

К.т.н. инж. АТАНАС ИВ. ШИШКОВ

Първи стъпки в радио- електрониката

ВТОРО ИЗДАНИЕ

ДЪРЖАВНО ИЗДАТЕЛСТВО „ТЕХНИКА“
СОФИЯ, 1981

Кратка история на радиоелектрониката

1.1. Един радиолобител спасява експедицията Нобиле

На 23 май 1928 г. целелинът „Италия“, командуван от генерал Умберто Нобиле, след като е прекосил Европа, потегля от остров Шпицберген към Северния полюс. На борда на целелина се намирала полярна експедиция от 16 човека. На следващия ден целелинът достигнал Северния полюс, но разразялата се буря го принудила без кацане да поеме обратен курс. На връщане бордовият телеграфист съобщил, че бурята се превръща в ураган, след което радиовръзката внезапно се прекъснала. Пътуването на експедицията се следяло с голям интерес от всички хора и затова печалната вест незабавно обиколила петте континента. Със свити сърца всички очаквали завръщането на целелина. Минали три дни в напрежение и догадки. Станало ясно, че експедицията е катастрофирала, а по вестниците се появили най-различни предположения за гибелта на екипажа. Неизвестността тревожела всички честни хора.

Изведнъж на 3 юни от село Вохма, Архангелска област, полетява телеграма към Москва. Един съветски радиолобител от далечния Сибир съобщил, че приел сигналите за помощ на експедицията Нобиле. Това бил младият късовълновик Николай Шмид. По професия той бил кономеханик, но се увлякъл от радиолобителството, научил морзовата азбука и сам си построил радиоприемник. На 3 юни вечерта той прослушвал тридесетметровия обхват със своя еднолампов радиоприемник с положителна обратна връзка, конструиран с тетродна лампа. Той приел откъси от някакво предаване, но успял добре да разбере думите... *Италия, Нобиле, SOS, SOS...* Николай не знаел нищо за катастрофата на целелина, но сигналите за бедствие му подсказали, че някой се намира в критично положение и трябва да му се помогне, затова изпратил телеграма в Москва.

Незабавно, след като светът научил новината, шест държави започнали трескава подготовка за спасяване членовете на експедицията. Световната спасителна група била най-голяма и се състояла от няколко кораба начело с прославения ледоразбивач „Красин“ който носел на борда си тримоторен самолет. Целият свят с напрежение следял спасителния подход на смелите съветски моряци. На 12 юли експедицията на Нобиле била открита на един леден блок и прибрана на борда на ледоразбивача „Красин“. . . Първата благодарствена телеграма, която спасените полярници изпратили, била адресирана до съветския радиолобител Николай Шмид....

1.2. Предаване на съобщения на разстояния

Мечтата на човека да предава съобщения на големи разстояния датира твърде отдавна. Според една древногръцка легенда новината за победата на пълководца Милтиад над персите била донесена от гръцки войник, който пробягал без прекъсване разстоянието 42 километра и 195 метра от град Маратон до Атина. Той с последни сили пристигнал в столицата, съобщил за победата и издъхнал.

В Средните векове за предаване на съобщения били използвани дървени кули, построени на подходящи височини. На кулите имало подвижни прътове и дъски, чвето взаимно разположение символизирало различните букви. В 1793 г. такова съоръжение било построено между градовете Париж и Лил, като на разстояние 220 километра били разположени 23 станции. Една буква се предавала от единия град до другия средно за 2 минути, а едно изречение — за 1—2 часа.

1.3. Откриване на телеграфа

Голяма крачка напред в съобщителната техника била направена от талантливия руски учен **Павел Львович Шиллинг**, който в 1832 г. изобретял първия електромагнитен телеграф. Пет години по-късно **Самуел Морз** конструирал известния на всички електромагнитен пашец морзов телеграф, който в усъвършенствувал вид се използва и до днес.

Телеграфът бързо проникнал в много страни, а през 1858 г. през Атлантическия океан бил положен и първият кабел, свързващ Европа с Америка. В началото на нашето столетие телеграфната техника достигнала своя разцвет. Били построени хиляди километри жични и кабелни линии. Само за няколко часа новините обикаляли света.

Жичната телеграфна връзка била прекрасна придобивка, но не можела да бъде използвана при движещи се обекти. Така например корабите при дълечни плавания били откъснати от света и не се знаело нищо за тяхната съдба.

1.4. Електромагнитни вълни

Опитите на знаменития английски физик **Майкъл Фарадей** (1791—1867) разширили извънредно много познанията за електричеството и магнетизма. Въз основа на тези опити неговият бележит сънародник **Джеймс Максвел** (1831—1879) написал в 1873 г. научен труд, в който били публикувани за пръв път прочутите *четири уравнения на Максвел*. Така с помощта на математиката той успял по чисто теоретичен път да предскаже, че с помощта на електрически ток могат да се получат **електромагнитни вълни**. (Радиовълните, които днес намират толкова широко приложение, не са нищо друго освен електромагнитни вълни.) Никой дотогава не предполагал, че от електрически ток могат да се получат електромагнитни вълни. Дори самият Максвел не можал да доживее тяхното практическо получаване, което станало в 1888 г. от немския физик **Хайнрих Херц** (1857—1894). Обаче, провеждайки своите опити, Херц не подозирал, че получените от него електромагнитни вълни могат да бъдат използвани за радиосъобщения.

1.5. Откривателят на радиото А. С. Попов

Бележитият руски физик **Александър Степанович Попов** (фиг. 1.1) бил първият учен, който разбрал, че електромагнитните вълни могат да бъдат използвани като средство за безжични връзки и с право той се счита за откривател на радиото.

А. С. Попов е роден на 16. III. 1859 г. в с. Турински рудници, Пермска губерния (сега гр. Краснотуринск). След завършване на физико-математическия факултет в гр. Петербург той бил оставен на работа в Университета, а после станал преподавател във Военноморското училище. Тук Попов провел голяма научноизследователска дейност в областта на електричеството. След упорита работа той успял да конструира устройство, което реагираше на електромагнитните вълни, появяващи се по време на светкавици. (Всяка светкавица излъчва мощни електромагнитни вълни.) Това устройство представлявало първият в света радиоприемник (фиг. 1.2). На 7. V. 1895 г. А. С. Попов демонстрирал своето изобретение пред руското физико-химическо дружество в Петербург, като прочел научен доклад за неговото устройство и действие. Този ден влязъл в историята като рожден ден на радиото.



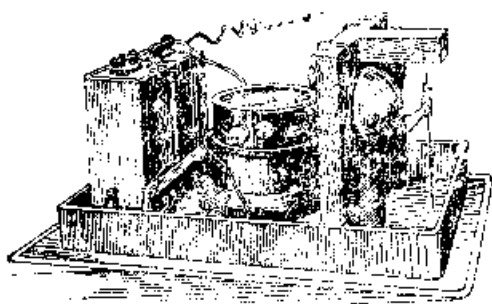
Фиг. 1.1

1.6. Развитие на радиотехниката

След откритието на А. С. Попов учени те насочили вниманието си към усъвършенстване на радиоприемните и предавателни устройства, тъй като разбрали, че безжичната радиовръзка има големи перспективи. В 1903 **Флеминг** открил *ламповия диод*, а в 1907 г. **Ли де Форест** конструирал *триодната лампа*. С това било поставено началото на нов етап в развитието на радиотехниката, понеже с *електронните лампи* можело да бъдат усилвани *слаби електрически сигнали*. В 1913 г. **Майснер** конструирал първия *автогенератор*, с който можело да се получават *незатихващи електрически трептения*, а това било много важно за предавателната техника. В резултат на тези открития в периода 1920—1925 г. започнало производството на различни видове лампови радиоприемници, а също така и строеж на редица радиопредаватели. Така се оформила и възникнала науката *радиотехника*, чиято главна задача била предаването на информация (говор, музика и съобщения) на далечни разстояния по безжичен път.

Развитието на радиотехниката вървяло бързо, в резултат на което през периода 1930—1935 г. били разработени редица нови радиолампи—*пентоди*, *комбиниранни лампи*, *газотрони*, *тиратрони* и т. н. Това позволило, от една страна, да се конструират радиоапарати и устройства със завидни качества, а от друга — радиотехниката и нейните приложения започнали да навлизат в промишлеността, уредостроенето, измерителната техника и т. н.

В края на Втората световна война във връзка с подобряване качествата на радиолокаторите бил конструиран първият **точков диод**. По такъв начин полупроводниците навлезли в радиотехниката, като повратен момент станало откриването на **транзистора** в 1948 г. от Бардин, Братейн и Шокли, с



Фиг. 1.2

което било поставено началото на *полупроводниковата електроника*. По своите основни качества (малък обем, дълготрайност, липса на отоплителна верига, механическа издръжливост, икономичност, възможност да се захранва с ниски напрежения и др.) транзисторът се оказва сериозен конкурент на радиолампата. В резултат на това от 1955г. насам започна бързата *транзисторизация на радиоелектронната апаратура*, като днес електронните лампи намират приложение

само в преподавателите, в някои промишлени устройства и в специалната радиоизмерителна апаратура.

Особено перспективно се оказва внедряването на транзисторите в електронноизчислителните машини, които дотогава се състояха от голям брой радиолампи (напр. 50 000) и заемаха помещението от две-три стаи. Това положение **началото на полупроводниковата микроелектроника**, която с право може да се нарече едно от чудесата на човешкия гений. Така се родиха *интегралните схеми*, при които в кристал с размери примерно 4×4 милиметра се съдържат 10 000 транзистора! С тяхна помощ се постига почти фантастична миниатюризация на електронната апаратура. Ето защо радиоелектрониката заема водещо място в съвременната научно-техническа революция и в прогреса на цялото човечество.

1.7. Възникване на радиолобителското движение

Възможността да се предава говор и музика на големи разстояния с помощта на радиовълни представлявало за времето си истинско чудо. Днес ние сме свикнали с радиоприемника и телевизора, но по-възрастните хора с умиление си спомнят за периода 1925—1930 г., когато с трепет са поставяли слушалките на ушите си, очаквайки да чуят далечен говор или музика. (Първите радиоприемници били със слушалки.)

След Първата световна война „чудото на радиовълните“ заинтригувало много хора и те започнали да изучават „тайните“ на това откритие, като някои сами започнали да си строят радиоприемници и предаватели. Така възникнало радиолобителското движение, което обединява в своите редици хора с различни професии и възрасти.

Отначало на радиолобителите не се обръщало голямо внимание и за да не „пречат“ на служебните радиовръзки, им бил предоставен късолюбният обхват. (По това време се считало, че дългите вълни са най-перспективни.) Но изведнъж в края на 1923 г. двама радиолобители установили радиовръзка между Англия и Америка на къси вълни, и то с маломощни предаватели. Това откритие *предизвикало поврат*, като специалистите променили отно-

шенето си не само към късите вълни, но и към радиолюбителите. За това говори официалният апел на редица правителства, отправен към радиолюбителите от цял свят за съвместни проучвания при овладяване на далечните радиовръзки на къси вълни. И резултатите не закъснели — само след една година радиолюбителите установили връзка на къси вълни между Англия и Нова Зеландия при използване на маломощни предаватели. Така била доказана възможността за радиовръзка между кои да са две точки от земното кълбо. Това повишило и авторитета на радиолюбителското движение, като довело до постигане на международно споразумение, с което *определени късовълнови обхвати се предоставят за работа на радиолюбителите.*

Днес радиолюбителското движение не е само „хоби“, а *масова школа за самостоятелно повишаване на квалификацията* в областта на приемната и предавателната техника, телемеханиката, радиоуправлението, телевизията, електроакустиката и т. н. За това говори фактът, че като радиолюбители са започнали кариерата си много наши и чуждестранни учени, сред които съветските академици Милиц, Берг, Введенский, Сифоров и т. н. Радиолюбител бе и остана до края на живота си Ернст Кренкел — радистът на прославената през 1937—1938 г. полярна експедиция на съветския учен Папанин. За значението на радиолюбителското движение говори и фактът, че през Великата отечествена война хиляди радиолюбители навлязоха в редовете на Съветската армия и дадоха своя принос за победата, като над 300 от тях получиха званието „Герой на Съветския съюз.“

У нас радиолюбителското движение се заражда в периода, когато в страната са внесени първите радиоприемници. Сред „запалените“ радиолюбители по онова време са били проф. Асен Златаров, Един Петев и др. В 1926 г. бил основан първият радиолюбителски клуб, чиято задача е била предимно просветителска, а 9 години по-късно започнало да излиза и първото радиолюбителско списание.

След 9. IX. 1944 г. радиолюбителското движение у нас се поставя на организирана основа. Създават се редица *окръжни, градски и районни радиолюбителски клубове*, където хиляди младежи и девойки под ръководството на опитни специалисти овладяват радиотехниката и повишават квалификацията си. По неформални данни днес в страната има над 30 000 радиолюбители, от които над 500 имат лични радиостанции.

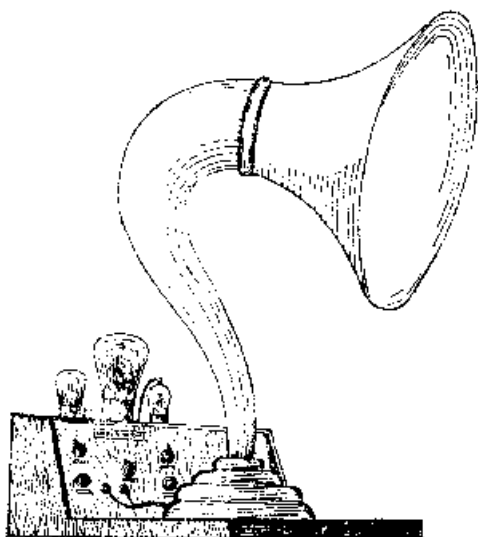
На големите трижи, които днес се полагат за развитие на радиолюбителската дейност у нас, радиолюбителите отговарят с конкретни дела. За това свидетелствуват не само двустранните радиолюбителски връзки, чийто брой годишно надхвърля 1 000 000, но и големият брой експонати, представяни ежегодно на изложбите на ТНТМ. Това недвусмислено показва, че радиолюбителите са в първите редици на носителите на техническия прогрес у нас и по такъв начин претворяват в дело партийния лозунг „Българската нация — нация техническа, нация комунистическа“.

1.8. Развитие на радиотехниката у нас

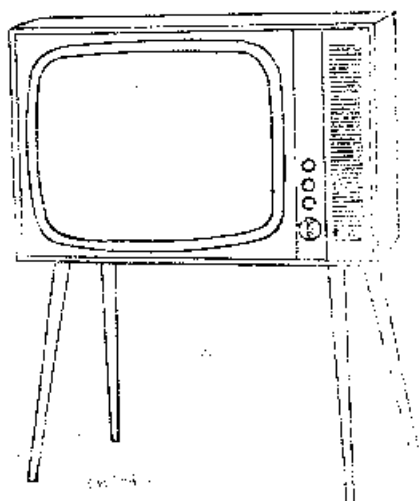
Развитието на радиотехниката в България започва през 1923—1925 г., когато са внесени от чужбина първите радиоприемници (фиг. 1.3). С тях са били приемали само чужди станции, тъй като по това време у нас не е имало граждански радиопредаватели. Статистиката показва, че в 1927 г. в страната е имало всичко 427 радиоприемника.

През 1929 г. група радиолюбители построили първия радиопредавател с мощност 50 вата, като след две години неговата мощност била увеличена

жа 400 вата. В 1935 г. радиоразпръскването става държавен монопол, а две години по-късно бива построен предавателят на Радио София край с. Вакарел. По това време в страната не е имало радиопромишленост и радиоприемниците и частите биват внасяни от чужбина.

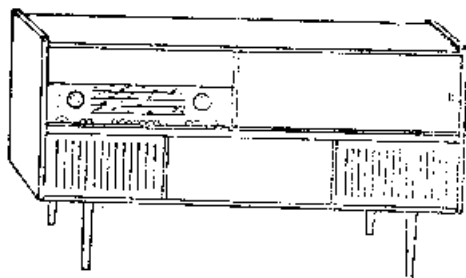


Фиг. 1.3

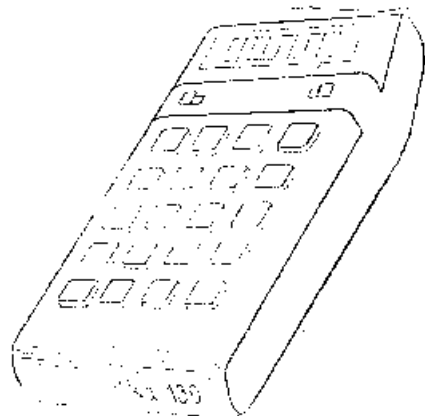


Фиг. 1.5

След 9. IX. 1944 г. започва бурният възход на нашата Родина. В страната се откриват както средни, така и висши технически учебни заведения по радиотехническите специалности. Едновременно с това се полагат основите на родната радиопромишленост, като започва строителството на първите



Фиг. 1.4



Фиг. 1.6

заводи и предприятия, произвеждащи слаботокова апаратура. В 1959 г. влиза в експлоатация Софийският телевизионен предавател, след което започва и изграждането на цяла мрежа от ретранслатори и предаватели с оглед неговата програма да може да се приема в цялата страна.

Днес България е страна със силно развита радиоелектронна промишленост. През 1980 г. у нас е имало около 2 000 000 телевизора и 2 500 000 радиоприемника, по-голямата част от които са родно производство. Ние произвеждаме радиоприемници (фиг. 1.4), телевизори (фиг. 1.5), радиопредаватели, радиолокатори, електронночислещи машини (фиг. 1.6), магнетофони, полупроводникови прибори, високоговорители, радиочасти и т. н.

1.9. Какво означава думата „радиоелектроника“

До преди две-три десетилетия радиотехниката обхващаше главно радио-предавателната и радиоприемната техника. Днес думата радиотехника е вече заменена с по-широкообхватната дума радиоелектроника, която включва в себе си не само радиотехниката, но и редица нови области на човешкото знание, като полупроводникова електроника, импулсна техника, електронночислещи машини, електронна автоматика, телевизия и т. н. Оттук се вижда, че думата радиотехниката е била свързана с предаване на информация по безжичен път, днес радиоелектрониката е навлязла дълбоко в почти всички области на човешкото знание. Без радиоелектрониката са немислими не само радиоприемниците, телевизорите и магнетофоните, но и електронночислещите машини, космическите кораби и ракети, кибернетичните устройства и автомати, най-точните измерителни прибори и апарати, сверхзвуковите самолети, електронните микроскопи и т. н.

ЗАПОМНЕТЕ!

1. Откривателят на радиото е руският учен А. С. Попов. Той открил радиото на 7. V. 1895 г. Датата 7. V е определена като Международен ден на радиото.
2. Първоначално радиотехниката е обхващала главно радиоприемната и предавателната техника. Обаче поради възникването на нови области на човешкото знание понастоящем се използва думата радиоелектроника, която е по-пълна и всеобхватна.
3. До 9. IX. 1944 г. у нас не е имало радиоелектронна промишленост и всички радиоприемници и части са били внасяни от чужбина. Днес България е страна със силно развита радиоелектронна промишленост. Ние произвеждаме най-различни радиоелектронни апарати и устройства, които изнасяме в много страни на света.

Основни сведения за електричеството

2.1. Електротехниката е основа на радиоелектрониката

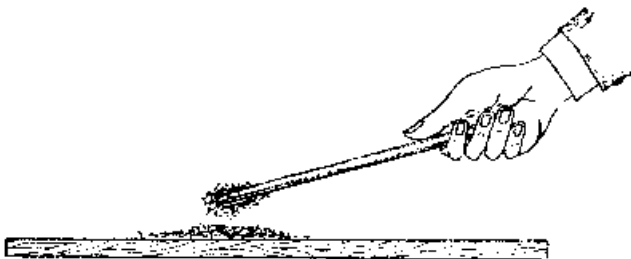
Всеки знае, че радиоприемниците, телевизорите, магнетофоните и другите радиоелектронни устройства работят с помощта на електрическият ток. Но докато при обикновените машини имаме движещи се части и явленията са нагледни, в радиоелектрониката като че ли всичко е мъртво и неподвижно. В действителност това сложичество е привидно, защото всеки проводник и всеки детайл са гъсто „населени“ с невидими за нас електрони, които извършват невъобразимо сложни движения. Електрическият ток се поражда в микрофона, протича през антената, образува радиовълни, усилва се от транзисторите, задействува високоговорителя, чертае образи по екрана на телевизора и т. н.

Ето защо *овладяването на електрониката е немислимо без познаването на електрическия ток и неговите закони.*

2.2. Наелектризиране на телата

Още древните народи са познавали свойството на кехлибара (вкаменен смола от иглолистни растения) да привлича леки тела, когато се натрие върхен плат или кожа (фиг. 2.1). Понеже на гръцки език кехлибарът се нарича електрон, отук е произлязло и името на електричеството.

Наелектризирането на телата останало непроучено до края на XVI век, когато било открито, че и други вещества — например стъклото, сярата, смолата, червеният восък и др. — притежават подобни свойства. Опитите показали, че *при наелектризиране на телата винаги се получават два вида електричество.*



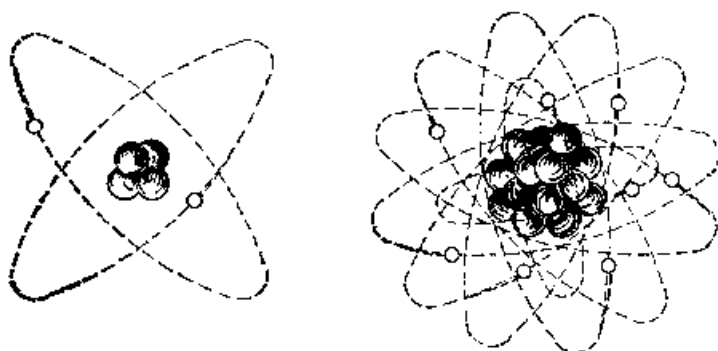
Фиг. 2.1

Електричеството на стъклената пръчка било наречено **положително**, а електричеството на смолената — **отрицателно**. Така възникнали и означенията **плюс (+)** и **минус (-)**.

А какви промени стават в стъклото и смолата при триене? Как се обяснява наелектризирането?

2.3. Обяснение на наелектризирането

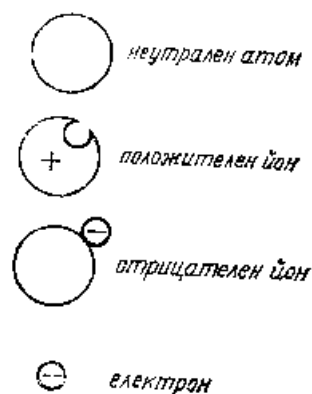
Всячки предмети и вещества са изградени от малки частици, наречени атоми. При твърдите вещества атомите са здраво свързани помежду си, докато при течностите и газовете тези връзки са слаби. За да разберем колко са малки атомите, нека кажем, че в една капка вода атомите са повече, отколкото са водните капки в Черно море!



Фиг. 2.2

Всеки атом се състои от положително ядро, около което обикалят с шеметна скорост отрицателно наелектризиранни частици, наречени електрони. На фиг. 2.2 са показани атомите на лекия газ хелий и на желязото. По подобен начин са изградени атомите и на всички други химически елементи. В нормално състояние броят на обикалящите електрони е равен на броя на положителните товари в ядрото и атомът като цяло е електрически неутрален.

Чрез триене, нагряване и др. е възможно от най-външната орбита на атома да бъде откъснат един или няколко електрона. В този случай положителните товари в ядрото ще започнат да преобладават, атомът се превръща в положително наелектризирана частица и се нарича положителен йон. Освен откъсване е възможно и присъединяване на допълнителни електрони, като атомът се превръща в отрицателно наелектризирана частица и се нарича отрицателен йон. Всичко това е показано на фиг. 2.3, където атомите са представени в опростен вид.



Фиг. 2.3

При наелектризиране на телата имаме откъсване и прибавяне само на електрони, а положителните товари са неподвижни, защото се намират в ядрата на атомите и са здраво свързани с веществото. Например при триене на стъклена пръчка с вълнен плат тя се наелектризира положително,

а платът — отрицателно, защото електроните преминават от пръчката в плата. При трисне на смолена пръчка електроните преминават от плата в пръчката, затова платът се наелектризира положително, а пръчката — отрицателно.

Прибавянето и отнемането на електрони от атомите се нарича още **ионизация**. То няма нищо общо с разбиването на атома, при което се променя строежът на ядрото.

2.4. Електрон

Без преувеличение може да се каже, че електронът е най-забележителната материална частица, която създаде цяла епоха в науката и техниката. Нека се запознаем по-отблизо със свойствата и особеностите на този „чародей“.

Електронът е извънредно малък. Ако приемем, че той представлява сфера, неговият диаметър е 100 000 пъти по-малък от диаметъра на атома. А теглото на един електрон е толкова по-малко от грама, колкото грамът е по-лек от земното кълбо.

При наелектризиране на телата имаме *преминаване на електрони от едно тяло в друго*, но поради малката маса на електрона видима промяна в теглото на тези тела не се забелязва. При това нека подчертаем, че *електроните на всички вещества и химически елементи са съвсем еднакви*.

Редица остроумни и изумителни по своята точност опити, направени от физиците, позволиха да узнаем не само диаметъра и масата на електрона, но и големината на неговия *отрицателен електрически заряд*.

Като сравним размерите и масата на електрона с неговия електрически заряд, веднага забелязваме, че в *нищожен обем е „концентриран“ сравнително голям електрически заряд*. Масата на електрона е извънредно малка спрямо огромните сили, които могат да му действуват. В това отношение той прилича на малка птичка, която има мощността на самолетен мотор. Поради това електронът е извънредно „маневрен“ — *той може да се движи с огромни скорости и да извършва милиарди трептения в една секунда*.

Сам за себе си електронът е малка частица с нищожен електрически товар. Обаче при различните електрически явления броят на участващите електрони е огромен и резултатният ефект може да бъде много голям.

2.5. Единица за количество електричество

Радиоелектрониката е приложна наука. Това означава, че тя не само изучава явленията, но и създава нови и сложни устройства. Проектирането и конструирането на тези устройства е свързано, от една страна, с математиката, а от друга — с величините, характеризиращи електричеството.

Вече знаем, че при наелектризирането на телата имаме или отнемане, или добавяне на електрони. За оценка на това явление си служим с понятието *количество електричество*. Единицата на количество електричество се нарича кулон в чест на френския физик **Шарл Кулон** (1736—1805). Един кулон електричество се равнява на следния огромен брой електрони:

1 кулон = 6 300 000 000 000 000 електрона.

Когато чрез триене наелектризираме стъклена или смолена пръчка, ние отнемаме или прибавяме хилядни части от кулона количество електричество.

Независимо от това броят на участващите електрони е огромен и възлиза на стотици и хиляди милиарди.

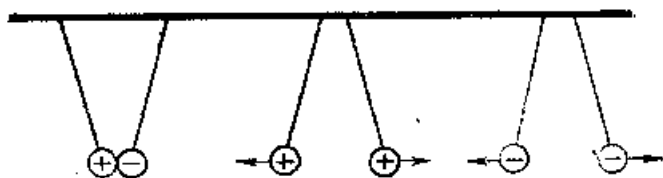
Електрическо поле

Около всяко наелектризирано тяло съществува *електрическо поле*, което е невидимо за нас. Електрическото поле има това свойство, че ако в него поставим други наелектризиранни тела, върху тях ще започнат да действуват определени сили. Следователно *електрическото поле е носител на енергия*. Тази енергия не се е получила от нищо, а е за сметка на причината, която е наелектризирала телата. Във връзка с това нека припомним основния природен закон (закон за запазване на енергията): *енергията нито се губи, нито се създава, тя само преминава от един вид в друг и от едно тяло в друго*.

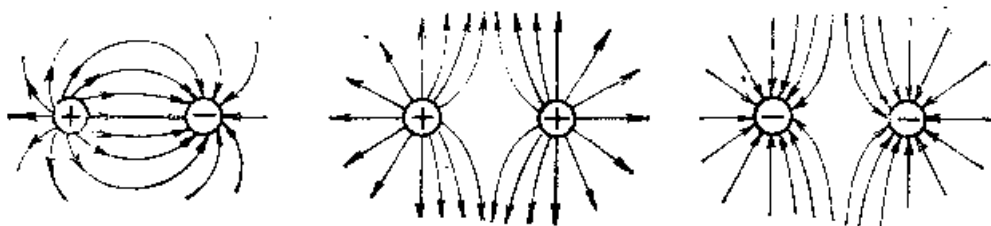
На фиг. 2.4 е показано как наелектризираните тела си взаимодействуват посредством своите електрически полета. Трябва да запомним, че *разноименно наелектризираните тела се привличат, а едноименно наелектризираните се отблъскват*.

Електрическото поле се характеризира главно с две величини: *посока* и *интензитет* (напрегнатост).

За *положителна посока* на полето се приема посоката на положително към отрицателно зареденото тяло. За нагледност електрическото поле се изобразява с т. нар. *електрически силови линии*, които изхождат от положително към отрицателно зареденото тяло. Тяхната форма е свързана със силата, която би действувала на един свободен положителен заряд, поставен в дадена точка на полето. На фиг. 2.5 са показани електрическите полета на



Фиг. 2.4

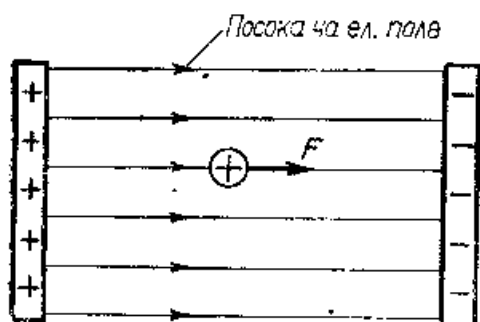


Фиг. 2.5

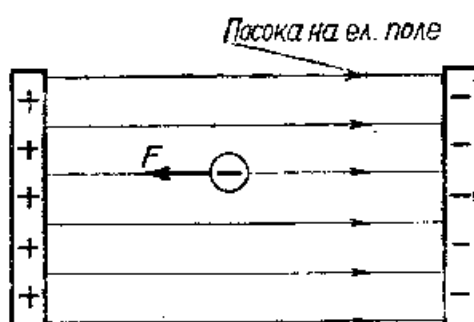
разноименни и едноименни заряди. Там, където силовите линии са по-нагъсто, интензитетът на полето е по-голям.

На фиг. 2.6 е показано електрическо поле между две разноименно наелектризиранни метални плочи. Положителният електрически товар, поставен в това поле, ще се движи *по посока на полето*, защото се привлича от отрицателната и се отблъсква от положителната плоча.

Ако в същото електрическо поле поставим електрон (фиг. 2.7), понеже той е отрицателна частица, ще се отблъсква от отрицателната плоча и ще се привлича от положителната, т. е. *електронът ще се движи срещу посоката на полето.*



Фиг. 2.6



Фиг. 2.7

Горните два примера показват, че полето нанстина е носител на енергия, тъй като при определени условия то може да *извършва работа*, като пренася електрически заряди.

ЗАПОМНЕТЕ!

1. Веществото е изградено от малки частици, наречени атоми. В нормалния случай те са неутрални, защото броят на положителните товари в ядрото е равен на броя на обикалящите отрицателни електрони.
2. При отнемане или прибавяне на електрони атомът вече не е неутрален и се превръща съответно в положителен или отрицателен йон.
3. Наелектризирането на телата е свързано с отнемането или прибавянето на електрони. Положителните товари са неподвижно свързани с ядрата на атомите, т. е. с веществото.
4. Около всяко наелектризирано тяло съществува електрическо поле, което е носител на енергия.
5. Свободният електрон, поставен в електрическо поле, започва да се движи срещу полето. Поради малката си маса и значителния си заряд електронът, поставен в подходящи полета, може да извършва милиарди трептения в секунда.
6. Единицата за количество електричество се нарича кулон.

Постоянен електрически ток

3.1. Проводници и изолатори

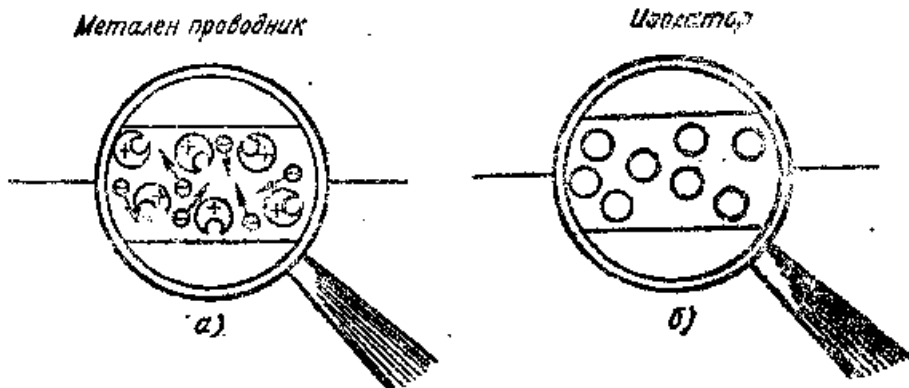
Веществата, в които има значителен брой свободни токоносители (електрони или йони), се наричат **проводници**. Добри проводници са **в с и ч к и м е т а л и**, разтворите на солите, киселините и основите, влажната почва и др. Човешкото тяло също провежда електрически ток, особено ако кожата е влажна.

От металите *най-добър проводник е среброто*, след него следват медта, златото, алуминият, цинкът, желязото и т. н. В практиката най-често се използват медни проводници.

Ако с въображаема лупа, увеличаваща милиарди пъти, разгледаме метален проводник (фиг. 3.1а), ще забележим, че от най-външната орбита на всеки атом липсва по един електрон, т. е. атомите представляват **положителни йони**. Тези йони, макар и отдалечени един от друг, са здраво свързани помежду си с **междуетатомни сили** и така се осигурява твърдостта на метала. Между положителните йони хаотично се движат във всички посоки **свободни електрони**. Това хаотично движение се нарича още *термично трептене* и е толкова по-интензивно, колкото е по-висока температурата на метала. Броят на свободните електрони в един кубически сантиметър метал е огромен и може да напишем

1 cm³ метал съдържа около
100 000 000 000 000 000 000 000 свободни електрона!

За сравнение ще кажем, че това число е по-голямо, отколкото броят на песчинките, съдържащи се в 100 вагона, пълни с пясък.



Фиг. 3.1

Нека отбележим, че металите като цяло са електрически неутрални, защото положителните заряди на йоните се компенсират от отрицателните заряди на точно същия брой свободни електрони.

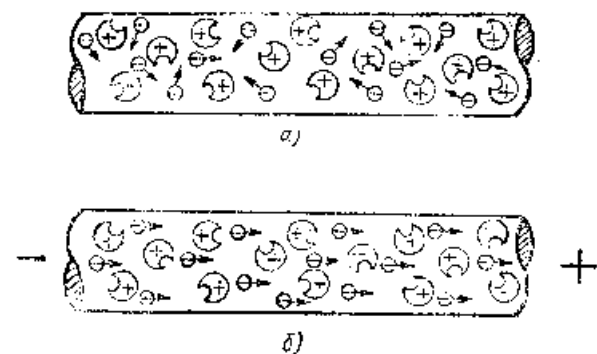
Веществата, в които липсват свободни токоносители, се наричат **изолатори** или **диелектрици**. Към изолаторите спадат въздухът, каучукът, порцеланът, пластмасите, слюдата, парафинът, маслата, коприната, смолите, стъклото, гетинакът, бакелитът, дестилираната вода и др. Ако с нашата „въдшебна“ лупа разгледаме една нишка от изолатор (фиг. 3.1 б), ще забележим, че тук всички електрони са здраво свързани с атомите. Следователно в изолаторите липсват свободни токоносители.

Както ще видим по-нататък, различните видове проводници и изолатори са основните материали, с които си служим в електротехниката и радиоелектрониката.

3.2. Електрически ток

Насоченото движение на свободни токоносители се нарича електрически ток. При металите електрическият ток се дължи на насоченото движение само на един вид токоносители — електроните.

На фиг. 3.2 а е показан условно метален проводник, през който не тече ток. Виждаме, че неговите свободни електрони се движат хаотично в най-различни посоки вследствие на термичното трептене. Когато през проводника протича ток, свободните му електрони се движат насочено в определена посока (фиг. 3.2 б). Но кой може да породи електрически ток в проводниците?



Фиг. 3.2

Всички от нас познава плоската батерийка за джобно фенерче. Тя представлява източник на електрически ток. На отрицателния полюс на батерийката имаме излишък на електрони, а на положителния — недостиг. Следователно между нейните полюси съществува електрическо поле. На фиг. 3.3а батерийката е свързана през проводник с една крушка. Когато през ключа затворим веригата, *електрическото поле, породено от батерийката, се разпространява по проводника с огромна скорост.* То действа почти едновременно върху всички свободни електрони и те започват да се движат насочено, т. е. протича електрически ток.

Важно условие за протичане на електрически ток е *веригата да бъде затворена.* В отворена верига електрически ток не може да протича.

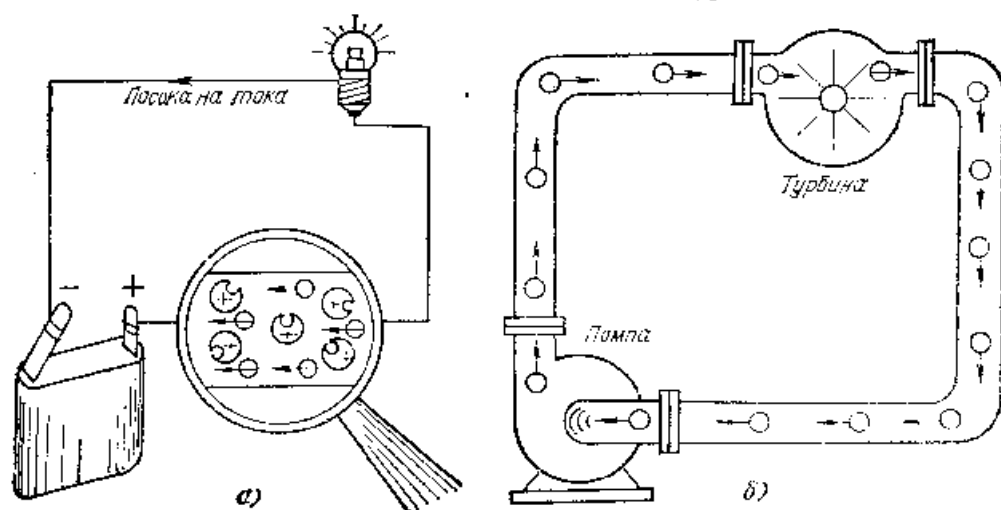
Нека отбележим, че при затворена верига електрическото поле действа и върху положителните йони на метала, но те са здраво свързани с веществото и остават неподвижни.

3.3. Източници на електрически ток

Източници на електрически ток са батериите, акумулаторите, динамомашините, различните видове генератори и т. п. Те произвеждат електрическа енергия за сметка на някоя друг вид енергия, например химическа, механична, топлинна и др. Следователно и при токоизточниците е в сила законът за запазване на енергията.

Всеки токоизточник има свойството при затваряне на веригата да създава в проводниците електрическо поле, което действа с определена сила върху свободните им електрони. Затова се казва, че всеки токоизточник притежава определено *електродвижещо напрежение* (е. д. н.).

Източниците на електрически ток не произвеждат електрони, а чрез създаденото от тях електрическо поле задвижват свободните електрони, намиращи се в самите проводници. В това



Фиг. 3.3

отношение всеки токоизточник може да се оприличи на помпа, която задвижва водата в една затворена система от тръби (фиг. 3.3 б). Както батерията предава енергия на крушката, така помпата предава енергия на турбината. Очевидно при една неразклонена система количеството на водата, която протича в дебелия и тънките тръби за единица време, е едно и също, само че през тънките тръби водните частици се движат с по-голяма скорост. По същия начин може да се каже, че *силата на тока в една неразклонена електрическа верига навред е една и съща*, само че в дебелия проводници електроните се движат по-бавно, а в тънките — по-бързо.

3.4. Скорост на електрическия ток

Електрическото поле се разпространява по проводниците със скорост 300 000 километра за една секунда. Тази скорост е толкова голяма, че за една секунда полето може да обиколи земното кълбо близо 8 пъти!

Скоростта на насоченото движение на електроните в проводниците е *далеч по-малка* и зависи от плътността на тока. В нажежената жичка на елек-

трическата крушка електроните се движат със скорост 1—2 сантиметра в секунда, докато в шпуровите и кабелите тази скорост не надвишава 2—3 милиметра в секунда. Тук може да възникне въпросът: защо се казва, че скоростта на електрическия ток е огромна?

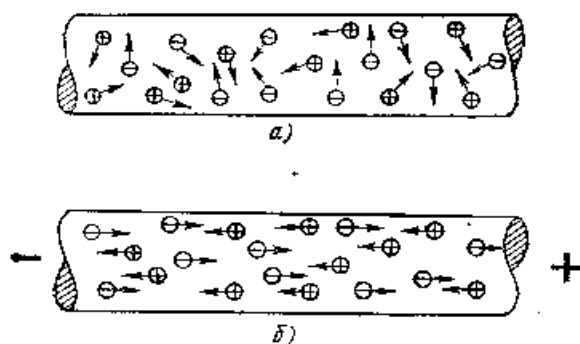
За да разберем това, нека си представим няколко десетки кубчета, наредени плътно едно до друго по права линия върху гладка повърхност. Ако натиснем първото кубче, въздействието ще достигне почти моментално до последното кубче, обаче скоростта на отделните кубчета няма да бъде много голяма. По същия начин при затваряне на веригата електрическото поле се разпространява с огромна скорост по проводника и *почти едновременно задвижва както близките, така и далечните електрони*. Поради това е прието да се казва, че електрическият ток се разпространява по проводниците със скорост около 300 000 километра в секунда.

3.5. Посока на електрическия ток

Вече изяснихме, че при металите електрическият ток се дължи само на един вид токоносител — електроните. При електролитите обаче електрическият ток се движи едновременно както на електроните, така и на положителните йони. Подобна е картината и при полупроводниците, където електрическият ток се обуславя от два вида заредени частици — електрони и дупки (дупките имат свойствата на положително заредени частици, защото представляват места, където липсват електрони). На фиг. 3.4 а е показан условно полупроводник, през който не тече ток. Виждаме, че електроните и дупките се движат хаотично в най-различни посоки поради термичното трептене. Когато към полупроводника е свързан токоизточник, той създава електрическо поле, като *дупките се движат по посока на полето, а електроните се движат срещу полето* (фиг. 3.4 б).

По-нататък ще се убедим, че за редица електротехнически правила е нужно да се въведе понятието **посока на тока**. Обаче видяхме, че в редица случаи токът се дължи на два вида токоносители (положителни и отрицателни), които при наличие на електрическо поле се движат в противоположни посоки.

Още в миналото столетие било прието под посока на електрически ток да се разбира посоката на движение на положителните токоносители. (Тогави не се е знаело, че в металите токът се обуславя само от електроните.) По традиция това правило се е запазило и до днес, като по такъв начин *посоката*



Фиг. 3.4

на тока в металите е противоположна на посоката на движение на електроните (вж. фиг. 3.3 а).

Обръщаме внимание, че при чертане на схеми стрелките, които се поставят по проводниците, показват не посоката на движение на електроните, а посоката на тока (вж. фиг. 3.3 а).

Следователно токът във външната верига тече от положителния полюс на токоизточника към отрицателния.

3.6. Големина на тока

Големината на електрическият ток се измерва с количеството електричество, преминало през напречното сечение на проводника за една секунда. Единицата за големина на тока се нарича ампер (А) в чест на френския учен Андре Мари Ампер (1775—1836). Ток с големина един ампер тече тогава, когато през напречното сечение на проводника за една секунда преминава един кулон електричество.

Следователно можем да напишем:

$$1 \text{ ампер} = \frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ секунда}}.$$

Във физиката е прието големината на тока да се бележи с I , количеството електричество — с Q , а времето — с t . По такъв начин горното равенство може да се напише математически така:

$$I = \frac{Q}{t}. \quad (3.1)$$

Това е първата формула, която срещаме в тази книга. Затова нека покажем с един пример как тя може да се използва.

Пример 3.1. Каква е големината на тока, ако през напречното сечение на дин проводник за 0,1 секунда протича количество електричество 0,5 кулона

Тази задача е елементарна, но въпреки това всеки „на ум“ не може да я реши.

Тук на помощ ни идва математиката.

И наистина след заместване в горната формула получаваме лесно резултата

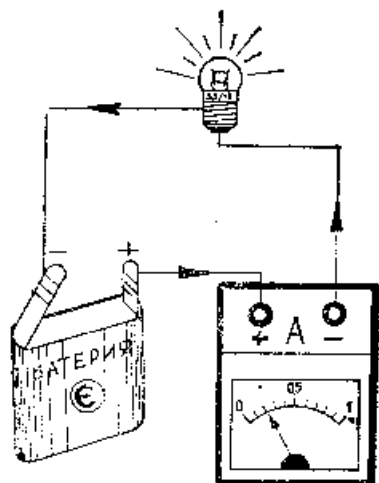
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{0,5}{0,1} = 5 \text{ ампера.}$$

В радиоселектрониката обикновено се работи със сравнително малки токове (по-рано са я наричали слабо-токова електротехника). Затова в практиката твърде често се използват по-малките единици милиампер (една хилядна от ампера) и микроампер (една милионна от ампера), за които можем да напишем:

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A},$$

$$1 \text{ }\mu\text{A} = 0,000\,001 \text{ A}.$$

Като пример можем да споменем, че токът, който нормално протича през радиослушалките, е 1—2 mA; токът, който консумира един голям транзисторен радиоприемник, е 10—20 mA; токът през осветителната крушка за джобно фенерче е 200—300 mA; токът през електрическите ютии е 1—2 A; токът през електрическите котлони е 3—6 A; токът през средно големите електродвигатели е 10—20 A; токът през вторичната намотка на електрогените е 100—300 A.



Фиг. 3.5

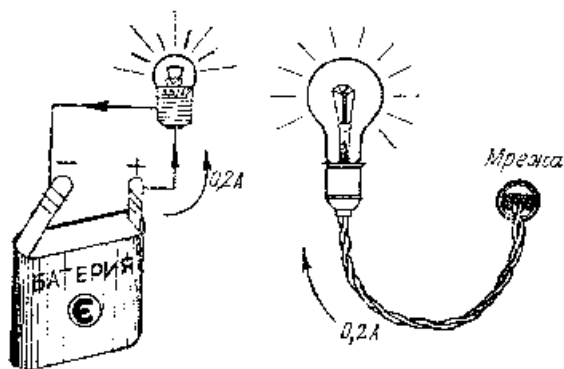
Големината на тока се измерва със специален уред, наречен **амперметър**. Той се включва във веригата така, че електрическият ток да *преминава през него*, като „влиза“ през положителната му клемма и „излиза“ през отрицателната (фиг. 3.5).

