $D_2$ .

На фиг. 9.4 е показано зарядно устройство за мотоциклетни акумулаторни батерии с напрежение  $6 \div 7 \text{ V}$ . Зарядният ток се променя от 0 до 2 A с помощта на потенциометъра  $R_2$ . Схемата съдържа стабилизатора с  $T_1$ ,  $T_2$  и стабилитрона  $D_1$ . С резистора  $R_1$  е осъществена обратна връзка по ток, предпазваща крайния транзистор от късо съединение.



The circuit diagram shows a 12V battery charger with a 1A current limit and a 10-hour timer. The input is a 17V AC source connected to a bridge rectifier. The rectified output is filtered by a 1A fuse and a 18k resistor (R1). The charging current is limited by a 390 ohm resistor (R3) and a 3k resistor (R5). The timer is implemented using a 555 timer (T1) and a 10k potentiometer (R13). The output is connected to a 12V battery. The circuit also includes a 10-hour timer implemented using a 555 timer (T1) and a 10k potentiometer (R13). The output is connected to a 12V battery.

Components and values:

- Resistors: R1 (18k), R2 (100), R3 (390), R4 (390), R5 (3k), R6 (10), R7 (100), R8 (51), R9 (24), R10 (16), R11 (12), R12 (240), R13 (10k), R14 (100), R15 (3k), R16 (3k), R17 (15k).
- Capacitors: C1 (1000), C2 (1000).
- Diodes: D1 (Δ808), D2 (Δ813), D3 (Δ809), D4 (Δ809), D5 (Δ809), D6 (Δ809).
- Transistors: T1 (2T7235), T2 (2T3850), T3 (2T3850), T4 (2T3850), T5 (2T3850), T6 (2T3850), T7 (2T3850), T8 (2T3850).

Connections:

- Input: 17V AC source.
- Output: 12V battery.
- Timer: 10 hours.

Променливото напрежение се изправя от мостовата схема D, стабилизира се от стабилизатора с  $D_1$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  и  $D_3$ . Изходното напрежение се променя с 0,05 V при изменение на тока през товара от 0 до 500 mA.

Към изхода на първия стабилизатор е включен втори, съдържащ елементите  $D_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$  и  $T_7$ . Транзисторът  $T_5$  сигнализира чрез лампата Л зареждането на акумулатора. Диодът  $D_4$  предпазва акумулаторната батерия от разреждане през колекторния преход на транзистора  $T_8$  и резистора  $R_{16}$  при изключване на стабилизатора. Изводите „а” и „б” могат да се използват за захранване на маломощни радиоелектронни и измервателни устройства.

Предпазването на малките акумулаторни батерии от разреждане под допустимите граници е от съществено значение за тяхната правилна експлоатация.

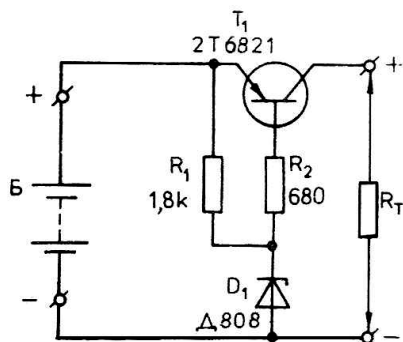
На фиг. 9.6 е показано устройство за предпазване на малки алкални акумулатори от разреждане под допустимите граници. То съдържа един транзистор  $T_1$  стабилитрон  $D_1$  и два резистора  $R_1$  и  $R_2$ . Устройството се включва между акумулаторната батерия Б и консуматора  $R_T$ . През базата на проходния транзистор  $T_1$ , протича по-голямата част от тока на стабилитрона  $D_1$ . Напрежението на базата е равно на напрежението на стабилитрона. Резисторът  $R_2$  ограничава базовия ток на транзистора  $T_1$  до  $3 \div 3,5$  mA. При този ток транзисторът се отпушва.

При разреждане на акумулаторната батерия напрежението намалява, базовият ток също намалява, а това води до намаляване и на колекторния ток на транзистора. Когато напрежението на батерията намалее под напрежението на стабилитрона, той се запущва и токът през товара се преустановява. Резисторът  $R_1$  се поставя, за да не остане транзисторът с „отворена” база при запущен стабилитрон.