Някои амперметри са част от **комбинирани измерителни уреди** (мултицети), снабдени с подходящ превключвател. Съществуват и отделни уреди — милиамперметри и микроамперметри, с които могат да се измерват твърде малки токове.

3.7. Електрическо напрежение

Когато преминава през даден консуматор, електрическият ток извършва някаква работа — например загрява жичката на електрическата крушка, привлича котвата на електромагнита, задвижва ротора на електродвигателя и т. н. Извършената работа *зависи не само от преминалото количество електричество, но и от приложеното напрежение*. В това можем да се убедим от фиг. 3.6, където са показани крушка за джобно фенерче и обикновена 40-ватова осветителна крушка. И през двете лампи протича ток около 0,2 А, т. е. за единица време преминава едно и също количество електричество. Обаче втората лампа свети далеч по-силно, защото приложеното напрежение е по-голямо. Тук възниква въпросът след като количеството електричество е едно и също, защо във втория случай електроните са носители на по-голяма енергия и различават ли се по нещо влизащите в крушката електрони от излизащите?

За да обясним това, нека разгледаме фиг. 3.7, където са показани два случая на изтичане на едно и също количество вода, но от различна височина. Тук също можем да запитаме: защо във втория случай енергията на водните частици е по-голяма? Енергията на водните частици се обуславя от земното гравитационно поле. Когато части-



Фиг. 3.6

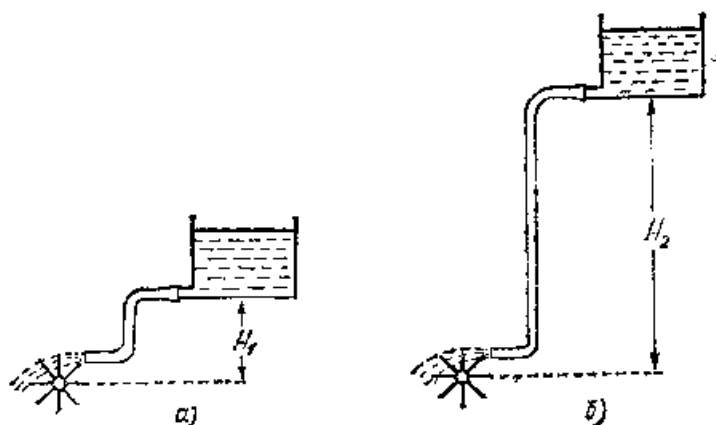
ците падат по посока на полето, те освобождават енергия, която може да се използва.

По същия начин енергията на електроните е свързана с електрическото поле, създавано от токоизточника. Това поле действа на всеки електрон, като при своето движение електроните освобождават енергия. Но докато водните частици падат винаги към центъра на земята, електроните „падат“ от единия полюс на токоизточника към другия.

Напрежението между две точки от една електрическа верига *се измерва с извършената работа* за пренасяне на единица количество електричество от едната точка до другата. Единицата за измерване на електрическото напрежение се нарича **волт (V)** в чест на италианския физик **Александро Волта** (1745—1827). *Между две точки съществува напрежение един волт, ако за*

пренасянето на един кулон електричество се извършва работа един джаул. (Единицата джаул се разглежда по-подробно в т. 4.8.) Следователно можем да напишем

$$1 \text{ волт} = \frac{1 \text{ джаул}}{1 \text{ кулон}}$$



Фиг. 3.7

В електротехниката е прието напрежението да се бележи с буквата U , а работата или енергията — с буквата A . (Обръщаме внимание, че в техниката понятието работа и енергия означават едно и също.) По такъв начин горното равенство може да се напише математически така:

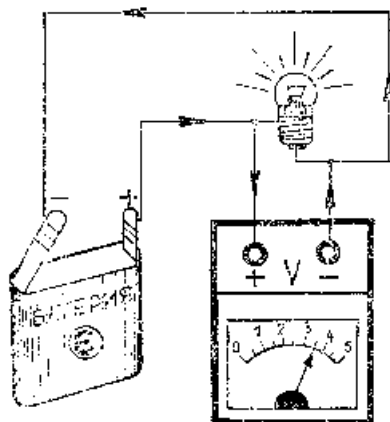
$$U = \frac{A}{Q}$$

Нека с един пример покажем как може да се използва тази формула.

Пример 3.2. Да се намери напрежението в краищата на един консуматор, ако преминалото количество електричество е 0,002 кулона, а извършената работа — 0,08 джаула.

Заместваме в горната формула и получаваме

$$U = \frac{A}{Q} = \frac{0,08}{0,002} = \frac{80}{4} = 40 \text{ волта.}$$



Фиг. 3.8

Освен единицата волт в практиката често се използват и по-малките единици **милволт** (една хилядна от волта) и **микроволт** (една милионна от волта), за които можем да напишем

$$1 \text{ mV} = 0,001 \text{ V,}$$

$$1 \mu\text{V} = 0,000\,001 \text{ V.}$$

Като пример нека кажем, че напрежението, което радиопредавателите поражда в приемните антени, е десетки и стотици микроволтове; напреже-

нието, което се поражда в микрофона при наличие на звук, е десетки миливолтове; напрежението на малките кръгли батерии за транзисторни приемници е 1,5 V; напрежението на плоската батерия е 4,5 V; напрежението на автомобилните акумулатори е 12 V (има акумулатори с 6 и 24 V); напрежението при телефоните с централно захранване е 60 V; напрежението в осветителната мрежа е 220 V; напрежението на далекопроводите достига до 400 000 V; напрежението на светкавиците е десетки милиони волтове.

За измерване на напрежението си служим със специален уред, наречен волтметър. Когато желаем да измерим напрежението между две точки от дадена електрическа верига, *волтметърът се включва към тези две точки, без да се прекъсва веригата* (фиг. 3.8). Както при амперметъра, така и тук трябва да се спазва полярността, като токът трябва да „влиза“ през положителната му клемма и да „излиза“ през отрицателната. Някои волтметри са част от комбинирани измерителни уреди и са снабдени с превключвател за различните обхвати.

3.8. Електрическо съпротивление

Вече знаем, че електрическият ток в металите представлява насочено движение на електрони. При своето движение електроните се удрят в атомите и движението им се затруднява. Като вземем под внимание, че атомите на веществото извършват и термични трептения, става ясно, че *всички проводници оказват определено съпротивление на електрическия ток*.

Единицата за измерване на електрическото съпротивление се нарича ом (Ω) в чест на немския физик Георг Ом (1787—1854). *Един ом съпротивление има бия проводник, в краищата на който, ако приложим напрежение един волт, токът през него би имал големина един ампер.*

Освен единицата ом в практиката често се използват и по-големите единици килоом (хиляда ома) и мегаом (един милион ома), за които можем да напишем

$$1\text{k}\Omega = 1\,000\ \Omega,$$

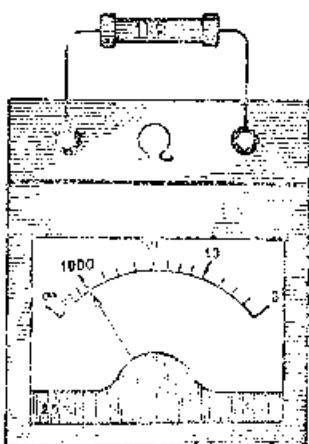
$$1\text{M}\Omega = 1\,000\,000\ \Omega.$$

Като пример можем да спомем, че съпротивлението на шнура за котлон е около 0,01 Ω ; съпротивлението на меден проводник с дължина 57 m и сечение 1 mm² е 1 Ω ; съпротивлението на меден проводник с диаметър 0,10 mm (колкото е човешкият косъм) и дължина 10 m около 20 Ω ; съпротивлението на нагрятата жичка на една 40-ватова осветителна крушка е около 1 000 Ω ; съпротивлението на човешкото тяло между ръцете е около 5 000 до 200 000 Ω (зависи от кожата — влажна, груба и т. н.).

Фиг. 3.9

При използване на формули съпротивлението се бележи с буквата R .

Съпротивлението на един цилиндричен проводник може да се намери по формулата



$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3.3)$$

където l е дължината на проводника в метри, а S — сечението му в квадратни милиметра. Величината ρ (гръцката буква „ро“) се нарича *специфично съпротивление* и при различните метали има различни стойности. Така например при среброто $\rho = 0,016$, при медта $\rho = 0,017$, а при желязото $\rho = 0,09$. Горната формула показва, че колкото проводникът е по-дълъг и по-тънък, толкова неговото съпротивление е по-голямо. Освен това съпротивлението зависи и от вида на метала.

Пример 3.3. Да се намери съпротивлението на меден проводник с дължина 200 m и сечение 1,5 mm².

Заместваме в горната формула и намираме

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0,017 \cdot \frac{200}{1,5} = 2,3 \Omega.$$

За измерване на съпротивлението си служим със специален уред, наречен *омметър*. Той съдържа в себе си батерийка, а измерваното съпротивление се включва направо към клемите му (фиг. 3.9). Понякога омметърът е част от *комбиниран измерителен уред* и има *превключвател на обхватите*.

Съпротивлението на проводниците зависи от температурата им. При нейното увеличаване съпротивлението на всички метали нараства, защото термичното трептене на атомите става по-интензивно и насоченото движение на електроните се затруднява. Например меден проводник с дължина 10 m и диаметър 0,20 mm при 20°C има съпротивление 5,6 Ω , а при температура 50°C съпротивлението му нараства на 6,8 Ω . Също така съпротивлението на жичката на електрическата крушка за джобно фенерче в студено състояние е около 2 Ω , а при нагряване до 2000°C то нараства на 17 Ω .

ЗАПОМНЕТЕ!

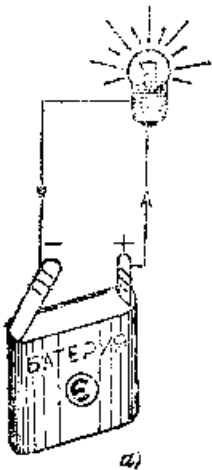
1. Веществата, в които има свободни токоносители, се наричат **проводници**. В изолаторите (диелектриците) липсват свободни токоносители.
2. Насоченото движение на свободни токоносители се нарича **електрически ток**. Причината за задвижване на токоносителите е **електрическо поле**, което токоизточникът създава в проводниците.
3. За посока на тока е приета **посоката**, по която се движат положителните електрически заряди. Във външната верига електрическият ток тече от **положителния полюс** на токоизточника към **отрицателния**.
4. Единицата за измерване силата на тока е **амперът**; единицата за измерване на електрическото напрежение — **волтът**; единицата за измерване на електрическото съпротивление на проводниците — **омът**.
5. Всеки проводник оказва **определено съпротивление** на протичащия през него ток. Това съпротивление се измерва с единицата **ом**.
6. Колкото даден проводник е по-дълъг и по-тънък, толкова неговото съпротивление е по-голямо.

Основни закони за постоянния ток

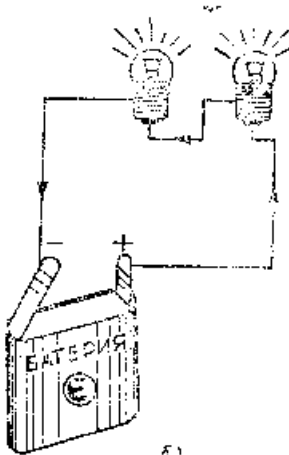
4.1. Закон на Ом за част от веригата

На фиг. 4.1 е показан опит, който можем да направим сами. В първия случай светенето на крушката е нормално, а във втория — почти двойно по-слабо. Как се обяснява това?

Дадена крушка свети толкова по-слабо, колкото по-малък ток протича през нея. Очевидно във втория случай (фиг. 4.1) големината на тока във веригата е намаляла, защото



а)



б)

„маршрутът“ на електроните се е удължил и по такъв начин съпротивлението е нараснало. Освен това в първия случай напрежението на батерийката действва изцяло върху крушката, а във втория то се разпределя между двете крушки.

Чрез подобни опити се установява, че големината на тока зависи както от приложеното напрежение, така и от съпротивлението. Точната зависимост между тези величини се дава чрез закона на Ом. Той представлява основна зависимост в електротехниката.

Когато се прилага за част от веригата, законът на Ом гласи: големината на тока е право пропорционална на напрежението и обратно пропорционална на съпротивлението, т. е.

$$\text{големината на тока} = \frac{\text{напрежението}}{\text{съпротивлението}}$$

По-горе въведохме следните означения: I — големина на тока, U — напрежение, R — съпротивление. Ето защо законът на Ом може да се напише математически по следните три начина:

$$I = \frac{U}{R}; \quad U = IR; \quad R = \frac{U}{I}. \quad (4.1)$$

Тези формули позволяват да намерим една от величините (ток, напрежение, съпротивление), ако знаем другите две. На фиг. 4.2 е показан един лесен начин за запомняне закона на Ом — закритата с пръст величина е равна на отношението или произведението от останалите две.

При използване закона на Ом (това се отнася за всички формули, когато няма специална уговорка) величините трябва да се изразяват чрез основните единици и как тогава да се заместят във формулата. Например, ако глемината на тока е 10 mA, във формулата се замества числото 0,01 A; ако съпротивлението е 47 kΩ, във формулата се замества 47 000 Ω и т. п.

Пример 4.1. Колко голям ток ще протече през едно съпротивление със стойност 50 kΩ, ако в двата му края приложим напрежение 250 V?

Използваме закона на Ом и получаваме

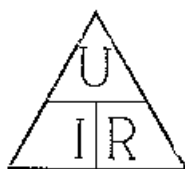
$$I = \frac{U}{R} = \frac{250}{50000} = 0,005 \text{ A} = 5 \text{ mA}.$$

Пример 4.2. Напрежението в двата края на една малка крушка е 3,5 V, а големината на протичащия ток е 0,2 A. Да се намери съпротивлението на жичката (в нагрятото състояние).

От закона на Ом следва.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3,5}{0,2} = 17,5 \text{ Ω}.$$

Законът на Ом може да се прилага не само за част от веригата, но и за цялата верига. Преди да разгледаме този въпрос, нека първо се запознаем накратко с електрическите схеми.

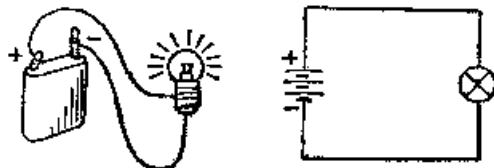


Фиг. 4.2

4.2. Електрически схеми

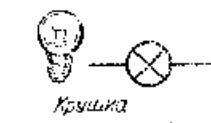
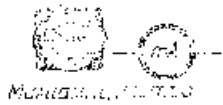
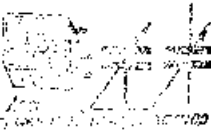
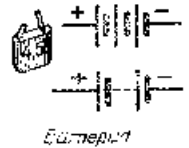
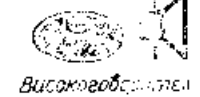
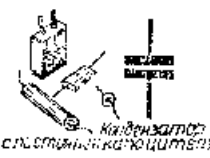
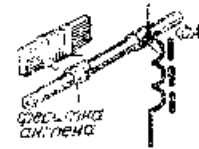
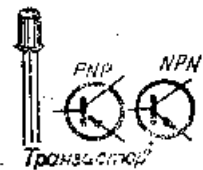
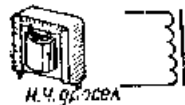
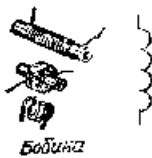
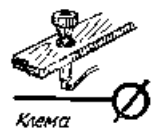
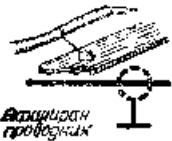
В електротехниката много често си служим със схеми. Това са чертежи, на които с помощта на условни знаци и линии са означени отделните детайли и проводниците, които ги свързват.

На фиг. 4.3 е показано свързването на една плоска батерийка с една крушка. На същата фигура е начертана и схемата на това свързване. Виждаме, че батерийката и крушката са означени със своите условни знаци, а свързващите ги проводници — с прави линии. Тези линии не са наклонени, а хоризонтални или вертикални.



Фиг. 4.3

На фиг. 4.4 са показани някои основни електротехнически детайли и техните схемни означения. Обръщаме внимание как се означава кръстосването

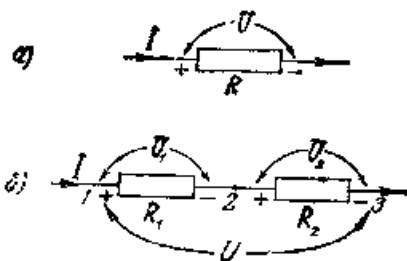


на проводниците. Когато в схемата при пресичане на проводниците не е поставена точка, това означава, че проводниците не са свързани помежду си.

4.3. Пад на напрежението

Вече знаем, че ако в краищата на едно съпротивление действа определено напрежение, през съпротивлението ще протече ток, чиято големина се дава със закона на Ом. Това явление може да се тълкува и по обратния начин: когато през едно съпротивление протича електрически ток, в краищата му се образува пад на напрежението (потенциална разлика), чиято големина се дава със закона на Ом.

На фиг. 4.5 а е показано едно съпротивление R , през което протича ток с големина I . В този случай в краищата на съпротивлението се образува пад на напрежението U , който може да бъде измерен с волтметър. Необходимо е да се запомни, че този край на съпротивлението, през който токът „влиза“, е положителен (т. е. има по-висок потенциал) спрямо другия край, през който токът „излиза“. На фигурата това е означено с знаците „+“ и „-“, като плюсът съответствува на точката с по-висок потенциал.



Фиг. 4.5

Пример 4.3. Да се намери падът на напрежението в краищата на едно съпротивление $R = 15 \text{ k}\Omega$, ако през него протича ток с големина $I = 2 \text{ mA}$. Напрежителният пад може да се намери по закона на Ом:

$$U = IR = 0,002 \cdot 15\ 000 = 30 \text{ V.}$$

Понятията „по-висок“ и „по-нисък“ потенциал са *относителни*. Това се вижда от фиг. 4.5 б, където потенциалът на т. 2 е по-нисък от този на т. 1 и по-висок от потенциала на т. 3. От същата фигура се вижда, че напрежителните падове се сумират. Например общият пад U е равен на сумата от двата пада U_1 и U_2 .

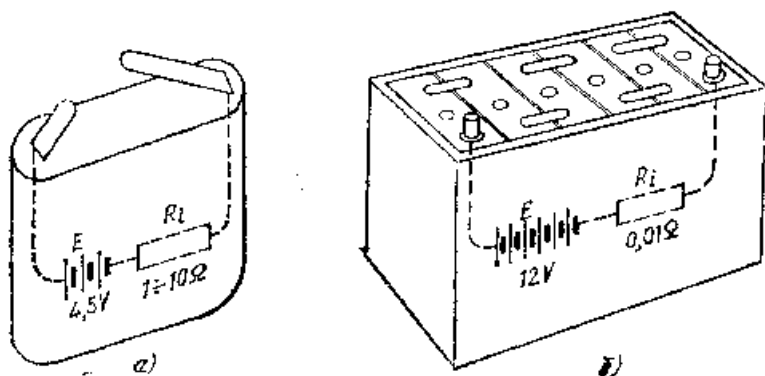
4.4. Основни свойства на токоизточниците

Всеки токоизточник (батерия, акумулатор, токоизправител и др.) се характеризира главно с две величини: **електродвижещо напрежение (е. д. н.)**, което обикновено се бележи с E и се измерва във волтове, и **вътрешно съпротивление R_i** , което се измерва в оме.

Може да се каже, че е. д. н. е напрежението, което съществува между полюсите на токоизточника при отворена верига, т. е. при липса на консумация. Практически е. д. н. може да се измери с *високоомен волтметър*. (Така се наричат волтметрите, през които по време на измерване протича нищожно малък ток; такива са ламповите волтметри, волтметрите с полевни транзистори и др.)

Втората важна величина, която характеризира всеки източник, е неговото **вътрешно съпротивление**. То зависи от неговата конструкция, а при батериите и акумулаторите се обуславя и от степента на изтощаване. Колкото вътрешното съпротивление на един токоизточник е по-малко, толкова той е по-добър, защото от него *може да се черпи по-голям ток*.

Въз основа на горното на фиг. 4.6 а плоската батерийка е представена условно чрез своето е. д. н. E , което е 4,5 V, и чрез вътрешното си съпротивление R_i , което при нова неизтощена батерийка е от 1 до 10 Ω . (Когато батерийката е изтощена, нейното е. д. н. намалява примерно на 4 V, като въ-



Фиг. 4.6

решното ѝ съпротивление нараства до 100—500 Ω .) На фиг. 4.6 б е представен условно автомобилен акумулатор със своето е. д. н. и вътрешното си съпротивление. Обръщаме специално внимание, че *аккумуляторите имат твърде малко вътрешно съпротивление, поради което от тях може да се черпи много голям ток* — напр. 50—100 A. (Заредените акумулатори имат най-често $R_i = 0,01 \Omega$, докато при изтощените акумулатори вътрешното съпротивление нараства до 0,5 Ω .)

4.5. Закон на Ом за цялата верига

Законът на Ом за цялата верига се отнася за големината на тока в една затворена верига, състояща се от токоизточник и консуматор. Този закон гласи: *големината на тока в една затворена верига е право пропорционална на е. д. н. на токоизточника E и обратно пропорционална на сумата от вътрешното съпротивление R_i на токоизточника и съпротивлението R на консуматора. Математически това се изразява така:*

$$I = \frac{E}{R_i + R} \quad (4.2)$$

Пример 4.4. Към една плоска батерийка с $E = 4,5 \text{ V}$ и $R_i = 5 \Omega$ е свързана крушка със съпротивление (в нагрято състояние) $R = 17,5 \Omega$. Да се намери големината на тока във веригата.

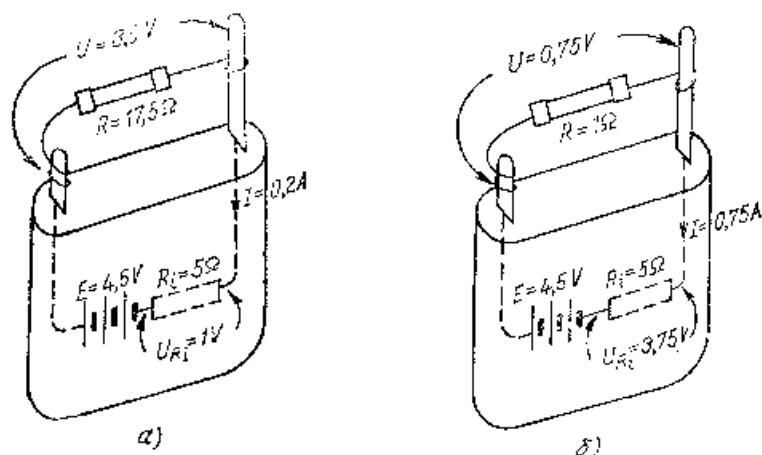
Заместваме в горната формула:

$$I = \frac{E}{R_i + R} = \frac{4,5}{5 + 17,5} = 0,2 \text{ A.}$$

Този случай е представен схематично на фиг. 4.7 а. Виждаме, че когато във веригата протича ток с големина 0,2 A, напрежението между полюсите на батерийката спада на 3,5 V. Това е така, защото част от е. д. н. (в случая $U_{R_i} = 1 \text{ V}$) образува над върху вътрешното съпротивление на батерий-

ката, или е. д. н. се разделя като пад на напрежението върху консуматора и пад на напрежението върху вътрешното съпротивление на батерийката, т. е. $E=U+U_{Ri}$.

Ако към полюсите на същата батерийка включим друг консуматор със



Фиг. 4.7

съпротивление $R=1\ \Omega$ (фиг. 4.7 б), лесно се намира, че токът във веригата е $I=0,75\ \text{A}$. В този случай падът на напрежение върху вътрешното съпротивление ще бъде $U_{Ri}=3,75\ \text{V}$, а напрежението между полюсите ще остане само $U=0,75\ \text{V}$. Тези примери показват, че с увеличаване на консумацията напрежението между полюсите на всеки токоизточник намалява. Това намаляване е толкова по-голямо, колкото по-голямо е вътрешното съпротивление на токоизточника.

Интересно е да определим големината на тока, ако свържем полюсите на плоската батерийка накъсо. (В практиката това се допуска само за кратко време, тъй като води до бързо изтощаване на батерийката.)

Пример 4.5. Да се намери токът на късо съединение на една плоска батерийка, ако $R_i=1,5\ \Omega$ и $E=4,5\ \text{V}$.

Използваме закона на Ом за цялата верига (формула 4.2), като вземаме под внимание, че $R=0$. Така за тока при късо съединение I_k получаваме

$$I_k = \frac{E}{R_i} = \frac{4,5}{1,5} = 3\ \text{A}.$$

Опитите показват, че токът на късо съединение при съвсем нова плоска батерийка не надвишава 3—5 А, като това е възможно най-големият ток, който може да получим от нея.

Чрез измерване на тока на късото съединение може да се определи вътрешното съпротивление на един токоизточник. (Повтаряме, че това е опасен режим за токоизточниците, затова измерването трябва да се извършва за съвсем кратко време — напр. 1—2 секунди).

Пример 4.6. Да се определи вътрешното съпротивление на една плоска батерийка, ако $I_k=0,5\ \text{A}$ и $E=4,5\ \text{V}$.

Използваме закона на Ом за цялата верига, като вземем под внимание, че $R=0$. Така за вътрешното съпротивление получаваме

$$R_i = \frac{E}{I_k} = \frac{4,5}{0,5} = 9\ \Omega.$$

Ако един токоизточник има твърде малко вътрешно съпротивление, в никакъв случай полюсите му не трябва да се свързват накъсо, тъй като подобен „експеримент“ може да доведе до повреда. Например свързването полюсите на един акумулатор накъсо ще доведе до протичането на опасно голям ток (напр. 100—300 А), което може да стопи проводниците и да повреди акумулатора.

4.6. Закони на Кирхоф

Дотук разглеждахме протичането на електрически ток в неразклонени вериги. Радиоелектронните устройства обаче се състоят от голям брой елементи, които образуват сложни и разклонени вериги. При изчисляване на такива вериги се използват законите на Кирхоф.

Първи закон на Кирхоф. Той се отнася за кой да е възел от една сложна електрическа верига и гласи: *сумата от втичащите токове в една възлова точка е равна на сумата на изтичащите токове.* Това е онагледено с два примера, показани на фиг. 4.8. Този закон е логично следствие от физическата същност на електрическия ток, защото токоносителите не се създават, а само се преразпределят в клоновете на веригите. Понеже в математиката сумата от няколко величини се бележи с гръцката буква Σ (сигма), този закон се дава чрез следната формула:

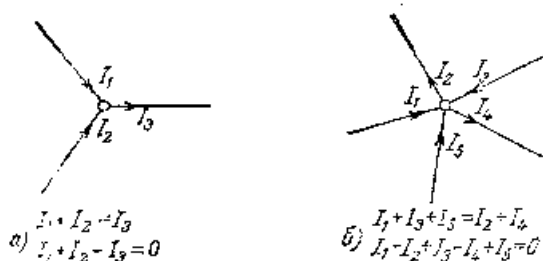
$$\Sigma I_{\text{вт}} = \Sigma I_{\text{изт}}. \quad (4.3)$$

Пример 4.7. В една възлова точка се втичат два тока I_1 и I_2 , а изтича токът I_3 (фиг. 4.8 а). Да се намери токът I_3 , ако $I_1 = 3$ mA и $I_2 = 7,5$ mA.

Въз основа на споменатия закон можем да напишем $I_1 + I_2 = I_3$. Оттук намираме неизвестния ток: $I_3 = I_2 + I_1 = 7,5 + 3 = 10,5$ mA.

Втори закон на Кирхоф. Той се отнася за кой да е затворен контур от сложна електрическа верига и гласи: *алгебричната сума от електродвижещите напрежения, действащи в един затворен участък на веригата, е равна на алгебричната сума от падовете на напрежение върху съпротивленията в този участък.* Следователно за всеки един затворен контур можем да напишем

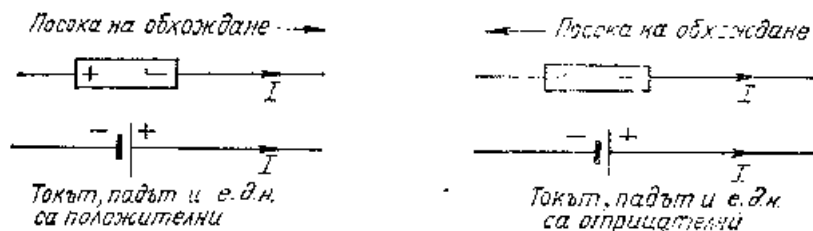
$$\Sigma E = \Sigma (IR). \quad (4.4)$$



Фиг. 4.8

В този закон се споменава помятието „алгебрична сума“, което означава, че отделните величини (е. д. н. и падовете) трябва да се вземат със своите знаци. Ето защо при прилагането на закона предварително си избираме

положителна посока на обхождане и с оглед на нея отделните величини се вземат в уравнения или със знак „плюс“, или със знак „минус“ (фиг. 4.9). Нека поясним с два примера как може да се използва вторият закон на Кирхоф.



Фиг. 4.9

Пример 4.8. На фиг. 4.10 а е дадена сложна верига, като известни величини са е. д. н. на батерията, съпротивленията R_1 и R_2 , както и токът I_1 (мястото на измерване е означено с кръстче). Търси се големината на тока I_2 .

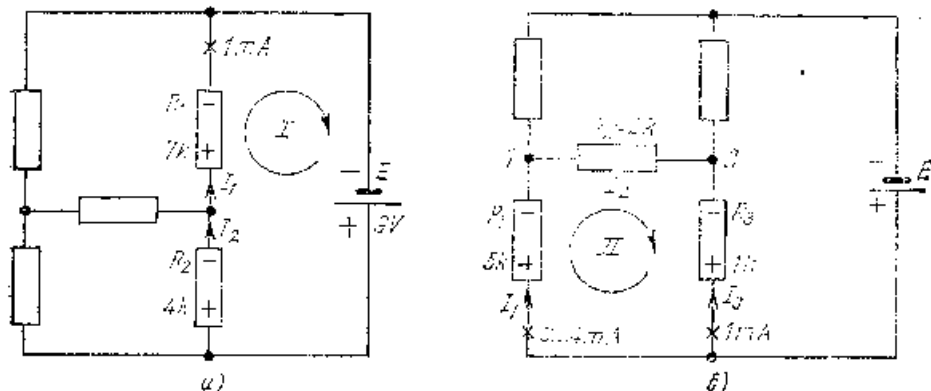
Прилагаме втория закон на Кирхоф за затворения контур I , като за положителна избираме посоката на въртене на часовниковата стрелка. При този избор както е. д. н., така и двата пада ще бъдат положителни. Така получаваме

$$E = I_2 R_2 + I_1 R_1.$$

От това уравнение лесно намираме неизвестния ток I_2 :

$$I_2 = \frac{1}{R_2} (E - I_1 R_1) = \frac{1}{4000} (9 - 0,001 \cdot 7000) = \frac{2}{4000} \text{ A} = 0,5 \text{ mA}.$$

Пример 4.9. На фиг. 4.10 б е дадена сложна верига, като известни величини са R_1 , R_2 , R_3 и токовете I_1 и I_3 . Търсят се големината и посоката на тока I_2 , протичащ през R_2 .



Фиг. 4.10

Прилагаме втория закон на Кирхоф за затворения контур II , като за положителна посока избираме посоката на въртене на часовниковата стрелка. При този избор падът върху R_1 ще бъде положителен, а падът върху

R_3 — отрицателен. По-късно посоката на тока през R_2 не е известна, приемаме условно, че той тече от т. 1 към т. 2. (Ако получим за тока I_2 положителна стойност, значи сме случили посоката му; ако получим отрицателна — значи, че той в действителност тече в посока от 2 към 1.) При такъв избор на посоките и като вземем пред вид, че в този затворен контур няма е. д. в., т. е. $E=0$, можем да напишем

$$0 = I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3.$$

Оттук лесно намираме неизвестния ток I_2 :

$$I_2 = -\frac{1}{R_2} (I_3 R_3 - I_1 R_1) = \frac{1}{2000} (0,001 \cdot 1000 - 0,00024 \cdot 5000) = \frac{-0,2}{2000} = -0,0001 \text{ A}.$$

По-късно токът се получи отрицателен, ясно е, че в действителност той тече от т. 2 към т. 1 (фиг. 4.10 б). Големината на напрежителния пад между т. 2 и т. 1 е $U_{21} = I_2 R_2 = 0,0001 \cdot 2000 = 0,2 \text{ V}$.

4.7. Мощност на електрическия ток

Известно е, че всички електродвигатели консумират от мрежата електрическа енергия, която превръщат в механическа работа. Един голям електродвигател може да извърши определена работа за 1 час, а един малък може да извърши същата работа например за 20 часа. В този случай казваме, че първият електродвигател има по-голяма мощност. Аналогично е положението при два електрически котлона — голям и малък, защото едно и също количество вода се затопля на мощния котлон много по-бързо.

От физиката е известно, че *мощността се измерва с работата, извършена за единица време*. Електрическата мощност е толкова по-голяма, колкото са по-големи напрежението и токът. Ето защо тя е произведение от стойностите на напрежението и тока:

мощност = напрежение · ток.

Ако въведем следните означения: P — мощност, U — напрежение, I — ток, можем да напишем формулата за мощността

$$P = U \cdot I.$$

Единицата за измерване на мощността се нарича **ват** (W) в чест на английския учен Джеймс Уат (1736—1819). *Един ват мощност има, когато напрежението е един волт, а токът — един ампер.*

Ако във формулата за мощността заместим последователно напрежението и тока от закона на Ом (вж. формули 4.1), ще получим следните *важни зависимости*, които често ще използваме по-нататък:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}. \quad (4.5)$$

Пример 4.10. Каква е мощността на една електрическа крушка за джобно фенерче, ако при напрежение 3,5 V тя консумира ток 0,2 A (вж. фиг. 4.7 а).

Заместваме в горната формула и получаваме

$$P = U \cdot I = 3,5 \cdot 0,2 = 0,7 \text{ W}.$$

Освен единицата ват в радиоелектрониката често се използват и по-малките единици **миливат** (една хилядна от вата) и **микроват** (една милионна от вата), за които можем да напишем

$$1 \text{ mW} = 0,001 \text{ W},$$

$$1 \mu\text{W} = 0,000\,001 \text{ W}.$$

Като пример можем да посочим, че мощността, необходима за задействане на една радиослушалка, е $0,00001 \text{ W}$; мощността на един малък високоговорител за транзисторен приемник е около $0,1 \text{ W}$; мощността на високоговорителите, използвани в радиоприемниците и телевизорите, е $0,5\text{—}3 \text{ W}$; мощността на обикновените осветителни крушки е $25\text{—}100 \text{ W}$; мощността, която консумира един лампов телевизор, е около 200 W ; мощността на електрическите ютии е $300\text{—}400 \text{ W}$; мощността на електрическите печки и електрическите бойлери е $2000\text{—}5000 \text{ W}$. Нека добавим още, че в силнотоковата техника се използват машини и апарати с големи мощности — например хиляди киловати, като $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$.

За измерване на мощността се употребява специален измервателен уред, наречен *ватметър*.

4.8. Електрическа енергия

Консумираната електрическа енергия зависи както от мощността на потребителя, така и от времето, през което той е бил включен. Така например енергията, която ще консумира един котлон за 5 часа, е пет пъти по-голяма от консумираната енергия за един час. Ето друг пример: за един час една 100-ватова крушка ще консумира двойно повече енергия, отколкото една 50-ватова крушка за същото време. Щом електрическата енергия е право пропорционална на мощността и времето, можем да напишем следната зависимост:

$$A = P \cdot t = UI \cdot t. \quad (4.6)$$

Единицата за измерване на всички видове енергия се нарича *джаул* (J) в чест на английския учен **Джеймс Джаул** (1818—1889). Това е работата (енергията) която извършва един сила нютон, за да премести едно тяло на разстояние един метър. В електротехниката за измерване на енергия често се използва единицата *ватсекунда* (Ws), равна на един джаул. В практиката консумираната електрическа енергия се измерва с единицата *киловатчас* (kWh). Това е енергията, която получава консуматор с мощност 1 kW в продължение на 1 час.

Електрическата енергия се измерва със специален уред, наречен *електромер*. Всяко домакинство и предприятието притежават собствен електромер, който отчита консумираната електрическа енергия.

Пример 4.11. Каква е стойността на консумираната електрическа енергия за един месец от една електрическа крушка с мощност $P = 75 \text{ W}$, ако свети всяка вечер по 6 часа, а 1 киловатчас електрическа енергия струва 0,022 лв.

Първо намираме общото време на светене: $t = 30 \cdot 6 = 180$ часа. Консумираната енергия е $A = P \cdot t = 75 \cdot 180 = 13\,500$ ватчас = 13,5 киловатчаса. Тогава търсената стойност ще бъде $N = 13,5 \cdot 0,022 = 0,30$ лв.

4.9. Топлинно действие на електрическия ток

При движението си в проводниците токоносителите отдават част от своята енергия на атомите и молекулите на веществото. Поради това *всеки проводник, по който тече ток, повече или по-малко се нагрява*. Това е електрическа енергия, която се превръща в топлинна и ненужно загарява проводниците. Колкото токът е по-голям и колкото съпротивлението на проводника

е по-голямо, толкова енергията, отделена във вид на топлина, е по-голяма. Електрическата мощност, отделена във вид на топлина, може да бъде пресметната чрез една от формулите от израза (4.5).

Пример 4.12. През едно съпротивление със стойност 50Ω протича ток 2 A . Да се намери електрическата мощност, която се превръща в топлина.

Заместваме във формула (4.5) и получаваме

$$P = I^2 \cdot R = 2^2 \cdot 50 = 200 \text{ W}.$$

Пример 4.13. Какво напрежение трябва да се приложи в краищата на един резистор, който има съпротивление 10Ω (в нагрято състояние), за да се получи нагревател с мощност 1000 W ?

Използваме формула (4.5) и получаваме

$$U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{1000 \cdot 10} = \sqrt{10\,000} = 100 \text{ V}.$$

Когато имаме една затворена верига, големината на тока навред е една и съща и нагряването е най-силно там, където съпротивлението е най-голямо. Например съпротивлението на шнура на ютията е около $0,01 \Omega$, а съпротивлението на резистора (в нагрято състояние) — около $80\text{--}100 \Omega$ и затова именно в него се отделя почти всичката топлина. Подобно е положението и в стопяемите електрически предпазители (бушоните), в патрона на които нарочно се поставя тънък проводник. При късо съединение токът в инсталацията става твърде голям (например $30\text{--}50 \text{ A}$), жичката се стопява и веригата се прекъсва. Ако в патрона е поставена дебела жичка (или голям брой тънки жички), при късо съединение в инсталацията ще протече недопустимо голям ток, който може да повреди инсталацията и да предизвика пожар. Следователно при повреда не бива да се поставят дебели (или голям брой) жички, а трябва да се използват нови патрони. Ако при повторна смяна на патроните бушоните продължават да изгарят, това е указание, че в инсталацията има някъде късо съединение и то трябва да се отстрани.

ЗАПОМНЕТЕ !

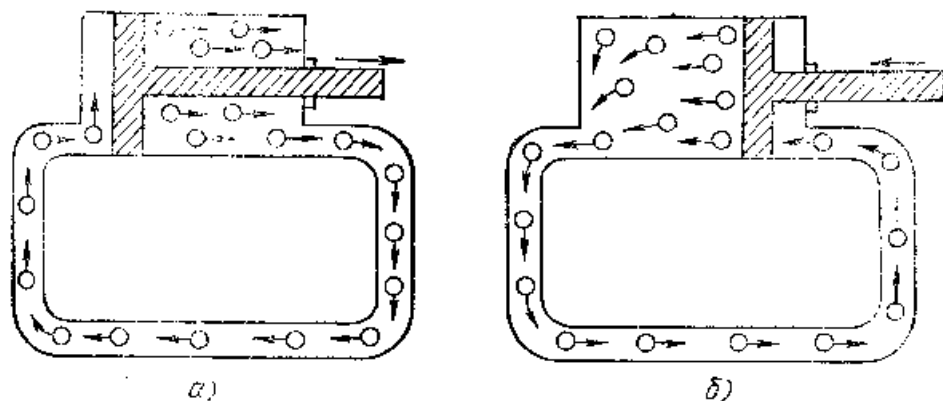
1. Законът на Ом е основен закон в електротехниката. Той дава връзката между големината на тока, напрежението и съпротивлението. Приложен за част от веригата, той гласи: големината на тока е пропорционална на напрежението и обратно пропорционална на съпротивлението.
2. Всеки токоизточник се характеризира главно с две величини: електродвижещо напрежение (е. д. и.) и вътрешно съпротивление.
3. Когато електрическата верига не е разклонена, големината на тока може да се намери чрез закона на Ом за цялата верига. При разклонени и сложни вериги големината на токовете се намира чрез използване на първия и втория закон на Кирхоф.
4. При използване на електротехническите закони величините трябва да се превръщат в основни единици и тогава да се заместят във формулите.
5. Единицата за мощност на електрическия ток е ват. Единицата за енергия е джаулът. В практиката електрическата енергия се измерва в единицата киловатчас.
6. Тънките жички в бушоните се поставят с цел при късо съединение да изгорят именно те, а не инсталацията.

Променлив ток

5.1. Същност на променливия ток

Дотук разгледахме постоянния ток. Той се характеризираше с това, че протича равномерно в определена посока. В радиоелектроликата и промишлеността обаче се използва не само постоянен, но и **променлив ток**. Така например токът в електрическата мрежа е променлив. За да разберем неговата същност, нека разгледаме фиг. 5.1, където е показана затворена система от тръби, съдържащи вода. Когато буталото се движи надясно и наляво, водните частици се движат по тръбата ту в едната, ту в другата посока.

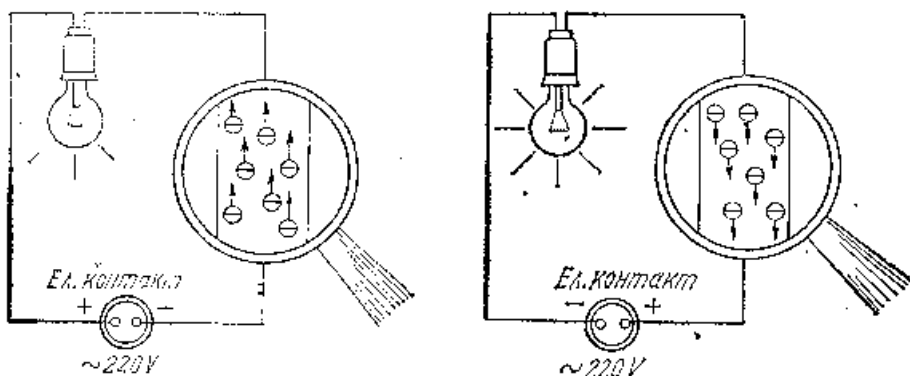
Съвсем аналогичен характер има движението на електроните в проводниците, когато черпят ток от електрическата мрежа (това е показано условно на фиг. 5.2), като за 1 секунда те извършват 50 трептения. От този пример следва, че при променливия ток електроните извършват движения, които напомнят люлеенето на махалото. Подобен случай е даден на фиг. 5.3, където е разляян конусен съд, от който изтича пясък и пада върху картон. Ако картонът е неподвижен, пясъкът ще очертава една права линия. Ако обаче движим равномерно картон, пясъкът ще очертава интересна крива ли



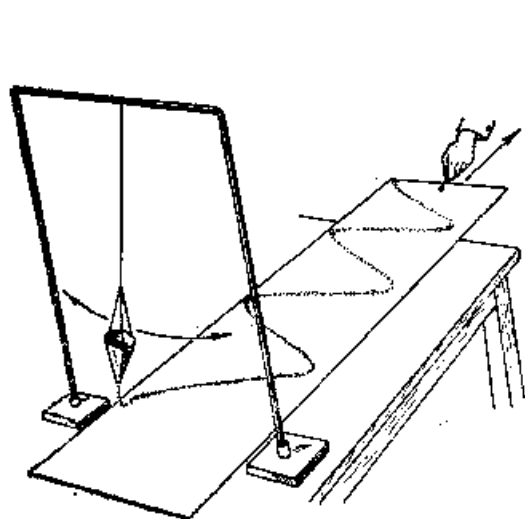
Фиг. 5.1

ния, която се нарича **синусоида**. (Това название идва от синусоидалната функция, през която тази крива се изразява математически.) Синусоида можем да получим и с помощта на амперметър, ако удължим стрелката му с подходящ писец, който да може да чертае върху подвижен картон (фиг. 5.4).

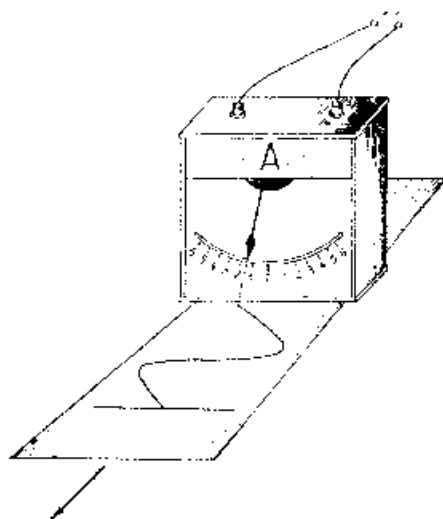
За да се получи хубава синусоида, трябва токът през амперметъра да се изменя бавно — например 1—2 промени в секунда. Ако при този опит използваме ток от електрическата мрежа, няма да получим желанния резултат. Причината е инертността на стрелката, поради която тя не може да извършва 50 трептения за една секунда.



Фиг. 5.2



Фиг. 5.3



Фиг. 5.4

Когато една осветителна лампа се захранва от мрежата, електроните в нейната нажежена жичка се движат ту в едната, ту в другата посока, като извършват 50 пълни трептения в една секунда. Но тези промени не се забелязват от човешко око, защото нагрятата до 2500°C жичка има *топлинна инертност* и за $\frac{1}{50}$ част от секундата не може да изстине. Поради това лампата не трепти. Обаче, ако се вслушаме внимателно във включен радиосла-

рат или телевизор, ще чуем бръмчене (нарича се още *брум*), което се дължи на промените на тока.