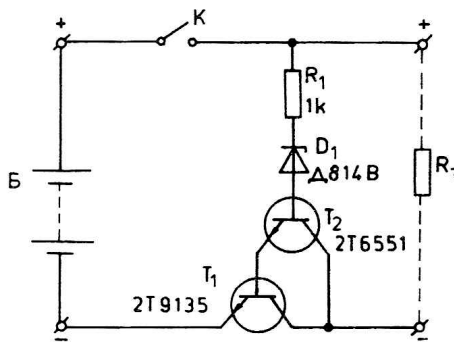
Разреждането на акумулаторните батерии под допустимите граници при по-голям ток през консуматора може да се ограничи с използване на схема Дарлингтон (фиг. 9.7). В сравнение с вече разгледаната схема това устройство осигурява ток през крайния транзистор от 0,1 до 2 A. Освен това е възможно да се използват различни стабилитрони (поради наличието на по-голямо усилване, получено от двата транзистора).

При избора на напрежение на стабилитрона е необходимо да се помни, че при алкалните акумулаторни батерии е допустимо минимално напрежение на клетка 1 V, а при оловните - до 1,8V.

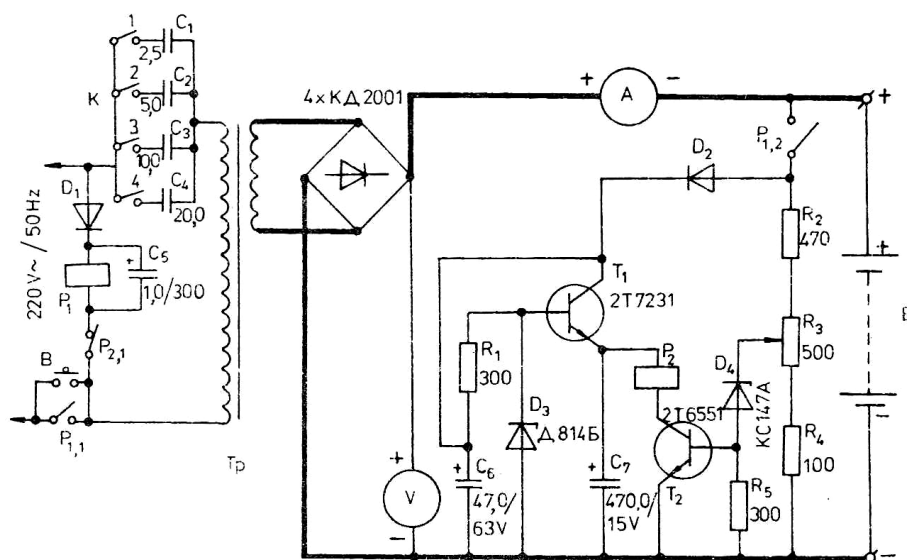
Принципът на действие на устройството не се различава от този на разгледаната по-горе схема. На фиг. 9.8 е показана схемата на зарядно устройство с регулиране на зарядния ток посредством превключване на кондензатори, свързани последователно на първичната намотка на мрежовия трансформатор. Устройството позволява да се зареждат акумулаторни батерии с напрежение 12 V и заряден ток до 15 A, който може стъпално да се изменя от 1 до 15 A. Предвидена е възможност за изключване на акумулаторната батерия, когато настъпи пълното зареждане. Сумарният капацитет на кондензаторите  $C_1 \div C_4$  е 37,5  $\mu$ F. С ключовете К могат да се избират различни комбинации от кондензатори и с това да се регулира зарядният ток.