Но означава ли това, че за $1/100$ част от секундата електроните от електрическата централа идват до нашия дом, а през следващата $1/100$ част от секундата се връщат обратно?

В т. 3.4 изяснихме, че електрическото поле се разпространява в проводниците със скорост 300 000 километра в секунда, докато самите електрони се движат насочено в проводниците със скорост няколко милиметра в секунда. Но за $1/100$ част от секундата електроните току-що са се придвижили в една посока и електрическото поле започва да действа в противоположна посока. Ето защо *електроните трептят ту в една, ту в друга посока, но в никакъв случай не напускат нашия дом*. Следователно тези електрони не идват от централата, а са наши „домашни“ електрони.

След като изяснихме същността на променливия ток, логично е да се зададе въпросът: не може ли електроцентралите да произвеждат постоянен ток? Защо усложняваме нещата?

Мавар да изглежда невероятно, *променливият ток се получава по-лесно от постоянния*. Това е така, защото машините за получаване на променлив ток (т. нар. генератори) имат по-просто устройство от машините за постоянен ток (т. нар. динамомашини). Освен това променливият ток за разлика от постоянния може лесно да се трансформира, а това е от първостепенно значение както за пренасянето, така и за консумацията на електрическата енергия.

5.2. Синусоидални трептения

Вече знаем, че промените на тока в електрическата мрежа се извършват по синусоидален закон. Към това трябва да добавим, че синусоидалните трептения се срещат твърде често в природата и техниката. Например синусоидални са трептенията не само на махалото, но и на струните, на пластинките и т. н.

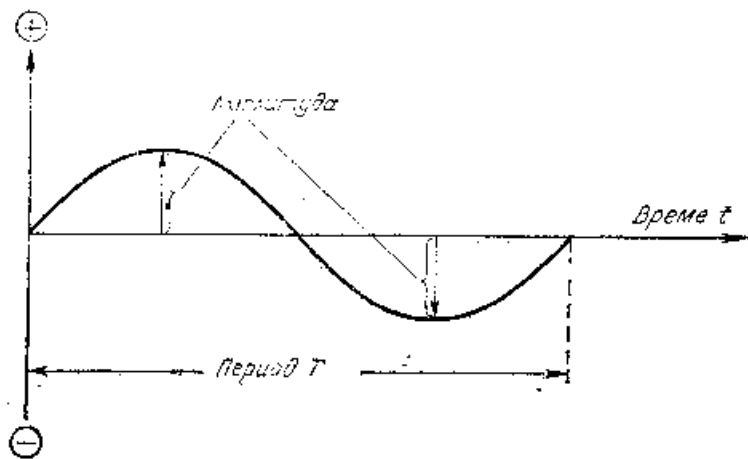
В радиоелектрониката синусоидалните токове и напрежения имат голямо приложение. Затова нека накратко да разгледаме особеностите на тези трептения.

Всяко синусоидално трептене (ток или напрежение) се характеризира със следните по-важни величини:

а. **Период T .** Това е времето за извършване на едно пълно трептене (фиг. 5.5). Половината на това време се нарича *полупериод*. Очевидно през единия полупериод токът тече в едната посока (която можем условно да приемем за положителна), а през другия полупериод той тече в другата посока (която можем да приемем за отрицателна). Обикновено положителният полупериод се чертае над абсцисата, а отрицателният — под нея (фиг. 5.5). Като пример можем да посочим, че периодът на променливия ток в електрическата мрежа е $T = \frac{1}{50}$ сек = 0,02 сек. В радиоелектрониката обаче си служим с променливи токове, чиито периоди са хилядни и милионни части от секундата. Затова освен секундата често се използват и следните единици за време:

- 1 ms (милисекунда) = 0,001s
- 1 μ s (микросекунда) = 0,000 001s
- 1 ns (наносекунда) = 0,000 000 001s
- 1 ps (пикосекунда) = 0,000 000 000 001s

б. Честота f . Това е броят на трептенията в една секунда. Честотата се измерва с единицата херц (Hz) в чест на немския учен Хайнрих Херц. Например честотата на тока в осветителната мрежа е $f=50$ Hz. Както вече се спомена, в радиоелектрониката си служим с трептения, чиято честота е милиони и милиарди херци. Затова често използваме единиците:



Фиг. 5.5

1 kHz (килохерц) = 1000 Hz
 1 MHz (мегахерц) = 1 000 000 Hz
 1 GHz (гигахерц) = 1 000 000 000 Hz

Периодът и честотата на всяко трептене са свързани помежду си чрез прости формули

$$T = \frac{1}{f}, \quad f = \frac{1}{T} \quad (5.1)$$

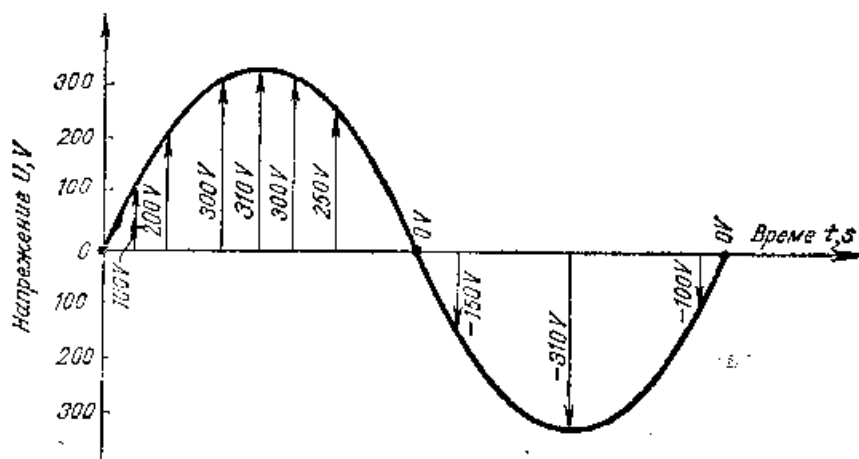
Чрез тях можем да измерим едната величина, ако знаем другата.

в) Амплитудна стойност. Това е най-голямата (максималната) стойност на напрежението U_m или на тока I_m , която те получават при своето изменение (фиг. 5.5). Очевидно за един период синусоидалният ток и напрежение получават два пъти своята максимална стойност.

г. Моментна стойност. Вече знаем, че променливият ток непрекъснато изменя своето напрежение и големина. Стойността на напрежението в даден момент се нарича моментна стойност на напрежението. Същото се отнася и за големината на тока. За илюстрация на фиг. 5.6 със стрелки са показани няколко моментни стойности на напрежението в електрическата мрежа в продължение на един период. Виждаме, че в началния момент напрежението е нула, след това постепенно нараства на 100V, 200V и т. н. След като достигне максималната си стойност 310 V, напрежението започва постепенно да намалява до нула, след което променя посоката си и напово да расте, като достига стойност — 310 V и т. н.

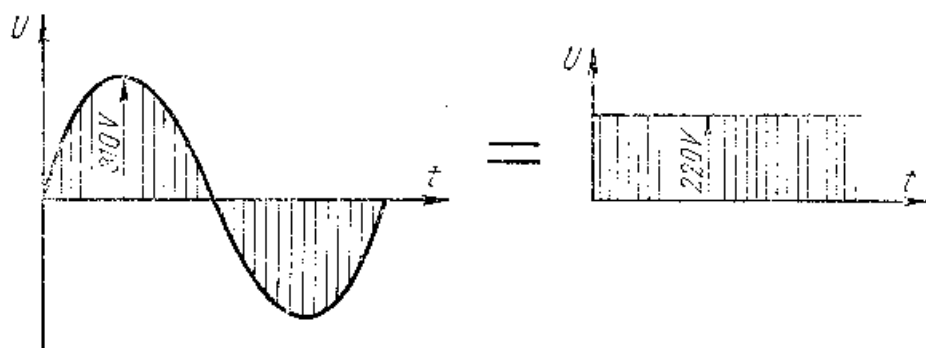
д. Ефективна стойност. Нека си зададем въпроса: разгледаното променливо напрежение от фиг. 5.6 по своя ефект на какво постоянно напрежение е равностойно? Теорията и практиката показват, че то е равностойно на постоянно напрежение с големина 220 V (фиг. 5.7). Това е така, понеже разгледаното променливо напрежение за един период само в два момента има стойност 310 V, а през останалото време то е по-малко.

Понеже синусоидалните величини се изменят непрекъснато, целесъобразно е да се въведе понятието ефективна стойност. Под ефективна стойност на променливия ток се разбира такъв постоянен ток, който за същото време извършива същата работа (или отделя същото количество топлина), както даденият променлив ток.



Фиг. 5.6

По същия начин се дефинира и понятието ефективна стойност на променливото напрежение. Именно затова се казва, че ефективната стойност на мрежовото напрежение е 220 V.



Фиг. 5.7

Доказва се, че между амплитудните и ефективните стойности на синусоидалното напрежение и ток съществуват следните зависимости:

$$\begin{aligned} U_m &= 1,4 U; & U &= 0,7 U_m; \\ I_m &= 1,4 I; & I &= 0,7 I_m. \end{aligned} \quad (5.2)$$

Тук с U_m и I_m са означени амплитудните стойности, а с U и I — ефективните. (Понякога ефективните стойности се означават с U_{eff} и I_{eff} .)

Амперметрите и волтметрите, предназначени за измерване на променлив ток и напрежение, *отчитат не амплитудните, а ефективните стойности на тока и напрежението.*

Въвеждането на понятията ефективна големина и ефективно напрежение на променливия ток води до големи удобства. Така например законите на Ом, Кирхоф и др. остават в сила и за променливия ток, ако в тях се заместят ефективните стойности на участващите величини. Освен това редица колсуматори могат да работят както с постоянен, така и с променлив ток. Например една 12-волтова крушка ще свети по един и същ начин както при постоянно напрежение 12 V, така и при променливо напрежение с ефективна стойност 12 V.

5.3. Токове с ниска и висока честота

В радиоелектрониката променливите токове с честота от 10 до 20 000 Hz се наричат **токове с ниска (звукова) честота**. Източници на нискофреkwотни напрежения са микрофоните, електрическите грамофонни мембрани, магнетофонните глави, специалните звукови генератори и др. Напреженията, получавани от тях, *са изобщо малки* и подлежат на усилване. Когато през високоговорител или слушалки протече променлив ток с ниска честота, се получава звук.

Токовете и напреженията с честота над 20 000 Hz се наричат **високофреkwотни**. Те се получават от специални устройства, наречени **автогенератори**. Ако през слушалка или високоговорител пропуснем ток с висока честота, нашето ухо няма да чуе звук. Обаче токовете с висока честота имат редица интересни свойства, които по-нататък ще разгледаме подробно и които имат много голямо значение за радиоелектрониката.

ЗАПОМНЕТЕ!

1. Електрически ток, който периодически променя посоката и големината си, се нарича променлив ток. Всеки променлив ток се характеризира главно със своята честота, амплитуда и ефективна стойност.
2. Уредите, предназначени за измерване на променлив ток, отчитат неговата ефективна стойност.
3. Законите на Ом, Кирхоф и др. са в сила за променлив ток, ако в тях се заместят ефективните стойности.
4. Променливи токове, чиято честота е от 10 до 20 000 Hz, се наричат токове с ниска (звукова) честота.
5. Променливи токове, чиято честота е над 20 000 Hz, се наричат токове с висока честота. Те имат голямо значение за радиоелектрониката.

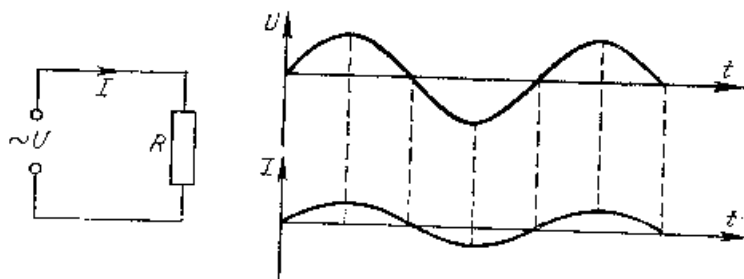
Съпротивления и резистори

6.1. Активни съпротивления

Съпротивленията, които разгледахме дотук, се наричат активни. (По-нататък ще видим, че има и реактивни съпротивления.)

Най-важните особености на активните съпротивления са следните:

1. Мощността при тях е чисто активна, т. е. подадената електрическа енергия *изцяло се преобразува в други видове енергия* — напр. топлинна, механическа, светлинна, звукова и т. н.



Фиг. 6.1

2. При протичане на променлив ток през активно съпротивление токът и напрежението *са във фаза*. Това означава, че синусоидалните изменения на тока и напрежението стават *едновременно*, т. е. когато напрежението е нула, и токът е нула, когато напрежението е максимално, в същия момент и токът има максимум и т. н. (фиг. 6.1).

6.2. Резистори

Едни от най-разпространените детайли в радиоелектрониката са резисторите (фиг. 6.2). С тяхна помощ се създават напрежителни падове, формират се подходящи потенциали, ограничава се токът и т. н. По същество *резисторите представляват активни съпротивления*, понеже превръщат електрическата енергия в топлина.

Различаваме два основни вида резистори: *химични и жиични*. Както едните, така и другите могат да бъдат *постоянни и променливи*.

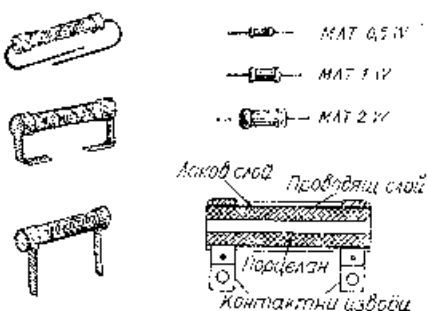
Химичните резистори с постоянна стойност представляват керамично ци-

линдрично тяло, върху което е нанесен тънък проводящ слой от въглерод или специална метална сплав. В двата края на тялото са оформени два извода за запойване (вж. фиг. 6.2.). Целият резистор е покрит със специален защитен лак.

Жичните съпротивления представляват керамично тяло, върху което е навит съпротивителен проводник. Тези резистори се използват по-рядко, като намират приложение във вериги с по-големи токове и за специални цели.

Най-важните параметри (технически показатели) на резисторите са номинална стойност, клас на точност и мощност на разсейване.

6.3. Класове на точност на резисторите



Фиг. 6.2

Върху корпуса на всеки резистор се нанася неговата стойност. Поради производствени причини означението не винаги съвпада с истинската стойност на резистора. Това отклонение на истинската стойност от маркираната се нарича **толеранс** или **допуск**. В зависимост от своя толеранс резисторите се разделят на три класа на точност. При I клас толерансът е 5%, при II клас — 10%, а при III клас — 20% от стойността им. Така например разполагаме с резистор I клас, върху който е отбелязано 100 kΩ. Това означава, че истинската му стойност може да варира с 5%, т. е. от 95 до 105 kΩ. Ако същият резистор имаше III клас на точност, истинската му стойност може да варира с 20%, т. е. от 80 до 120 kΩ.

6.4. Стойности на резисторите

Стойностите на фабрично произведените резистори са **стандартизирани**. Така например колкото и да търсим на пазара резистор I клас със стойност 171 kΩ, не ще намерим такъв, а ще ни предложат най-близките стойности — 160 или 180 kΩ. В табл. 6.1 са посочени стандартните стойности на произвежданите резистори, като дадените числа могат да се умножават по 0,1, 1, 10, 100, 1000 и т. н. Така например от II клас се произвеждат резистори със стойности 18, 180, 1800, 18 000, 180 000 Ω и т. н.

Таблица 6.1

I клас	10	11	12	13	15	16
	18	20	22	24	27	30
	33	36	39	43	47	51
	56	62	68	75	82	91
II клас	10	12	15	18	22	27
	33	39	47	56	68	82
III клас	10	15	22	33	47	68

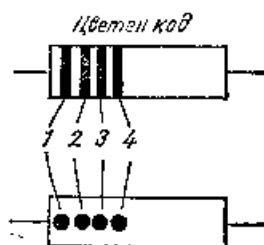
Твърде често стойността на резисторите се означава съкратено така, както е показано на фиг. 6.3. Резисторите със стойност от 1 до 999 Ω се означават само с число, а от 1000 Ω се използват и букви. Хилядите ома се отбелязват с малка буква k (кило), а милионите ома — с голяма буква M (мега), която понякога не се пише (вж. фиг. 6.3). При това съкратено означение толерансът се отбелязва в проценти.

В такъв случай стойността на резистора се означава с цифри и букви, като буквата Е означава омове, к—килоомове, М — мегаомове. Например Е39 означава 0,39 Ω , 3Е9 — 3,9 Ω , 39Е — 39 Ω , К39 — 0,39 к Ω = 390 Ω , 3К9 — 3,9 к Ω , 39к — 39 к Ω , М39 — 0,39М Ω , 3М9 — 3,9М Ω , 39М — 39 М Ω .

За означаване стойностите на миниатюрни резистори понякога се изпол-

Обозначение	Стойност
R-27	27 Ω
R-150	150 Ω
R-550	550 Ω
R-1к	1к Ω
R-0,001	
R-10к	10к Ω
R-0,01	
R-100к	100к Ω
R-0,1	
R-0,33	330к Ω
R-0,51	510к Ω
R-1,0	1М Ω
R-1М	
R-3,3	3,3М Ω

Фиг. 6.3



Фиг. 6.4

зува т. нар. цветен код. Той се състои от четири цветни пръстена или точки нанесени в единия край на корпуса (фиг. 6.4). Цветът на пръстен 1 показва първата цифра от стойността на резистора, цветът на пръстен 2 — втората цифра, цветът на пръстен 3 — броя на нулите след първите две цифри. Цветът на пръстен 4 дава толеранс. Значението на цветовете е дадено в табл. 6.2.

Пример 6.1. Да се намерят стойността и класът на точност на резистор, оцветен отляво надясно (вж. фиг. 6.4), както следва: жълт—виолетов—оранжев — сребрист.

От табл. 6.2 отчитаме: първа цифра 4, втора цифра 7, брой на нулите 000, толеранс 10%. Следователно можем да кажем, че това е резистор 47 к Ω , 10 %

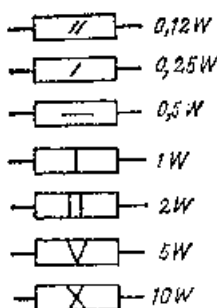
Таблица 6.2

Цвят	Пръстен или точки			
	1 първа цифра	2 втора цифра	3 брой на нулите	4 толеранс
Черен	—	0	—	—
Кафяв	1	1	0	1
Червен	2	2	00	2
Оранжев	3	3	000	—
Жълт	4	4	0000	—
Зелен	5	5	00000	—
Син	6	6	000000	—
Виолетов	7	7	—	—
Сив	8	8	—	—
Бял	9	9	—	—
Златист	—	—	—	5
Сребрист	—	—	—	10
Неоцветено	—	—	—	20

6.5. Мощност на резисторите

Освен стойността важен параметър на всеки резистор е неговата **максимална мощност на разсейване**. Това е най-голямата мощност, която резисторът може да излъчи (или разсее) във вид на топлина, без да се прегрее.

Тази мощност зависи от *вида и размерите на резистора*.



Най-често употребяваните резистори имат мощност 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 5 и 10W. В радиосхемите мощността на резисторите се означава съкратено така, както е показано на фиг. 6.5.

Мощността на резисторите много често ле се отбелязва върху техния корпус. Обаче опитният радиолюбител може да прецени тази мощност *по размерите и външния вид на резистора*.

В практиката е твърде важно *електрическата мощност, която се разсейва от резистора, да е по-малка или най-много равна на максималната му мощност на разсейване*. Например, ако даден резистор има мощност 1W, ние можем да му подаваме различни мощности — 0,1, 0,5, 1W, но в никакъв случай 1,1, 1,6, 3,4, W и т. н., защото той ще се прегрее и повреди.

Фиг. 6.5

Подаваната към резистора електрическа мощност зависи от приложеното напрежение (или от протичащия ток) и се изчислява по формули (4.5).

Пример 6.2. Какво най-голямо напрежение е допустимо да действа в краищата на един резистор, ако $R=100\text{ k}\Omega$ и $P=1\text{ W}$?

Задачата може да се реши, ако се използва формула (4.5):

$$U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{1 \cdot 100\,000} \approx 315\text{ V}.$$

Тази задача може да се реши по-лесно и по-бързо, ако се използва подходяща намограма. Нека изясним това по-подробно.

6.6. Логаритмичен мащаб. Степенно представяне. Номограми

Когато на една графика трябва да се изобразят както малки, така и големи стойности, обикновеният (линейният) мащаб не е подходящ и затова се използва **логаритмичен мащаб**. Например желаем да построим графика, на която са нанесени съпротивления от 1Ω до $1\text{ M}\Omega$. Ако се използва линейен мащаб (фиг. 6.6 а), стойностите от 1Ω до $100\text{ k}\Omega$ се получават твърде нагъсто. При опит да ги разредем няма да ги стигне мястото (фиг. 6.6 б). Тук на помощ идва логаритмичният мащаб, при който в началото на скалата стойностите са разредени, а в края — съгъсени (фиг. 6.6 в). Така се получава по-голяма нагледност между малките и големите стойности.

При извършване на изчисления с много малки и много големи числа е удобно да се използва **степенното представяне на числото 10**, дадено в табл. 6.3. По такъв начин големите числа могат да се представят така:

$$150 = 1,5 \cdot 10^2$$

$$7\,200 = 7,2 \cdot 10^3$$

$$1\,600\,000 = 1,6 \cdot 10^6$$

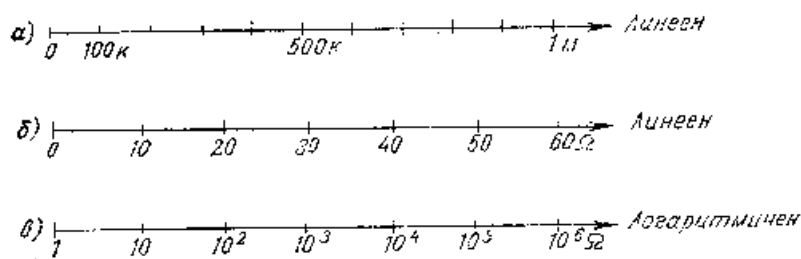
По аналогичен начин могат да се представят и малките числа:

$$0,03 = 3 \cdot 10^{-2}$$

$$0,0081 = 8,1 \cdot 10^{-3}$$

$$0,0000027 = 2,7 \cdot 10^{-6}$$

Степенното представяне е особено полезно при използване на формули, в които, както вече знаем, величините трябва да се заместят с *основните им единици*: волт, ампер, ом, фарад, метър и т. н. При превръщане на величините в основни единици препоръчваме да се използва табл. 6.4, където



Фиг. 6.6

са дадени различните *представки*. Така например, като се използва тази таблица, можем да напишем:

- 372 mm = 372 · 10⁻³ m
- 0,17 cm = 0,17 · 10⁻² m
- 1,4 km = 1,4 · 10³ m
- 27 kΩ = 27 · 10³ Ω
- 0,5 MΩ = 0,5 · 10⁶ Ω
- 13 mA = 13 · 10⁻³ A
- 22 μA = 22 · 10⁻⁶ A
- 3,5 MHz = 3,5 · 10⁶ Hz
- 712 kHz = 712 · 10³ Hz
- 68 pF = 68 · 10⁻¹² F
- 22 nF = 22 · 10⁻⁹ F
- 0,1 μF = 0,1 · 10⁻⁶ F

Таблица 6.3

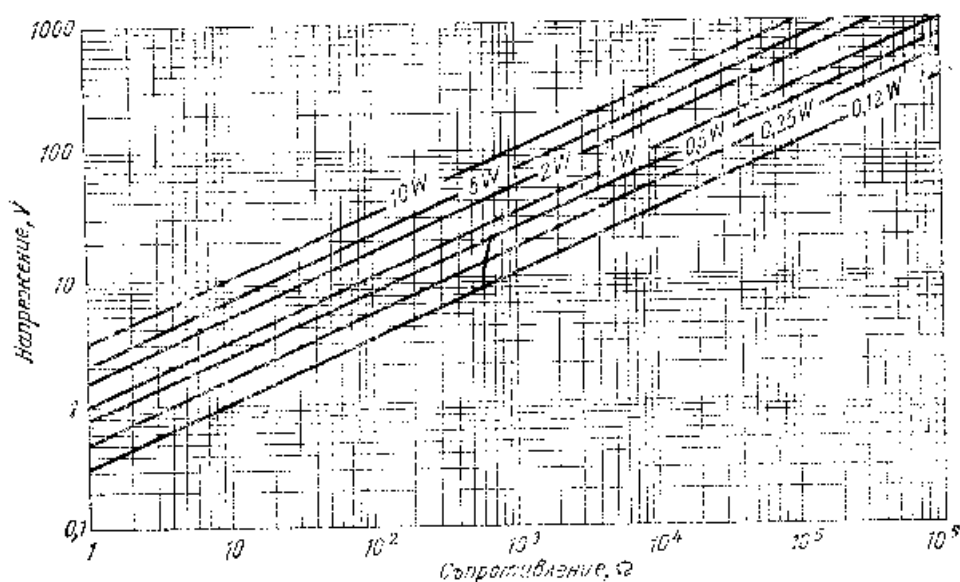
10 ⁰ = 1	10 ⁻¹ = 0,1
10 ¹ = 10	10 ⁻² = 0,01
10 ² = 100	10 ⁻³ = 0,001
10 ³ = 1000	10 ⁻⁴ = 0,0001
10 ⁴ = 10000	10 ⁻⁵ = 0,00001
10 ⁵ = 100000	10 ⁻⁶ = 0,000001
10 ⁶ = 1000000	.
.	.
10 ⁿ = 1000 --- 000	10 ⁻ⁿ = 0,000 --- 0001
n	n

В радиоселектрониката много често се използват номограми. Те изразяват графично зависимостите между няколко величини. Затова при използване на номограмите могат да се решават редица задачи без помощта на формули. Като пример на фиг. 6.7 е дадена номограма, съответстваща на формулата $U = \sqrt{P \cdot R}$. С тази номограма може лесно и бързо да се реши задачата от пример 6.2. Обръщаме внимание, че по абсцисата е нанесено съпротивлението, а по ординатата — напрежението, като е използван логаритмичен мащаб. За улеснение на тези читатели, които досега не са рабо-

Таблица 6.4

Наименование на представката	Кратност	Означенie	Наименование на представката	Кратност	Означенie
Тера	10 ¹²	T	Деци	10 ⁻¹	d
Гига	10 ⁹	G	Санти	10 ⁻²	c
Мега	10 ⁶	M	Мили	10 ⁻³	m
Кило	10 ³	k	Микро	10 ⁻⁶	μ
Хекто	10 ²	h	Нано	10 ⁻⁹	n
Дека	10	da	Пико	10 ⁻¹²	p

тили с логаритмичен мащаб, на фиг. 6.8 а е показано как се отчитат стойностите между числата 100 и 1000. На възкрателните читатели препоръчваме да решат задачата от пример 6.2, като използват номограмата от фиг. 6.7 и указаниято, дадено на фиг. 6.8 б.

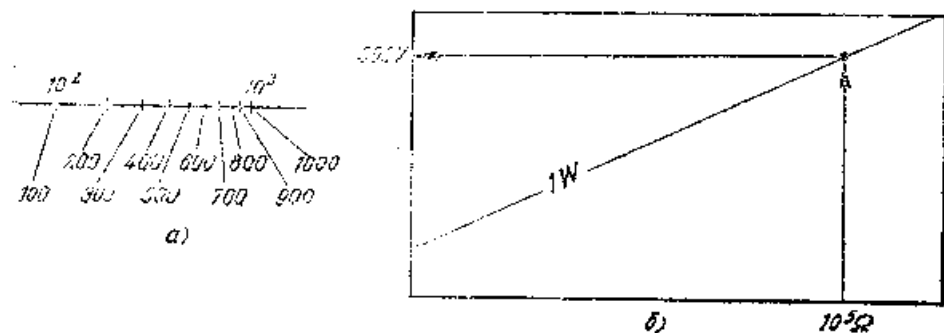


Фиг. 6.7

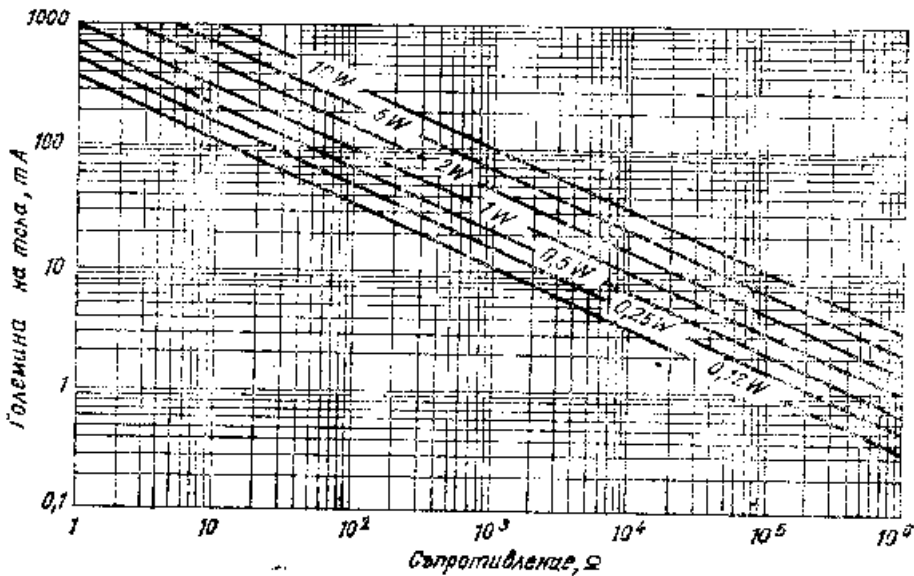
Понеже по-нататък често ще използваме номограми, нека решим още една задача.

Пример 6.3. Какъв най-голям ток е допустимо да протича през резистор $R=200\text{ k}\Omega$ и $P=0,5\text{ W}$?

От номограмата, дадена на фиг. 6.9 (тя съответствува на формулата $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$), отчитаме $I=50\text{ mA}$.



Фиг. 6.8



Фиг. 6.9

ЗАПОМНЕТЕ!

1. При активните съпротивления електрическата енергия изцяло се превръща в други видове енергия, напр. топлинна, механическа, светлинна, звукова и т. в.
2. При протичане на променлив ток през активно съпротивление напрежението и токът са във фаза.
3. Основните параметри на резисторите са стойност (тя е стандартизирана), толеранс (допуск) и максимална мощност на разсейване.
4. Електрическата мощност, подавана към даден резистор, трябва да е винаги по-малка или най-много равна на максималната мощност, която той може да разсее.

Свързване на съпротивленията. Реостат. Потенциометър

7.1. Общи сведения

Радиоелектронните устройства съдържат голям брой детайли, които са свързани помежду си по сложен начин. Обаче почти всички сложни връзки могат да се сведат до два вида свързване на елементите — последователно и паралелно.

7.2. Последователно (сериен) свързване на съпротивленията

При последователно свързване (фиг. 7.1) резултатното съпротивление е равно на сумата от отделните съпротивления. Математически това се изразява така:

$$R_{\text{рез}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (7.1)$$

Например, ако свържем последователно две съпротивления $R_1 = 510\Omega$ и $R_2 = 430\Omega$, за резултатното съпротивление ще получим $R_{\text{рез}} = R_1 + R_2 = 510 + 430 = 940\Omega$.

Последователното свързване се характеризира с това, че през отделните съпротивления протича един и същ ток. Ето защо напрехителните падове са пропорционални на отделните съпротивления.

Пример 7.1. Към двете последователно свързани съпротивления $R_1 = 3\text{k}\Omega$ и $R_2 = 7\text{k}\Omega$ е приложено напрежение $U = 10\text{V}$ (фиг. 7.2 а). Да се определят токът във веригата и падовете на напрежение в краищата на съпротивленията.



Първо намираме резултатното съпротивление: $R_{\text{рез}} = R_1 + R_2 = 3000 + 7000 = 10\,000\Omega$. След това намираме тока във веригата:

$$I = \frac{U}{R_{\text{рез}}} = \frac{10}{10000} = 0,001 \text{ A.}$$

Фиг. 7.1

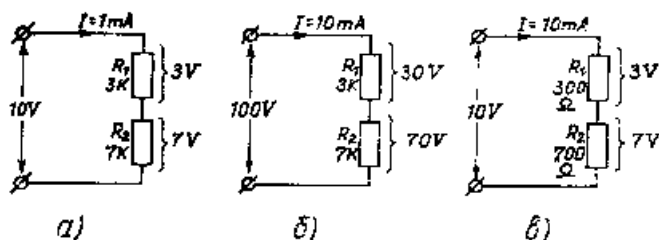
Накрая определяме търсените падове на напрежение.

$$U_{R_1} = I \cdot R_1 = 0,001 \cdot 3000 = 3 \text{ V.}$$

$$U_{R_2} = I \cdot R_2 = 0,001 \cdot 7000 = 7 \text{ V.}$$

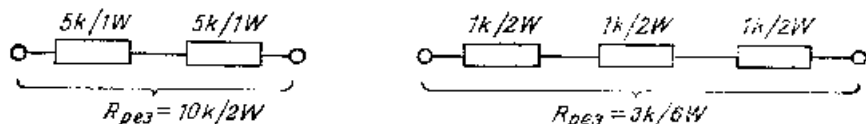
На фиг. 7.2 б и в са показани още два аналогични примера, които препоръчваме да се анализират внимателно от читателя.

При последователно свързване на еднакви по стойност и мощност резистори мощностите им се сумират (фиг. 7.3). По такъв начин от няколко еднакви резистора можем да получим резултантен резистор с по-голяма мощност на разсейване.



Фиг. 7.2

При последователно свързване на нееднакви резистори в най-високоомния резистор се отделя най-голяма мощност.



Фиг. 7.3

7.3. Паралелно (успоредно) свързване на съпротивленията

При паралелното свързване (фиг. 7.4) резултантното съпротивление е по-малко от най-малкото съпротивление и може да се намери по формулата

$$\frac{1}{R_{\text{рез}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (7.2)$$

При две паралелно свързани съпротивления тази формула при добива вида

$$R_{\text{рез}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (7.3)$$

Пример 7.2. Две съпротивления $R_1=30\Omega$ и $R_2=70\Omega$ са свързани паралелно. Да се намери резултантното съпротивление.

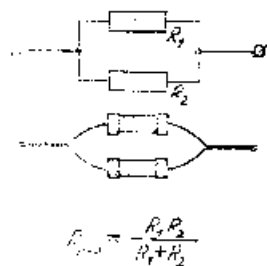
Заместваме в горната формула:

$$R_{\text{рез}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30 \cdot 70}{30 + 70} = 21\Omega.$$

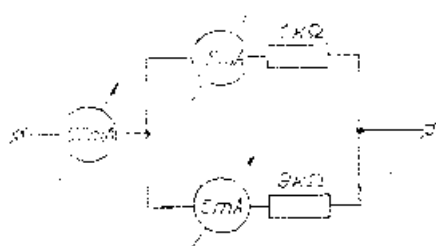
При две паралелно свързани съпротивления стойността на $R_{\text{рез}}$ може да се намери лесно с помощта на помограмата, дадена на фиг. 7.6. Например, ако $R_1=750\Omega$ и $R_2=500\Omega$, лесно се отчита $R_{\text{рез}}=300\Omega$. Също така, ако $R_1=750k\Omega$ и $R_2=500k\Omega$, $R_{\text{рез}}=300k\Omega$.

Ако свържем паралелно две *еднакви* съпротивления, резултатното съпротивление е равно на *половината* от стойността им. Например, ако $R_1 = 1000\Omega$ и $R_2 = 1000\Omega$, $R_{\text{рез}} = 500\Omega$.

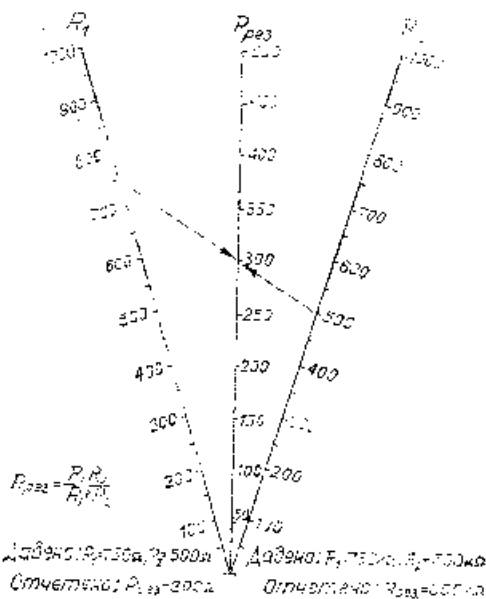
Паралелното свързване се характеризира с това, че токът през отделните



Фиг. 7.4



Фиг. 7.5



Фиг. 7.6

съпротивления е *обратно пропорционален* на техните стойности. Това се вижда добре от примера, даден на фиг. 7.5.

При паралелно свързване на *еднакви по стойност и мощност* резистори *мощностите им се сумират* (фиг. 7.7). По такъв начин от няколко еднакви резистора можем да получим резултатен резистор с по-голяма мощност на разсейване.

При паралелно свързване на *нееднакви* резистори в най-нискоомния резистор се отделя *най-голяма* мощност.



Фиг. 7.7

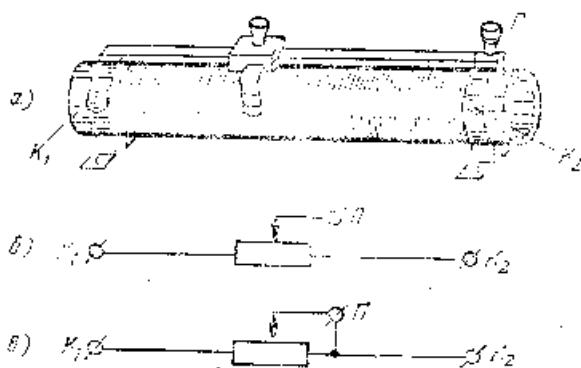
7.4. Реостат

Реостатът е резистор, чиято стойност може да се променя плавно. Обикновено той представлява керамично тяло, върху което е навит съпро-

тивителен проводник, по който се движи плъзгач (фиг. 7.8 а). K_1 и K_2 са началото и края на проводника, а H е подвижният излъгач. Ако трите края на реостата са свързани към различни точки на електрическата верига, казваме, че реостатът се използва като потенциометър (вж. фиг. 7.8 б).

Когато плъзгачът е свързан към един от краищата (фиг. 7.8 в), реостатът е променливо съпротивление.

Реостатът се използва във вериги, където е необходимо плавно изменение на съпротивлението от нула до някаква определена стойност. Основните параметри на всеки реостат са максимално съпротивление R_{max} и максимална разсейвана мощност P_{max} . Обикновено техните стойности са отбелязани върху корпуса на реостата.



Фиг. 7.3

7.5. Делител на напрежение

На фиг. 7.9 са показани схеми на делители на напрежение. И в трите случая входното напрежение е $U_{вх}$, а входното съпротивление е $10\ \Omega$. Обаче изходното съпротивление и изходното напрежение са различни и те се обуславят от избора на съпротивленията R_1 и R_2 . Основната зависимост при делителя на напрежение е следната:

$$\frac{U_{изх}}{U_{вх}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (7.4)$$

Основното свойство на този делител е това, че при подходящ избор на R_1 и R_2 изходното напрежение може да предстивава средната част от входното.

Обръщаме внимание, че отношението между $U_{изх}$ и $U_{вх}$ зависи не от абсолютните стойности на R_1 и R_2 , а само от тяхното отношение. Например, ако на фиг. 7.9 б вместо 9 и $1\ \text{k}\Omega$ поставим 18 и $2\ \text{k}\Omega$ (или 27 и $3\ \text{k}\Omega$), изходното напрежение няма да се промени.

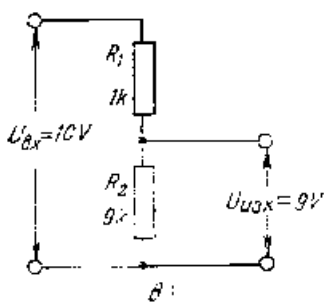
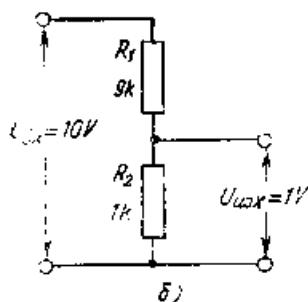
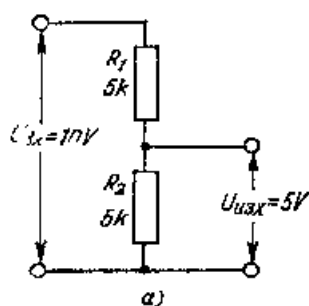
7.6. Потенциометър

Потенциометърът е променлив резистор с плъзгач, който има три края. На фиг. 7.10 е показан графитен потенциометър. При въртене на оста плъзгачът се движи върху изолационна шайба, покрита с графитен съпротивителен слой. Подобна е конструкцията на жпните потенциометри, като в този случай върху изолационната шайба е навит съпротивителен проводник.

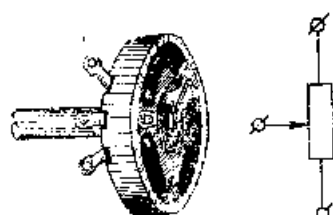
От фиг. 7.11 се вижда, че по същество потенциометърът е обикъ делител на напрежение, при който отношението между R_1 и R_2 може да се изме-

ня плавно. В резултат на това при въртене на оста изходното напрежение може да се изменя плавно от нула до $U_{вх}$.

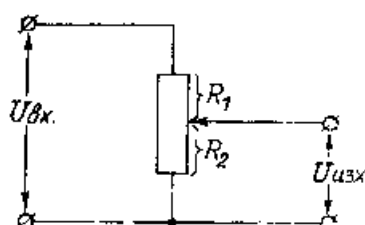
Различаваме *линейни* и *логаритмични* потенциометри. При линейните потенциометри съпротивлението на различните участъци от графитния слой е едно и също, докато при логаритмичните то е различно (фиг. 7.12).



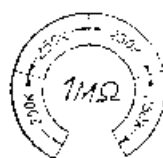
Фиг. 7.9



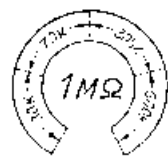
Фиг. 7.10



Фиг. 7.11



Линейен



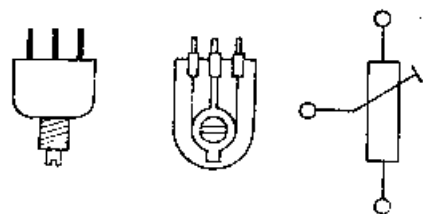
Логаритмичен

Фиг. 7.12

Основните параметри на всеки потенциометър са максимално съпротивление $R_{макс}$ и максимална разсейвана мощност $P_{макс}$. Обикновено максималната стойност на потенциометрите е стандартизирана в съответствие с табл. 7.1. Жичните потенциометри по принцип са предназначени за по-големи токове и стойността им рядко надвишава 50 kΩ. Графитните потенциометри могат да пропускат предимно малки токове, а техните стойности достигат до 5 MΩ.

Пример 7.3. Какъв най-голям ток е допустимо да протича през графитен потенциометър със стойност $1\text{ M}\Omega$ и мощност 1 W ?

От номограмата, дадена на фиг. 6.9, можем да отчетем, че най-големият допустим ток през този потенциометър е 1 mA .



Фиг. 7.13

В радиоелектрониката намират приложение т. нар. **тримерпотенциометри** (фиг. 7.13). Те са предназначени за *донастройка* на различни електрически вериги. Тяхното съпротивление се изменя с помощта на отвержка и това се прави само при производство и ремонт на апаратурите.

В заключение иска кажем, че всеки потенциометър може да се използва и като реостат (вж. фиг. 7.8).

ЗАПОМНЕТЕ!

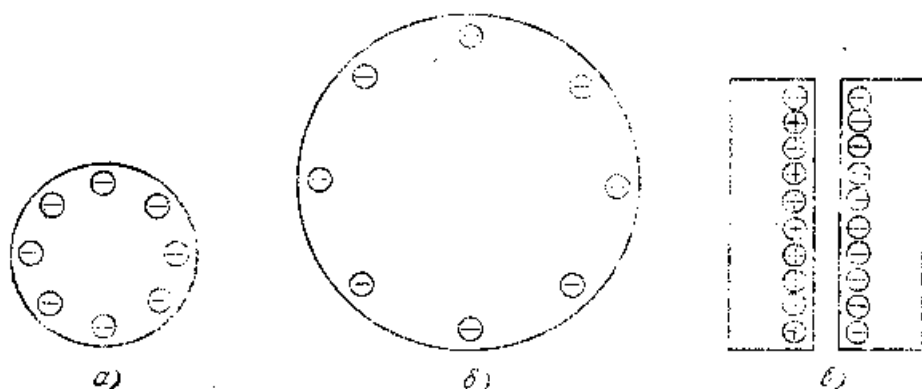
1. При последователното свързване резултантното съпротивление е равно на сумата от отделните съпротивления.
2. При последователното свързване токът през отделните съпротивления е един и същ.
3. При последователното свързване падовете на напрежение са пропорционални на отделните съпротивления, т. е. върху най-голямото съпротивление се образува най-голям пад.
4. При паралелното свързване резултантното съпротивление е по-малко от най-малкото съпротивление.
5. При паралелното свързване върху отделните съпротивления действа едно и също напрежение.
6. При паралелното свързване токовете са обратно пропорционални на отделните съпротивления, т. е. през най-малкото съпротивление протича най-голям ток.
7. Реостатът е променлив резистор с два края, чието съпротивление може да се изменя плавно.
8. Потенциометърът е променлив резистор с три края. Средният му край е свързан с плъзгача, ето защо той представлява един променлив делител на напрежение.

Електрически капацитет и кондензатори

8.1. Електрически капацитет

На фиг. 8.1 а е показана *платна* метална сфера, наелектризирана отрицателно. (За простота са начертани само допълнително вкараните електрони). Поради взаимното отблъскване на електроните те се разполагат равномерно по повърхността, като вътрешността на сферата е неутрална. Ако със същия заряд (същия брой електрони) наелектризираме друга метална сфера с по-големи размери, електроните ще се разположат също по повърхността ѝ, но по-далеч един от друг (фиг. 8.1 б). В такъв случай казваме, че *електрическият капацитет на сферата е по-голям*. И наистина, за да получим същата плътност на зарядите, трябва да вкараме в сферата още електрони.

Става ясно, че *по-големите метални тела имат по-голям електрически капацитет*. Обаче капацитетът на една система може да се увеличи не само чрез увеличаване на размерите ѝ, но и по други начини. Това е показано на фиг. 8.1 в, където две еднакви метални тела, наелектризирани разноименно, са поставени близо едно до друго. Поради *взаимното привличане* зарядите се разполагат твърде нагъсто по *вътрешните стени* на телата. Така се



Фиг. 8.1

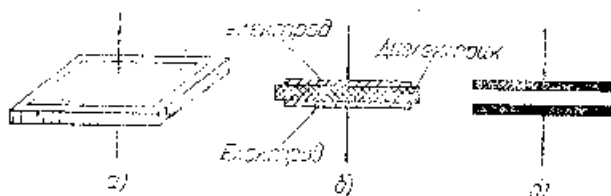
„освобождава място“ за вкарване на допълнителни отрицателни заряди, т. е. увеличава се капацитетът. Тази особеност се използва при различните видове кондензатори.

Нека добавим още, че *всяко наелектризирано тяло с несителна средствена енергия*. Тази енергия е въведена от външната причина, която е излек-

тризврата тялото. Съвсем аналогичен е случаят с напумпаната автомобилна гума — тя е „носител“ на енергия, която е доставена от този, който е помпал гумата.

8.2. Общи сведения за кондензаторите

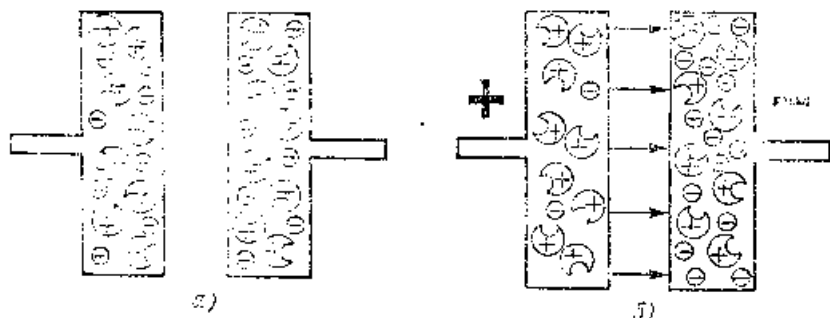
Система от два проводника, разделени с диелектрик, се нарича кондензатор (фиг. 8.2). Главното свойство на кондензатора е това, че върху електродите му могат да се натрупат равни по големина и противоположни по знак електрически заряди. Друго важно свойство на кондензатора е, че той пропуска променливия и не пропуска постоянния ток. (По-нататък това ще разгледаме по-подробно).



Фиг. 8.2

На фиг. 8.3 а е показан символично незареден кондензатор, чиито метални електроди са електрически неутрални, защото във всеки електрод броят на положителните и отрицателните частици е еднакъв и те взаимно се неутрализират.

При заредения кондензатор положителният електрод има недостиг на свободни електрони, а отрицателният — излишек (фиг. 8.3 б). При това положение между електродите на заредения кондензатор съществува определено напрежение, а в диелектрика възниква електрическо поле.



Фиг. 8.3

Напрежението между електродите, което възниква при зареждане на кондензатора, зависи както от количеството електричество, така и от капацитета на кондензатора. Ако имаме два кондензатора с различен капацитет и ги заредим с едно и също количество електричество, напрежението на малкия кондензатор ще бъде по-високо от напрежението на големия. Подобно е по-

ложението при два различни големи съда, в които сме напели *еднакво* количество вода. Очевидно нивото на водата в малкия съд ще бъде *по-високо* от нивото в големия (фиг. 8.4).

Единицата за измерване на електрическия капацитет се нарича **фарад** (F) в чест на английския физик **Майкъл Фарадей** (1791—1867). *Даден кондензатор има капацитет един фарад, ако при зареждането му с един кулон електричество напрежението между електродите му става един волт.*

Следователно можем да напишем

$$1 \text{ фарад} = \frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ волт}}.$$

Понеже капацитетът се бележи с C , количеството електричество — с Q , а напрежението — с U , получава се формулата

$$C = \frac{Q}{U}. \quad (8.1)$$

Тази формула дава връзката между капацитета на един кондензатор, количеството електричество, с което е зареден, и напрежението, което възниква между електродите му.

Кондензатор с капацитет 1 F би имал твърде големи размери. Ето защо *употребяваните в практиката кондензатори имат значително по-малък капацитет*, за измерването на който се използват единиците **микрофарад** (μF), **нанофарад** (nF) и **пикофарад** (pF). За тези единици можем да напишем

$$\begin{aligned} 1 \mu\text{F} &= 10^{-6}\text{F}, & \frac{1}{1000000000000000} &= 2 \\ 1 \text{nF} &= 10^{-9}\text{F}, & & \\ 1 \text{pF} &= 10^{-12}\text{F}. & & \end{aligned}$$

Оттук се вижда, че $1 \mu\text{F} = 1000 \text{nF}$, а $1 \text{nF} = 1000 \text{pF}$.

Пример 8.1. Какво напрежение ще възникне между електродите на един кондензатор с капацитет $20 \mu\text{F}$, ако го заредим със заряд $0,001$ кулона? Като използваме формула (8.1), намираме

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{10^{-3}}{20 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^3}{20} = 50 \text{ V}.$$

Ако със същото количество електричество заредим кондензатор с капацитет $1 \mu\text{F}$, между електродите му ще възникне напрежение **1 милион волта!**

По-горе изяснихме, че капацитетът зависи както от размерите на кондензатора, така и от условията за взаимно привличане на противоположните заряди. *С увеличаване площта на електродите се увеличава и капацитетът на кондензатора*, защото се създават условия за натрупване на повече заряди. Обаче този начин за увеличаване на капацитета води до увеличаване размерите на самия кондензатор, а това не е желателно.

Друг начин за увеличаване капацитета на даден кондензатор е *намаляване разстоянието между електродите му*. В резултат на това разноименните заряди се оказват по-близо един до друг, електрическото поле между електродите става по-интензивно и силите на привличане между зарядите нарастват. По такъв начин върху всеки електрод зарядите се натрупват по-

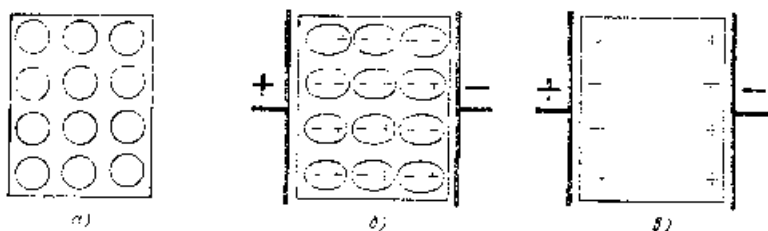
тъсто и освобождават място за други заряди, т. е. капацитетът нараства. Но приближаването на електродите може да става до определен предел, след което опасността от късо съединение или пробив става много голяма.

8.3. Ролята на диелектрика

Най-рационалният начин за увеличаване капацитета на един кондензатор е поставянето на *подходящ диелектрик* между електродите му. Нека разгледаме това по-подробно.

В нормалния случай валентните електрони на всеки диелектрик обикалят около атомните ядра по кръгови орбити (последните са показани символично на фиг. 8.5 а). При поставяне на диелектрика в електрическо поле то действа върху обикалящите електрони и *деформира техните орбити*. Ефектът от това е, че молекулите на диелектрика се превръщат в **диполи**, т. е. в частици, които в противоположните си краища може да се разглеждат като наелектризирани разноименно (фиг. 8.5 б). Намиращите се вътре в диелектрика разноименни заряди взаимно се неутрализират, а зарядите на двете му срещуположни страни остават некомпенсирани, т. е. те могат да се разглеждат като *фиктивни* (несвободни, свързани с веществото) заряди, разположени на повърхността на диелектрика (фиг. 8.5 в). Това явление се нарича **поляризация** на диелектрика. Колкото повече фиктивни заряди се образуват на повърхността на диелектрика, казваме, че той толкова по-силно се поляризира.

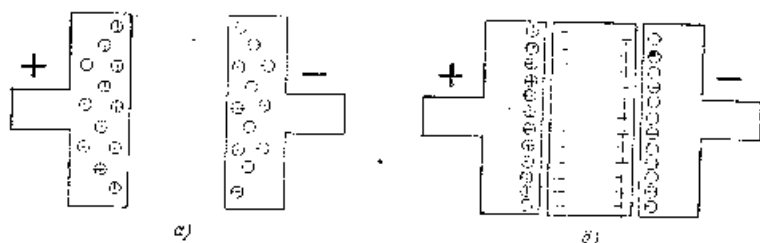
На фиг. 8.6 а е показан зареден кондензатор, между плочите на който има **вакуум** (празно пространство). Както вече знаем, капацитетът на този кондензатор зависи от площта на електродите и разстоянието между тях. Нека отбележим, че тук зарядите във всеки електрод не са се разположили особено плътно един до друг. Това е така, защото разстоянието между двата електрода е значително и силите на взаимно привличане между зарядите не са особено големи. На фиг. 8.6 б между електродите на същия зареден кондензатор е поставен диелектрик. Вследствие на възникналата поляризация фиктивните заряди на повърхността на диелектрика *се оказват твърде близко до зарядите в електродите* и поради това силите на взаимно привличане са по-големи. По такъв начин зарядите в електродите се натрупват по-нагъсто и освобождават място за други заряди (фиг. 8.6 в), т. е. капацитетът на кондензатора нараства.



Фиг. 8.5

Очевидно колкото диелектриктът се поляризира по-силно, толкова капацитетът на кондензатора ще нарасне повече. В количествено отношение степента на поляризация се характеризира с величината ϵ_r , която се нарича **относителна диелектрична проникваемост** на веществото. При различните

диелектрици тази величина е различна (например при стъклото $\epsilon_r = 3 \div 12$, при слюдата $\epsilon_r = 6 \div 8$, при въздуха $\epsilon_r = 1$ и т. п.) и се дава в справочниците, като при болинството от най-употребяваните диелектрици величината ϵ_r се намира в границите от 1 до 20. Съществуват обаче особена група вещества,



Фиг. 8.6

наречени **сегнетоелектрици**, които се поляризират навътрешно едно и друго имат $\epsilon_r = 50 \div 100$ (00). Те се използват за направа на *минимални кондензатори с относително голям капацитет*.

В заключение нека добавим, че диелектриците, които се използват за направа на кондензатори, трябва да имат не само голяма стойност на относителната си диелектрична проникваемост, но и да отговарят на следните две условия:

а) да имат *голяма електрическа сила*, която означава тънки слоеве от диелектрика да могат да издържат значителни напрежения, без да настъпи пробив;

б) да имат *малки загуби при висок честота*. Когато между електродите на кондензатора действуват променливи напрежения, те пораждат значително проронителност на молекулите на диелектрика, която от своя страна води до неговото загряване, а това е изгуба на енергия. Добри диелектрици са тези, които при висок честота се загряват сравнително слабо. Такива са например полиетиленът, сланилната керамика и др.

8.4. Капацитет на плосък кондензатор

В предните точки изясняваме, че капацитетът на даден кондензатор е толкова по-голям, колкото е по-голямата площта на неговите електроди, по-малко разстоянието между тях и по-голямата относителната диелектрична проникваемост на устроявания диелектрик. С помощта на теорията за капацитет на плосък кондензатор с плоски електроди се извежда следната формула:

$$C = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\epsilon_r S}{d} \quad (8.2)$$

Тук с ϵ_r е отбелязана относителната диелектрична проникваемост на диелектрика, S е площта на един от електродите (измерена в m^2), а d — разстоянието между електродите (измерено в м).

Пример 8.2. Да се намери капацитетът на плосък кондензатор, ако $S = 100 \text{ cm}^2$, $d = 1 \text{ mm}$, а диелектриката е вирфинирана хартия с $\epsilon_r = 4$.

Превръщаме величините в основни единици и заместваме в горната формула:

$$C = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\epsilon_r S}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{4 \cdot 10^{-2}}{10^{-3}} = 354 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 354 \text{ pF}.$$

Като вземем под внимание капацитета C , можем да дадем следното физическо тълкуване на величината τ : относителната диелектрична пропусаемост на даден диелектрик е число, което показва колко пъти ще нарастне капацитетът на даден плосък вакуумен кондензатор, ако вместо вакуум използваме дадения диелектрик.

8.5. Кондензатор във верига на постоянен ток

На фиг. 8.7 е показана електрическа верига, съдържаща батерия, крушка и кондензатор.

При затваряне на веригата крушка L светва за кратко време, след което тя вече не свети, т. е. веригата е затворена. Затова много често се казва, че кондензаторите не протускат постоянния ток.

Подобна схема е показана на фиг. 8.8 а. При затваряне на ключа K във веригата за кратко време протича т.

нар. *заряден ток*. Той тече само докато се зареди кондензаторът и това явление се нарича *преходен процес*. Заряденето на кондензатора не става изведнъж, а постепенно (по т. нар. експоненциален закон).

В първия момент на включване напрежението между кондензаторните електроди е нула, т. е. *кондензаторът представлява късо съединение за веригата* (фиг. 8.8 б) и затова зарядният ток е най-силен.

В следващия момент на зареждането на кондензатора започва да нараства, като им *противонапрежение* U_c (т. е. д. н. на токоизточника) и затова се нарича *противонапрежение*.

По такъв начин резултатното напрежение във веригата намалява (на фиг. 8.8 в то е $U_{рез} = 4,5 - U_c = 3,5V$), с което намалява и зарядният ток.

На фиг. 8.9 е показано измерението на тока и напрежението за разглежданата конкретна схема. Виждаме, че преходният процес трае сравнително дълго време.

Обаче за практическия пресметания се приема, че *преходният процес е завършил, когато токоизточното напрежение е достигнало 95% от напрежението на токоизточника* или когато зарядният ток е станал само 5% от тока в първия момент на включване.

С това преходният процес практически е завършил, т. е. кондензаторът се е зарядил и ток във веригата повече не протича.

Времетраенето на преходният процес може да бъде изчислено по формулата

$t = 3RC$.

Тук t е времето в секунди, C — капацитетът във фаради, а R — съпротивлението в Ω на *цялата верига, през която става зареждането*, включително R_i на токоизточника.

Тази формула ни показва, че голям капацитет през голямо съпротивление се зарежда дълго време, а малък капацитет през малко съпротивление — за кратко време.

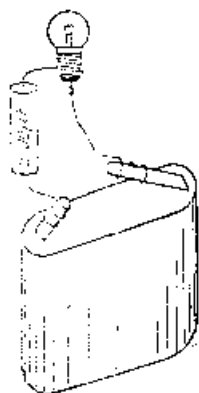
Пример 8.3. За колко време ще се зареди кондензаторът с капацитет $C = 10\mu F$ през съпротивление $R = 10\Omega$.

Превръщаме капацитета в основни единици и заместваме в горната формула:

$t = 3RC = 3 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 0,0003 \text{ s.}$

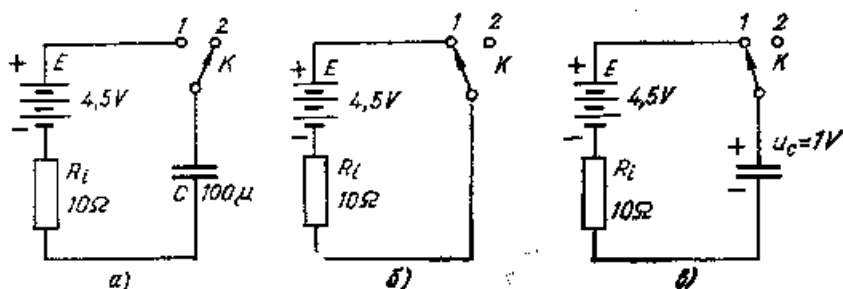
Ако същият кондензатор се зареждаше през съпротивление $1 \text{ M}\Omega$, преходният процес щеше да трае 30 секунди.

При разреждане на кондензатор през съпротивление явленията са аналогични, т. е. разреждането не става мигновено, а също по експоненциален

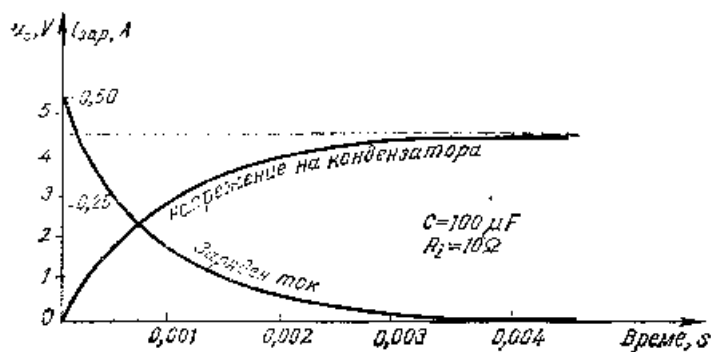


Фиг. 8.7

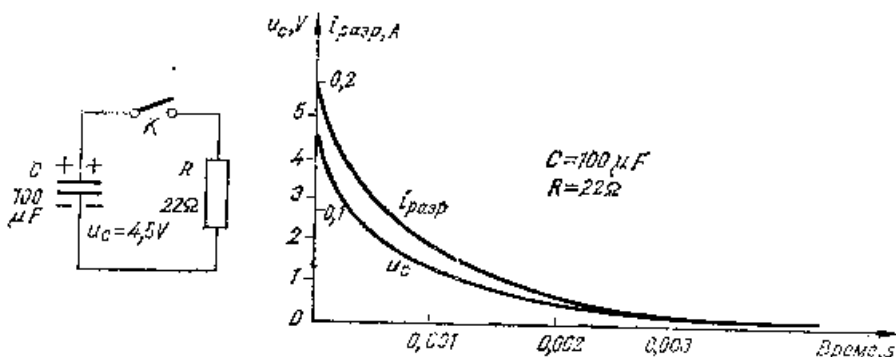
закон, като времетраенето на преходния процес може да се намери по формулата, дадена по-горе. На фиг. 8.10 са показани схемата на разреждане на кондензатор през съпротивление на графиката на преходния процес. Виждаме, че както напрежението, така и разрядният ток намаляват по експоненциален закон.



Фиг. 8.8



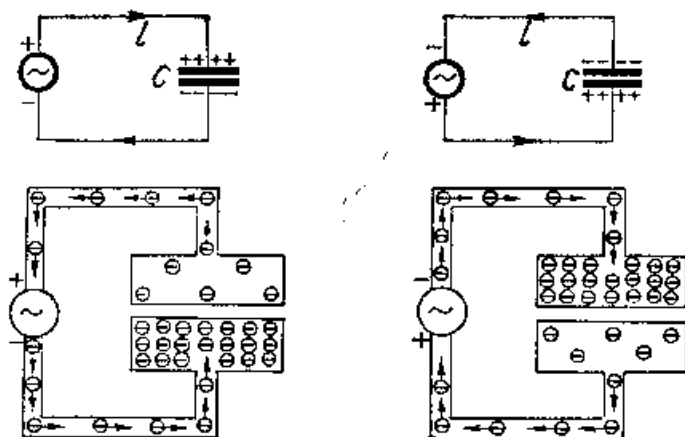
Фиг. 8.9



Фиг. 8.10

8.6. Кондензатор във верига на променлив ток

Вече знаем, че променливият ток в металите представлява колебателно движение на електроните ту в едната, ту в другата посока. Ако към променливотоков източник включим кондензатор, неговите електроди периодично ще се зареждат и разреждат с електрони (фиг. 8.11). *Независимо от това,*



Фиг. 8.11

че електроните не преминават през диелектрика, във външната верига тяхното движение е колебателно, т. е. протича променлив ток.

Съпротивлението, което кондензаторът оказва на променливия ток, се нарича капацитивно съпротивление и се измерва в омаве. То се бележи с X_C и се изчислява по формулата

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (8.4)$$

Оттук следва, че капацитивното съпротивление зависи както от стойността на кондензатора, така и от честотата (т. е. то е честотно зависимо). Колкото капацитетът е по-голям и честотата по-висока, толкова капацитивното съпротивление е по-малко.

Пример 4. Да се намери капацитивното съпротивление на кондензатор със стойност $0,1 \mu\text{F}$ при честота 50 Hz .

Превръщаме капацитета във фаради и заместваме в горната формула:

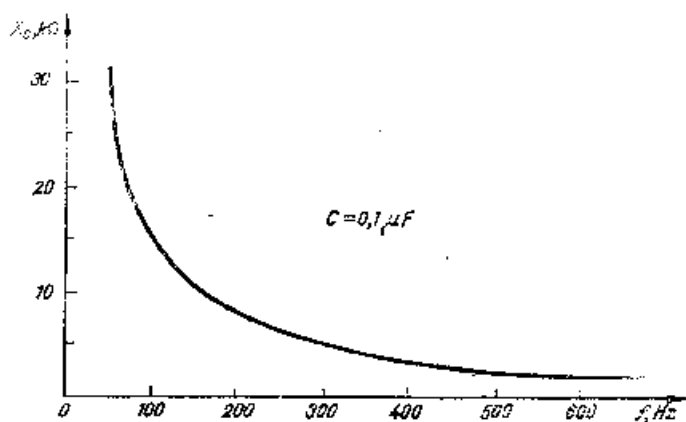
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{31,4} \approx 32 \text{ k}\Omega$$

Същият кондензатор при честота 500 Hz ще има капацитивно съпротивление $X_C = 3200 \Omega$, а при честота 1 MHz — $X_C = 1,6 \Omega$, т. е. ще представлява почти късо съединение за токовете с висока честота. Зависимостта на капацитивното съпротивление на този кондензатор от честотата (нарича се още *честотна характеристика*) е показана на фиг. 8.12.

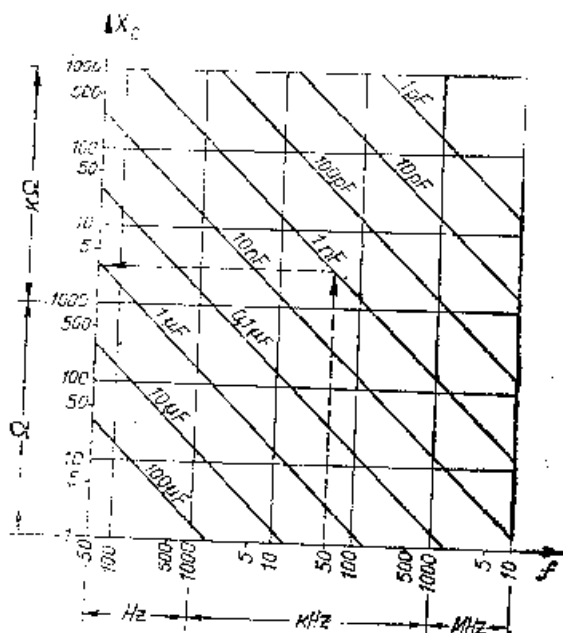
Капацитивното съпротивление на даден кондензатор може да се намери по-лесно и по-бързо с помощта на номограмата, дадена на фиг. 8.13. Например от нея лесно се отчита, че при $f = 50 \text{ kHz}$ кондензатор с капацитет $C = 1 \text{ nF}$ има капацитивно съпротивление $X_C \approx 3 \text{ k}\Omega$.

След като вече знаем що е капацитивно съпротивление, можем да напишем закона на Ом за променливия ток през кондензаторите:

$$U = X_C I, \quad X_C = \frac{U}{I} \quad I = \frac{U}{X_C} \quad (8.5)$$



Фиг. 8.12



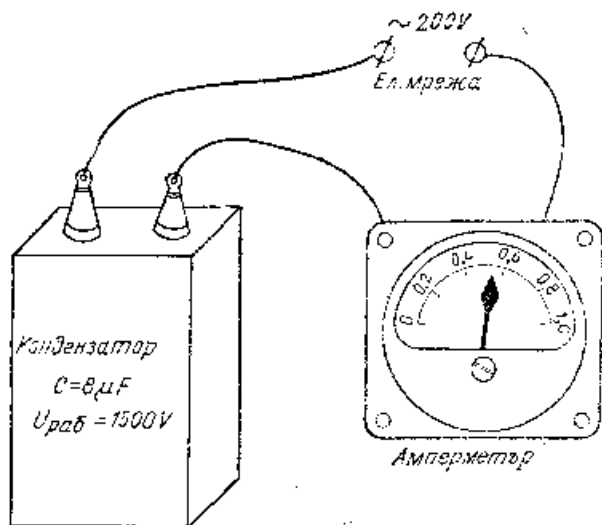
Дадено: $f = 50 \text{ kHz}$, $C = 1 \text{ nF}$
 Отчитаме: $X_C = 3 \text{ k}\Omega$

Фиг. 8.13

Пример 8.5. Какъв ток ще протича във веригата (фиг. 8.14), ако кондензатор с капацитет $C = 8 \mu F$ включим към осветителната мрежа?

Превръщаме микрофарадите във фаради и намираме капацитивното съпротивление на кондензатора:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 400 \Omega$$



Фиг. 8.14

След това от закона на Ом получаваме

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{220}{400} = 0,55 \text{ A.}$$

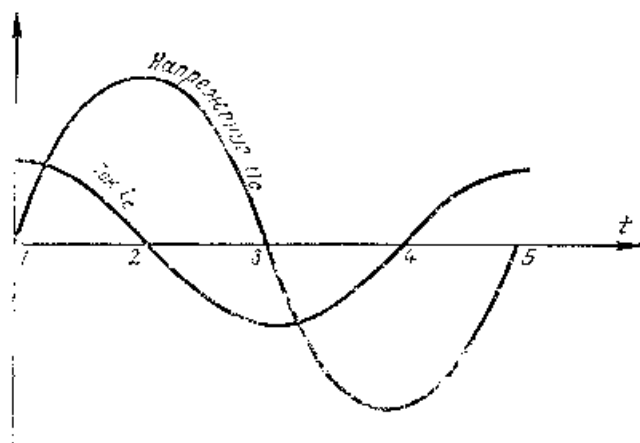
Много често се казва, че *съпротивлението на кондензаторите е реактивно*. За да обясним това, нека наново разгледаме опита, показан на фиг. 8.14, като си зададем въпроса: каква е мощността, която се отделя в кондензатора? На пръв поглед тази мощност можем да намерим, като използваме формула (4.5): $P = U \cdot I = 220 \cdot 0,55 = 120 \text{ W}$. Обаче, ако хванем кондензатора с ръка, ще установим, че дори и след продължителна работа той остава студен, а всеки от нас е развивал нагорещена стоватова електрическа крушка и знае как тя лари! А защо кондензаторът е студен?

Причината за това е, че кондензаторът е едно **реактивно съпротивление**, т. е. при него *максимумите на напрежението и тока не настъпват едновременно*, както при активното съпротивление. За да изясним това, нека първо си припомним как се изменя токът и напрежението при включване на кондензатор към постоянно напрежение. Това беше показано на фиг. 8.9, където са дадени графиките на напрежението и тока. От тази фигура се вижда, че в първия момент на включване напрежението между електродите е нула, а токът е максимален. А след като кондензаторът се зареди и напрежението му стане максимално, токът през кондензатора намалява до нула.

Сломнатата особеност на кондензатора се проявява и тогава, когато той е включен към променливо синусоидално напрежение и това е показано на фиг. 8.15. От тази фигура следва, че когато токът е максимален, напрежението между електродите е нула, а когато напрежението е максимално, то-

кът през кондензатора е нула. Следователно приложеното напрежение и протичащият ток са дефазирани помежду си на 90° , като токът изпреварва напрежението.

Понеже кондензаторът е реактивно съпротивление, *мощността във веригата е също реактивна*. За да изясним това понятие, нека припомним, че



Фиг. 8.15

мощността е произведение от напрежението и тока (вж. формула 4.5). Но от фиг. 8.15 следва, че през едната четвъртинка от периода (участък 1—2) токът и напрежението са положителни, т. е. мощността $P=UI$ е положителна. Това означава, че през тази част от периода кондензаторът се зарежда и приема енергия от ел. мрежа. През втората четвъртинка от периода (участък 2—3) напрежението е положително, но токът е отрицателен, т. е. мощността е отрицателна. Това означава, че през тази част от периода кондензаторът се разрежда и отдава енергията си обратно в ел. мрежа. По същия начин се вижда, че през третата четвъртинка от периода (участък 3—4) напрежението и токът са отрицателни, но мощността е положителна (кондензаторът се зарежда), а през четвъртата четвъртинка от периода (участък 4—5) напрежението е отрицателно, а токът е положителен, т. е. мощността е отрицателна (кондензаторът се разрежда). Следователно при реактивните съпротивления е налице една *постоянна обмяна* на енергия между генератор и кондензатор, като *средната мощност е нула* и именно затова кондензаторът от фиг. 8.14 не се загрява въпреки значителния ток през него.

ЗАПОМНЕТЕ!

1. Кондензаторът представлява система от два проводника, разделени с диелектрик.
2. Единицата за измерване на електрически капацитет се нарича фарад.
3. Капацитетът на един кондензатор може да се увеличи чрез увеличаване площта на електродите му, чрез намаляване на разстоянието между тях или чрез използване на диелектрик с голяма относителна диелектрична проникваемост.
4. Ако се пренебрегне зарядният ток, съпротивлението на кондензатора за постоянен ток е безкрайно голямо, т. е. кондензаторът не пропуска постоянния ток.
5. Съпротивлението на кондензатора за променлив ток (капацитивното съпротивление) зависи както от капацитета на кондензатора, така и от честотата на тока. При по-голям капацитет кондензаторите оказват по-малко съпротивление на променливия ток. С увеличаване на честотата съпротивлението на даден кондензатор намалява.
6. Капацитивното съпротивление е реактивно, т. е. в променливотокова верига кондензаторът непрекъснато се зарежда и разрежда, като средната мощност, постъпваща в кондензатора, е нула.

Видове кондензатори. Свързване на кондензаторите

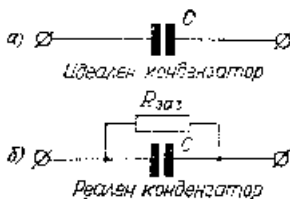
9.1. Основни параметри на кондензаторите

Всеки технически кондензатор се характеризира със следните основни параметри:

а. Номинален капацитет. Това е стойността на кондензатора, която много често се нанася върху корпуса му. В радиоелектрониката се използват най-често кондензатори с капацитет от 1 pF до 5000 μ F. Кондензаторите с постоянен капацитет (с изключение на електролитните)

Означеление	Стойност
C—30	30 pF
C—150	150 pF
C—500	500 pF
C—1n	1000 pF
C—10n	10000 pF
C—0.01	10000 pF
C—15n	15000 pF
C—0.015	15000 pF
C—0.02	20000 pF
C—0.025	25000 pF
C—0.03	30000 pF
C—0.04	40000 pF
C—0.05	50000 pF
C—0.06	60000 pF
C—0.07	70000 pF
C—0.08	80000 pF
C—0.09	90000 pF
C—0.1	100000 pF
C—1.5	1500 nF
C—2.2	2200 nF
C—3.3	3300 nF
C—4.7	4700 nF
C—6.8	6800 nF
C—10	10000 nF
C—15	15000 nF
C—22	22000 nF
C—33	33000 nF
C—47	47000 nF
C—68	68000 nF
C—100	100000 nF
C—150	150000 nF
C—220	220000 nF
C—330	330000 nF
C—470	470000 nF
C—680	680000 nF
C—1000	1000000 nF

Фиг. 9.1



Фиг. 9.2

се произвеждат с три класа на точност и номинални стойности съгласно същия стандарт, както резисторите (вж. табл. 6.2). Така например колкото и да търсим, не ще намерим кондензатор с капацитет 7000 pF, а вместо него можем да ползуваме кондензатор с капацитет 6800 или 7500 pF. В радиосхемите капацитетът на кондензаторите се бележи съкратено така, както е показано на фиг. 9.1.

б. Работно напрежение. Това е най-голямото напрежение между електродите на кондензатора, което по време на работа не бива да се превишава. В противен случай ще настъпи пробив в диелектрика и кондензаторът ще се повреди. Работното напрежение зависи от качествата и дебелината на употребения диелектрик. Колкото диелектриктът е по-дебел, толкова работното напрежение е по-голямо, но едновременно с това размерите на кондензатора също нарастват.

в. Загуби в кондензатора. Идеалният кондензатор притежава само капацитет и няма никакви загуби (фиг. 9.2 а). Реалните кондензатори обаче имат определени загуби, които се дължат на несъвършената изолация на диелектрика и се извяват като ненужно загряване на последния. Явлението е изразено особено силно при високи честоти и както видяхме, се дължи на периодичното пресорентиране на молекулите вследствие на променливото електрическо поле.

Загубите в диелектрика могат да се изразят условно чрез едно загубно съпротивление, свързано паралелно на кондензатора (фиг.

9.2 б). При качествените кондензатори това загубно съпротивление дори при значителни честоти има много големи стойности — напр. $100 \div 1000 \text{ M}\Omega$ — и в повечето случаи не оказва влияние върху работата на кондензатора. При недоброкачествените кондензатори обаче с увеличаване на честотата, загубното съпротивление силно намалява, като става напр. $1000 \div 10\,000 \Omega$. По такъв начин то шунтира кондензаторът и свойствата на веригата се променят силно.

Както ще се убедим по-нататък, свойствата на различните видове кондензатори се определят главно от особеностите на употребения диелектрик, тъй като металните електроди играят второстепенна роля.

9.1. Постоянни кондензатори

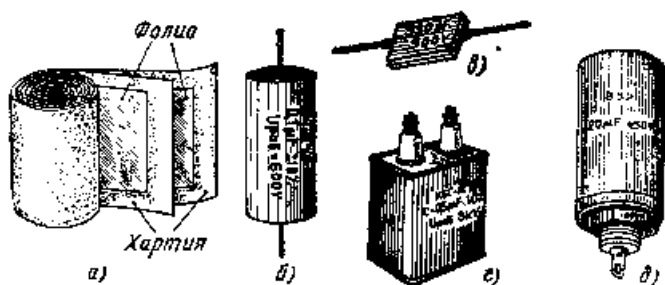
Както показва названието им, капацитетът на тези кондензатори се определя по време на тяхното производство и след това не може да се изменя.

а. Хартиени кондензатори. Те се състоят от две стапловидни ленти (фолии), изолирани помежду си с парафинирана хартия. Всичко това се навива на рудо и се поставя в изолационна тръба, като двата края на кондензатора са свързани с двете ленти (фиг. 9.3 а, б, в). За предпазване от външни влияния от двете страни кондензаторът се залива със специална смола. Хартиените кондензатори са подходящи за работа само при ниски честоти (или когато са шунтирани от високоомно съпротивление), защото при увеличаване на честотата техните загуби силно нарастват, т. е. $R_{\text{заг}}$ (фиг. 9.2 б) силно намалява.

б. Слюдени кондензатори. При тях диелектрикт е слюда и обикновено целият кондензатор е запресуван с пластмаса (фиг. 9.3 в). По принцип те се произвеждат с неголеми капацитети (напр. от 1 pF до 10 nF) и имат малки загуби при високи честоти.

в. Керамични кондензатори. При тях диелектрикт е специална керамика, която има малки загуби при високи честоти, а относителната ѝ диелектрична проникваемост е сравнително голяма. Тези кондензатори се произвеждат във вид на дискове или тръбички и имат относително малки размери.

г. Стирофлексни кондензатори. По конструкция те приличат на хартиените



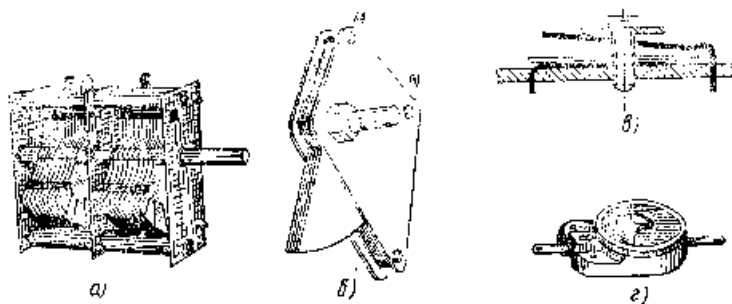
Фиг. 9.3

ните кондензатори, но тук диелектрикт е тънка прозрачна лента от полистирол (стирофлекс). Тези кондензатори са достатъчно здрави и не се поставят в изолационна тръбичка. Те имат сравнително малки загуби при високи честоти.

д. **Електролитни кондензатори.** Те се характеризират с голям капацитет при относително малки размери (фиг. 9.3 д). При тях като диелектрик се използва тънък слой от двуалуминиев триоксид. Въпреки че е много тънък, той има голяма електрическа якост. Този оксид е разположен между подлежащия полюс на кондензатора и електролита, като последният е свързан електрически с корпуса на кондензатора. Поради това *електролитните кондензатори имат полярност, която при монтаж трябва да се спазва* (корпусът е отрицателният им електрод). Електролитните кондензатори са подходящи само за работа при ниски честоти (или когато се шунтира с нискоомно съпротивление), понеже с увеличаване на честотата $R_{\text{вг}}$ силно намалява.

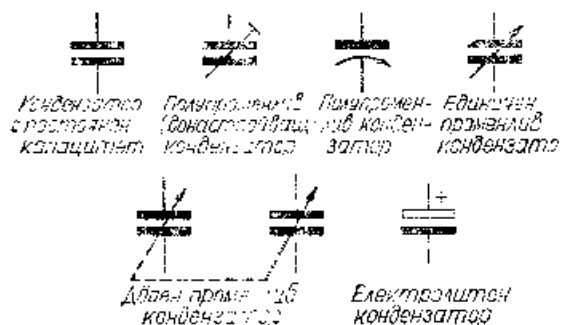
9.3. Променливи кондензатори

Капацитетът на тези кондензатори може да се изменя в определени граници (от C_{min} до C_{max}) по наше желание. На фиг. 9.4 а е показан *двама променливи кондензатор с въздушен диелектрик*. При въртене на оста секциите



Фиг. 9.4

на ротора влизат повече или по-малко между плочките на статора и по този начин се изменя неговият капацитет. На фиг. 9.4 б е показан *единица променлив кондензатор с твърд диелектрик*.



Фиг. 9.5

Кондензаторите, показани на фиг. 9.4 а и г, се наричат *полупроменливи*. При първия от тях промяната на капацитета се постига чрез приближаване

и отдалечаване на електродите, а при втория — чрез въртене. Полупроменливите кондензатори се използват за *донастройка* на трептящите кръгове.

На фиг. 9.5 е показано означението на различните кондензатори в радиосхемите.

9.4. Свързване на кондензаторите

В практиката най-често се използват следните свързвания на кондензаторите.

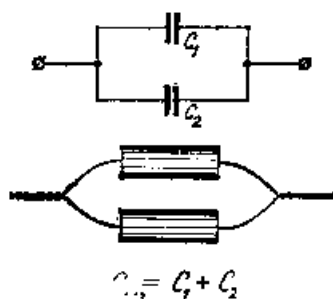
а. **Паралелно (успоредно) свързване.** В този случай (фиг. 9.6) *резултатният капацитет е равен на сумата на капацитетите на отделните кондензатори:*

$$C_{\text{рез}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (9.1)$$

Например, ако имаме $C_1 = 4700 \text{ pF}$ и $C_2 = 6800 \text{ pF}$, то $C_{\text{рез}} = 11\,500 \text{ pF}$. Очевидно при паралелното свързване на различните видове кондензатори действа едно и също напрежение, като кондензаторът с по-голям капацитет се зарежда с по-голямо количество електричество.

б. **Последователно (сериенно) свързване.** В този случай (фиг. 9.7) *стойността на резултатния капацитет е по-малка от стойността на най-малкия кондензатор.* Ако последователно свързаните кондензатори са два, резултатният капацитет може да се изчисли по формулата

$$C_{\text{рез}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (9.2)$$



Фиг. 9.6



Фиг. 9.7

Пример 9.1. Да се намери резултатният капацитет на два последователно свързани кондензатора, ако $C_1 = 1000 \text{ pF}$ и $C_2 = 10 \text{ pF}$.

Заместваме в горната формула:

$$C_{\text{рез}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1000 \cdot 10}{1000 + 10} \approx 9,9 \text{ pF}.$$

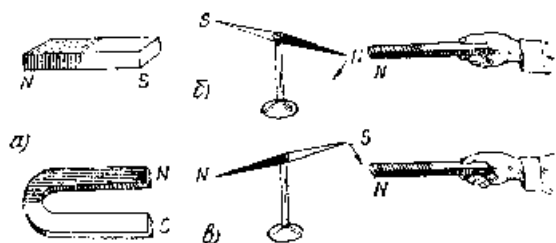
ЗАПОМНЕТЕ!

1. Основните параметри на всеки кондензатор са номинален капацитет, работно напрежение, загуби при високи честоти.
2. Свойствата на даден кондензатор се обуславят главно от качествата на неговия диелектрик.
3. Хартиените и електролитните кондензатори са подходящи за работа само при ниски честоти (или при високи честоти, когато са шунтирани от нискоомни съпротивления).
4. От всички кондензатори единствено електролитните имат полярност и тя трябва да се спазва при монтажа.
5. При паралелното свързване на кондензаторите резултатният капацитет е равен на сумата от капацитетите на отделните кондензатори.
6. При последователното свързване на кондензаторите резултатният капацитет е по-малък от капацитета на най-малкия кондензатор.

Електромагнетизъм

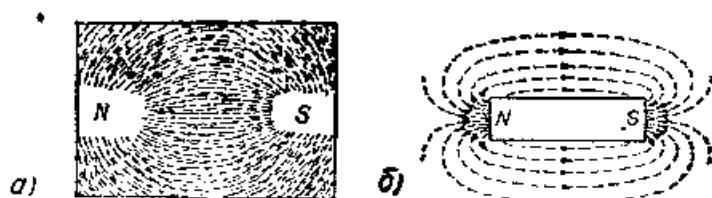
10.1. Постоянни магнити

Всеки от нас е виждал магнит (фиг. 10.1 а). Той притежава *два полюса*, около които съществува *магнитно поле*. Посредством това поле магнитът взаимодейства с други магнити и магнитни тела (фиг. 10.1 б, в), като *едно-*



Фиг. 10.1

именните полюси се отблъскват, а разноименните се привличат. Магнитното поле е невидимо, но неговото съществуване може да се докаже, ако върху магнит сложим лист хартия и отгоре посивнем железни стърготини (фиг.

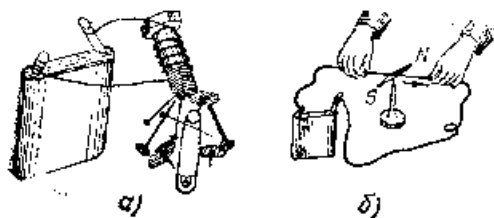


Фиг. 10.2

10.2 а). Магнитното поле се изобразява условно чрез неговите магнитни силови линии. Те започват от северния полюс *N* и завършват на южния *S* (фиг. 10.2 б). Магнитното поле е най-интензивно там, където силовите линии са най-гъсти.

10.2. Магнитно действие на тока

На фиг. 10.3 а е показан прост опит, който можем да направим сами. За целта върху железен болт или дебел пирон навиваме 100—150 навивки от изолиран меден проводник с диаметър 0,2—0,3 mm. При протичане на електрически ток болтът се намагнитва, т. е. той става *електромагнит*. При спиране на тока болтът губи магнитните си свойства. По какъв начин електрическият ток намагнитва болта?



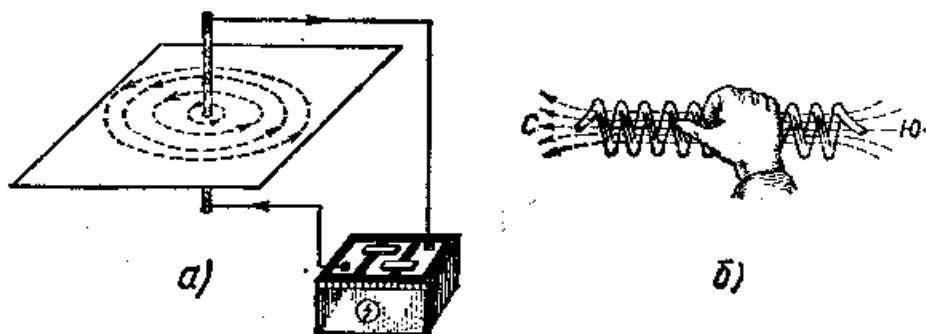
Фиг. 10.3

Около всеки проводник, по който тече ток, съществува магнитно поле. Това може да се покаже чрез опита, даден на фиг. 10.3 б, където магнитното поле на проводника въздейства на компаса. Подобно на електрическото магнитното поле също е носител на енергия.

На фиг. 10.4 а е показан друг опит, при който магнитното поле на проводника става „видимо“ от железните стъргодини, поставени върху картон. Получените силови магнитни линии са разположени концентрично около проводника, като *тяхната посока е свързана с посоката на протичащия ток*. Щом променим посоката на тока, силовите магнитни линии променят посоката си.

10.3. Бобина

Ако вземем проводник във вид на спирала, магнитните полета на отделните навивки ще се сумират и ще се получи *бобина*, която притежава северен и южен полюс (фиг. 10.4 б). Магнитното поле на бобината е толкова интензивно, колкото са повече навивките и колкото е по-голям токът през тях.

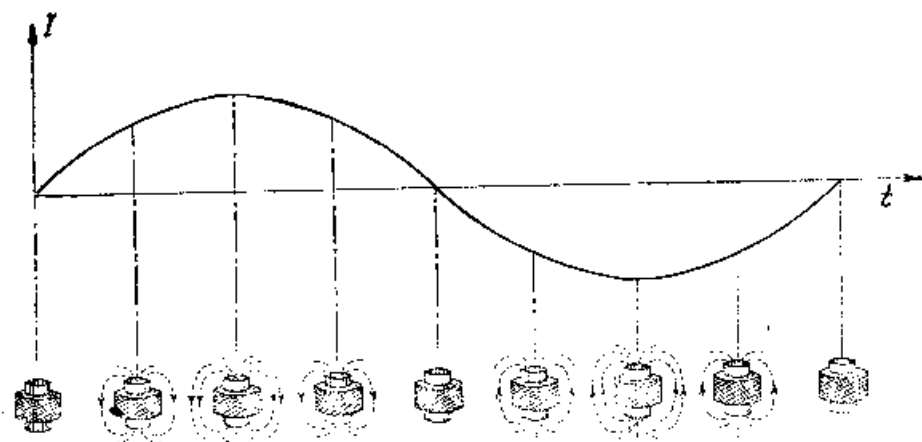


Фиг. 10.4

Ако в бобината поставим железно тяло, резултатът е магнитно поле, ще се усили. Следователно железните стъргодини са концентрирани и усилява магнитното поле, създадено от бобината. Подобни свойства притежават само железото, никелът, кобалтът и титаните сплави и тези вещества се наричат

ферромагнитни. Добре е да се запомни, че медта, алуминият, цинкът и др. не притежават магнитни свойства.