Фиг. 9.6



Фиг. 9.7



Фиг. 9.8

Ако се допусне, че към изходните букси „+” и „-” е включена батерията Б, необходимият заряден ток се установява преди включването на устройството. При натискане на бутона В се задействува релето Р<sub>1</sub>, което се самоблокира с контактите Р<sub>1.1</sub> а с контактите Р<sub>1.2</sub> включва веригата за автоматично изключване. Контактите Р<sub>1.2</sub> са необходими, за да не се разрежда акумулаторът през диода D<sub>2</sub> и резисторите R<sub>2</sub> ÷ R<sub>4</sub>. С потенциометъра R<sub>3</sub> се регулира прагът на задействане на релето Р<sub>2</sub> (при напрежение на изхода, съответстващо на напълно заредена батерия). Когато напрежението достигне зададената стойност, отпушва се стабилитронът D<sub>4</sub>. Задействува се релето Р<sub>2</sub>, което с контактите Р<sub>2.1</sub> прекъсва веригата на бобината на релето Р<sub>1</sub> и то (с прекъсване на контактите Р<sub>1.1</sub>) прекъсва захранващата верига на първичната намотка. При прекъсване на веригата между зареждания акумулатор и буксите „+” и „-” изходното напрежение рязко нараства, задействува се релето Р<sub>2</sub> и устройството се самоизключва от мрежата.

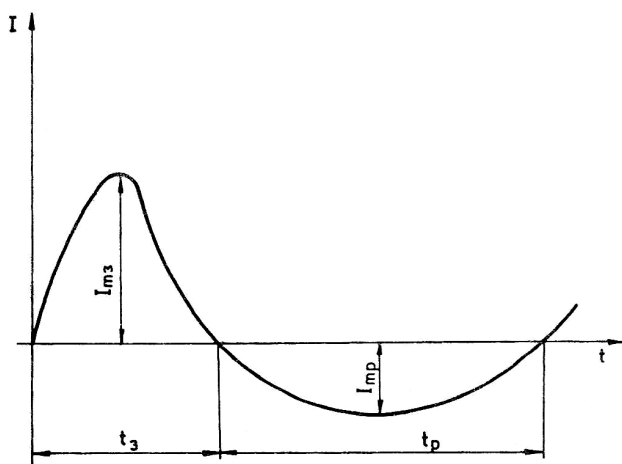
### 9.3. ПРИСТАВКИ ЗА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ НА ГАЛВАНИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ И БАТЕРИИ

Първичните токоизточници са конструирани за еднократна употреба. Конструкцията им и протичащите в тях процеси не позволяват да бъдат повторно зареждани. Съществува възможност за възстановяването им (регенерирането им), при което трябва да се държи сметка за следното:

- разреждането и възстановяването трябва периодично да се сменят;
- степента на възстановяването силно зависи от степента на разреждането на елемента и времето, изтекло между края на разреждането и началото на възстановяването;
- възстановяването на напълно разреден елемент е невъзможно;
- добра възстановителна способност притежават манганово-цинковите елементи. Въглено-цинковите са условно възстановими.

**ВНИМАНИЕ! ЕЛЕМЕНТИТЕ НА ФИРМАТА MALLORY НЕ ПОДЛЕЖАТ НА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ, ЗАЩОТО СА ВЗРИВООПАСНИ!**

Добри резултати при възстановяването се постигат, когато се използва ток с промишлена честота и асиметрична форма (Фиг. 9.9).



Фиг. 9.9

Ефектът от възстановяването се увеличава при нарастване (в известни граници) на съотношенията

$$\frac{I_{m3}}{I_{mp}} \text{ и } \frac{t_p}{t_3},$$

където  $I_{m3}$  е амплитудната стойност на зарядния ток;  
 $I_{mp}$  - амплитудната стойност на разрядния ток;  
 $t_3$  - времето на зареждане;  
 $t_p$  - времето на разреждане.

При  $\frac{I_{m3}}{I_{mp}} = 1,5$  увеличаването на  $\frac{t_p}{t_3}$  от 1 до 1,5 подобрява параметрите на възстановяваните елементи с 15 %.

При  $\frac{I_{m3}}{I_{mp}} = \text{const}$ , увеличаването на отношението  $\frac{t_p}{t_3}$  от 1,5 до 3 също усилва ефекта на възстановяването с 15 %.

За ефективно многократно възстановяване е необходимо цинковият цилиндър на елемента да няма механични повреди, възникнали в резултат от взаимодействието с електролита. Възстановяването на елемента е възможно, когато напрежението му е над 0,7 V.