Когато през навивките на една бобина протича *променлив ток*, нейното магнитно поле е също така *променливо*. На фиг. 10.5 е показано магнитното

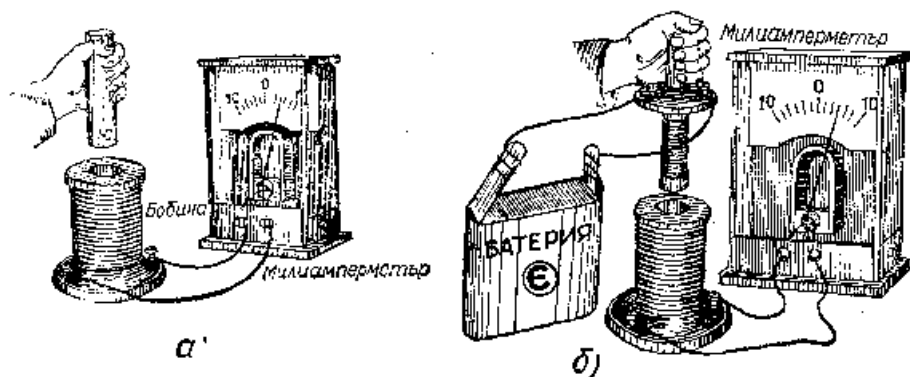


Фиг. 10.5

поле на бобина, през която тече променлив синусоиден ток. Виждаме, че в продължение на един период магнитното поле на бобината променя не само интензивността си, но и посоката си. Казано накратко, магнитното поле също се променя по синусоиден закон.

10.4. Електромагнитна индукция

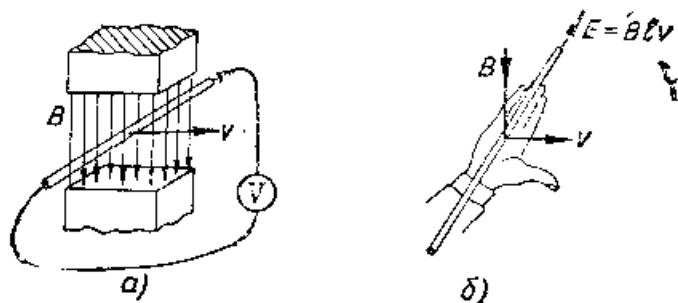
На фиг. 10.6 а е показан един интересен опит. Когато движим магнитна катушка през отвора на бобината, миллямперметърът се отклонява, т. е.



Фиг. 10.6

във веригата протича ток. Аналогично явление се получава, ако вместо постоянен магнит използваме електромагнит (фиг. 10.6 б). Това явление се нарича **електромагнитна индукция** и е извънредно важно за радиоелектрониката.

Основният закон на електромагнитната индукция гласи: ако даден проводник се пресича от магнитни силови линии, в него се индуцира определено електродвижещо напрежение (е. д. н.). Няма значение дали магнитните линии се движат и проводникът е неподвижен или проводникът се движи,



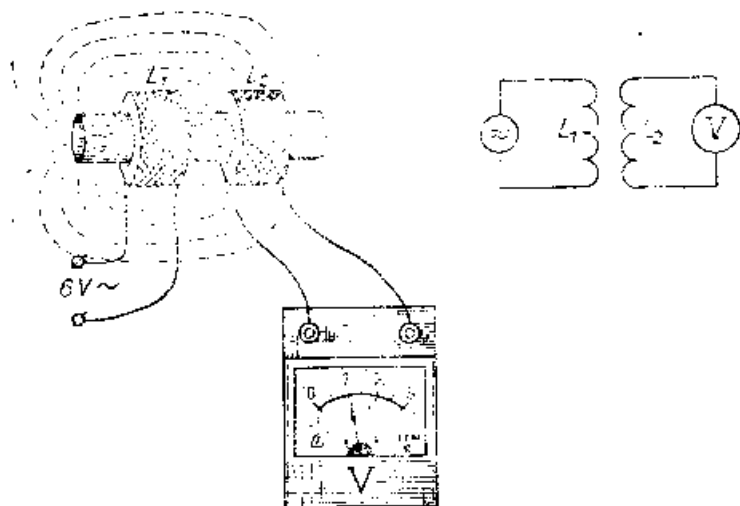
Фиг. 10.7

а магнитните линии са неподвижни. Индуцираното е. д. н. е толкова по-голямо, колкото пресичането става по-бързо, магнитното поле е по-интензивно и навивките на bobината са повече.

Посоката на индуцираното напрежение се дава с *правилото на дясната ръка*, което гласи: ако магнитното поле пробжда дланта, а палецът показва посоката на движение на проводника, пръстите сочат посоката на индуцираното напрежение (фиг. 10.7).

10.5. Взаимна индукция

На фиг. 10.8 е показан опит, при който две bobини L_1 и L_2 са поставени близо една до друга. Когато през bobината L_1 протича променлив ток, в



Фиг. 10.8

bobината L_2 се индуцира напрежение, което може да се измери с волтметра. Това явление се нарича взаимна индукция и лежи в основата на транс-

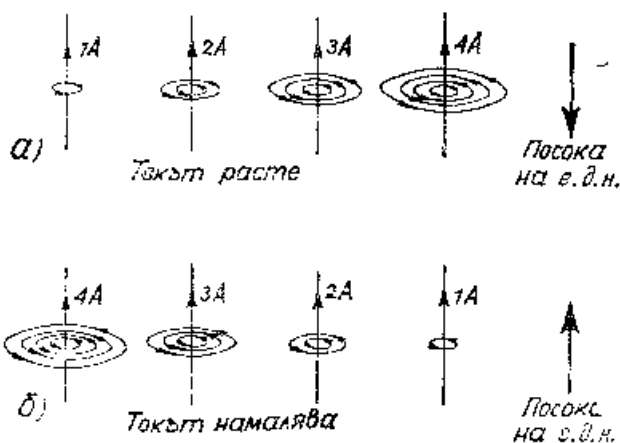
форматорите, индуктивно свързаните вериги и т. н. При взаимната индукция двете bobини са неподвижни, обаче токът през L_1 е променлив и броят на силовите линии, изхождащи от L_1 и пресичащи L_2 , непрекъснато се променя (пулсира) с честотата на тока и затова в L_2 се индуцира [определено напрежение. Индуцираното е, д. н. зависи от броя на навивките на двете bobини, от големината и честотата на тока през L_1 и от взаимното разположение на bobините.

Обръщаме внимание, че ако през bobината L_1 (фиг. 10.8) протича *постоянен ток*, около нея ще се образува магнитно поле, но то няма да е променливо и в L_2 няма да се индуцира напрежение.

10.6. Индуктивност

Когато през един проводник протича *променлив ток*, магнитните силовни линии пресичат собствения проводник и съгласно закона на електромагнитната индукция в проводника се поражда **самоиндуцирано** е. д. н. Руският физик Емил Християнович Ленц (1804 -- 1865) пръв проучил това явление и формулирал правилото, съгласно което **самоиндуцираното е. д. н. има такава посока, че във всеки момент се противопоставя на външно приложеното напрежение** (правило на Ленц). От фиг. 10.9 се вижда, че при увеличаване на тока силовите магнитни линии като че ли „излизат“ от оста на проводника и се разпространяват концентрично навън, а самоиндуцираното напрежение има противоположна посока на увеличаващия се ток. При намаляване на тока силовите магнитни линии концентрично се „прибират“ към оста на проводника, а самоиндуцираното напрежение има такава посока, че „подпомага“ намаляващия ток.

Ако проводникът е навит във вид на bobина, горното явление се проявява още по-силно, защото всяка силова линия пресича голям брой *съседни навивки*. Това може да се демонстрира, като се използва първичната намотка



Фиг. 10.9

на мрежов или изходен трансформатор (фиг. 10.10). При затворен ключ на крушката действа напрежение 4,5 V и тя свети нормално. При прекъсване на веригата силовите магнитни линии се „прибират“ и пресичат голям брой навивки. Поради това самоиндуцираното напрежение е значително

и крушката за момент светва на-едно и след това угасва. Този опит потвърждава казаното по-горе, че магнитното поле е носител на енергия и след прекъсване на веригата тази енергия не се загубва, а отива в крушката.

Свойството на всяка bobина да образува магнитни силови линии около себе си при протичане на ток през навивките ѝ се нарича индуктивност.

Свойството индуктивност се изразява и в това, че когато през дадена bobина протича ток, при всяко изменение на големината му в bobината се самоиндуцира противо- е. д. н. Ако през две различни bobини протича един и същ ток, по-голяма индуктивност има онази bobина, около която се образуват повече силови магнитни линии, т. е. около която се получава по-голям магнитен поток.

Индуктивността е толкова по-голяма, колкото е по-голям броят на навивките на bobината. При равни други условия bobините с феромагнитна сърцевина имат по-голяма индуктивност. Единицата за индуктивност се нарича хенри (H) в чест на американския учен

Джозеф Хенри (1797—1878). *Една bobина има индуктивност един хенри, когато при изменение на тока през нея с един ампер за една секунда в двата края възниква самоиндуцирано напрежение един волт.*

В радиоелектрониката често се използват и по-малките единици милихенри (една хилядна от хенри) и микрохенри (една милионна от хенри), за които можем да напишем

$$1\text{mH} = 0,001\text{ H},$$

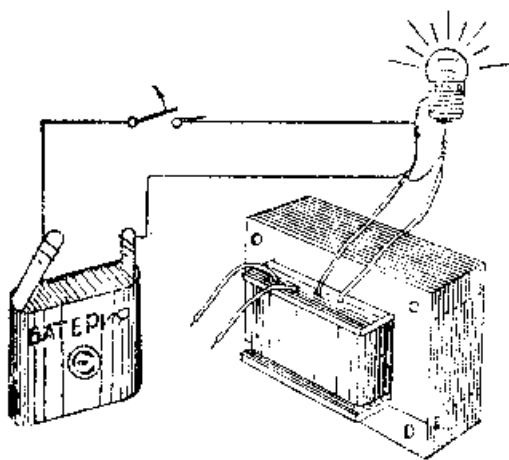
$$1\mu\text{H} = 0,000\,001\text{ H}.$$

Например еднослойна bobина с диаметър 4 cm, дължина 5 cm и брой на навивките 90 има индуктивност около 200 μH ; първичната намотка на един мрежов трансформатор, която съдържа 1200 навивки и има желязна сърцевина със сечение 9 cm², притежава индуктивност около 1 H.

ЗАПОМНЕТЕ!

1. Между полюсите на постоянните магнети съществува магнитно поле, което е носител на енергия.
2. Около всеки проводник, по който тече ток, съществува магнитно поле.
3. Законът за електромагнитната индукция гласи: ако даден проводник се пресича от силови магнитни линии, в него се индуцира е. д. н.
4. Ако имаме две индуктивно свързани bobини и в първата от тях протича променлив ток, във втората bobина вследствие на взаимната индукция се поражда напрежение.
5. Индуктивност е свойството на bobините при протичане на ток през навивките им около тях да се образува магнитен поток.
6. Единицата за измерване на индуктивността се нарича хенри.
7. Съгласно правилото на Ленц самоиндуктивното напрежение има такава посока, че във всеки момент действа срещу изменението на тока.

Фиг. 10.10



Някои свойства на индуктивността. Видове бобини

11.1. Индуктивност във верига на постоянен ток

При включване на бобина във верига на постоянен ток също протичат преходни процеси. При затваряне на веригата (фиг. 11.1) започва да тече ток от батерията и около бобината възниква магнитно поле. Неговите магнитни силови линии започват да се разпространяват от бобината навън, при което пресичат собствените ѝ навивки. Вследствие на това в бобината се поражда *самондуктирано* е. д. н., което съгласно правилото на Ленц се противопоставя на нарастването на тока. Разбира се, токът не спира да тече, обаче неговото нарастване не става мигновено, а постепенно по експоненциален закон (фиг. 11.1 долу). Сред кратко време преходният процес приключва и токът получава нормалната си стойност. Продължителността на преходния процес може да се изчисли по формулата

$$t = \frac{3L}{R} \quad (11.1)$$

където L е индуктивността на бобината, а R — съпротивлението на цялата верига.

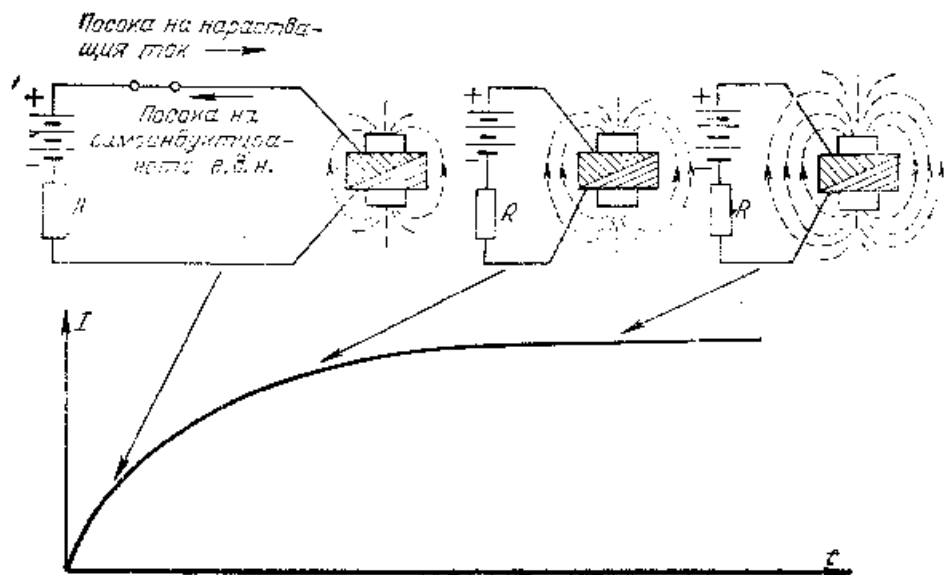
Пример 11.1. Да се определи продължителността на преходния процес при включване на верига, съдържаща бобина с индуктивност $L=0,5$ H и общо съпротивление на веригата $R=150$ Ω .

От горната формула намираме

$$t = \frac{3L}{R} = \frac{3 \cdot 0,5}{150} = 0,01 \text{ s.}$$

Когато през една бобина протича постоянен ток и прекъснем веригата гук също имаме преходен процес. (Подобен опит беше показан на фиг. 10.10.) В този случай силовите магнитни линии се „прибират“ от външното пространство към бобината. При това те пресичат навивките ѝ и в бобината се самондуктира напрежение, чиято посока съгласно правилото на Ленц съвпада с посоката на току-що прекъснатия ток. Особено е важно да се запомни, че ако бобината има значителна индуктивност и токът през нея е бил силен, самондуктираното напрежение, възникнало в краищата на бобината, може да е многократно по-голямо от напрежението на самия токоизточник. Това явление се обяснява с факта, че при прекъсване на веригата енергията, запасена в магнитното поле на бобината, не може да излезне, а се превръща пак в ток, но със значително напрежение, така че между краищата на бобината може да прескочи дори искра. Тази особеност

е твърде важна за практиката, понеже може да доведе до пробив между навивките, повреда на транзистори и т. н. Или казано накратко: моментното прекъсване на значителен ток през бобина с относително голяма индуктивност води до възникване на опасни напрежения в краищата на бобината и срещу това трябва да се вземат мерки.



Фиг. 11.1

11.2. Индуктивност във верига на променлив ток

Нека имаме една идеална бобина (т. е. съпротивлението на проводника и всички загуби са нули) и към нея приложим *променливо напрежение*. Съгласно правилото на Ленц самоиндуцираното е. д. н. във всеки момент ще се противопоставя на външно приложеното напрежение.

В резултат на това бобината ще оказва на променливия ток *индуктивно съпротивление*, което се бележи с X_L , измерва се в омае и се изчислява по формулата

$$X_L = \omega L = 2\pi fL. \quad (11.2)$$

Индуктивното съпротивление е *честотно зависимо*. То е толкова по-голямо, колкото е по-голяма индуктивността на бобината и по-висока честотата на тока.

Пример 11.2. Да се намери индуктивното съпротивление на бобина с индуктивност 5 H при честота 50 Hz.

Заместваме в горната формула:

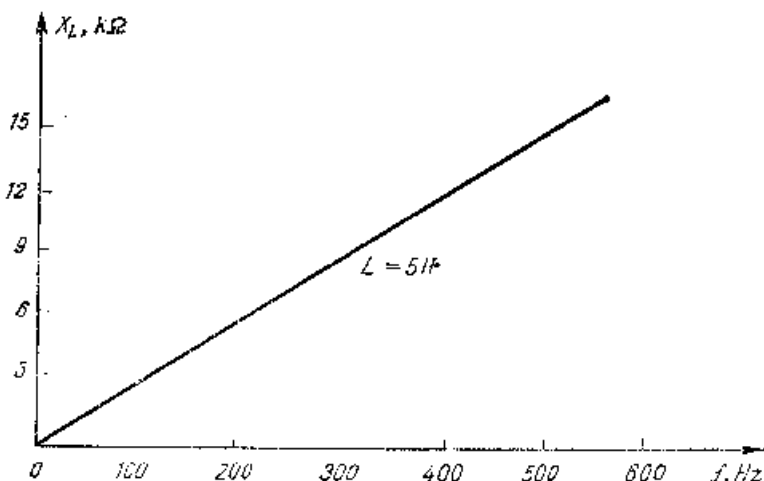
$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 50 \cdot 5 = 1570\Omega.$$

Същата бобина при честота 1 kHz ще има индуктивно съпротивление $X_L = 31 \text{ k}\Omega$, а при честота 1 MHz съпротивлението ѝ ще нарасне на 31 M Ω . На фиг. 11.2 е показано графично как индуктивното съпротивление на споменатата бобина зависи от честотата (т. нар. честотна характеристика).

След като се запознахме с индуктивното съпротивление, можем да напишем закона на Ом за променливия ток през бобините:

$$U = X_L I, \quad X_L = \frac{U}{I}, \quad I = \frac{U}{X_L}. \quad (11.3)$$

Пример 11.3. Какъв ток ще протече през една идеална бобина с индуктивност $L=600 \mu\text{H}$, ако я включим към променливото напрежение $U=0,4 \text{ V}$ с честота $f=500 \text{ kHz}$.



Фиг. 11.2

Превръщаме величините в основни единици и заместваме в горните формули:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi fL} = \frac{0,4}{2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot 600 \cdot 10^{-6}} = 0,2 \text{ mA}.$$

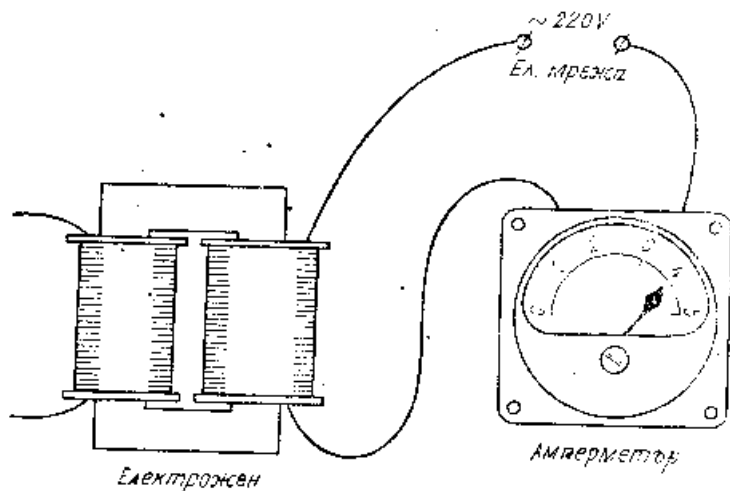
Съпротивлението на идеалните бобини (подобно на кондензаторите) е *реактивно*. За да изясним това, нека разгледаме опита, показан на фиг. 11.3. Тук при работа на празен ход през първичната намотка на един електрожен протича ток със сила 4 А. Ето защо на пръв поглед мощността, подавана от мрежата в първичната намотка, е $P=UI=220 \cdot 4=880 \text{ W}$, т. е. колкото при един средно голям електрически котлон. Обаче опитът показва (фиг. 11.3), че и след продължително включване намотката на електрожена остава студена. Нещо повече: въпреки че във веригата протича ток с големия 4 А, ако отворим електрическото табло, ще забележим, че електромерът не се върти.

Как се обяснява това?

Както при кондензаторите, така и тук *мощността е реактивна*. Това означава, че през едната четвъртинка от периода към бобината *посъгъва енергия*, нейното магнитно поле се „разширява“ и в него се натрупва магнитна енергия, а през другата четвъртинка от периода това магнитно поле се „свива“ обратно към бобината, самоиндуктира, в нея е. д. н. и енергията се отдава обратно към генератора. Следователно тук имаме *постоянна обмяна на енергия* между генератора (електрическата централа) и бобината, като средната мощност е нула. Ето защо формулата $P=UI$, приложена при

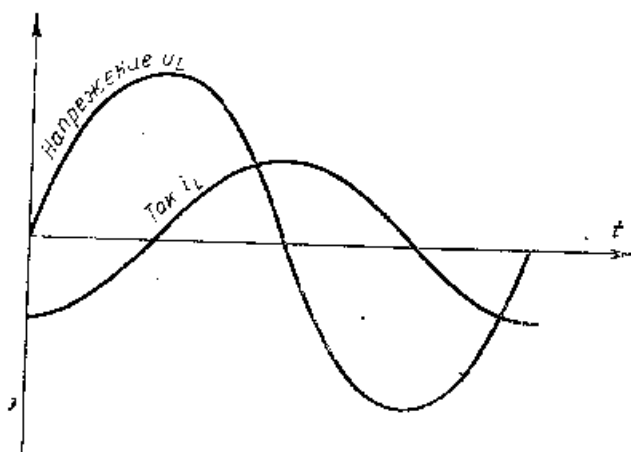
идеалните бобини, дава не активната, а реактивната (обменната) мощност.

Тази особеност на бобината се обяснява с факта, че приложеното напрежение и протичащият ток са дефазирани помежду си на 90° , като *напреже-*



Фиг. 11.3

нието изпреварва тока (фиг. 11.4). Причината за това дефазирање е само индуктираното е. д. н., което при нарастване на тока е насочено срещу него, а при намаляването му е съвсочно с тока (вж. фиг. 10.9).



Фиг. 11.4

11.3. Реални бобини

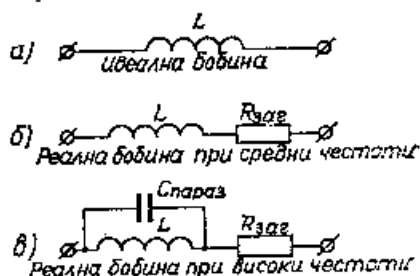
Реалните бобини притежават не само индуктивно съпротивление X_L , но и *загубно съпротивление* $R_{заг}$ (фиг. 11.5). При ниски честоти $R_{заг}$ се обу-

слага само от активното съпротивление на проводника, с който е навита бобината. При високи честоти $R_{заг}$ нараства, понеже включва в себе си както активното съпротивление, така и редица други загуби (напр. от излъчване, от токове на Фуко, от повърхностен ефект и т. н.). Пълното съпротивление, което бобината оказва на променливия ток, се нарича импеданс и се бележи с буквата Z . Импедансът се измерва в омеги и при средно високите честоти се изчислява по формулата

$$Z = \sqrt{R_{заг}^2 + X_L^2} \quad (11.4)$$

Очевидно при увеличаване на честотата импедансът също нараства, понеже расте X_L .

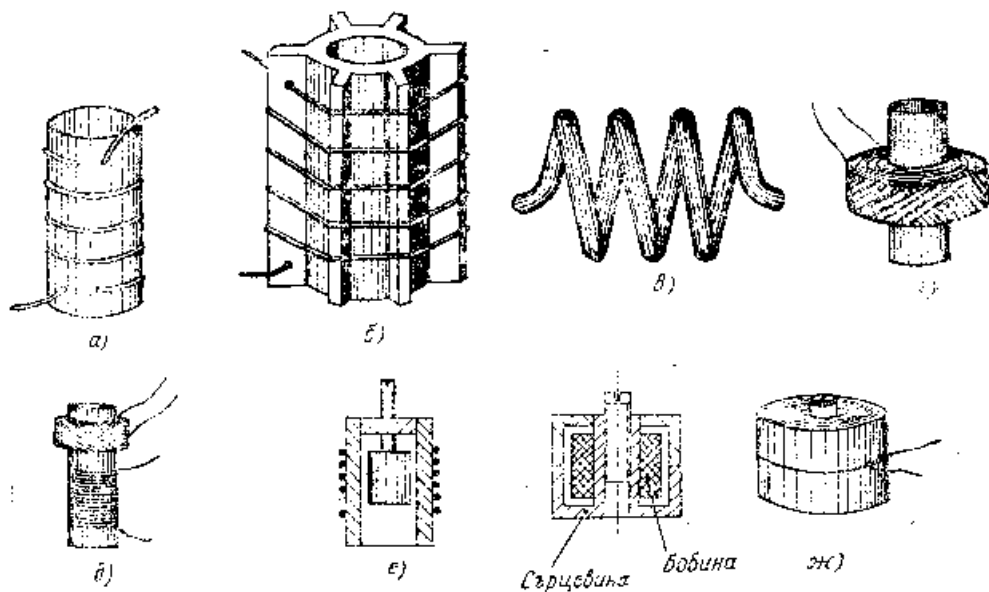
При високи честоти започва да оказва влияние собственият капацитет на бобината $C_{параз}$ (фиг. 11.5), който по принцип е нежелан, понеже шунтира индуктивността и усложнява явленията.



Фиг. 11.5

11.4. Високочестотни бобини

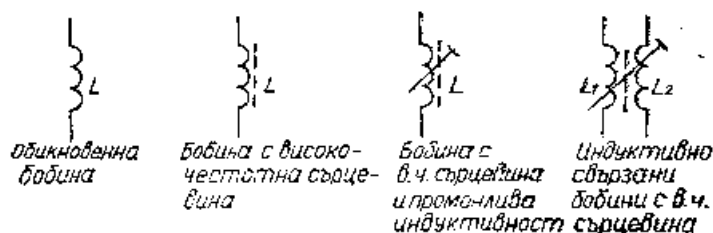
Тези бобини се използват във вериги, където протичат токове с висока честота, например в трептящи кръгове, входни устройства, филтри и др.



Фиг. 11.6

Обикновено високочестотните бобини не се намират на пазара, а се изготвят от радиолюбителите. Някои в. ч. бобини са без, а други са с феритни сър-

цевини. Поставянето на феритна сърцевина води до *увеличаване индуктивностите* на бобината. Освен това тя *подобрява качествата* на бобината, а от друга страна, позволява *лесно изменение на индуктивността* ѝ в определени граници. Феритните сърцевини се изготвят по специална технология.



Фиг. 11.7

Главното изискване към тях е да *имат голяма магнитна проницаемост и малки загуби при високи честоти*. На фиг. 11.6 са показани няколко вида високочестотни бобини, като някои от тях са със, а други без феритни сърцевини. Означението на различните видове в. ч. бобини е показано на фиг. 11.7.

11.5. Основни параметри на в. ч. бобини

Най-важните параметри на високочестотните бобини са следните:

а. Индуктивност. Тя зависи от броя на навивките, геометричните размери и наличието на феритна сърцевина. Колкото са повече навивките, толкова по-голяма е индуктивността на бобината. Наличното на сърцевина увеличава индуктивността на бобината, като при по-пълно вкарване на сърцевината индуктивността е по-голяма. Бобините, които се използват за радиоприемници, най-често имат следната индуктивност: за дълги вълни $L = 1 \div 5 \text{ мН}$, за средни вълни $L = 150 \div 200 \text{ мН}$, за къси вълни $L = 1 \div 10 \text{ мН}$.

б. Качествен фактор. Качествата на една бобина се оценяват най-добре чрез нейния качествен фактор Q . Той е равен на отношението между индуктивното съпротивление X_L на бобината и нейното загубно съпротивление $R_{\text{заг}}$. Добрите бобини имат качествен фактор най-често от 50 до 200. Колкото качественният фактор на една бобина е по-голям, толкова тя е по-добра. *Основният начин за подобряване качественния фактор на една бобина е намаляване на нейното загубно съпротивление.* Това става чрез следните средства:

— чрез употреба на в. ч. сърцевина, с която необходимата индуктивност се постига с по-малък брой навивки, т. е. проводникът има по-малко съпротивление;

— чрез употреба на по-дебел проводник, което, разбира се, увеличава размерите на бобината;

— чрез употреба на проводник, състоящ се от определен брой изолирани една от друга жички (литцендрат), което дава резултати само в обхвата на дългите и средните вълни.

В обхвата на късите и ултракъсите вълни добър качествен фактор се получава, ако бобините се навиват от дебел неизолиран проводник, като в мно-

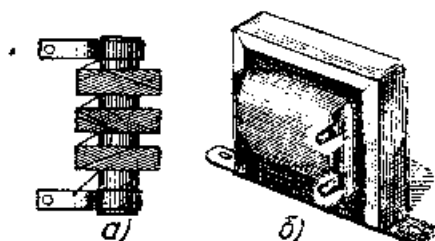
го случаи за премахване на излишните загуби не се използват сърцевини и бобинни тела.

в. Собствен капацитет. Както вече се спомена, той се дължи на капацитета между отделните навивки и при добрите бобини трябва да бъде колкото може по-малък. Един от начините за намаляване на собствения капацитет е кръстосаното навиване (тип „универсал“ — фиг. 11.6 г) или извиването на отделните навивки не плътно една до друга, а на определено разстояние (бобини с принудителна стъпка — фиг. 11.6 а, б, в).

11.6. Дросели

Това са бобини, които *служат за пропускане на постоянния ток (или токове с ниска честота) и за спиране на токовете с висока честота*. На фиг. 11.8 а е показан в. ч. дросел, който за намаляване на собствения капацитет се състои от три секции. Неговата индуктивност е около 1 мН, а съпротивлението му за постоянен ток $5 \div 10 \Omega$. При честота 1 kHz индуктивното съпротивление на този дросел е около 6 Ω , а при честота 10 MHz то е около 60 k Ω . Този пример показва, че за постоянен ток и за токове с ниска честота съпротивлението на дросела е малко, а за токове с висока честота то е голямо.

На фиг. 11.8 б е показан и. ч. дросел. Той съдържа примерно 1000 \div 5000 навивки и е с железна сърцевина. Неговата индуктивност е 1 \div 10 Н, а активното му съпротивление е 50 \div 300 Ω . При честота 50 Hz индуктивното му съпротивление е примерно 2 \div 10 k Ω . Използва се в токочправителните групи за пропускане на постоянния и спиране на променливия ток.



Фиг. 11.8

ЗАПОМНЕТЕ!

1. При включване на бобина в постояннотокова верига токът не нараства мигновено, а постепенно (по експоненциален закон). Причината за това е самоиндуктираното е. д. н., чиято посока е противоположна на нарастващия ток.
2. При спиране на тока през бобината силовите магнитни линии се «прибират», при което самоиндуктираното е. д. н. може да е значително по-голямо от напрежението на токоизточника.
3. Съпротивлението на бобината за променлив ток (индуктивното съпротивление) зависи както от индуктивността на бобината, така и от честотата на тока. При по-голяма индуктивност бобините оказват по-голямо съпротивление на променливия ток. При увеличаване на честотата съпротивлението на дадена бобина нараства.
4. Индуктивното съпротивление е реактивно, т. е. в променливо-токова верига магнитното поле около бобината ту се «разширява», ту се «свива». При това положение бобината ту приема, ту отдава към токоизточника енергия, като средната мощност, постъпваща в бобината, е нула.
5. Идеалната бобина притежава само индуктивност и всички загуби (включително активното и съпротивление) са нули. Реалните бобини освен индуктивност притежават и загуби, които условно се изразяват с едно загубно съпротивление, свързано последователно с индуктивността.
6. Основните параметри на високочестотните бобини са индуктивност, качествен фактор и собствен капацитет.
7. Качествата на една бобина се подобряват при използване на феритни сърцевини, още повече че с тяхна помощ може да се изменя в определена граници индуктивността на бобината.

Звук и неговите особености

12.1. Същност на звука

Ако хвърлям камък в езерото, по водната повърхност се образуват вълни, които се разширяват концентрично и достигат до брега (фиг. 12.1). По подобен начин *около всяко звучащо тяло се образуват звукови вълни*, които се разпространяват във въздуха. Когато опънем еластична пластинка,



Фиг. 12.1

тя залочва да трепти, като задвижва въздушните частици и във всички посоки се разпространяват сферични звукови вълни (фиг. 12.2). Те представя-

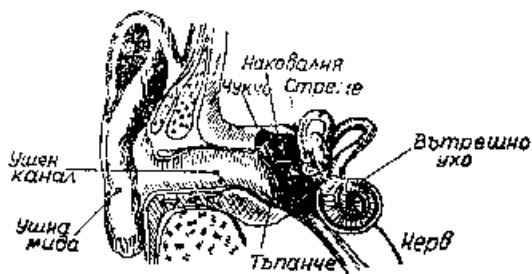


Фиг. 12.2

ляват *сгъстявания и разреждания на въздуха*, т. е. места с по-голямо и по-малко налягане.

Щом звуковите вълни достигнат до човешкото ухо (фиг. 12.3), тъпанчето залочва да трепти и посредством малките костици чукче — наковалня —

стреме звукът достига до вътрешното ухо (т. нар. кортиев орган). Оттук чрез слуховия нерв трептенията се предават в главния мозък и ние чуваме звук. Следователно, за да имаме звук, са необходими звучащо тяло, среда за разпространение на звука и слухов орган.



Фиг. 12.3

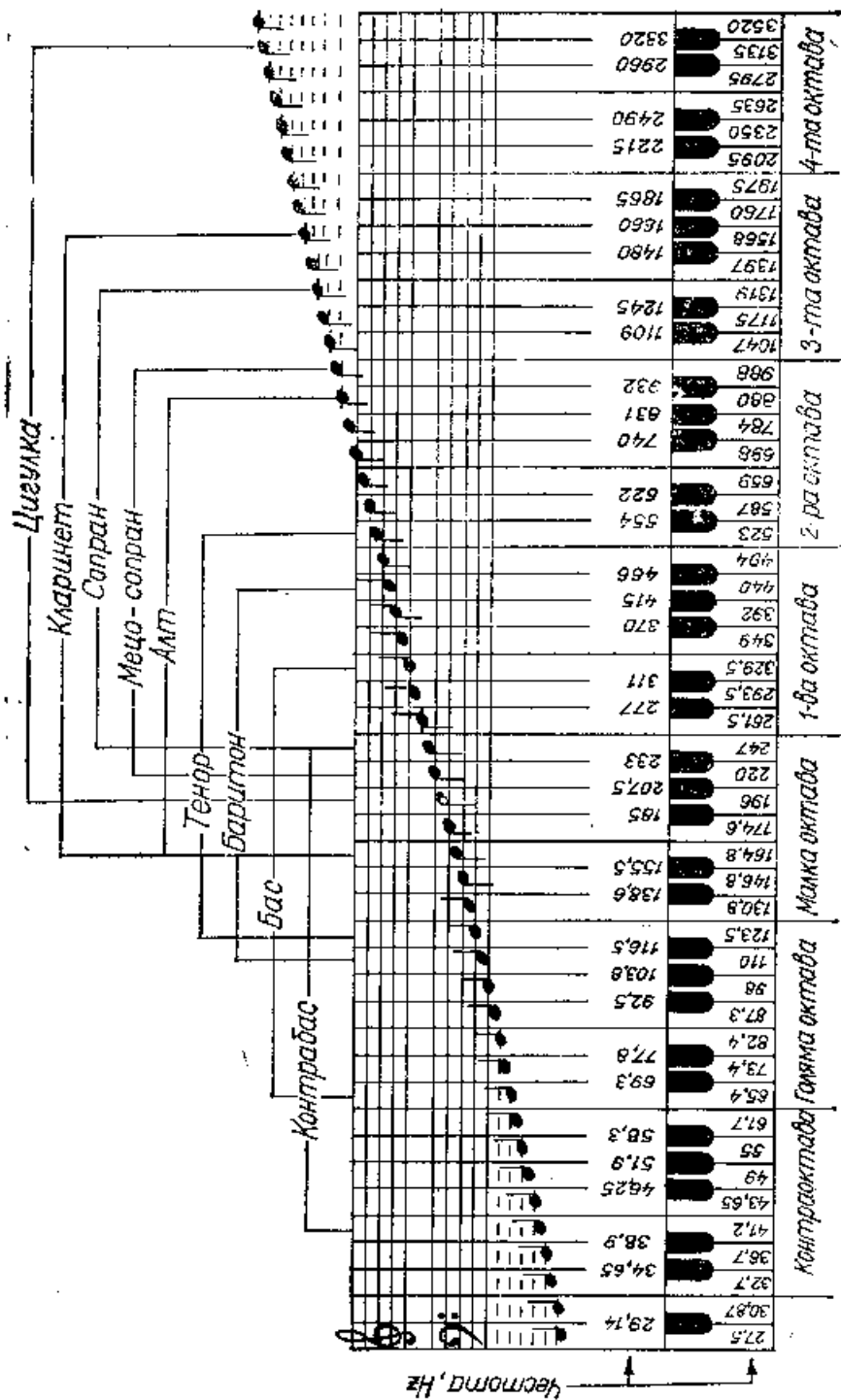
12.2. Скорост на звука

Скоростта на разпространение на звука във въздуха при $t=20^{\circ}\text{C}$ е около 340 m/s (т. е. около 1200 km/час), като с увеличаване на температурата тя слабо нараства. Скоростта на звука (в сравнение например със скоростта на електрическият ток) не е много голяма. Например, ако във Варна произведем много силна експлозия, гърмът ще се чуе в София едва след 20 минути. Във водата звукът се разпространява със скорост 1430 m/s , а в стоманата — със скорост 5000 m/s .

12.3. Височина на тоновете

Звук с определена честота се нарича тон. Различните тонове имат различен брой трептения в една секунда, т. е. различна честота. *Колкото честотата е по-голяма, толкова тонът е по-висок.* Така например дебелият струна на китарата извършва 165 трептения в секунда, а тънката струна — 659 трептения в секунда.

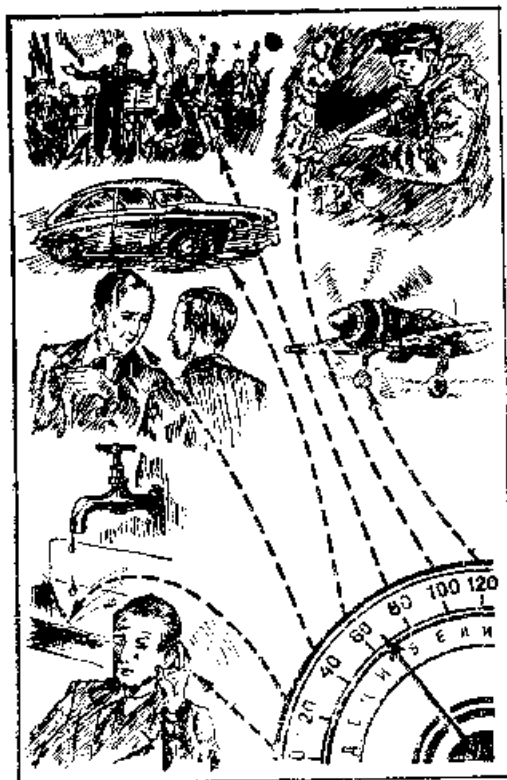
Най-ниският тон, който човешкото ухо може да възпреме, има честота 16 Hz , а най-високият — около $20\,000\text{ Hz}$. Разбира се, в музиката тези „крайни“ тонове не се използват пряко. Това се вижда от фиг. 12.4, където са показани клавиатурата на пианото, нотните означения на музикалните тонове, техните честоти и обхватът на някои музикални инструменти. Виждаме, че тонът „ла“, с който се настройват музикалните инструменти, има честота 440 Hz , най-дебелата струна на контрабаса има честота 41 Hz , а най-високият тон на пианото — 3520 Hz .



Фиг. 12.4

12.4. Сила на звука

Освен по честотата звуковете се различават и по своята сила. Когато сме блико до китарата, звукът е по-силен, а когато се отдалечим, той намалява. Причината за това е, че при движението си във въздуха звуковите вълни отслабват. Това означава, че въздушните частици все по-слабо и по-слабо се отклоняват от своето средно положение, т. е. тяхната амплитуда намалява. Следователно *силата на звука зависи от амплитудата на трептенията.*



Фиг. 12.5

личаваме инструментите? Нали и в двата случая звучи все тонът „ла“?

Различаването на музикалните инструменти дори когато издават един и същ тон, става по техния **тембър**. Звуковете трептения на различните музикални инструменти не са прости синусоиди, а притежават различни „кълрици“, т. е. тона са сложни трептения (фиг. 12.6). Чисто синусоидални трептения произвежда само електронният уред, наречен звуков генератор (тонгенератор), който се използва в лабораториите.

Ако съберем две синусоидални трептения с различна честота и амплитуда (фиг. 12.7), резултатно трептене ще прилича на трептенията на музикалните инструменти. Чрез събиране на три, четири и повече синусоидални трептения с различна честота, амплитуда и фаза може да се получи и най-сложното периодично трептене. Установено е, че сложните несинусоидални, но периодични трептения, чието положителен полулернод е симетричен на отрицателния, могат да се разглеждат като сума от едно основно синусоидално трептене с честота f_1 и голям брой други синусоидални трептения с честоти съответно $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$ и т. н., по-високи и кратни на основната, които се наричат **хармоници**. (В акустиката това се нарича теорема на Фурне.) Например

12.5. Тембър на звука

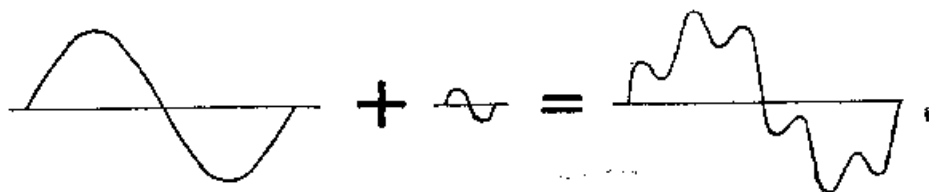
Ако зад гърба ни пиано и кларинет издадат един след друг тона „ла“ ($f=440$ Hz), ние веднага ще разпознаем кога звучи пианото и кога кларинетът. По какво различаваме

тонът „ла“ на пианото, който е периодичен, но несинусоидален (фиг. 12.8), в същност се състои от следните синусоидални съставки: основно трептене с честота $f_1=440$ Hz, втори хармоник с честота $f_2=2f_1=880$ Hz, трети хармоник с честота $f_3=3f_1=1320$ Hz, четвърти хармоник с честота $f_4=4f_1=1760$ Hz, пети хармоник с честота $f_5=5f_1=2200$ Hz и т. н. Тонът „ла“ на кларинета притежава хармоници със същата честота, но с по-различни амплитуди (сравнете вторите и третите хармоници от фиг. 12.8) и затова „къдриците“ (тембърът) на пианото и на кларинета не са едни и същи. Следователно можем да кажем, че *тембърът се определя от големината на амплитудите на отделните хармоници.*

Теоретически броят на хармониците е безкрайно голям. Обаче практиката показва, че с увеличаване поредния номер на хармониците като правило тяхната амплитуда намалява (фиг. 12.8). Ето защо при анализиране на звуковете е достатъчно да се вземат под внимание само първите 5 или 7 хармоника, а останалите да се пренебрегнат.

Човешкият говор се състои от гласни и съгласни звуци. Всеки звук представлява сложно несинусоидално трептене, което се състои от определен брой синусоидални трептения с различна честота. Същото може да се каже и за човешките гласове (бас, тенор, мецосопран, сопран), които представляват сложни периодични, но несинусоидални трептения.

От казаното може да се направят следните основни изводи:



Фиг. 12.7

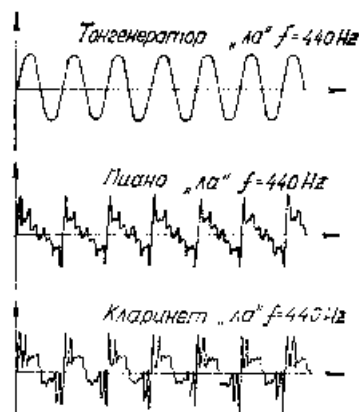
а) и най-сложното периодично, но несинусоидално трептене може да се представи като сума от синусоидални трептения;

б) сложните трептения се състоят от значителен брой хармоници, т. е. представляват определен честотен спектър.

12.6. Честотен спектър

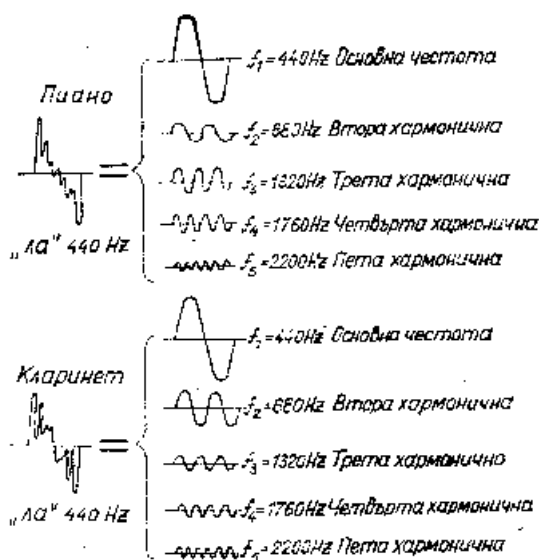
Поради наличие на хармоници честотният спектър на човешкия глас и на музикалните инструменти е *значително по-широк, отколкото основният им обхват.* Например от фиг. 12.4 се вижда, че основният обхват на сопрана е от 247 до 1319 Hz, обаче петият хармоник от най-високия му тон ще има честота $5 \cdot 1319 = 6595$ Hz, а седмият $7 \cdot 1319 = 9233$ Hz.

Излизайки от това, дадена радиоапаратура, за да възпроизвежда качествено звука, трябва да може да усилва равномерно целия честотен спек-



Фиг. 12.6

тър — от 50 до 15 000 Hz. Да се направи такава апаратура обаче не е много лесно. Затова радиолюбителските устройства често пъти усилват по-голямата честотна лента — напр. от 200 до 8000 Hz.



Фиг. 12.8

ЗАПОМНЕТЕ !

1. Около всяко трептящо тяло се образуват звукови вълни, които се разпространяват във въздуха със скорост около 340 m/s.
2. Звук с определена честота се нарича тон. Колкото честотата на трептенията е по-голяма, толкова тонът е по-висок. Човешкото ухо може да възприеме звукове с честота 16 до 20 000 Hz.
3. Даден звук е толкова по-силен, колкото е по-голяма амплитудата на трептенията. Силата на звуците, които чуваме, се измерва в децибели.
4. Звуковете на човешкия глас и музикалните инструменти са сложни. Те се състоят от основно трептене и голям брой хармоници, чиите амплитуди определят тембъра на звука.
5. Поради наличие на хармоници честотният спектър на човешкия глас и музикалните инструменти е много по-широк от техния основен обхват.

Електроакустични преобразуватели

13.1. Микрофони

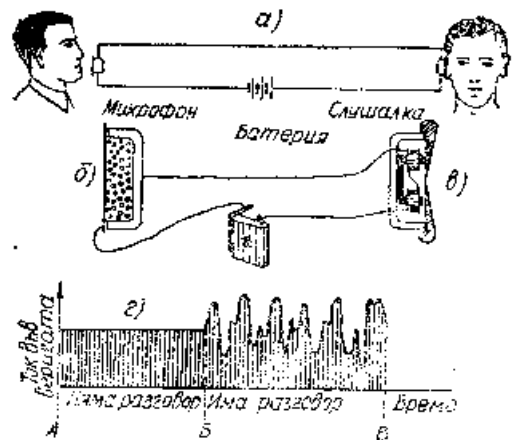
Всеки от нас е говорил по телефон и знае, че тук „носителят на звука“ е електрическият ток. *Преобразуването на звука в електрически ток става с помощта на микрофон.* На фиг. 13.1 а е показан „домашен“ телефон, който можем да си направим сами. Той се състои от въгленов микрофон, плоска батерия, слушалка и проводници.

Въгленовият микрофон представлява лява метална кутийба, в която са поставени дребни графитни зрънца (фиг. 13.1 б). В предната част на кутийата е закрепена метална мембрана, която се допира до зрънцата, но е изолирана от корпуса. Когато пред микрофона не се издава звук, във веригата протича *постоянен ток* (фиг. 13.1 г, участък А — Б). Когато пред микрофона се издава звук, мембраната трепти, като притиска ту повече, ту по-малко графитните зрънца. Силно притисканите зрънца имат малко съпротивление и токът във веригата става по-силен; при слабо притискане на зрънцата съпротивлението им е значително и токът във веригата е по-слаб. В резултат на това токът във веригата се изменя по същия начин, както колебанията на звука (фиг. 13.1 г, участък Б — В). Такъв ток се нарича още *ток със звукова честота или нискочестотен ток*.

Обръщаме внимание, че въгленовият микрофон сам за себе си не е източник на напрежение със звукова честота, а при наличие на звук той изменя съпротивлението си, като с това изменя и тока, породен от батерията. Следователно, за да работи нормално, през въгленовия микрофон трябва да протече определен ток с големина най-често от 1 до 50 mA.

Освен въгленовия съществуват и други видове микрофони, като кристален, електродинамичен, кондензаторен и др. Тези микрофони не се нуждаят от захранване, т. е. когато пред тях се произвежда звук, на изхода им се появява е. д. н. със звукова честота.

Важно изискване към всеки микрофон е да има *вярно преобразуване на звука*, т. е. получените на неговия изход електрически трептения да съот-



Фиг. 13.1

ветствуват напълно на звуковите трептения. Освен това микрофонът трябва по един и същи начин да преобразува ниските (напр. 50—200 Hz), средните (200—2000 Hz) и високите (2000—8000 Hz) звукови трептения.

Друго изискване към всеки микрофон е той да бъде *чувствителен*. От два микрофона, пред които се издава еднакво силен звук, по-чувствителен е този, на изхода на който се получава по-голямо звуково напрежение.

Променливите напрежения, които се получават на изхода на микрофоните, са изобщо малки — напр. 1—50 mV. Затова микрофоните се включват към електронни усилватели, които многократно увеличават тези напрежения.

Важен параметър на всеки микрофон е неговото *вътрешно (изходно) съпротивление*. То трябва да се знае, когато се съгласуват микрофоните с усилвателните стъпала. Така например вълновият микрофон е нискоомен, а кристалният — високоомен.

13.2. Слушалки

Слушалката преобразува нискофреkwентните токове в звук. Състои се от постоянен магнит, върху полюсите на който са поставени две бобинки (фиг. 13.2). Срещуполюсите е закрепена тънка стоманена мембрана. При протичане на *постоянен ток* мембраната се привлича от електромагнита, но не трепти и не издава звук. Когато протичащият ток е *променлив*, мембраната се привлича с различна сила, т. е. тя трепти и издава звук.



Фиг. 13.2

На пръв поглед изглежда, че постоянният магнит в слушалката не е необходим. Обаче, ако размагнитим слушалката, тя видоизменя звука и възпроизвежда твърде слабо.

В радиолубителската практика често се използват радиослушалки, чиито бобини са свързани последователно (фиг. 13.2). Тези бобини са навити от твърд тънък проводник с диаметър 0,05 mm и общото им съпротивление е най-често 4000 Ω. Такива слушалки имат голяма чувствителност и реагират на нищожни напрежения и токове (напр. милivolти и микроампери).

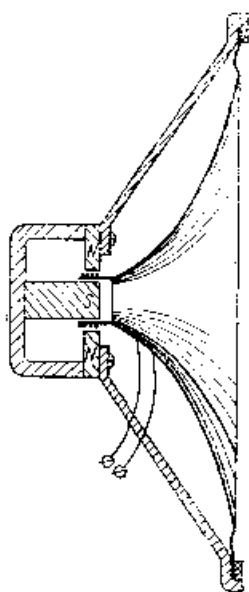
В телефонните апарати се използват единични *телефонни капсули*. Те са нискоомни — тяхното съпротивление е най-често 50—200 Ω и те са подходящи за напрана на любителски транзисторни приемници, зумери и др.

13.3. Високоговорители

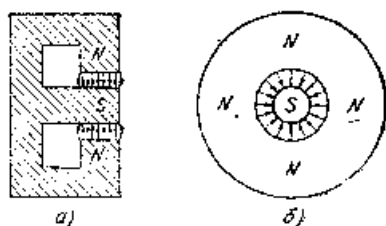
Най-разпространените високоговорители са електродинамичните. Те се състоят от хартиена конусна *мембрана*, в центъра на която е закрепена *бобинка (шпунка)*. Тази бобинка съдържа най-често от 40 до 100 навивки от емайлиран проводник с диаметър 0,15—0,40 mm. Бобинката е поместена между полюсите на *силен магнит* (фиг. 13.3 и 13.4).

За да разберем действието на високоговорителя, ще приемнем едно важно

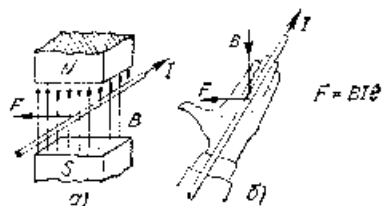
явление от електротехниката: ако в магнитно поле поставим проводник, по който тече ток, на проводника ще действа определена сила. Посоката на тази сила се дава с правилото на лявата ръка (фиг. 13.5), което гласи: ако магнитните силови линии протекат дланта, а пръстите сочат посоката



Фиг. 13.3

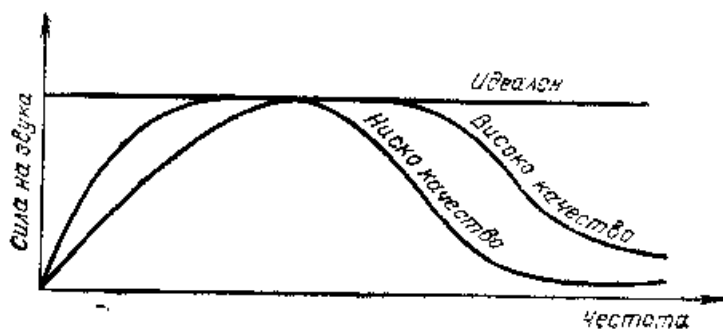


Фиг. 13.4



Фиг. 13.5

на тока, палецът показва действащата сила. От това правило следва, че механичната сила е перпендикулярна както на магнитното поле, така и на проводника, по който тече ток. (Това явление лежи в основата на действието и на електродвигателите, електроизмерителните инструменти и т. н.)



Фиг. 13.6

Ако приложим горното правило към бобинката, като вземем под внимание магнитното поле във въздушната междина (фиг. 13.5), ще се убедим, че при протичане на променлив ток бобинката заедно с мембраната ще се движи напред-назад и ще възпроизвежда звукът.

Паден високоговорител е толкова по-качествен, колкото възпроизвежданият звук по-добре съвпада по форма с протичащия през бобината променлив ток. Във връзка с това нека добавим, че по принцип по-големите високоговорители са по-качествени.

Най-важните параметри на всеки високоговорител са следните:

а. Номинална мощност. Това е най-голямата променливотокова електрическа мощност, която е допустимо да подаваме към високоговорителя. Най-често употребяваните високоговорители имат мощност 0,1, 0,5, 1, 2, 3, 6 и 8W, обаче се произвеждат големи високоговорители с мощност 30, 50 и повече ватове. Нека добавим, че к. п. д. на високоговорителите не надвишава 10%, т. е. при подаване на 1 W електрическа мощност получената звукова мощност е не повече от 0,1 W.

б. Съпротивление на бобинката. Това е в същност импедансът на бобинката при определена честота. Практически той се намира, като се измери активното съпротивление на бобинката и се умножи с 1,25. Най-често употребяваните високоговорители имат импеданс 2÷8 Ω, но има и такива, чийто импеданс достига до 100 Ω. Например, ако имаме високоговорител с мощност 1 W и импеданс на бобинката 4 Ω, в номинален режим (т. е. при силно свирене) на бобинката трябва да действува променливо напрежение с ефективна стойност 2 V, а протичащият ток е с големина 0,5 A.

в. Честотна лента на възпроизвеждане. Идеалният високоговорител е този, който възпроизвежда еднакво силно ниските, средните и високите звукови честоти (при условие, че подаваните електрически трептения имат една и съща амплитуда). При реалните високоговорители ниските и високите честоти се възпроизвеждат по-слабо, отколкото средните честоти (фиг. 13.6). Честотната лента на високоговорителя се ограничава от онези честоти, при които възпроизвеждането намалява с 30% спрямо средните честоти. Обикновените високоговорители имат честотна лента от около 50 до 8000 Hz, а при качествените тя е от 50 до 12 000 Hz.

ЗАПОМНЕТЕ !

1. Микрофоните преобразуват звуковите трептения в променливи електрически напрежения. На изхода на микрофоните тези напрежения са твърде малки — напр. 1÷50 mV и се нуждаят от усиляване.
2. Радиослушалките са извънредно чувствителен преобразувател на електрическите трептения в звук, понеже реагират на нищожни напрежения и токове.
3. Основните параметри на високоговорителите са: номинална мощност, съпротивление на бобинката и честотна лента на възпроизвеждане.
4. При номинален режим на бобинката на електродинамичния високоговорител действува променливо напрежение 1÷5V и протича ток 0,1÷0,5A.

Радиопредаване

14.1. Студио на радиопредавателя

Студиото на гражданските радиопредаватели се състои от няколко помещения, обзаведени със сложна апаратура. В едно от тях се намира микрофонът, с помощта на който *звукът се превръща в нискочестотни напрежения* (фиг. 14.1). След като се усилят от специален усилвател, тези напрежения се довеждат до радиопредавателя.

14.2. Радиопредавател

Мощните радиопредаватели представляват сложни съоръжения. Основно звено на всеки радиопредавател е *автогенераторът* (задаващ генератор), който произвежда първоначалните *електрически трептения с висока честота*. Автогенераторът е маломощно устройство и главно изискване към него е *стабилност* на произвежданите трептения.

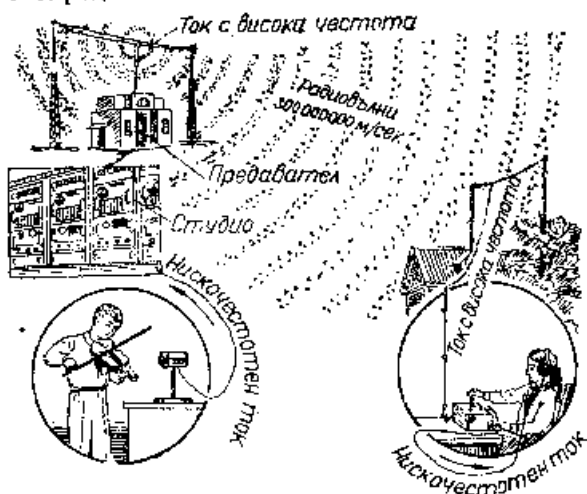
С помощта на специални усилвателни стъпала (т. нар. удвоители, утроители и т. н.) честотата на трептенията от автогенератора се *увеличава* и след подходящо усиляване се подава в *модулаторното стъпало*. Тук се извършва своеобразно „смесване“ на тези в. ч. трептения със звуковите електрически трептения, идващи от студиото. В резултат на това на изхода на модулаторното стъпало се получават *високочестотни амплитудно-модулирани трептения* (фиг. 14.2). Те имат висока честота, като амплитудата им се изменя в такт със звуковата честота. (Тази модулация се нарича амплитудна и е най-разпространена. В практиката обаче се използват и други видове модулация — честотна, импулсна и т. н.).

Така получените в. ч. модулирани трептения се подават към *крайното стъпало*, което е *усилвател на мощност*, т. е. тук токовете и напреженията са значителни и според мощността на предавателя са от порядъка на $1 \div 10$ А и $5000 \div 15\,000$ V. С помощта на специален кабел, наречен *фидер*, мощните в. ч. трептения се подават към антената (фиг. 14.1).

14.3. Предавателна антена

Най-често предавателните антени представляват метални мачти или опънати проводници, изолирани от земята (фиг. 14.1). По време на работа в антената тече модулиран в. ч. ток. От електротехниката знаем (вж. фиг. 10.4), че когато през даден проводник протича променлив ток, около него се образува електромагнитно поле. Ето защо около предавателната антена

също се образува променливо електромагнитно поле, което се разпространява в околното пространство. При това се вземат специални мерки (напр. антената се настройва) с оглед по-голямата част от подадената електрическа енергия да се излъчва в околното пространство. В някои случаи антената има сложна конструкция (състои се от няколко антени), за да излъчва интензивно само в определена посока.

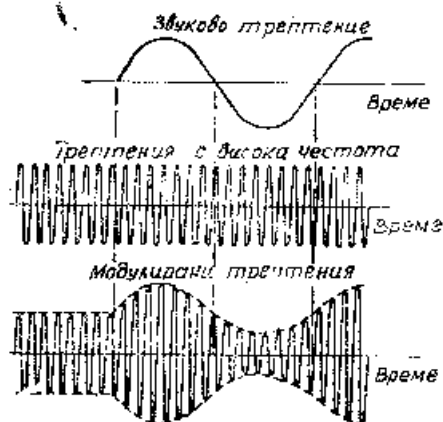


Фиг. 14.1

14.4. Радиовълни

Променливото електромагнитно поле на антената, което се разпространява в околното пространство, се нарича още *радиовълни*. Тези вълни се разпространяват в атмосферата и извън нея със скорост около 300 000 km/s.

Всеки радиопредавател излъчва радиовълни със строго определена дължина или, както се казва, *работи на строго определена честота* (т. нар. носеща честота), на която друг близък предавател не бива да работи. На фиг. 14.3 са дадени носещите честоти на средновълновия радиопредавател София I и съседните му по честота предаватели. Виждаме, че на всеки предавател е предоставена не само една носеща честота, а *цяла честотна лента*, която при предавателите с амплитудна модулация има ширина 9 kHz. Причината за това е фактът, че амплитудно-модулираните трептения (фиг. 14.2) са сложни и в същност се състоят от цял спектър трептения с об-



Фиг. 14.2

ща ширина на лентата 9 kHz, като в средата на този спектър се намира носещата честота на предавателя.

В зависимост от дължината си радиовълните имат свои особености и

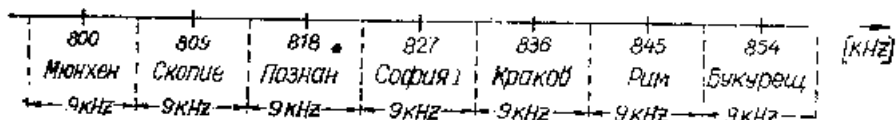
закони на разпространение. Затова те са разделени условно на следните обхвата:

дълги вълни $f=150 \div 450$ kHz ($\lambda=2000 \div 670$ m)

средни вълни $f=500 \div 1600$ kHz ($\lambda=600 \div 190$ m)

къси вълни $f=3 \div 30$ MHz ($\lambda=100 \div 10$ m)

ултракъси вълни $f=30 \div 30\,000$ MHz ($\lambda=10 \div 0,01$ m)



Фиг. 14.3

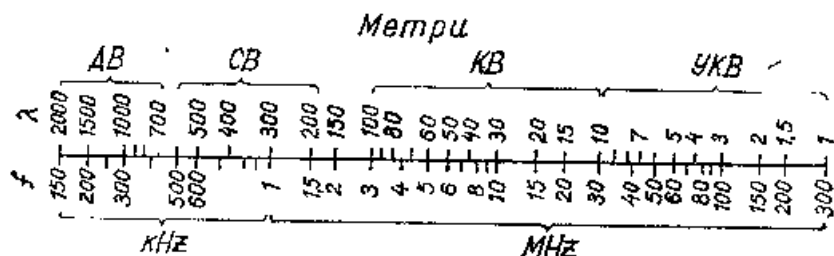
Превръщането от дължина на вълната в честота и обратно, може да стане, като се използва формулата

$$f_{\text{kHz}} = \frac{300\,000}{\lambda_{\text{m}}} \quad (14.1)$$

Пример 14.1. Носещата честота на Радио София I е $f=827$ kHz. Да се намери дължината на вълната.

От горната формула намираме

$$\lambda_{\text{m}} = \frac{300\,000}{f_{\text{kHz}}} = \frac{300\,000}{827} = 362 \text{ m.}$$



Фиг. 14.4

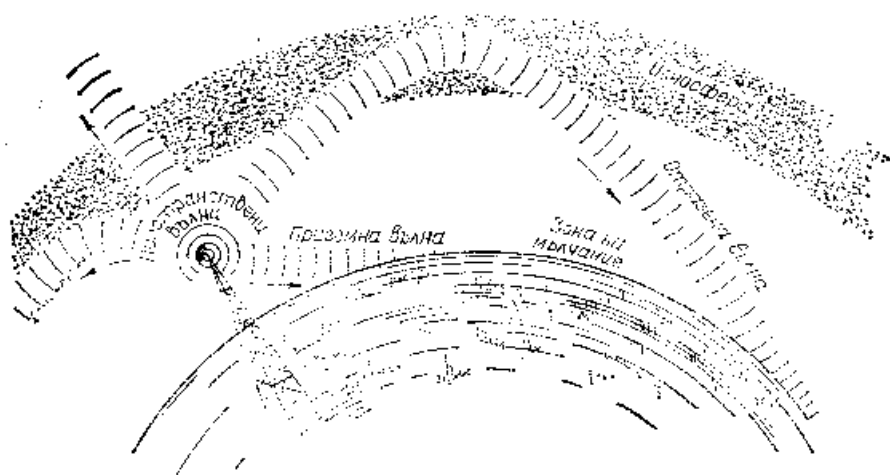
За груби изчисления при превръщането на честотата в дължина на вълната и обратно може да се използва номограмата, дадена на фиг. 14.4.

14.5. Разпространение на радиовълните

Радиовълните с различна дължина се разпространяват по различен начин. За да разберем това, нека разгледаме фиг. 14.5, където е показано земното кълбо и една предавателна антена в увеличен вид. На височина от 40 до 500 km над Земята се намира **йоносферата**. Тя се състои от силно разредени въздушни частици, които под действието на слънчевата радиация са **йонизирани**. Степента на тази йонизация зависи от много фактори — ден, нощ, лято, зима и т. н., което влияе на прохождението на радиовълните. Например през деня концентрацията на йоните е по-голяма и в йоносферата се оформят няколко слоя, а през нощта концентрацията намалява и тези

слоеве са по-слабо изразени. Главното свойство на йоносферата, е че поради наличие на заредени частици *тя може да отразява* някои радиовълни с определена дължина на вълната.

Дългите вълни не се отразяват от йоносферата и се разпространяват като приземни вълни, т. е. следват кривината на Земята. Понеже се разпро-



Фиг. 14.5

страняват в ниските и плътни слоеве на атмосферата, техният интензитет сравнително бързо намалява с отдалечаването от предавателя. Затова дълговълновите предаватели трябва да имат голяма мощност.

Средните вълни през деня се разпространяват като приземни вълни, а вечерно време се отразяват от йоносферата, т. е. разпространяват се с отразени вълни (фиг. 14.5). Затова средновълновите предаватели се приемат вечерно време по-добре, отколкото през деня.

Късите вълни се разпространяват изключително чрез отразени вълни, поради което около предавателя съществуват т. нар. зони на мълчание (фиг. 14.5). На къси вълни може да се покрий големи разстояния при малка мощност на предавателя. Например в подходящо време на денонощието с любителски *КВ* предавател с мощност 50 W на телеграфия може да се установи добра радиосвързка между България и Австралия. Нека добавим, че през деня по-добро прохождение има на „по-късите“ къси вълни (напр. 21 и 28 MHz), а през нощта по-добре се разпространяват „по-дългите“ къси вълни (напр. 3,5 и 7 MHz). Поради тази причина любителските *КВ* предаватели като правило са няколкообхватни, т. е. според случая могат да работят на различни честоти, определени от Наредба №2 за радиолюбителската дейност.

Ултракъсите вълни се разпространяват само по права линия (както светлината) и като правило не се отразяват от йоносферата. Затова предавателните антени за УКВ се монтират на специални кули, построени на подходящи височини. В УКВ обхват работят телевизията, радиотелефоните, станциите на бързата помощ, на таксиметровите коли и др., които имат район на действие 10÷50 km.

14.6. Паразитни смущения

Разгледаните дотук радиовълни, излъчвани от предавателите, могат да се нарекат „полезни“, защото носят някаква информация. Наред с тях обаче съществуват „паразитни“ радиовълни, излъчвани от най-различни източници, като светкавици, трамваи, тролейбуси, електрожепци, генериращи електродомашински уреди и т. н., които създават смущения в радиоприемането. Паразитните източници излъчват сигнали предимно в обхвата на дългите вълни. Затова приемането на къси вълни е по-чисто. Обаче при късите вълни се наблюдава неприятното явление **фадинг**, което се състои в това, че от време на време сигналите намаляват интензитета си и дори за кратко време изчезват, след което пак се появяват. Причината за фадинга е интерференцията между отразените вълни с различни фази. Ефектът от това неприятно явление може да се намали чрез използването на различни средства — напр. антифадингтови антени, автоматично регулиране на усилването (*APU*) и др.

ЗАПОМНЕТЕ!

1. В студиото на всеки радиопредавател има микрофон, който преобразува звуковите трептения в електрически. След съответно усилване тези н. ч. трептения се довеждат до радиопредавателя.
2. Всеки радиопредавател има автогенератор, който произвежда първоначалните електрически трептения с висока честота. В модулатора се „смесват“ с н. ч. трептения, идващи от студиото, и така се получават в. ч. модулирани трептения, които след подходящо усилване по мощност се подават към предавателната антена.
3. Във всяка предавателна антена тече високочестотен модулиран ток и около нея се образуват и разпространяват в околното пространство радиовълни. Според дължината на вълната различаваме дълги, средни, къси и ултракъси вълни.
4. На височина от 40 до 500 km над Земята се намира йоносферата, в която разредените въздушни частички са йонизирани от слънчевата радиация. Главното свойство на йоносферата е това, че някои от радиовълните могат да се отразяват от нея и да се връщат обратно към Земята.
5. Различните радиовълни се разпространяват по различен начин. Само късите вълни (и отчасти средните вълни вечерно време) се отразяват от йоносферата. Дългите вълни се разпространяват чрез приземна вълна, а ултракъсите вълни само по права линия.

Радиоприемане

15.1. Ролята на приемната антена

В предната глава изяснихме (вж. фиг. 14.1), че предавателните антени излъчват радиовълни. Тези вълни се разпространяват в околното пространство и достигат до приемната антена. Понеже радиовълните са *променливо електромагнитно поле*, в приемната антена се индуцират е. д. н. със същата форма и честота като модулирания в. ч. ток в предавателната антена. По такъв начин във всяка приемна антена се пораждат толкова на брой в. ч. напрежения с различна честота, колкото предаватели работят в момента. Ако даден предавател е близък и мощен, той индуцира в антената в. ч. напрежения от порядъка на 10—50 mV, докато напреженията, индуцирани от далечните предаватели, обикновено са по-малки от 10—100 μ V. Една антена е толкова по-качествена, колкото вълните на даден предавател пораждат в нея по-големи напрежения.

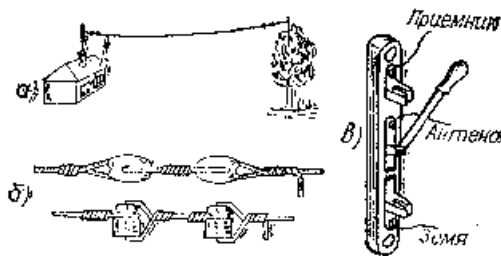
Следователно ролята на приемната антена е да превърне радиовълните на предавателите в съответни високочестотни напрежения.

15.2. Устройство на приемната антена

Приемните антени могат да имат най-различна конструкция, защото по принцип във всеки проводник, изолиран от земята, радиопредавателите индуцират в. ч. напрежения. Но както вече се спомена, въпросът е тези напрежения да са значителни. Това се получава, когато антената се намира на открито и високо място и самата тя е висока и дълга.

Външната приемна антена представлява неизолиран многожичен меден проводник (т. нар. антенен проводник), огънат на определена височина над земята.

На фиг. 15.1 а е показана Г-образна антена, а на фиг. 15.2 антената е Т-образна. Тези антени са особено

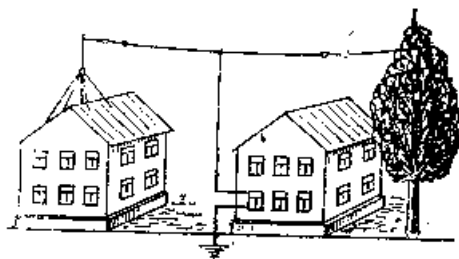


Фиг. 15.1

подходящи за радиолюбителска работа и затова нека накратко опишем тяхната конструкция. В двата си края проводникът е изолиран чрез **антенни изолятори** (фиг. 15.1 б), като останалата част от антената, която се завързва към прътите, се прави от подходящо дебел поцинкован тел.

Напреженията, които се индукират в антената, се отвеждат към радиоприемника чрез антеноотвод, който се прави от добре изолиран меден проводник. В долния си край антеноотводът се свързва с антенния прекъсвач (фиг. 15.1 а), който най-често се монтира от вътрешната страна на прозореца. Чрез него антената може да се заземи и в лошо време да бъде предпазена от гръм. От фиг. 15.1 а се вижда, че при горно положение на прекъсвача антената е включена към радиоприемника, а при долно положение е заземена.

Препоръчва се външните антени да имат дължина 10—20 m и да се монтират на височина поне 2—3 m над околните сгради. Накрая нека повторим, че добрата антена трябва да бъде висока, дълга и добре изолирана.



Фиг. 15.2

15.3. Заземяване

Ролята на заземяването е да създаде затворена верига за високочестотните токове, породени от напреженията, индукирани в антената. Освен това заземяването намалява смущенията и спомага за по-доброто приемане на далечните и слаби радиостанции. Поради това заземяването е абсолютно необходимо за детекторните радиоприемници и за радиолюбителска дейност.

За заземяване най-често използваме водопроводните тръби или тръбите на парното отопление. Проводникът, използван за заземяване, може да е звънчева жица или някакъв друг меден проводник (гол или изолиран). В някои случаи заземяването може да се направи в двора близо до къщата. За целта в земята се изкопава дупка с дълбочина 0,5—1 m, в която се заравя метален предмет (напр. лист ламарина, стара кофа и др.) завързан добре с проводник (фиг. 15.3). След заравянето се препоръчва мястото да се полее с кофа вода, в която сме разтворили шепа готварска сол — това подобрява проводимостта на почвата.

15.4. Задачи на радиоприемника

Ако между антената и заземяването включим слушалки, през техните бобини ще протекат в. ч. токове с най-различна честота, породени от съответните предаватели. Обаче ние няма да чуем никакъв звук, защото слушалките не реагират на толкова високи честоти, а и човешкото ухо възприема като звук само такива трептения, чиито честоти не надвишават 20 kHz.

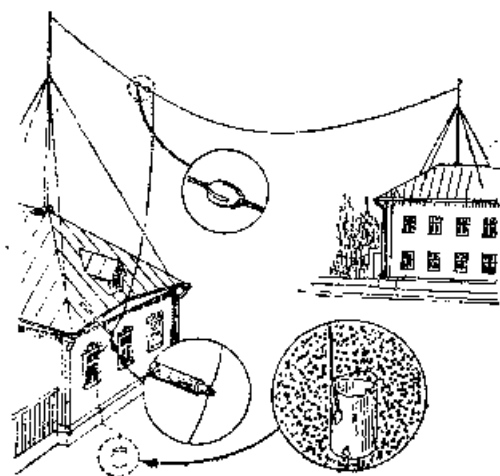
За превръщане на антенните напрежения в говор и музика е необходим радиоприемник. Основните задачи на всеки радиоприемник са:

а) От големия брой в. ч. напрежения, индукирани в приемната антена, да отдели само трептенията на желаната радиостанция. Това свойство на радиоприемника се нарича *избирателност (селективност)*.

б) Да усили слабия сигнал на желаната радиостанция толкова пъти, че да може да се задейства високоговорителят. Нека споменем, че добрите радиоприемници усилват сигнала от 10 000 до 100 000 пъти.

в) От високочестотния модулиран сигнал да получи наново трептенията със звукова честота. Този процес се нарича *демодулация*.

Радиоприемниците притежават горните качества благодарение използването на третицини кръгове, транзистори, диоди и др., свързани в различни сложни електронни схеми.



Фиг. 15,8

ЗАПОМНЕТЕ!

1. Приемната антена служи да превърне радиовълните на предавателите в съответни модулирани в. ч. напрежения.
2. В приемната антена се индуцират толкова в. ч. напрежения с различна честота, колкото предаватели работят в момента.
3. Породените в антената в. ч. напрежения са изобщо малки — напр. миднволтове и микроволтове.
4. Добрата приемна антена трябва да бъде висока, дълга и добре изолирана.
5. За качествено радиоприемане е необходимо заземяване. То намалява смущенията и спомага за приемането на далечни и слаби радиостанции.
6. Основните задачи на радиоприемника са: а) от големия брой в. ч. напрежения в антената да отдели само трептенията с желаната честота; б) да усили слабите сигнали на желаната радиостанция; в) да демодулира тези високочестотни трептения.

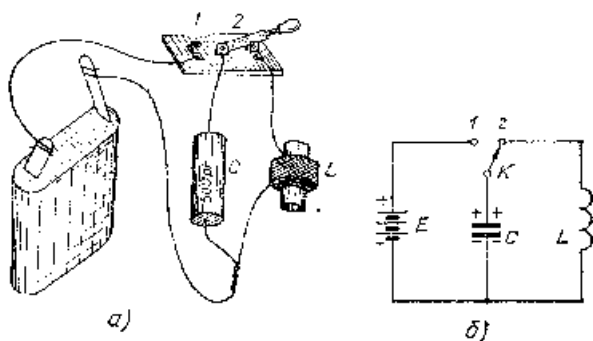
Трептящ кръг

16.1. Общи свойства

Вече знаем, че първата задача на всеки радиоприемник е от многото в. ч. трептения, индуцирани в антената, да отдели само трептенията на желаната радиостанция. Това най-лесно се осъществява с помощта на *трептящ кръг*. Той се състои от свързани помежду си кондензатор и бобина.

Собствени трептения на кръга. За да разберем свойствата на трептящия кръг, нека разгледаме опита, показан на фиг. 16.1. Когато ключът е в положение 1, кондензаторът се зарежда от батерията. Ако сега поставим ключа в положение 2, кондензаторът започва да се разрежда през бобината. Това разреждане е много интересно, понеже в *кръга възникват синусоидални електрически трептения с определена честота*. (Оттук е дошло и името му трептящ кръг).

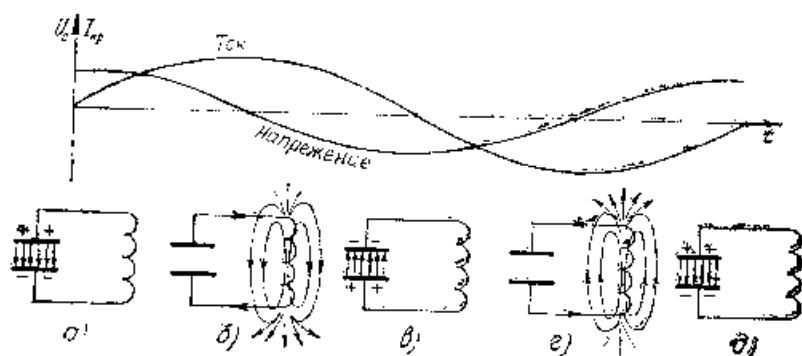
На фиг. 16.2 а е показан първият момент от този процес, когато напрежението на кондензатора е максимално, а токът току-що започва да расте. Обръщаме внимание, че в този момент цялата енергия, получена от батерията, е *съсредоточена между електродите на кондензатора*. На фиг. 16.2 б е показан моментът, когато токът е достигнал своя максимум, а напрежението на кондензатора е нула. Следователно тук *енергията на кондензатора се е превърнала в магнитна енергия на полето около бобината*. От този момент нататък токът започва да намалява, като силовите магнитни линии започват да се „прибират“ към бобината и пораждат в нея самоиндуцирано е. д. н. Както вече знаем (вж. гл. 10), посоката на това е. д. н. е такава, че то „подпомага“ намаляващия ток. Ето защо токът, породен от „свивачото“ се



Фиг. 16.1

магнитно поле на бобината, продължава да тече в същата посока, като зарежда наново кондензатора, но този път с противоположна полярност. Именно този момент е показан на фиг. 16.2 в, когато кондензаторът е зареден с противоположна полярност и токът във веригата вече е престанал да тече, т. е. *магнитната енергия на бобината се е превърнала наново в електрическа енергия на заредения кондензатор*. В следващия момент кондензаторът за-

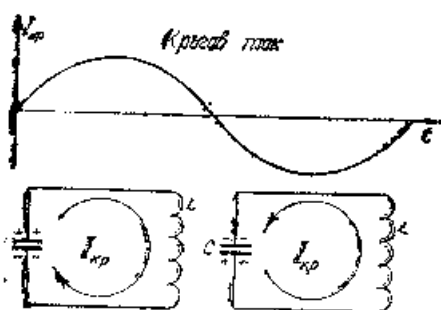
почва отново да се разрежда през бобината, като на фиг. 16.2 а той напълно се е разредил и токът е максимален. По-нататък магнитното поле наново се „прибира“ към бобината и токът продължава да тече в същата посока, докато наново се зареди кондензаторът с първоначалния поляритет (фиг. 16.2 б).



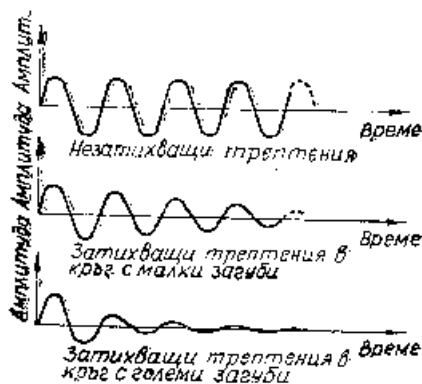
Фиг. 16.2

Така описаните електрически трептения представляват по същество един **кръгов ток**, който се изменя по **синусоидален закон** (фиг. 16.3). Той е резултат от периодичното превръщане на електрическата енергия на кондензатора в магнитна енергия на бобината и обратно.

Ако **кръгът е идеален (без загуби)**, трептенията ще бъдат **незатихващи**, т. е. ще продължават вечно. При **реалните трептящи кръгове трептенията затихват** толкова по-бързо, колкото загубите са по-големи (фиг. 16.4).



Фиг. 16.3



Фиг. 16.4

Собствена честота на кръга. Честотата на възникналите трептения (нарича се още резонансна честота f_p) зависи от капацитета на кондензатора и индуктивността на бобината. Тя се дава с формулата на Томсон

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (16.1)$$

От тази формула следва, че колкото индуктивността и капацитетът са по-малки, толкова собствената честота на кръга е по-висока и обратно: при голям капацитет и голяма индуктивност собствената честота на кръга е ниска.

Пример 16.1. Каква е честотата на собствените трептения на един кръг, ако $L=200 \mu\text{H}$ и $C=500 \text{ pF}$?

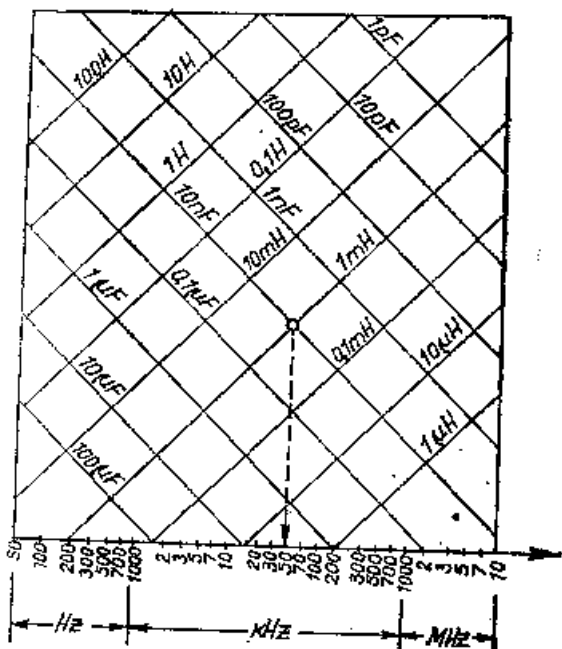
Превръщаме индуктивността в хенри и капацитета във фаради и заместяваме в горната формула:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{200 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^{-12}}} \approx 500 \text{ kHz.}$$

Собствената честота на даден трептящ кръг може да се намери по-лесно и по-бързо чрез номограмата, дадена на фиг. 16.5.

16.2. Електрически резонанс

Явлението резонанс може да се демонстрира в къщи чрез опита, показан на фиг. 16.6. Тук на една опъната връв са завързани с конци три двойки топчета $1-1'$, $2-2'$ и $3-3'$, всяко от които представлява махало. Ако с ръка разлюеем топчето 1 , започва да се люлее топчето $1'$, а всички други остават неподвижни. Също така, ако разлюеем топчето 3 , започва да се люлее само топчето $3'$. Това явление се нарича **механически резонанс** и се обяснява по следния начин. В всяко махало има своя собствена честота на люлеене. В нашия случай собствената честота на махалата 1 и $1'$ е еднаква, махалата $2-2'$ също имат еднаква собствена честота и т. н. При залюляване на махало 1 неговите трептения се предават по връвта до всички останали махала. Обаче тези трептения разлюляват само махало $1'$, чиято собствена честота съвпада с „гласъците“, идващи по връвта. Попееже тези гласъци следват в такт със собствените му трептения, амплитудата на люлеене на второто махало все повече и повече нараства, като може да стане и по-голяма от амплитудата на първото махало.



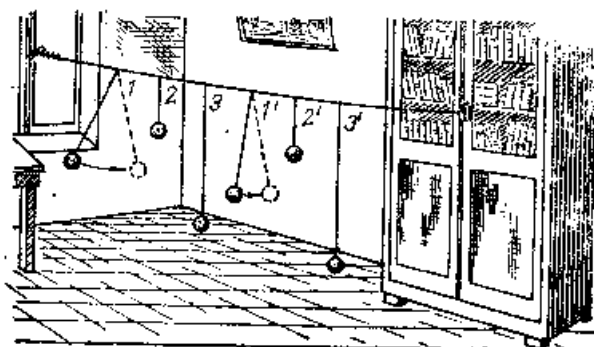
Дадено: $L=1\text{mH}$ $C=10\text{nF}$

Отчитаме: $f_p = 50\text{kHz}$

Фиг. 16.5

Съвсем аналогично е явлението **електрически резонанс**. Тук на фиг. 16.7 а е даден лабораторен генератор Γ (т. нар. сигналгенератор), с който нека да произвеждаме в. ч. трептения с най-различна честота, но винаги с

напрежението е 1 mV . Тези напрежения се подават към третия кръг LC чрез индуктивна връзка между бобините L_1 и L . Към кръга са включени уреди за измерване на кръговия ток и напрежението върху кондензатора. Понеже $L=200 \text{ }\mu\text{H}$ и $C=500 \text{ pF}$, собствената честота на кръга е 500 kHz



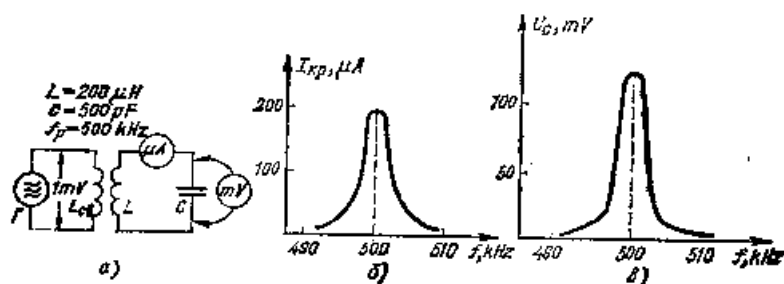
(вж. пример 16.1). Ако сега от генератора започнем да подаваме електрически трептения с различна честота (по знака с напрежение 1 mV), ще забележим, че при честота 500 kHz кръговият ток и напрежението върху кондензатора силно нарастват, а при честоти, по-високи и по-ниски от 500 kHz , те бързо намаляват. На фиг. 16.7 б и в това е изобразено графично,

Фиг. 16.6

като тези криви се наричат *честотни характеристики на третия кръг*.

Описаното явление се обяснява по следния начин. Посредством индуктивната връзка в бобината L се индуцира променливо е. д. н., имащо честотата на генератора. В резултат на това в кръга се пораждат т. нар. припудени незатихващи електрически трептения (кръгов ток) с честотата на генератора. По принцип тези трептения имат малка амплитуда, т. е. променливото напрежение върху кондензатора е далеч по-малко от напрежението на генератора.

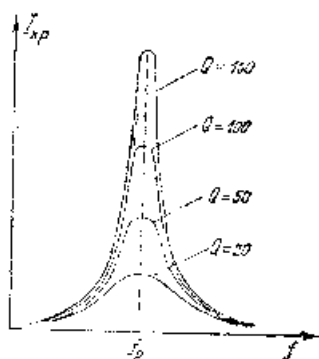
Когато честотата на генератора стане равна на собствената честота на третия кръг, настъпва явлението *резонанс*. То се характеризира с това, че кръговият ток е значителен и напрежението върху кондензатора може да стане многократно по-голямо (напр. 20—150 пъти) от напрежението на генератора. Следователно третият кръг притежава т. нар. *честотна избирателност* и при резонанс многократно повишава



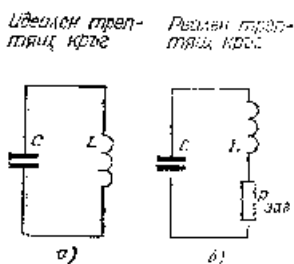
Фиг. 16.7

напрежението на подадените му трептения. Тези свойства са толкова по-добре изразени, колкото качественият фактор на кръга е по-голям. (фиг. 16.8). Нека кажем, че качественият фактор на кръга зависи най-вече от качествата на бобината и по-точно от

нейното загубно съпротивление $R_{заг}$ (вж. гл. XI). Ето защо понякога реалните трептящи кръгове се изобразяват заедно със загубното съпротивление на бобината (фиг. 16.9). Колкото $R_{заг}$ е по-малко, толкова качественият фактор на кръга е по-голям. Както вече знаем, добрите трептящи кръгове имат качествен фактор най-често от 50 до 150.



Фиг. 16.8



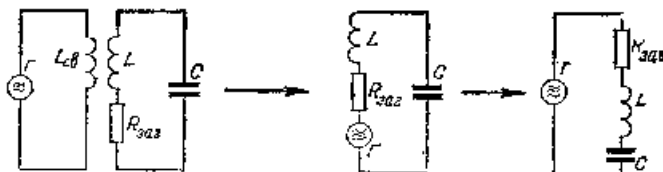
Фиг. 16.9

16.3. Видове трептящи кръгове

В електронните схеми трептящият кръг не е сам, а е свързан (директно, индуктивно, капацитивно) с някакъв източник на електрически ток. Този източник може да бъде антена, усилвателно съпъвало и др., които в общия случай се явяват *генератор с определено вътрешно съпротивление, честота и амплитуда*. В зависимост от това, как генераторът е свързан към бобината и кондензатора, различаваме *последователен* (сериен) и *паралелен* трептящ кръг.

Последователен трептящ кръг. При него генераторът е свързан последователно на бобината и кондензатора. Например при индуктивна връзка трептящият кръг е последователен, защото в бобината (фиг. 16.10) се индуцира е. д. н., което е равносилно, че генераторът е включен последователно на L и C .

По време на резонанс последователният трептящ кръг се характеризира със следните особености:



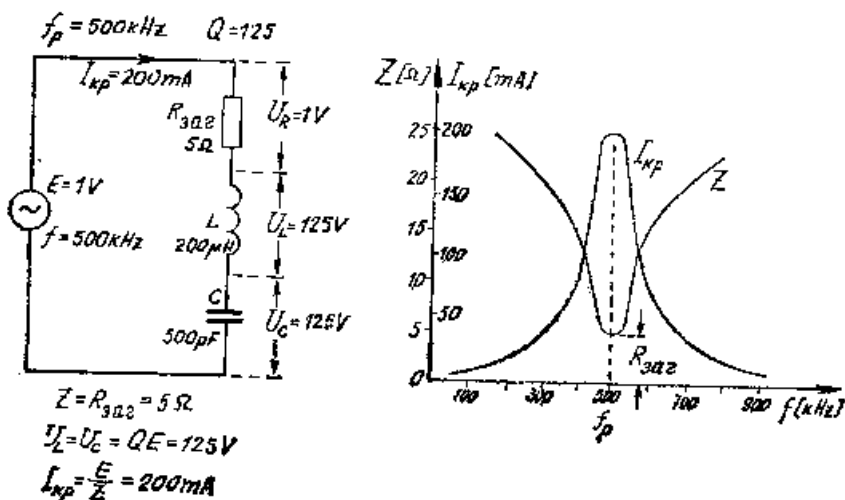
Фиг. 16.10

1. Съпротивлението на кръга е *минимално* и равно на $R_{заг}$.
2. Напрежението върху кондензатора (или бобината) е Q *пъти по-голямо* от напрежението E на генератора.