Препоръчва се напрежението за възстановяване да бъде 2 V на елемент. Капацитетът, изразходван за възстановяване на елементите, трябва да бъде 120% от капацитета, изразходван при предишния цикъл на разреждането им. Времето на възстановяване продължава от 16 до 20 часа.

На фиг. 9.10 е показана практическа схема на приставка за възстановяване на галванични елементи и батерии. Последователно на вторичната намотка е свързана паралелна група от резистор  $R_1$  и диод  $D_1$ . Полярността на включване на диода осигурява напрежение с формата, показана на фиг. 9.9. Милиамперметърът  $I$  измерва постоянната съставка на зарядния ток. Номиналният му обхват е 500 mA. При възстановяването вследствие увеличаването на е.д.н. на елемента зарядният ток намалява. В зависимост от големината на зарядния ток може да се направи заключение за завършването на възстановяването. Резисторът  $R_1$  може да бъде заменен с електролитен кондензатор с работно напрежение  $20 \div 25$  V и капацитет  $10 \div 15$   $\mu$ F.

Разновидност на разгледаната схема е показана на фиг. 9.11. При нея подложният на възстановяване източник е свързан последователно на група от два диода и два резистора. Асиметричният ток, необходим за възстановяването, се получава при подбор на резисторите  $R_1$  и  $R_2$ .

Напрежението на възстановяване трябва да превишава с 30 ÷ 50 % номиналното напрежение на възстановяваната батерия (елемент),

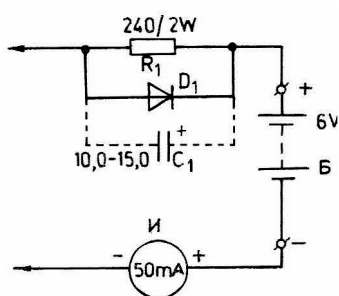
На фиг. 9.12 е показана т. нар. схема на Беер. Съпротивленията на резисторите R1 и R2 могат да се изчислят по следните приблизителни формули:

$$R_1 = \frac{16(U - E)}{I_k}; \quad R_2 = \frac{80(U + 1,5E)}{I_k}$$

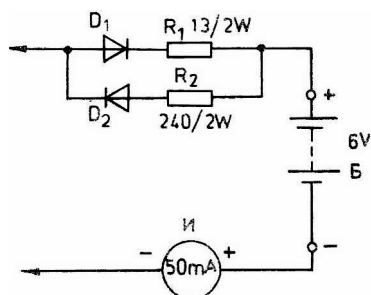
където  $U = 1,5 \cdot E$ .

При този метод времето за възстановяване трябва да надвишава 4 ÷ 6 пъти времето на предишното разреждане.

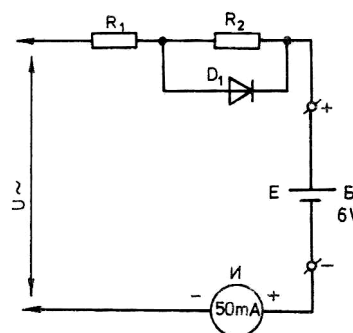
При възстановяване на първичните елементи трябва да се внимава, защото при грешки може да се отдели хлор, предизвикващ корозия на апаратурата. Напрежението на възстановените елементи нараства много и това може да доведе до повреда на апаратурата.