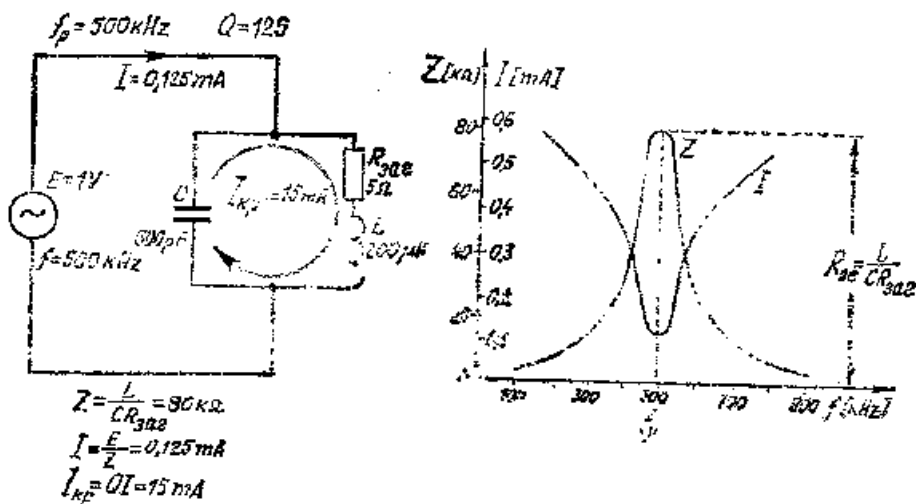
3. Токът през кръга е *максимален* и равен на $I_{крмакс} = \frac{E}{R_{заг}}$.

На фиг. 16.11 е даден пример с един конкретен последователен трептящ кръг, като са начертани и неговите честотни характеристики при условие, че вътрешното съпротивление на генератора е малко.

Паралелен трептящ кръг. В този случай генераторът е свързан паралелно на бобината и кондензатора. При резонанс паралелният трептящ кръг се характеризира със следните особености:



Фиг. 16.11



Фиг. 16.12

1. Съпротивлението на кръга е **голямо** и равно на $\frac{L}{CR_{\text{заг}}}$

Това съпротивление понякога се нарича **резонансно съпротивление** на паралелния трептящ кръг и се бележи с R_{0e} .

2. Поради голямото съпротивление на кръга токът във външната верига е сравнително малък и равен на $\frac{E}{R_{\text{вн}}}$.

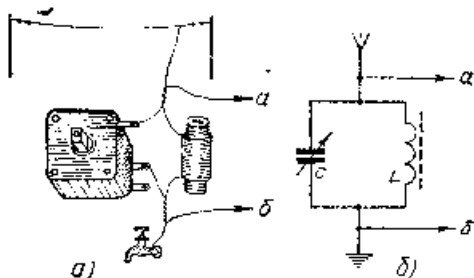
Кръговият ток е сравнително голям. Той Q пъти по-голям от тока във външната верига.

На фиг. 16.12 е даден конкретен пример с един паралелен трептящ кръг, като са начертани и неговите честотни характеристики при условие, че вътрешното съпротивление на генератора е голямо. В заключение нека кажем, че резонансната честота както на последователния, така и на паралелния трептящ кръг се изчислява по формулата на Томсон.

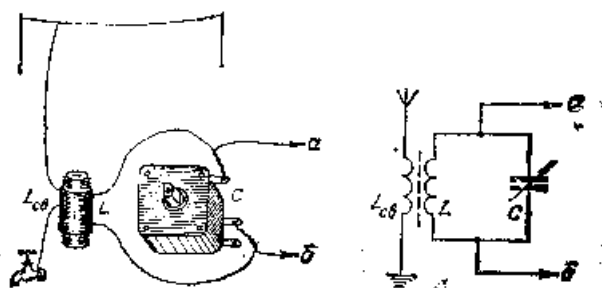
16.4. Входно устройство с трептящ кръг

На фиг. 16.13 е показана директна връзка на антената с трептящия кръг. Тук кондензаторът е променлив (вж. 9.3) и чрез изменение на капацитета му можем да променяме собствената честота на кръга, т. е. да го настройваме на честотата на желаната радиостанция. При резонанс кръговият ток, породен от желаната радиостанция, става относително голям, а съпротивлението на кръга — също голямо. В резултат на това в двата края на кръга се образува значителен пад на напрежението само от сигнала на желаната радиостанция, а за сигналите на другите станции кръгът представлява малко съпротивление. По такъв начин между точките a — b (фиг. 16.13) се получава значително напрежение само от сигнала на желаната радиостанция.

На фиг. 16.14 е показана индуктивна връзка на антената с кръга. Ние вече знаем (фиг. 16.10), че в този случай трептящият кръг е последователен. Чрез променливия кондензатор можем да настройва-



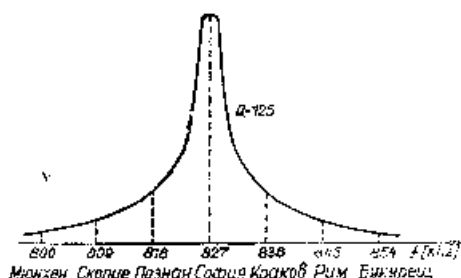
Фиг. 16.13



Фиг. 16.14

ме кръга в резонанс с желаната радиостанция. В този случай, кръговият ток, породен от тази радиостанция, става относително голям, докато кръговите токове, породени от другите станции, са нищожно малки. Големият кръгов ток образува значително напрежение върху кондензатора и от точките a — b (фиг. 16.14) то се подава към следващите стъпала.

На фиг. 16.15 е показан случай, когато трептящ кръг с качествено число $Q = 125$ е настроен на Радио София I. Съответните ординати, означени с пунктир, показват силата, с която ще се приемат съседните радиостанции при условие, че индукират в антената еднакви напрежения. Но понеже Познан, Краков и др. се намират далеч от България, техните сигнали в изхода на кръга ще бъдат далеч по-слаби от посочените на фигурата.



Фиг. 16.15

ЗАПОМНЕТЕ!

1. При разреждане на кондензатор през бобина се получават затихващи синусоидални трептения, чиято честота може да бъде намерена по формулата на Томсон.
2. В трептящия кръг може да бъдат възбудени незатихващи трептения от външен генератор. Ако честотата на генератора съвпадне със собствената честота на кръга, настъпва явлението резонанс.
3. При резонанс съпротивлението на последователния трептящ кръг е минимално, а напрежението върху кондензатора (или бобината) е Q -пъти по-голямо от напрежението на генератора.
4. При резонанс съпротивлението на паралелния трептящ кръг е голямо, а кръговият ток е Q -пъти по-голям от тока във външната верига.
5. Резонансните свойства на трептящия кръг са толкова по-ярко изразени, колкото е по-голям качественият му фактор.

Полупроводникови диоди

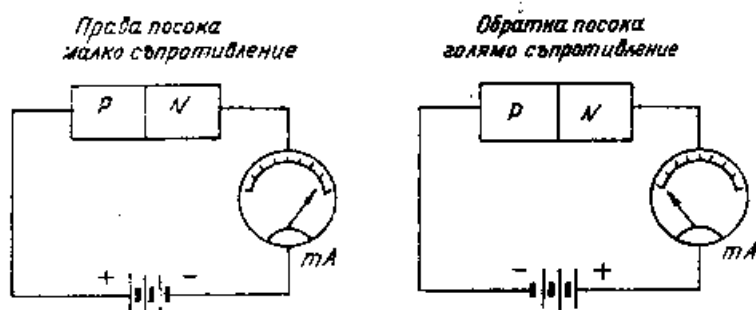
17.1. Полупроводници. PN преход

За направа на диоди, транзистори, тиристорни и др. се използват полупроводниците **силиций, германий и селен**. Те притежават кристална структура и в чист вид имат свойства, подобни на изолаторите. За получаване на диоди и транзистори към чистите полупроводници се прибавят *подходящи примеси*. В зависимост от вида на примесите може да се получат две разновидности: Р-полупроводник и N-полупроводник, които *провеждат електрическия ток много по-добре от чистите полупроводници*. Например от германия се получават Р-германий и N-германий, от силиция Р-силиций и N-силиций и т. н.

Електрическата проводимост на всеки N-полупроводник се дължи на свободните електрони, т. е. тя е подобна на проводимостта на металите.

Електрическата проводимост на всеки Р-полупроводник се дължи на т. нар. *дупки*. Те могат да се разглеждат като фиктивни положителни частици, понеже представляват местата в кристалната решетка, където липсват валентни електрони.

Най-важното свойство на Р- и N-полупроводниците е това, *че ако от тях се образува спойка, тя има еднопосочна проводимост* (фиг. 17.1). Тази спойка се нарича още PN преход и се изработва чрез специални технологии.



Фиг. 17.1

Широчината на PN прехода е твърде малка и обикновено е от 1 до 50 μm . (Напомяне, че $1 \mu\text{m} = 1/1000$ от милиметъра.)

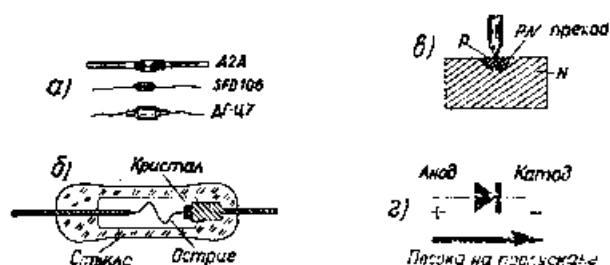
Когато плюсьт на токоизточника е свързан с Р-областта (фиг. 17.1а, се казва, че преходът е включен в *права посока*). В този случай неговото съпротивление е *малко* и токът във веригата може да бъде значителен.

Когато минусът на токоизточника е свързан с Р-областта (фиг. 17.1 б), преходът е включен в *обратна посока*. В този случай неговото съпротивление е много голямо и ток във веригата почти не тече.

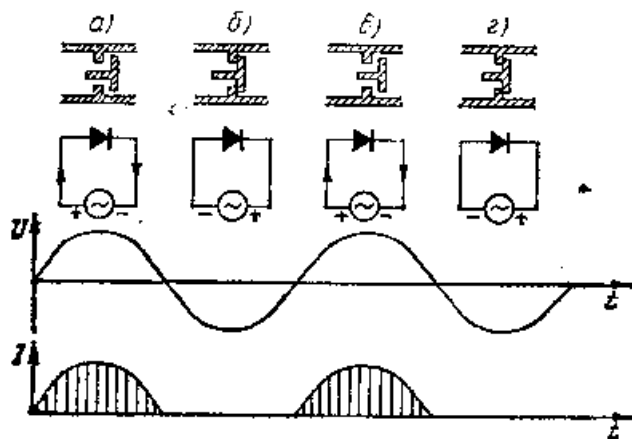
Еднопосочната проводимост на PN прехода лежи в основата на действието на полупроводниковите диоди, транзистори, тиристоры и др.

17.2. Точкови диоди

На фиг. 17.2 а са показани три точкови диода. Те се състоят от стъклен корпус, в който има тънко острие, запоено към германиев или силициев кристал с *n*-проводимост (фиг. 17.2 б). Главното свойство на диода е неговата еднопосочна проводимост; той пропуска тока само от острието към кристала, а в обратна посока му оказва голямо съпротивление. Причината за това е, че при изработката между острието и кристала е образуван PN преход (фиг. 17.2 в). Размерите на прехода са почти колкото една точка, откъдето е дошло и името на тези диоди. Това е направено с цел тези диоди да имат минимални междуелектродни капацитети. Острието (или Р-областта) се нарича още *анод*, а кристалът (или N-областта) — *катод* на диода. По такъв начин *посоката на пропускане на тока* е от анода към катода. Това е показано на фиг. 17.2 г,



Фиг. 17.2



Фиг. 17.3

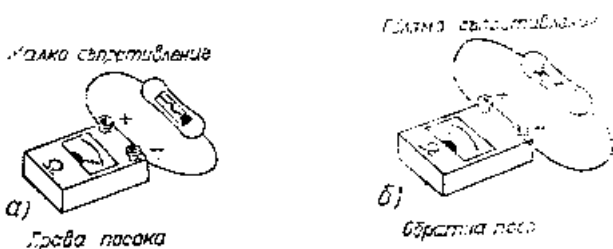
Те се използват в детекторните стъпала, в електронноизчислителните машини, в автоматиката и т. н.

Най-важните параметри на точковите диоди са:

1. **Максимален ток в права посока.** На практика той най-често има големина 10—50 mA.

2. Максимално обратно напрежение. На практика то е най-често 20—60 V. Годността на точковите диоди се проверява най-лесно с омметър. (Искаме да подчертаем, че положителната клема на омметъра е свързана с плюса на вградената батерия). Както се вижда от фиг. 17.4, в права посока съпротивлението на точковите диоди трябва да е малко (напр. 20—150 Ω), а в обратна посока то трябва да е голямо (напр. над 100 k Ω).

В радиолюбителската практика много често се използват следните точкови диоди: SFD104—115, Д2А—Е, Д9А—Е, 2Д4331—5614 и т. н.



Фиг. 17.4

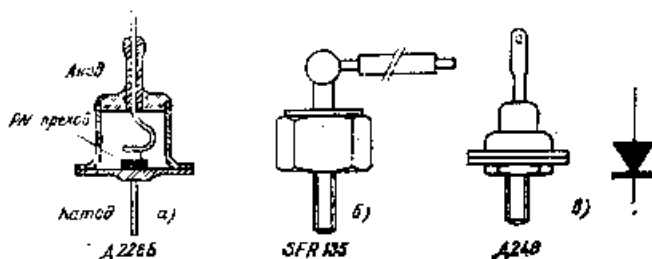
17.3. Плоскостни диоди

При тях също имаме PN преход, но неговата площ е по-голяма (оттук е дошло и названието им). На фиг. 17.5а е показан разрез на плоскостен диод (такава конструкция имат напр. силициевият диод Д226Б и германиевият Д7Ж, а също и КД1-100÷106). Тук анодът е пластинка, запоена за N-кристала, а той е запоен за металния корпус за по-добро охлаждане.

Основно свойство на плоскостните диоди е също така еднопосочната им проводимост. Те обаче са предназначени за *изправяне на значителни токове и напрежения*. Това от своя страна води до нагряване по време на работа. Затова мощните диоди обезателно се закрепват към радиатори. На фиг. 17.5б и в мощен са показани българският мощен германиев диод SFR135 и съветският силициев диод Д246, които имат специален винт за закрепване към радиатор.

Основните параметри на плоскостните диоди са следните:

1. Максимален ток в права посока. Това е най-големият изправен ток през диода. На практика при различните диоди този ток е от 0,1 до 10А и повече. Ако се превиши указваният ток (напр. късо съединение за момент), диодът се поврежда. Добре е да се запомни, че когато през диода протича

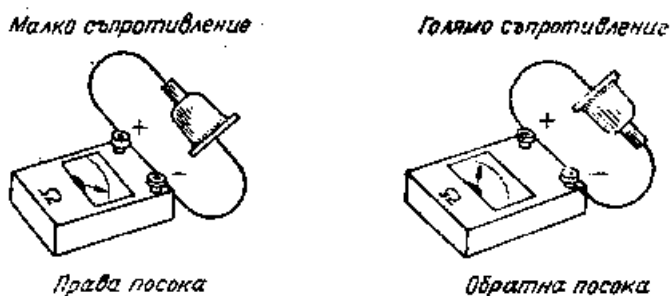


Фиг. 17.5

максимално допустимият ток, падът на напрежението в краищата на диода (германиев или силициев) е около 1V.

2. Максимално обратно напрежение. Това е най-голямото напрежение в обратна посока, при което диодът все още запазва вентилните си свойства. При превишаването му настъпва пробив и диодът излиза от строя.

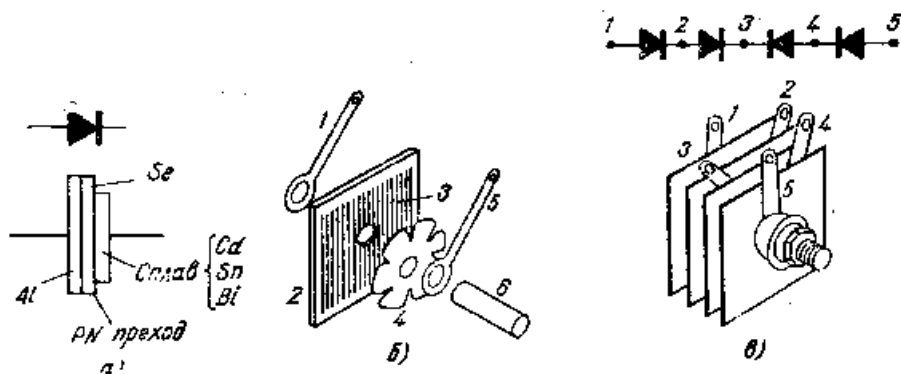
Годността на плоскостните диоди се проверява с омметър. Както е показано на фиг. 17.6, в права посока тяхното съпротивление трябва да е малко (напр. 5–30 Ω), а в обратна — голямо (напр. над 50 kΩ за германиевите и над 200 kΩ за силициевите).



Фиг. 17.6

17.4. Селенови изправители

Това са плоскостни диоди, в които също има PN преход. Обикновено представляват стълбове или пакети, които съдържат *определен брой* клетки. Всяка клетка се състои от алуминиева плочка, върху която първо е нанесен селен, а след това и специална сплав. По време на обработката между селена и сплавта се образува PN преход (фиг. 17.7а). Една такава клетка в разглобен вид е показана на фиг. 17.7 б, като изводът 1 контактува към алуминиевата плочка 2 (анода), а изводът 5 посредством шайбата 4 контактува към сплавта 3 (катода). В изоляционната тръба 6 влиза винът, с който се стяга целият стълб. На фиг. 17.7в е показан селенов стълб, предназначен за токоизправител по мостова схема (Грец), като над него са начертани дио-



Фиг. 17.7

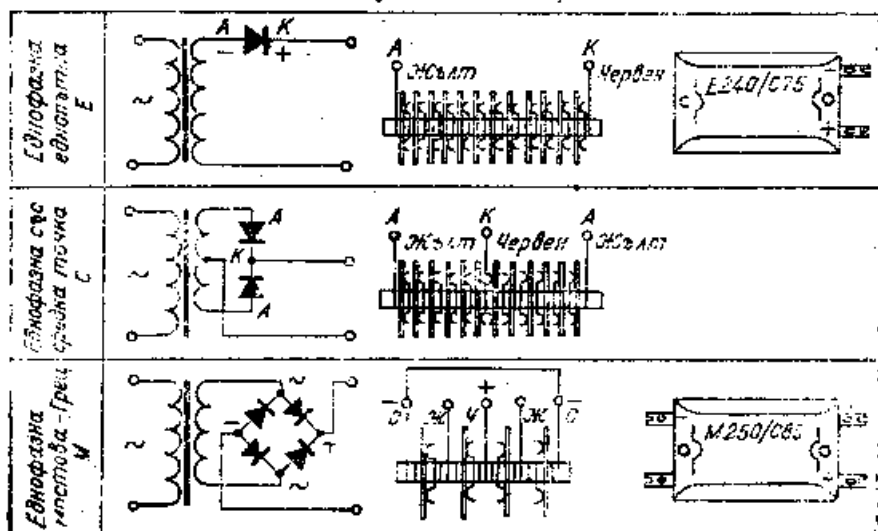
дите и съответно техните изводи. Виждаме, че в този случай диодите са свързани два по два един срещу друг.

Параметрите на една селенова клетка са следните:

1. Максимален ток в права посока. Той зависи от площта на клетката,

като на 1 cm^2 се допуска най-много 50 mA . Например клетка с площ $6 \times 6 \text{ cm} = 36 \text{ cm}^2$ допуска максимален ток със сила $1800 \text{ mA} = 1,8 \text{ A}$.

2. Максимално обратно напрежение. То не зависи от площта на клетката и е най-често около 20 V (амплитудна стойност).



Фиг. 17.8

При образуване на стълбове токът през отделните клетки е един и същ а обратното напрежение, което целият стълб може да издържи, е равно на сумата от напреженията на отделните клетки. Например, ако даден стълб се състои от 15 клетки, всяка една с площ 4 cm^2 , максималният му ток ще бъде 200 mA , а максималното му обратно напрежение — $15 \times 20 = 300 \text{ V}$.

Селеновите клетки, стълбове и пакети се използват най-често в токовправителите. Сравнени с германиевите и силициевите диоди, те имат по-проста производствена технология. Освен това те *търпят претоварване* (за разлика от германиевите и силициевите диоди, които при късо съединение веднага излизат от строя) и затова още се използват широко.

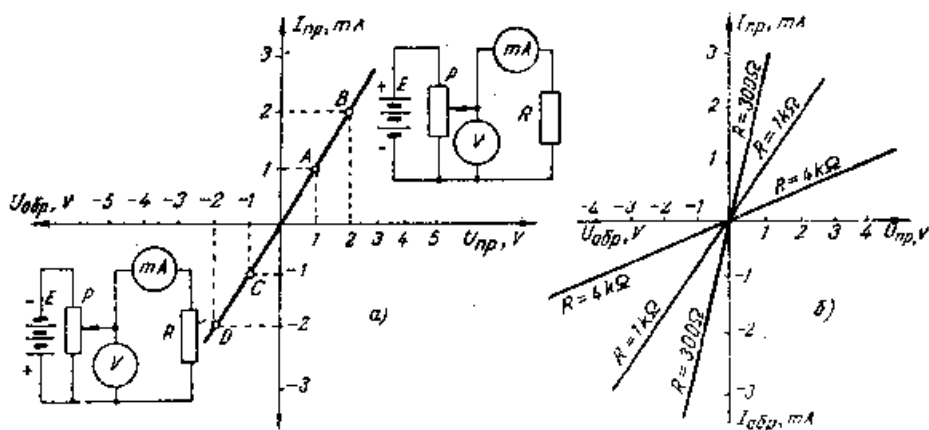
На фиг. 17.8 в средата са показани селенови стълбове, предназначени за различните изправителни схеми, дадени вляво. В дясната част на фигурата са показани и два селенови пакета. Означението E240/C75 означава: еднопътна схема, 240 V променливо напрежение, капацитивен товар, максимален ток 75 mA ; M35C1800 означава: мостова схема, 35 V променливо напрежение, капацитивен товар, максимален ток 1800 mA .

17.5. Волтамперни характеристики на полупроводниковите диоди

Вече знаем, че в права посока диодите пропускат електрически ток, а в обратна — не пропускат. Но в радиоелектрониката се работи с конкретни величини и стойности и затова възниква въпросът: колко е съпротивлението на диода в права и обратна посока?

За да отговорим на този въпрос, трябва да се запознаем с понятието **волтамперна характеристика**. В радиоелектрониката всички елементи, които

имат два извода, се наричат *двуполусници*. Свойствата на всеки двуполусник се виждат най-добре именно от неговата волтамперна характеристика. Тя изразява графично зависимостта на протичащия ток от приложеното напрежение в едната и в другата посока.



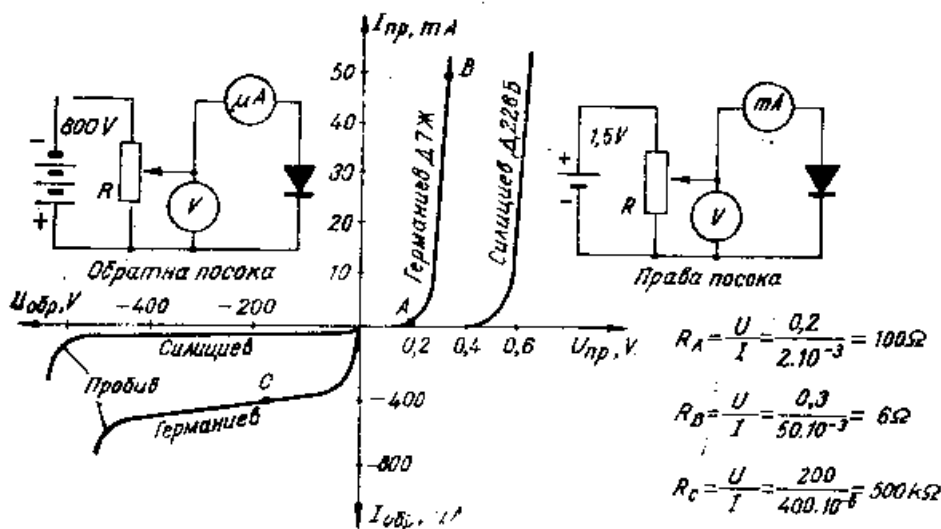
Фиг. 17.9

На фиг. 17.9 а е показана волтамперна характеристика на един резистор. Тя е права линия, затова резисторите се наричат още *линейни съпротивления*. Характеристиката е начертана в I и III квадрант, като там са посочени и съответните схеми на свързване, съдържащи токочточник E , потенциометър P , волтметър и милиамперметър. Тя е начертана по следния начин. Например, ако $R=1\text{ k}\Omega$, при $U=1\text{ V}$ токът през резистора е $I=1\text{ mA}$ и така получаваме точката А. Ако с потенциометъра увеличим напрежението на 2 V , токът през резистора ще нарасне на 2 mA , т. е. получаваме точката В. Ако сега разменим полюсите на токочточника, токът и напрежението ще имат обратна посока, т. е. те са отрицателни, и ще начертаям характеристиката на резистора в III квадрант. Като използваме схемата, дадена в този квадрант (вж. фиг. 17.9 а), лесно се установява, че при напрежение $U=-1\text{ V}$ токът през резистора е $I=-1\text{ mA}$, т. е. получаваме точката С, а при напрежение $U=-2\text{ V}$ токът е $I=-2\text{ mA}$, т. е. получаваме точката D. По този начин може да се построят още много точки. Ако съединим тези точки, ще получим волтамперната характеристика на дадения резистор. Тя се характеризира с това, че в коя да е точка отношението между напрежение и ток (а това по закона на Ом е съпротивлението) е едно и също. Или все едно: съпротивлението на резистора не зависи от приложеното напрежение или протичащия ток.

На фиг. 17.9 б са показани волтамперните характеристики на няколко резистора. Виждаме, че *резисторите с по-малка стойност имат по-стръмки волтамперни характеристики*.

По съвсем същия начин може да се снимат волтамперните характеристики на полупроводникови диоди. Това е направено на фиг. 17.10 за двата плоскостени диода Д7Ж и Д226Б. (Обръщаме внимание, че мащабите на напреженията и токовете в права и обратна посока са различни.) От фигурата се вижда, че волтамперните характеристики не са прави линии и затова се казва, че *диодите са нелинейни елементи*.

Най-важната особеност на всички нелинейни елементи е тази, че тяхното съпротивление не е определено, а зависи от приложеното напрежение (или протичащия ток). Затова при тях е правилно да се говори не за съпротивление изобщо, а за съпротивление в определена работна точка. Това е показано на фиг. 17.10 за диода Д7Ж, като в точка А съпротивлението му е 100Ω , в точка В то е 6Ω , а в точка С — $500\text{ k}\Omega$.



Фиг. 17.10

17.6. Ценерови диоди

Тези диоди се използват не за изправяне на тока, а като стабилизатори на напрежението. Те се изготвят от силиций и затова се наричат още *силициеви стабилизатори* или *опорни диоди*. При тях също имаме PN преход, обаче в сравнение с другите диоди неговата широчина е малка. Ето защо, когато на диода се подаде напрежение в *обратна посока*, в прехода настъпва *електрически пробив*, който не поврежда диода (т. нар. ефект на Ценер). Именно в режим на този пробив при *най-малкото увеличаване на напрежението токът през диода нараства рязко*.

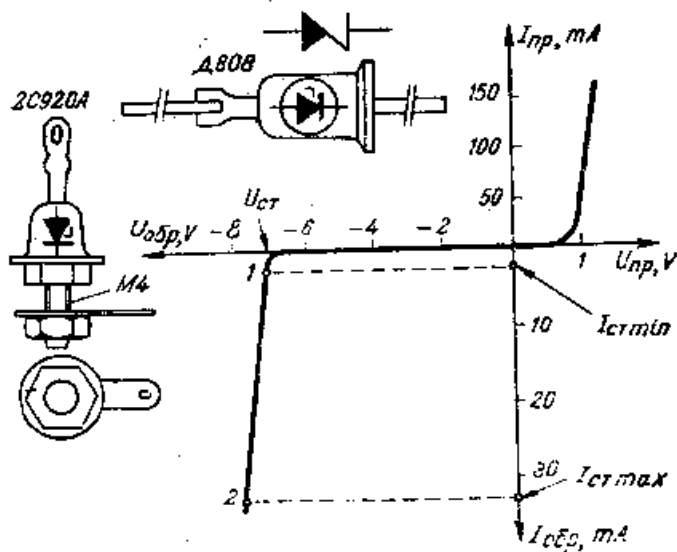
На фиг. 17.11 е даден външният вид на два ценерови диода заедно с тяхното схемно означение. (Диодът Д808 е маломощен, докато диодът 2С920А е средномощен и снабден с винт за закрепване към охлаждащ радиатор.) На същата фигура е начертана волтамперна характеристика на ценеровия диод Д808. При обратни напрежения, по-малки от 7V , ток през диода практически не тече. При напрежение 7V диодът се отпусква (т. 1) и през него започва да тече ток. При *малко увеличаване на напрежението токът рязко нараства*. Например при увеличаване на напрежението от 7 на $7,3\text{V}$ токът нараства от 3 на 33 mA , т. е. 11 пъти. Именно *областта от т. 1 до т. 2 е работният участък на ценеровия диод*.

Основните параметри на ценеровите диоди са:

1. **Напрежение на стабилизация $U_{ст}$.** Произвеждат се диоди с напрежение на стабилизация най-често от 6 до 12V , но има и диоди от $2\div 6\text{V}$ и от $12\div 300\text{V}$.

2. Минимален ток на стабилизация $I_{ст\min}$. Това е най-малкият ток, от който започва стабилизацията. Обикновено $I_{ст\min} = 4-5$ mA.

3. Максимален ток на стабилизация $I_{ст\max}$. Това е най-големият ток през диода, който по време на работа не бива да се надвишава, защото настъпва



Фиг. 17.11

недопустимо нагряване на диода. При маломощните диоди най-често $I_{ст\max} = 20-40$ mA.

Колкото участъкът 1—2 от волтамперната характеристика на един ценов диод е по-стръмна, толкова по-добре той стабилизира напрежението.

ЗАПОМНЕТЕ!

1. По своите свойства чистите полупроводници (германий, силиций, селен) се доближават до изолаторите. Чрез прибавяне на подходящи примеси от тях се получават P- и N-германий, P- и N-силиций и т. н., които имат добра електрическа проводимост.
2. Най-важното свойство на P- и N-полупроводниците е това, че при тяхното спояване се образува PN преход. Той има еднопосочна проводимост и лежи в основата на действието на диодите, транзисторите тиристорите и др.
3. Токовите диоди притежават PN преход с малка площ и имат еднопосочна проводимост. Те са маломощни прибори и се използват във вериги с висока честота или краткотрайни импулси (напр. детекторни стъпала, електронносметачни машини и др.).
4. Плоскостните диоди притежават PN преход със значителна площ и имат еднопосочна проводимост. Пропускат значителни токове в права посока и издържат големи напрежения в обратна. Използват се най-често в токоизправителите.
5. Селеновите клетки притежават PN преход с относително голяма площ и имат еднопосочна проводимост. От тях се правят стълбове и пакети, които се използват в токоизправителите.
6. Графичната зависимост на протичащия ток от приложеното напрежение се нарича волтамперна характеристика на даден двуполусник. При обикновените резистори тя е права линия и затова те се наричат още линейни съпротивления. При всички диоди волтамперната характеристика не е права линия и затова те се наричат още нелинейни съпротивления.
7. Ценеровите диоди служат не като токоизправители, а за стабилизиране на напрежението. Основното им свойство е това, че през тях може да протича различно голям ток, а напрежението в краищата им практически остава постоянно.

Биполярни транзистори

18.1. Общи сведения

Транзисторите са най-важните полупроводникови прибори. Тяхната главна особеност е, че могат да усилват слаби електрически сигнали, като, разбира се, енергията е за сметка на токозахранващото устройство. Ето защо те се използват навред, където е необходимо усилването на сигнали — напр. в радиоприемниците, телевизорите, магнетофоните, електронните машини, автоматичните устройства и т. н.

Понастоящем съществуват най-различни видове транзистори. (В края на 1979 г. броят на различните видове и типове транзистори в целия свят е бил около 30 000.) Всички транзистори обаче могат да бъдат разделени на две големи групи: *биполярни и полєви*. Биполярните транзистори са по-разпространени и ние ще разгледаме главно техните свойства.

18.2. Видове биполярни транзистори

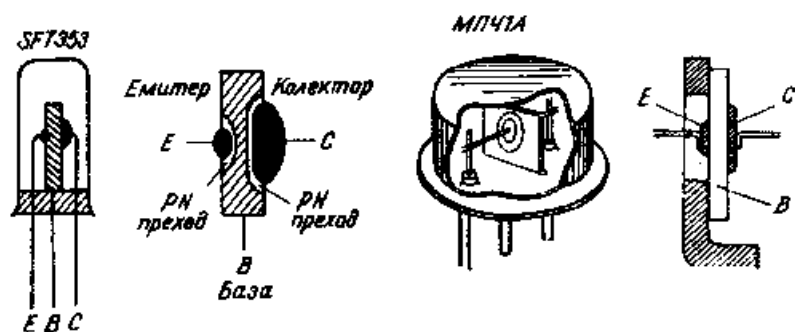
Биполярните транзистори могат да се класифицират по следния начин:

1. В зависимост от използвания полупроводник те биват *силициеви и германиеви*.
2. В зависимост от технологията на производство те биват *епитаксиално-планарни, сплавни, меза-транзистори, конверсионни* и др.
3. В зависимост от механизма на движението на токоносителите биват *дифузни и дрейфови*.
4. В зависимост от мощността на разсейване биват *маломощни* (до 0,3W), *средномощни* (от 0,3 до 3W) и *мощни* (над 3W).
5. В зависимост от граничната им честота биват *нискочестотни* (до 3MHz), *средночестотни* (от 3 до 30 MHz), *високочестотни* (от 30 до 300 MHz) и *сверх-високочестотни* (над 300 MHz).

18.3. Устройство на биполярните транзистори

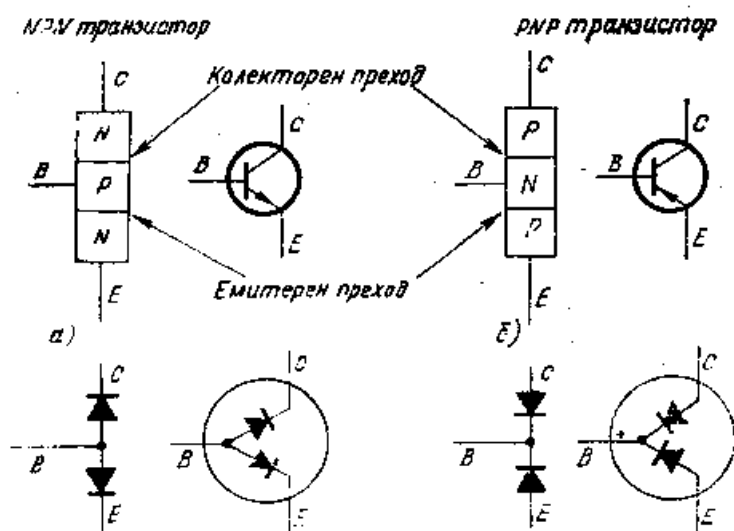
Ако проявим любознателност и разрежем металния корпус на един транзистор, вероятно ще бъдем разочаровани от неговото просто устройство. Както е показано на фиг. 18.1, основната част на транзистора представлява малко кристалче, наречено *база (B)*, към което са направени две спойки, наречени *емитер (E)* и *колектор (C)*. При направата на тези спойки между емитера и базата и между колектора и базата са образувани два P-N прехо-

да. Това се постига, като проводимостта на емитера и колектора се избира противоположна на тази на базата. Твърде важно е да се запомни, че площта на колекторния преход е по-голяма от площта на емитерния и освен това двата прехода се намират твърде близко един до друг, т. е. базата е много тънка — напр. 1—20 μm .



Фиг. 18.1

В зависимост от проводимостта на емитера, базата и колектора са възможни два типа транзистори: NPN и PNP. Това е показано на фиг. 18.2 заедно с тяхното означение в схемите. Тези два основни типа транзистори имат един и същ принцип на действие и еднакви усилвателни качества, обаче се различават по полярността на захранващите вериги.

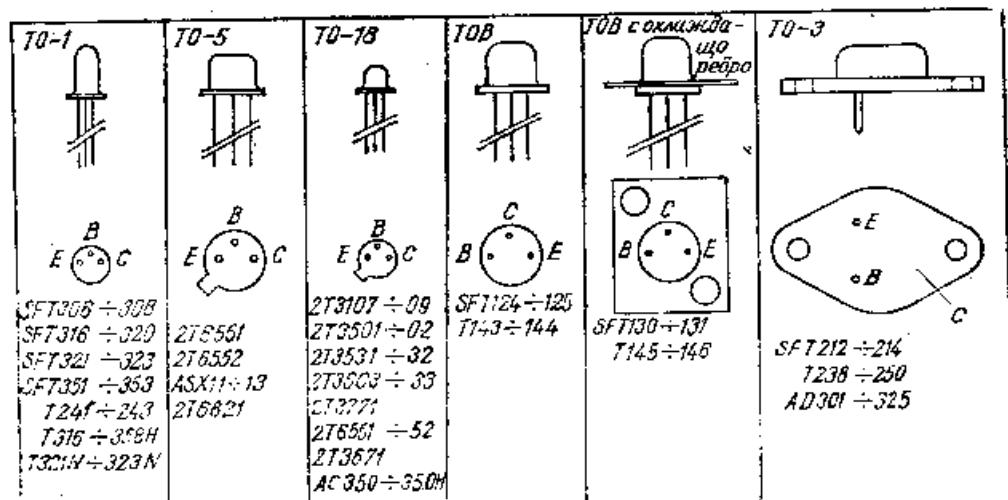


Фиг. 18.2

Понеже всеки PN преход по същество е един диод, на горната фигура транзисторът е представен като съвкупност от два диода. И наистина веригите база—емитер и база—колектор, взети поотделно, имат еднопосочна проводимост. Обаче ако вземем два диода и ги свържем така, както е пока-

зано на фиг. 18.2, няма да получим усилвателен прибор. Разликата е в това, че при транзистора *двата прехода са разположени твърде близко един до друг и си взаимодействуват*. Това взаимодействие се нарича още *транзисторен ефект* и на него се дължат усилвателните свойства на биполярния транзистор.

Български транзистори



Фиг. 18.3

За предпазване от външни влияния транзисторите са херметически затворени в метални или пластмасови корпуси, а на фиг. 18.3 са показани корпусите на българските транзистори. Корпусът на средномощните транзистори SFT130—131 и T145—146 е с охлаждащо ребро. При мощните транзистори SFT212—214 и др. колекторът няма извод, а е свързан с корпуса. Двата отвора служат за монтиране на транзистора към специален охлаждащ радиатор.

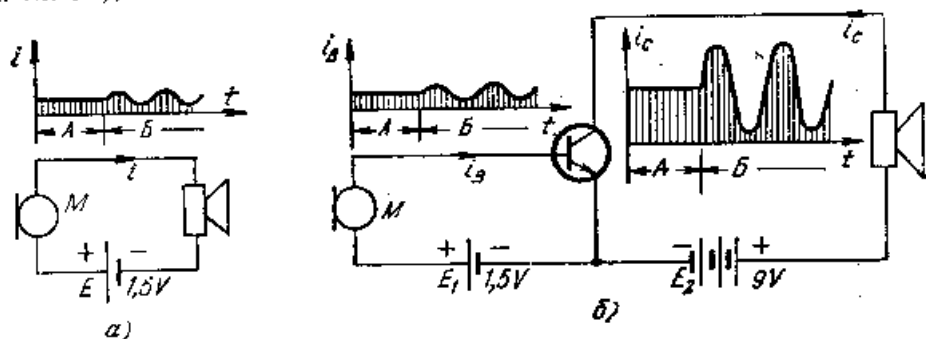
18.4. Как усилва биполярният транзистор

За да разберем как усилва транзисторът, нека разгледаме фиг. 18.4 а, където е показана верига, съдържаща микрофон, батерия и високоговорител. Нека поставим микрофона и високоговорителя на известно разстояние — напр. в две отделни стаи. Ако пред микрофона не се издава звук, във веригата ще протича *само постоянен ток* и във високоговорителя няма да се чува звук (участък А).

Когато пред микрофона се издава звук, токът във веригата ще съдържа не само постоянна, но и *променлива съставна* (участък В) и във високоговорителя ще се чува слаб звук.

При използването на транзистор този звук може да бъде усилен. Това е показано на фиг. 18.4 б, като са използвани две захранващи батерии. Ако направим съответните измервания, ще видим, че *токът и напрежението на изхода на транзистора са значително по-големи от тока и напрежението, действащи на входа*.

Най-важната особеност на всеки усилвателен елемент е тази, че *мощността, получена на изхода (напр. в товара), е по-голяма от мощността, подадена на входа*. И понеже мощността е произведение от ток по напрежение (вж. гл. IV), възможни са следните варианти на усилватели:



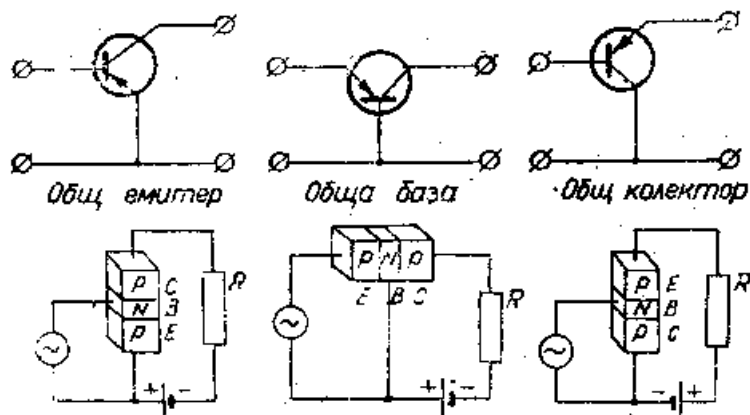
Фиг. 18.4

1. Схемата усилва по напрежение и по ток. При транзисторните усилватели това е най-желаният случай.

2. Схемата усилва само по напрежение, като токът на изхода и входа е почти един и същ.

3. Схемата усилва само по ток, като напрежението на изхода и входа е почти едно и също.

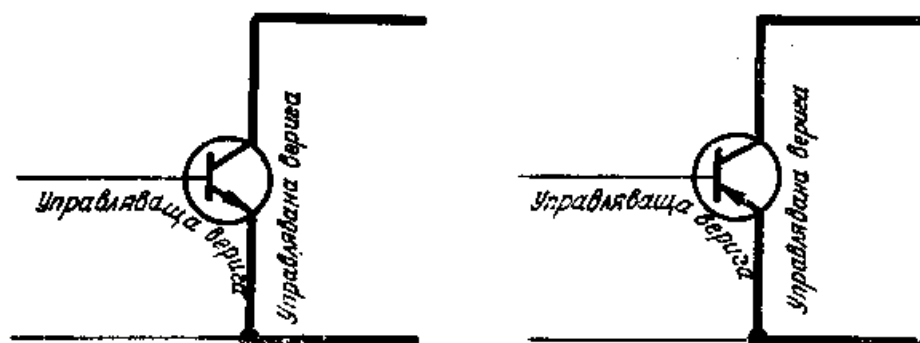
Биполярният транзистор проявява усилвателни свойства при три схеми на включване: *общ емитер (ОЕ), обща база (ОБ) и общ колектор (ОК)*. Въз връзка с това младите радиолюбители често задават въпроса: защо трябва да използваме и трите схеми на свързване? Не е ли по-правилно да изучаваме само схемата, която усилва най-много, като останалите две ги оставим?



Фиг. 18.5

Качествата на всеки усилвател зависят не само от това, колко пъти усилва той, но и от неговото входно и изходно съпротивление. Дори в редния случай тези съпротивления са по-важни от коефициента на усилване. Ето защо в практиката се използват и трите основни схеми на свързване (ОЕ, ОБ, ОК), като всяка от тях има свои предимства и недостатъци.

При схема *ОЕ* входният сигнал действа между базата и емитера, а товарът е включен между колектора и емитера (фиг. 18.5). Тази схема усилва и по напрежение, и по ток и се използва в практиката най-често. Нейното входно и изходно съпротивление са средно големи.

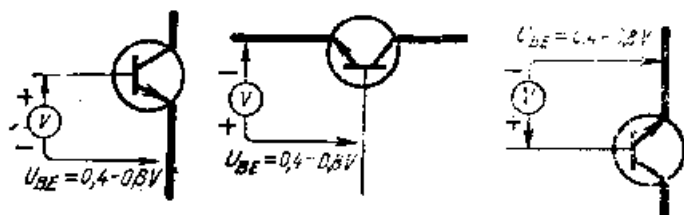


Фиг. 18.6

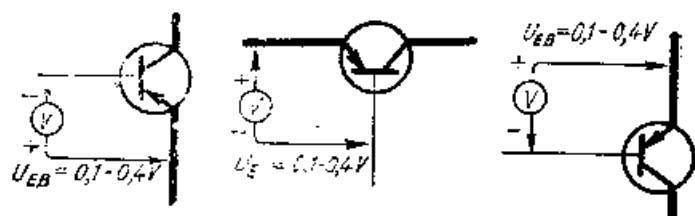
При схема *ОБ* входният сигнал действа между емитера и базата, а товарът е включен между колектора и базата (фиг. 18.5). Тази схема усилва само по напрежение. Нейното входно съпротивление е малко, а изходното е голямо.