Фиг. 9.10



Фиг. 9.11



Фиг. 9.12

## Литература

- Адрианов, И. И. Приставки к радиоприемным устройствам. М., ДОСААФ, 1985.  
 Белчев, Д. М. Електронни токозахранващи устройства. С., Техника, 1980.  
 Берг, А. И. и др. Конструкции советских и чехословацких радиолюбителей. М., Энергия, 1979.  
 Борисов, В. Г. Юный радиолюбитель. М., Энергия, 1979.  
 Борноволоков, Э. П. Радиолюбительские схемы, К., Техника, 1982.  
 Величков, П. В. Електроника за свободното време. С., Техника, 1982.  
 Галкин, В. И. Начинающему радиолюбителю. Минск, Беларусь, 1983.  
 Х. Генкова, Е. и Л. Неделчев. Радиоелектрониката в номограми. С., Техника, 1967.  
 Дробница, Н. А. 30 схем радиолубительских устройств. М., Радио и связь, 1982.  
 Кар, Дж. Проектирование и изготовление аппаратуры. М., Мир, 1980.  
 Кофлин, Р. и Ф. Дрискол. Операционные усилители и линейные интегральные схемы. М., Мир, 1979.  
 Кьосев, И. и Л. Кьосев. Стабилизиращи токоизправители. с., Техника, 1979.  
 Начев, С. и др. Токозахранващи устройства. с., Техника, 1979.  
 Нейчев, С. и др. Електронни устройства с линейни интегрални схеми. С., Техника, 1978.  
 Пономарев, Л. Д. и др. Конструкции юных радиолюбителей. М., Радио и связь, 1985.  
 16. Стефанов, Н. И. Токоизправители и стабилизатори. С., Техника, 1981.  
 Ausborn, W. Elektronik - Bauelemente. Technik, Berlin, 1975.  
 Blaise, G. Construction des appareils electroniques du debutant. Editions techniques et scientifiques Francaises. 1979.

## СЪДЪРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>Предговор</b> .....  | 3  |
| <b>1. Някои основни понятия за пасивните електронни елементи</b> .....                          | 4  |
| 1.1. Общи сведения .....  | 4  |
| 1.2. Резистори .....  | 4  |
| 1.3. Закон на Ом .....  | 5  |
| 1.4. Номинална мощност .....  | 5  |
| 1.5. Бобини .....   | 5  |
| 1.6. Кондензатори.....  | 5  |
| 1.7. Монтиране на постоянни резистори .....   | 8  |
| 1.8. Монтиране на променливи резистори .....  | 10 |
| 1.9. Монтиране на кондензатори .....  | 10 |
| <b>2. Практика на конструирането</b> .....  | 13 |
| 2.1. Общи сведения.....   | 13 |
| 2.2. Запояване .....  | 13 |
| 2.3. Избор на подходящи инструменти .....   | 14 |
| <b>3. Токозахранване</b> .....  | 18 |
| 3.1. Общи сведения .....  | 18 |
| 3.2. Галванични елементи .....  | 18 |
| 3.3. Параметри на галваничните елементи .....   | 18 |
| 3.4. Първични елементи .....  | 20 |
| 3.5. Вторични елементи .....  | 20 |
| 3.6. Свързване на галваничните елементи и получаване на напрежение<br>посредством делител.....  | 21 |
| <b>4. Трансформатори</b> .....  | 24 |
| 4.1. Общи сведения.....   | 24 |
| 4.2. Устройство и принцип на действие на трансформатора.....                                    | 24 |
| 4.3. Изчисляване на трансформатора .....  | 25 |
| <b>5. Токоизправители</b> .....   | 32 |
| 5.1. Общи сведения .....  | 32 |
| 5.2. Полупроводникови диоди .....   | 32 |
| 5.3. Токоизправителни схеми .....   | 35 |
| <b>6. Изглаждащи филтри</b> .....   | 41 |
| 6.1. Общи сведения .....  | 41 |
| 6.2. Видове изглаждащи филтри.....  | 41 |
| <b>7. Стабилизатори на напрежение</b> .....   | 43 |
| 7.1. Общи сведения.....   | 43 |
| 7.2. Параметрични стабилизатори.....  | 43 |
| 7.3. Схема на параметричен стабилизатор .....   | 44 |
| 7.4. Компенсационни стабилизатори .....   | 45 |
| 7.5. Схеми на компенсационни стабилизатори .....  | 46 |
| <b>8. Линейни стабилизатори със специализирани интегрални схеми тип 723...</b>                  | 54 |
| 8.1. Общи сведения.....   | 54 |
| 8.2. Описание на стабилизатора 723.....   | 54 |
| 8.3. Типови стабилизатори на напрежение. Определяне на параметрите на<br>външните елементи..... | 58 |
| <b>9. Зарядни устройства</b> .....  | 65 |
| 9.1. Общи сведения.....   | 65 |
| 9.2. Зарядни устройства за акумулаторни батерии.....  | 65 |
| 9.3. Приставки за възстановяване на галванични елементи и батерии.....                          | 69 |
| <b>Литература</b> .....   | 71 |