При схема *ОК* (тя се нарича още емитерен повторител) входният сигнал действа в управляващия преход емитер—база, като преминава през товара,

NPN силициеви транзистори



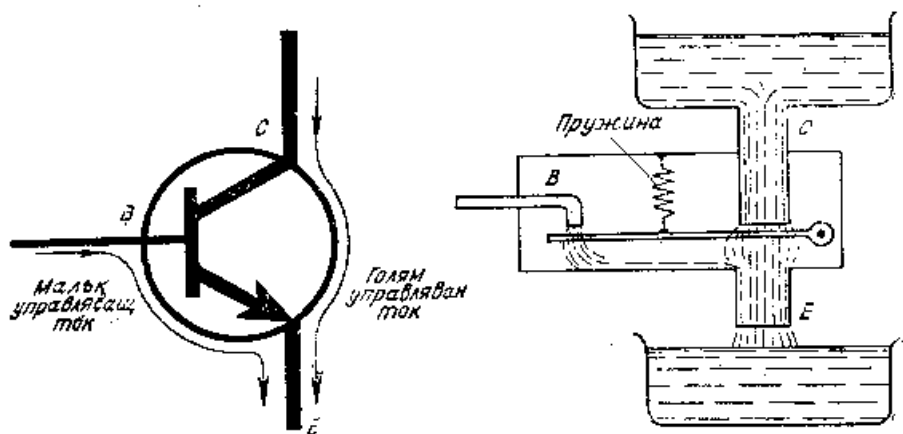
PNP германиеви транзистори



Фиг. 18.7

а самият товар се намира между емитера и колектора (фиг. 18.5). Тази схема усилва само по ток. Нейното входно съпротивление е голямо, а изходното — малко.

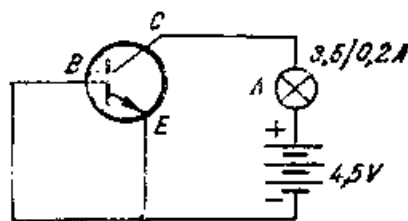
Искаме да обърнем внимание върху нещо важно: независимо от схемата на включване (*ОЕ, ОБ, ОК*) управляващият преход в транзистора е емитерният, а управляваната верига, чието съпротивление се изменя, е емитер—колектор (на фиг. 18.6 тази верига е начертана дебело). При това полярност-



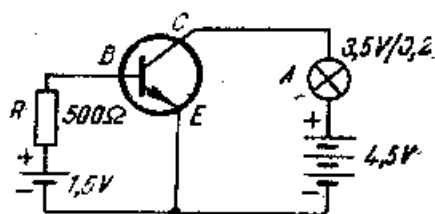
Фиг. 18.8

та на захранващите токоизточници е такава, че емитерният преход е включен винаги в прави посока и колекторният — в обратна. Ето защо при всички схеми (*ОЕ, ОБ, ОК*) напреженията, които действуват в управляващия участък, са малки — напр. $0,1 \div 0,4V$ при германевни и $0,4 \div 0,8V$ при силициевни транзистори (фиг. 18.7), докато напреженията колектор — емитер могат да бъдат значителни — напр. $6 \div 24V$.

Друга важна особеност на транзистора е, че базовият ток е многократно по-малък от емитерния и колекторния ток (последните два са практически еднакви). По такъв начин основното свойство на транзистора може да се формулира така: малкият базов ток управлява далеч по-големия колекторен ток. Тази особеност е показана на фиг. 18.8, където е направена аналогия между транзистора и едно водно-механическо устройство. И наистина мал-



Лампата не свети
Транзисторът запушен



Лампата свети
Транзисторът отпушен

Фиг. 18.9

ката водна струя през трибата *В* управлява голямата водна струя през тръбите *С* и *Е*. При това струята *Е* е равна на сумата от струята *В* и струята *С*.

В импулсната техника транзисторът се използва най-често като ключ. При този случай той е или запушен (съпротивлението колектор — емитер е

голямо), или *отпушен* (съпротивлението колектор — емитер е малко). Това запушване и отпушване се постига чрез съответно спиране и пропускане на базовия ток. Подобен опит, който можем да направим лесно, е показан на фиг. 18.9. В първия случай базовият и колекторният ток са нулеви, а във втория случай $I_B = 2-3 \text{ mA}$, а $I_C = 200 \text{ mA}$. Следователно и тук чрез малък базов ток може да управляваме значителен ток в колекторната верига.

ЗАПОМНЕТЕ!

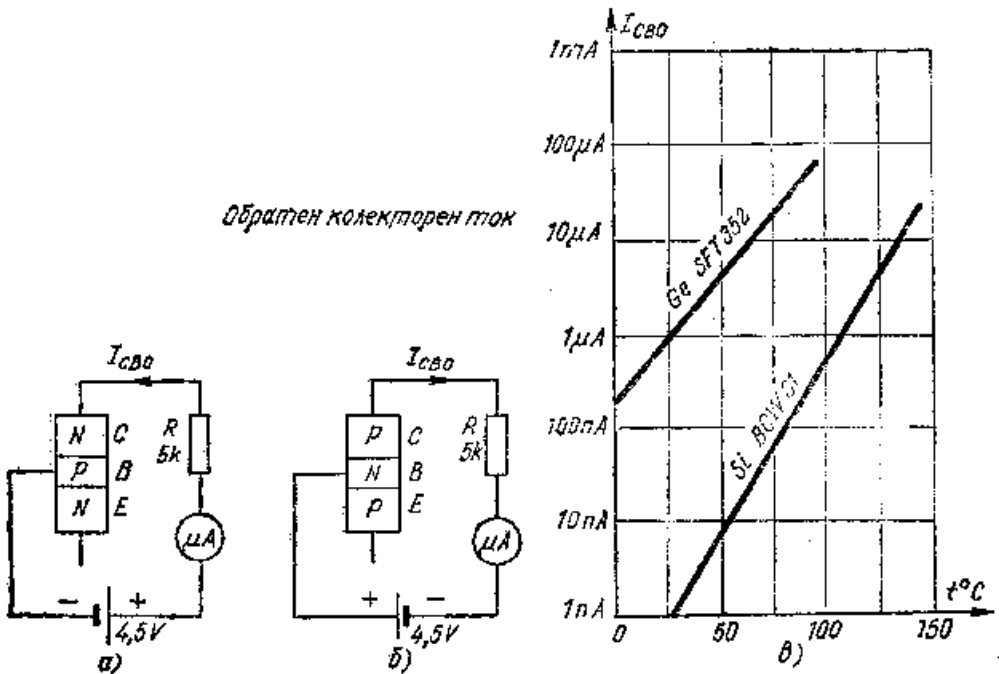
1. С помощта на транзисторите може да се усилят слаби електрически сигнали, като, разбира се, енергията е за сметка на токозахранващото устройство.
2. Във всеки биполярен транзистор има три полупроводникови области, разделени с два PN прехода. В зависимост от проводимостта на тези области различаваме PNP и NPN транзистори. Те имат еднакъв принцип на действие, но се различават по полярността на захранването.
3. Едно устройство притежава усилвателни свойства, ако мощността, получена в изхода, е по-голяма от мощността, подадена на входа. Биполярният транзистор притежава усилвателни свойства при три схеми на свързване: общ емитер (*OE*), обща база (*OB*) и общ колектор (*OK*).
4. В практиката най-често се използва схемата *OE*. При нея малкият базов ток управлява далеч по-големия колекторен ток.
5. В импулсната техника транзисторът се използва най-често като ключ. В този случай колекторната верига се намира в две състояния: или запушено, или отпушено.

Особености на биполярните транзистори

19.1. Обратен колекторен ток

Когато колекторният преход е свързан в обратна посока, а емитерът е свободен (фиг. 19.1 а, б), във веригата протича т. нар. *обратен колекторен ток* I_{CBO} (индексът *CBO* се разшифрова така: ток между колектора и базата при отворен емитер). Този ток е твърде малък, обаче е *важен параметър* на биполярните транзистори и се дава в справочниците. При маломощните германиеви транзистори той е $1 \pm 30 \mu A$, при силициевите е под $1 \mu A$, а при мощните германиеви транзистори той достига $50-100 \mu A$.

Обратният колекторен ток е твърде малък, обаче на него се обръща голямо внимание, защото с *повишаване на температурата на прехода* (по време на работа всеки транзистор се загарява) обратният колекторен ток *силно нараства*, като средно на всеки 10° удвоява стойността си (фиг. 19.1в).



Фиг. 19.1

Например, ако при $t=20^{\circ}\text{C}$ даден транзистор има $I_{\text{сво}}=10\ \mu\text{A}$, от табл. 19.1 се вижда, че при $t=70^{\circ}\text{C}$ този ток е нараснал на $320\ \mu\text{A}$. Но голямата „беда“ идва не толкова от нарасналата му стойност, колкото от факта, че при различните усилвателни схеми една част от този ток *преминава през управляващия емитерен преход* на транзистора и това води до *силно нарастване* и на *колекторния ток*.

Таблица 19.1

t, C	20	30	40	50	60	70
$I_{\text{сво}}, \mu\text{A}$	10	20	40	80	160	320

19.2. Температурна нестабилност

Когато се говори за недостатъци на транзисторната апаратура, на първо място се споменава за температурната нестабилност на транзисторите. Както вече видяхме, главният „виновник“ за това е обратният колекторен ток.

Температурната нестабилност е нежелателно явление, защото *температурата променя редица основни параметри на усилвателните стъпала*, като коефициент на усилване, входно и изходно съпротивление, изкривявания, честота и автогенерациите и т. н. И понеже обратният колекторен ток на всеки транзистор е строго определен (зависи само от конструкцията му), добрата стабилност се постига по следните начини:

1. Използване на транзистори с възможно по-малък $I_{\text{сво}}$. В това отношение силициевите транзистори превъзхождат германиевите и това е една от причините за голямото им разпространение напоследък.

2. Използване на схеми, в които колкото е възможно по-малка част от $I_{\text{сво}}$ да преминава през управляващия преход, а по-голямата му част да се отклонява през външни вериги.

3. Използване на допълнителни средства (напр. отрицателна обратна връзка, балансни схеми и др.), които подобряват температурната стабилност.

19.3. Коефициент на усилване β

Както вече се спомена, схемата ОЕ е добър усилвател на ток. Това може да се установи чрез свързването, показано на фиг. 19.2. Тук чрез променливия токоизточник E_1 (напр. регулируем токоизправител) можем да подаваме различен базов ток и да отчитаме съответния колекторен ток. Опитите с различни транзистори показват, че колекторният ток е винаги многократно по-голям от базовия.

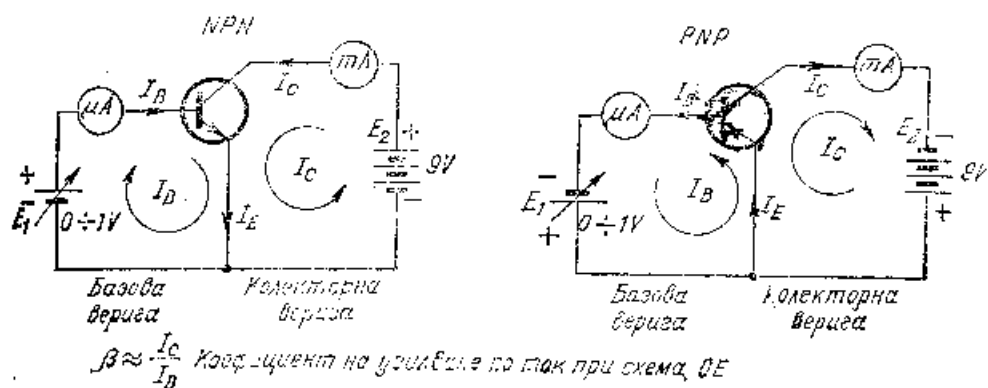
Числото, което показва колко пъти колекторният ток е по-голям от базовия се бележи с β (или h_{21e}) и се нарича коефициент на усилване по ток при схема ОЕ. Следователно можем да напишем

$$\beta \approx \frac{I_C}{I_B}$$

(Тук равенството е приблизително, понеже на са взети под внимание относително малките неуправляеми токове.) Коефициентът β е основен пара-

метър на транзисторите и се дава в справочниците. При различните видове транзистори най-често $\beta = 30-300$, но има и такива, при които β достига до 1000.

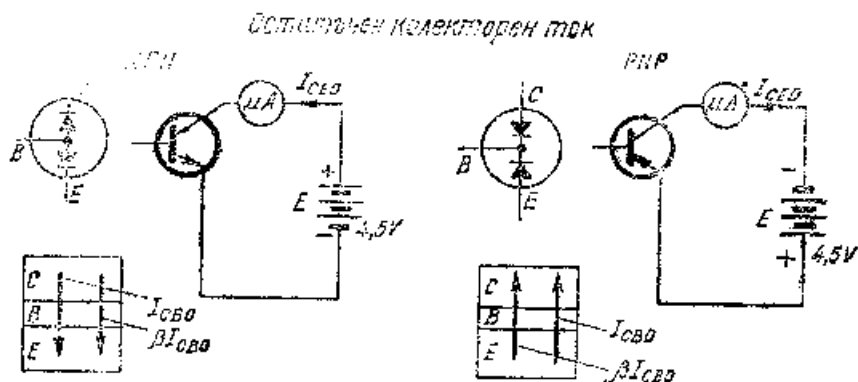
Въз основа на казаното основното свойство на биполярния транзистор може да се формулира така: всеки ток, преминал през управляващия емитерен преход, поражда β -пъти по-голям колекторен ток.



Фиг. 19.2

19.4. Неуправляеми токове в транзистора

На фиг. 19.3 е показана схема, при която базата не е свързана с нищо (режим плаваща база). В този случай във веригата протича т. нар. *остатъчен ток* I_{CBO} (тук индексът CBO означава ток колектор — емитер при отворена база). Ако се изхожда от представянето на транзистора като два насрещно свързани диода, трябва да се очаква, че в този случай единият диод ще пропусне тока, а другият ще го спира (фиг. 19.3). В резултат на това токът във веригата би трябвало да е равен на обратния ток I_{CBO} . Опитите обаче показ-



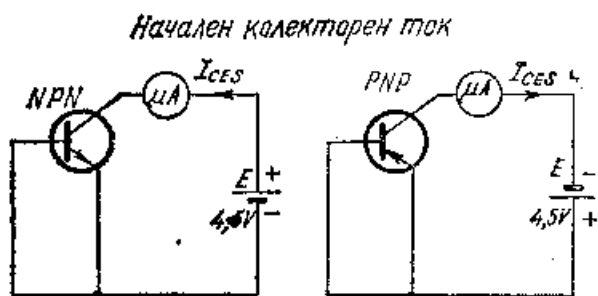
Фиг. 19.3

ват, че токът, който протича, е далеч по-голям, като при мощните германиеви транзистори с голямо β той е сравнително най-голям.

Причината за това е *усилвателното свойство на транзистора, обусловено от взаимодействието на двата близко разположени прехода*. При това

свързване обратният ток I_{CBO} преминава през управляващия преход и съгласно усилвателното свойство на транзистора поражда β пъти по-голям колекторен ток, т. е. към I_{CBO} се добавя токът βI_{CBO} (фиг. 19.3). По такъв начин на колекторния ток в режим плаваща база може да напишем

$$I_{CEO} = I_{CBO} + \beta I_{CBO} = (\beta + 1) I_{CBO} \quad (19.2)$$



Фиг. 19.4

има $I_{CBO} = 100 \mu\text{A}$ и $\beta = 100$, поради което токът в режим плаваща база е $I_{CEO} = 10 \text{mA}$. Ако един такъв транзистор се остави под напрежение в режим плаваща база (особено ако колекторното напрежение е значително — напр. в крайните стъпала), ще започне загряване на колекторния преход, което ще породви увеличаване на I_{CBO} . От това съответно ще нараства I_{CEO} и още повече ще загрява прехода и т. н., като този *само нарастващ ток* може да прегрее транзистора и да го повреди. Затова *режимът плаваща база, особено при германиеви транзистори, не се препоръчва в практиката.*

Друг неуправляем ток в транзистора се получава, когато емитерът и базата са свързани накъсо (фиг. 19.4). Този ток се бележи с I_{CES} и се нарича *начален колекторен ток* (тук индексът CES означава ток между колектор и емитер при свързани накъсо база и емитер). По-големината той е относително малък и може да се намери по формулата

$$I_{CES} \approx (2 \div 5) I_{CBO} \quad (19.3)$$

Опитите показват, че маломощните германиеви транзистори имат $I_{CES} = 1 \div 50 \mu\text{A}$, а при силициевите той е под $1 \mu\text{A}$. Този слаб ток дава основание да се казва, че при свързването, показано на фиг. 19.4, веригата колектор — емитер на транзистора е запушена.

19.5. Коефициент на усилване α

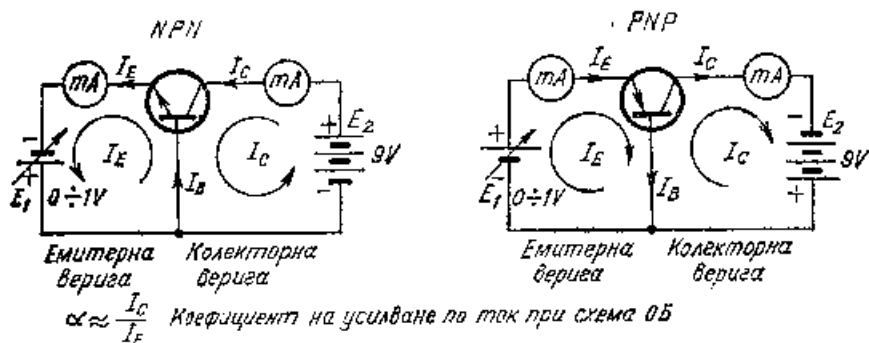
Свойствата на схемата ОБ могат да бъдат изследвани чрез свързването, показано на фиг. 19.3. *Числото, което показва колко пъти колекторният ток е по-голям от емитерния, се бележи с α (или h_{21b}) и се нарича коефициент на усилване по ток при схема ОБ.* Следователно може да напишем

$$\alpha \approx \frac{I_C}{I_E} \quad (19.4)$$

(Тук равенството е също приблизително, понеже е пренебрегнат относително малкият ток I_{CBO} .) Опитите с различни транзистори показват, че *колекторният ток е винаги по-малък от емитерния* и затова коефициентът α е *винаги по-малък от единица*. Този коефициент е параметър на транзисторите и понякога се дава в справочниците. Обикновено $\alpha = 0,950 - 0,998$.

Въз основа на горното може да възникне въпросът, има ли полза от такава схема, след като токът на изхода е по-малък от тока на входа?

Наистина тук токът, вместо да се усилва, слабо намалява, обаче схемата ОБ е добър усилвател на напрежение. Освен това тя има много добри че-



Фиг. 19.5

ствени свойства и добра температурна стабилност. Затова тя често се използва при усилване на високни честоти.

Коефициентите α и β на всеки транзистор са свързани помежду си. Когато знаем единия от тях, можем лесно да намерим другия с помощта на номограмата, дадена на фиг. 19.6.

19.6. Полярност на захранващите напрежения

Понеже имаме два основни типа транзистори (NPN и PNP), при схемите ОБ и ОБ трябва да се запомни полярността на 8 захранващи токоизточника (вж. фиг. 19.2 и 19.5). Това става лесно, ако се вземе под внимание самото означение на транзистора. И наистина емитерната стрелка в кръчето означава, че при NPN транзисторите емитерният ток (имат се пред вид постоянните съставни) е „излизащ“, а останалите два „влизащи“; при PNP транзисторите емитерният ток е „влизащ“, а останалите два са „излизащи“. На посоките на тези токове съответствува и полярността на захранващите напрежения. Във връзка с това, ако към транзистора приложим първия закон на Кирхоф, ще получим

$$I_E = I_B + I_C \quad (19.5)$$

Тази формула е в сила и при трите схеми на включване (ОЕ, ОБ и ОК), като трябва да се помни, че емитерният и колекторният ток са почти еднакво големи, докато базовият е многократно (β пъти) по-малък.

19.7. Основни параметри на биполярния транзистор

Най-важните параметри, които характеризират свойствата на транзистора и се дават в справочниците, са следните:

1. Вид на материала (Ge или Si).

β	α
1000	0.9999
800	
600	0.999
500	0.998
400	
300	0.997
	0.996
200	0.995
150	
100	0.99
80	
60	
50	0.98
40	
30	0.97
	0.96
20	0.95
15	
10	
8	0.9
6	
5	0.85
4	0.8
3	
2	0.7
	0.6
	0.5

Фиг. 19.6

2. Вид на проводимостта (NPN или PNP).
3. Статичен коефициент на усилване по ток β при схема ОЕ (вж. по-горе).
4. Статичен коефициент на усилване по ток α при схема ОБ (вж. по-горе).
5. Обратен колекторен ток I_{CBO} (вж. по-горе).
6. Максимално допустимо колекторно напрежение U_{CEmax} . Това е най-голямото напрежение между колектора и базата в обратна посока, което може да издържи колекторният преход продължително време при отворен емитер, без да настъпи пробив.
7. Максимално допустимо колекторно напрежение U_{CEmax} . Това е най-голямото напрежение между колектора и емитера, което може да издържи транзисторът при условие, че базата е свързана с определено съпротивление с емитера. За даден транзистор напрежението U_{CEmax} е винаги по-малко или равно на U_{CEmax} .
8. Максимална мощност, разсейвана от колектора P_{Cmax} . Това е най-голямата мощност, която транзисторът може да разсее в околното пространство във вид на топлина при максималното допустимо загряване (70°C за германиевите и 150°C за силициевите). За мощни транзистори това важи при употреба на съответен радиатор. Обръщаме внимание, че подаваната към транзистора електрическа мощност $P = U_C I_C$ в никакъв случай не бива да надвишава максималната мощност P_{Cmax} , която той може да разсее.
9. Максимално допустим колекторен ток I_{Cmax} . Това е най-големият колекторен ток, който не бива да се превъзвеша при каквото и да са условия на експлоатация.
10. Гранична честота на коефициента на усилване по ток f_{α} . Честотата, при която коефициентът α намалява с 30% (3dB) спрямо стойността си при ниски честоти.
11. Гранична честота на коефициента на усилване по ток f_{β} . Това е честотата, при която коефициентът β намалява с 30% (3dB) спрямо стойността си при ниски честоти. За даден транзистор честотата f_{β} е около β пъти по-ниска от честотата f_{α} .
12. Преходна (транзитна) честота f_T . Това е честотата, при която коефициентът на усилване по ток β става равен на единица.
13. Коефициент на шума F_m . Той характеризира собствения шум на транзистора. Измерва се в децибела. Маломощните транзистори обикновено имат $F_m < 10 \text{ dB}$.

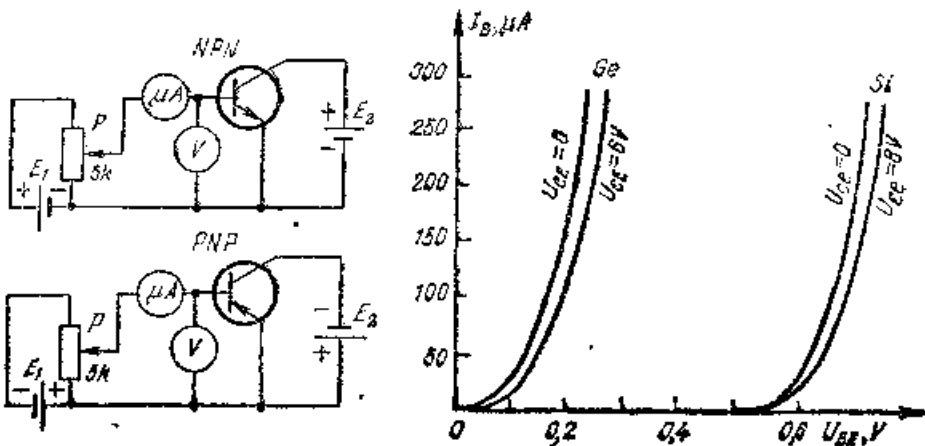
ЗАПОМНЕТЕ!

1. Обратният ток на колекторния преход е твърде малък, обаче много силно нараства при загряване на транзистора. Освен това при различните схеми една част от него минава през управляващия емитерен преход и предизвиква температурна нестабилност, която от своя страна води до изменение параметрите на схемата.
2. Обратният колекторен ток на силициевите транзистори е далеч по-малък от този на германиевите. В резултат на това устройствата, построени със силициевы транзистори, имат много добра температурна стабилност.
3. Статичният коефициент на усилване β е основен параметър на биполярните транзистори и се дава в справочниците. Той показва колко пъти колекторният ток е по-голям от базовия. При съвременните транзистори най-често $\beta = 20 - 300$. Колкото този коефициент е по-голям, толкова усилвателните свойства на транзистора са по-добри.
4. Когато транзисторът е под напрежение и базата му не е свързана с нищо (т. нар. плаваща база), токът във веригата е почти β -пъти по-голям от обратния колекторен ток. Важното в случая е това, че ток са налице условия за „самозагряване“ на транзистора, което може да доведе до повреда (особено при мощни германиеви транзистори).
5. Когато транзисторът е под напрежение и базата му е свързана с емитера, токът във веригата е твърде слаб и приблизително равен на обратния колекторен ток. Затова можем да считаме, че веригата колектор – емитер е запущена.

Графични характеристики на биполярния транзистор

20.1. Входни статични характеристики при схема ОЕ

При схема ОЕ входните характеристики изразяват зависимостта на базовия ток I_B от приложеното напрежение между базата и емитера U_{BE} (при определено U_{CE}). Обръщаме внимание, че редът на индексите съвпада с положителната посока на тока, поради което $U_{EB} = -U_{BE}$ и $U_{EC} = -U_{CE}$. За снемането на входните характеристики може да се използва свързването, дадено на фиг. 20.1, където с потенциометъра P се подават различни входни напрежения и се измерват протичащите входни токове. На същата фигура са показани как изглеждат входните характеристики на един германиев и един силициев транзистор. Виждаме, че те приличат на характеристиките на диодите, т. е. входните характеристики на транзисторите са нелинейни. При увеличаване на колектор-

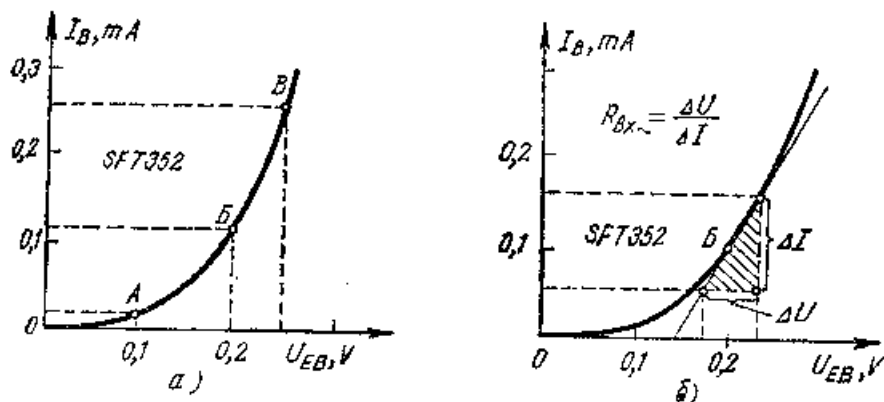


Фиг. 20.1

ното напрежение те се отместват съвсем слабо надясно, но в практиката това отместване не се взема под внимание. От фигурата се вижда още, че при схема ОЕ напрежението база — емитер при германиеви транзистори не надвишава 0,4V, а при силициевите — не надвишава 0,8V. При превишаване на тези входни напрежения токовете през транзисторите могат да станат недопустимо силни и да настъпи повреда.

20.2. За какво се използват входните статични характеристики

Понеже входната характеристика на транзистора е нелинейна, *входното му съпротивление не е точно определено*, а зависи от приложеното напрежение и протичащия ток. Това означава, че зависимостта на входния ток от входното напрежение се изразява не със закона на Ом, а посредством слож-



Фиг. 20.2

на формула, неудобна за практиката. Именно затова когато трябва да намерим при дадено входно напрежение какъв входен ток протича, си служи с входната характеристика на транзистора. Например от фиг. 20.2 *a* можем да отчетем, че ако при транзистора SFT352 (той има $\beta \approx 50$) напрежението емитер — база е 0,1V (точката *A*), базовият му ток ще е 20 μA , а колекторният му ток $I_C \approx \beta I_B = 50 \cdot 20 = 1000 \mu\text{A} = 1 \text{mA}$; при $U_{EB} = 0,2\text{V}$ (точката *B*) отчитаме базисен ток $I_B = 120 \mu\text{A}$, а колекторният ток ще бъде $I_C \approx \beta I_B = 50 \cdot 120 = 6000 \mu\text{A} = 6 \text{mA}$ и т. н. Същата характеристика може да се използва и обратнo: за да има този транзистор колекторен ток $I_C = 13 \text{mA}$, базовият му ток трябва да е $I_B \approx \frac{I_C}{\beta} = \frac{13}{50} = 0,26 \text{mA}$, а от характеристиката се отчита, че за целта напрежението емитер — база трябва да е $U_{EB} = 0,25 \text{V}$ (точката *B*).

От входната характеристика може да се намери *входното съпротивление на транзистора за постоянен и за променлив ток*. Нека поясним, че във всяка точка от волтамперната характеристика на един нелинейен елемент съществуват две съпротивления: *постояннотоково и променливотоково* (диференциално, динамично), които в общия случай не съвпадат едно с друго. Постояннотоковото съпротивление се отнася за постоянната съставна на сигнала, а променливотоковото — за променливата съставна на сигнала. Променливотоковото входно съпротивление е особено важно, защото въз основа на него става съгласуването (нагаждането) на отделните транзисторни състала.

При намиране на *постояннотоковото съпротивление* в дадена точка се използва законът на Ом: $R_{пк} = \frac{U}{I}$. Например *постояннотоковото входно съпротивление* на транзистора SFT352 в точката *A* (фиг. 20.2 *a*) е $R_A = \frac{U_A}{I_A} = \frac{0,1}{20 \cdot 10^{-3}} = 5 \text{k}\Omega$. По същия начин се намира, че в точката *B* то е 1600Ω , а в точката *B* — $1 \text{k}\Omega$.

За намиране променливотоковото съпротивление в дадена точка се използва т. нар. закон на Ом в диференциална форма: $R_{вх} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$, където

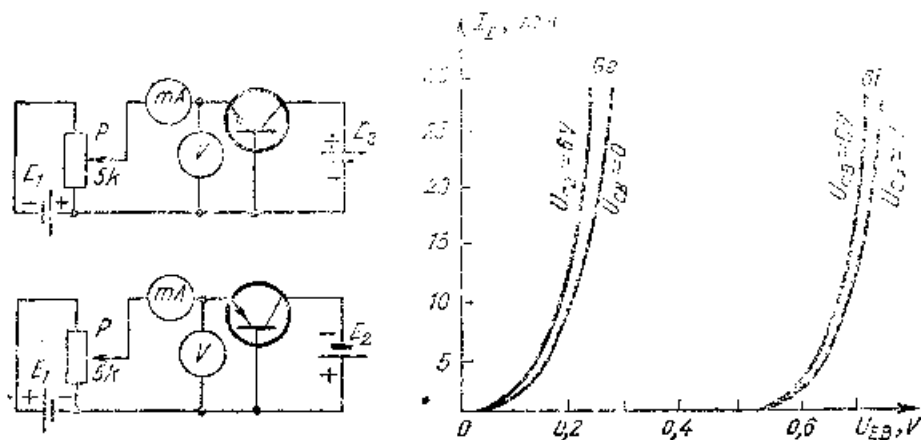
ΔU и ΔI означават малки нараствания на напрежението и тока около дадената точка. Например нека да намерим променливотоковото съпротивление на същия транзистор в същата точка B (фиг. 20.2 б). За целта даваме следните малки нараствания (запирхования триъгълник):

$\Delta U = 0,225 - 0,175 = 0,05V$, $\Delta I = 160 - 60 = 100 \mu A$. Тогава за променливотоковото съпротивление в точката B ще имаме $R_B = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{0,05}{100 \cdot 10^{-6}} = 500 \Omega$. (Напомниме, че постояннотоковото съпротивление на същия транзистор в същата точка беше 1600Ω .) Чрез подобни изчисления може да се намери, че променливотоковото съпротивление на същия транзистор в точка A е $4 k\Omega$, а в точката B — 400Ω .

В заключение можем да кажем, че входното съпротивление на транзистора по променлив ток зависи от избраната работна точка, като при голяма базов (респ. колекторен) ток то е по-малко. Както показва практиката, при схема OE то е най-често от 500Ω до $5 k\Omega$.

20.3. Входни статични характеристики при схема OB

В този случай входните характеристики изразяват зависимостта на емитерния ток I_E от приложеното напрежение U_{EB} между емитера и базата (при определено U_{CB}). За тяхното снемане може да се използва свързаното, дадено на фиг. 20.3. На същата фигура са показани входните характеристики на един германиев и един силициев транзистор. Виждаме, че те приличат на входните характеристики при схема OE , но има две съществени разлики. Първо, тук при увеличаване на колекторното напрежение характеристиките се отместват наляво. (Това отместване е малко и в практиката



Фиг. 20.3

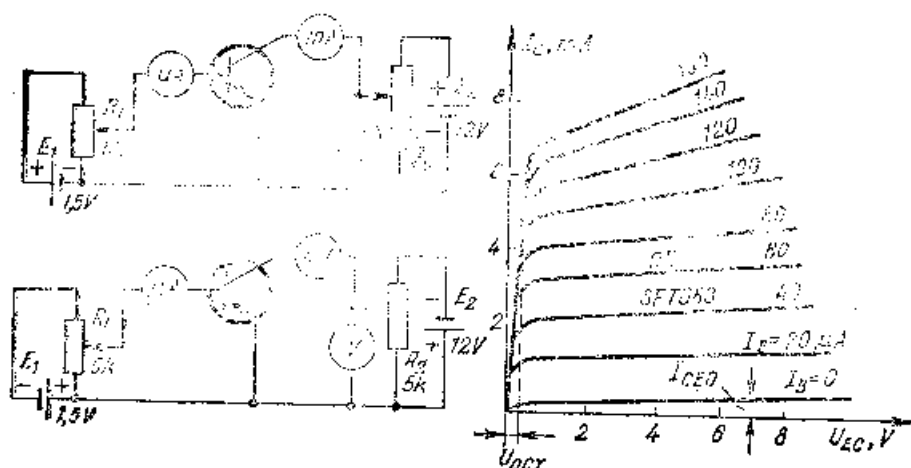
се пренебрегва.) Второ, емитерният ток е далеч по-голям от базовия, затова мащабът на тока по ординатната ос е друг.

Входните характеристики при схема OB се използват за определяне на подобните величини, както при схема OE (връзка между I_E и U_{EB} , $R_{вх} =$

R_{in}). Трябва обаче да подчертаем, че при едни и същи входни напрежения (напр. 0,1—0,4V при германиеви и 0,4—0,8V при силициеви транзистори) входното съпротивление на схемата *ОБ* е *значително по-малко, отколкото при схема ОЕ*, като, разбира се, зависи от избраната работна точка. Както показва практиката, при схема *ОБ* входното съпротивление по променлив ток най-често има стойност от 10 до 100Ω.

20.4. Изходни статични характеристики на биполярния транзистор при схема *ОЕ*

В този случай изходните характеристики изразяват зависимостта на колекторния ток I_C от изходното напрежение U_{EC} (при определен базов ток I_B). За тяхното спемане може да се използва свързването, показано на фиг. 20.4. На същата фигура са показани семейство изходни характеристики на тран-



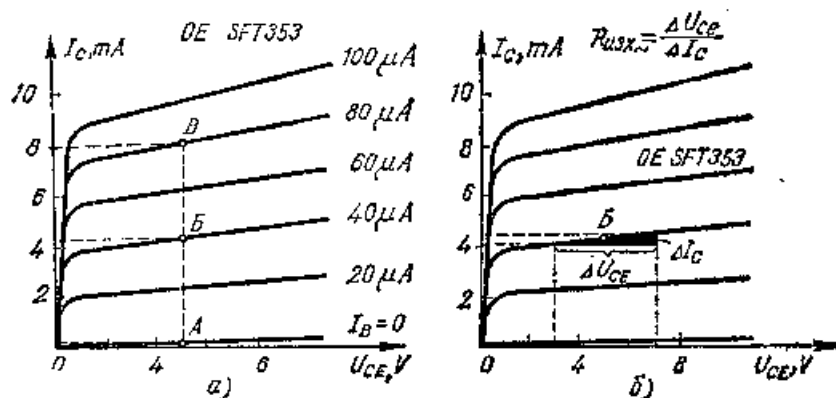
Фиг. 20.4

зистора SFT353, като всяка една от тях съответствува на определен базов ток. Изходните характеристики на транзистора са също нелинейни. Особено тук е, че при малки напрежения (не по-големи от 0,4—0,8V) колекторният ток расте бързо, след което *практически той не зависи от колекторното напрежение* (характеристиките са почти хоризонтални), а се влияе само от базовия ток. С други думи, ако желаем да увеличим колекторния ток на даден транзистор, това няма да стане, ако му увеличим колекторното напрежение а ще се получи единствено, ако му увеличим базовия ток. Тазн особеност трябва да се разбере добре, защото тя потвърждава, че колекторният ток нанстина се „управлява“ не от изхода, а от входа.

20.5. За какво се използват изходните статични характеристики

Изходните характеристики дават *количествена връзка между трите основни величини в транзистори*; базов ток, колекторен ток, колекторно на-

прежение. Изходното съпротивление на транзистора е също нелинейно, т. е. зависимостта на изходния ток от изходното напрежение се изразява чрез твърде сложна формула. Ето защо за намиране на тези величини и тук си служим с изходните характеристики на транзистора. Например от фиг. 20.5 а



Фиг. 20.5

може да се отчете, че при колекторно напрежение 4,5V и базов ток 40 μA (точката Б) колекторният ток ще е 4,5 mA. Също така може да се отчете, че при колекторно напрежение 4,5 V, за да протече колекторен ток 8 mA (точката В), необходим е базов ток 80 μA.

От изходните характеристики може да се намери *изходното съпротивление на транзистора за постоянен и за променлив ток*. Изходното съпротивление на транзистора по променлив ток е особено важно, понеже въз основа на него става *съгласуването (нагаждането) на отделните транзисторни стъпала*. Например за постоянноотоковото съпротивление в точката Б (фиг. 20.5 а) ще имаме

$R_B = \frac{U}{I} = \frac{4,5}{45 \cdot 10^{-3}} = 1 \text{ k}\Omega$. Променливотоковото съпротивление в същата точка можем да намерим чрез даване на подходящи нараствания (фиг. 20.5 б), като $\Delta U = 7 - 3 = 4 \text{ V}$; $\Delta I = 4,5 - 4,4 = 0,1 \text{ mA}$, и така получаваме

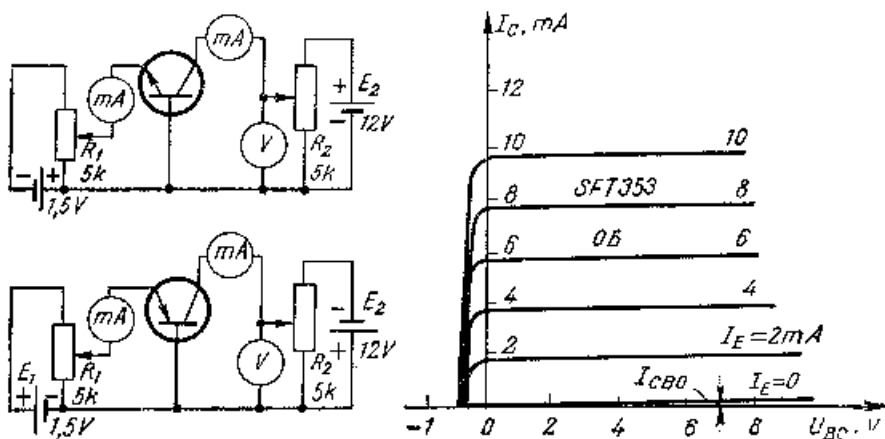
$$R_B = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{4}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 40 \text{ k}\Omega.$$

Изходното съпротивление на транзистора както за постоянен, така и за променлив ток *силно зависи от избраната работна точка*. Практиката показва, че изходното съпротивление по променлив ток при схема ОЕ най-често има стойност от 20 до 50 kΩ.

20.6. Изходни статични характеристики на биполярния транзистор при схема ОБ

В този случай изходните характеристики изразяват зависимостта на колекторния ток I_C от изходното напрежение U_{BC} (при определен емитерен ток I_E). За тяхното снемане може да се използва свързването, показано на фиг. 20.6. На същата фигура са показани семейство изходни характеристики на транзистора SFT353. Виждаме, че те приличат на изходните характеристики при схема ОЕ, но има две съществени разлики. Първо, тук колек-

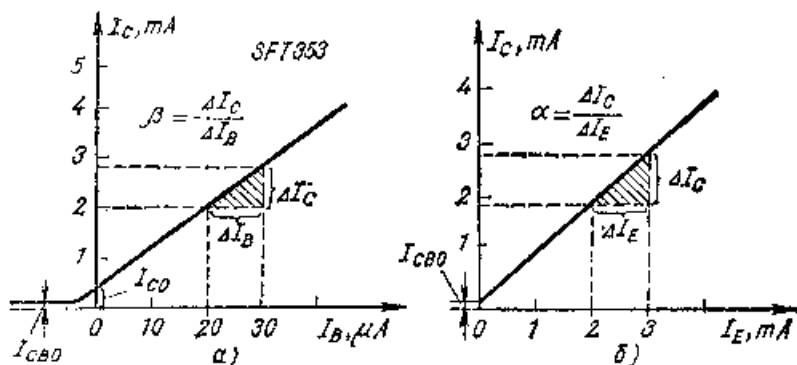
торен ток протича дори и тогава, когато колекторното напрежение е нула. Причината за това е токоизточникът в емитерната верига. Второ, тук изходните характеристики са по-горизонтални, отколкото при схема ОЕ, т. е. тук изходното съпротивление е по-голямо. И наистина практиката показва, че изходното съпротивление по променлив ток на транзистора при схема ОВ най-често има стойност от 500 kΩ до 2 MΩ.



Фиг. 20.6

20.7. Статични характеристики на правото предаване по ток

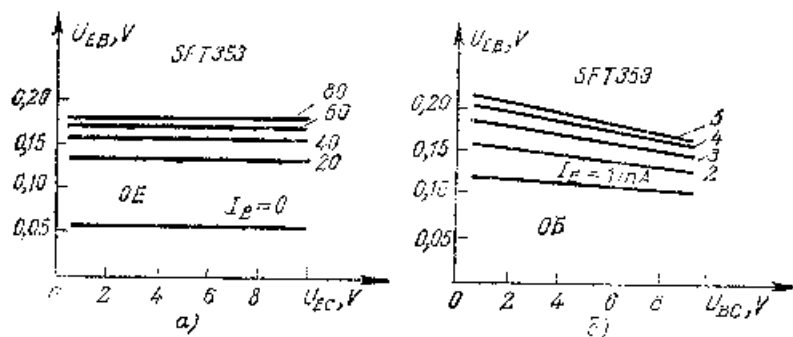
Тези характеристики дават връзката между входния и изходния ток. Следователно при схема ОЕ те дават връзка между I_B и I_C (това е коефициентът β), а при схема ОВ между I_C и I_E (това е коефициентът α). Споменатите две характеристики за транзистора SFT353 са дадени на фиг. 20.7.



Фиг. 20.7

20.8. Статични характеристики на обратното предаване по напрежение

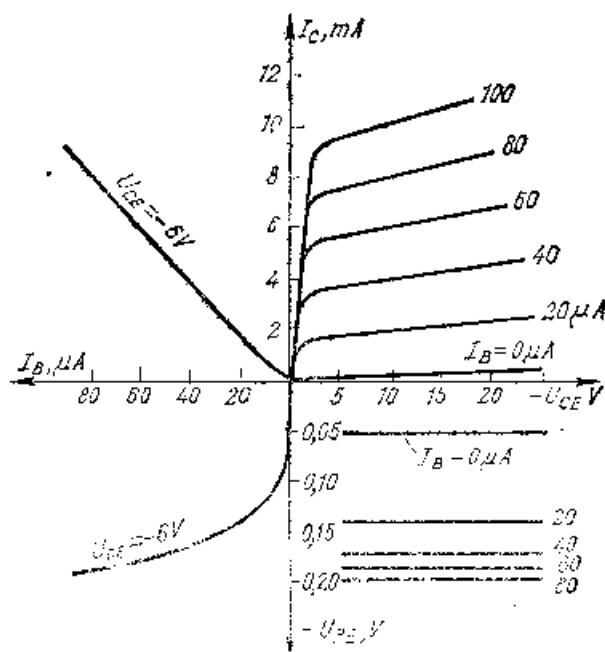
Те изразяват графично връзката между входното и изходното напрежение в транзистора. И понеже изходното напрежение слабо влияе върху входното, тези характеристики са почти хоризонтални (фиг. 20.8).



Фиг. 20.8

20.9. Пълни статични характеристики на биполярните транзистори

Слоенатите четири вида характеристики и транзистори могат да се изобразят на един чертеж. Тук мащабите на величините за всеки две съседни характеристики са еднакви. Това създава голямо удобство за пренасяне на



Фиг. 20.9

работната точка от една характеристика в друга за бързо отчитане на токове и напрежения. На фиг. 20.9 са показани пълните статични характеристики на транзистора SFT353.

1. Графичните характеристики дават връзка между напреженията и токовете в транзистора. Те онагледяват явленията и дават възможност за бързо и лесно определяне големината на тези напрежения и токове. От тях лесно се намират входното и изходното съпротивление на транзистора за променлив ток, които са много важни при съгласуването на стъпалата.
2. Входните характеристики дават връзката между входното напрежение и входния ток. От тях се вижда, че в нормалния случай напрежението база — емитер при германиевите транзистори (независимо от схемата на свързване — *ОЕ*, *ОБ*, *ОК*) е 0,1—0,4, а при силициевите 0,4—0,8 V. Подаването на по-големи напрежения може да доведе до недопустимо големи токове през транзистора и евентуална повреда.
3. Изходните характеристики дават връзката между входното напрежение и изходния ток. От тях се вижда, че при колекторни напрежения, по-големи от 0,4—0,8 V, колекторният ток практически не зависи от колекторното напрежение, а се влияе само от базовия ток. Това още веднъж показва, че значителният колекторен ток се управлява от малкия базов ток.

Анализ на електронните схеми

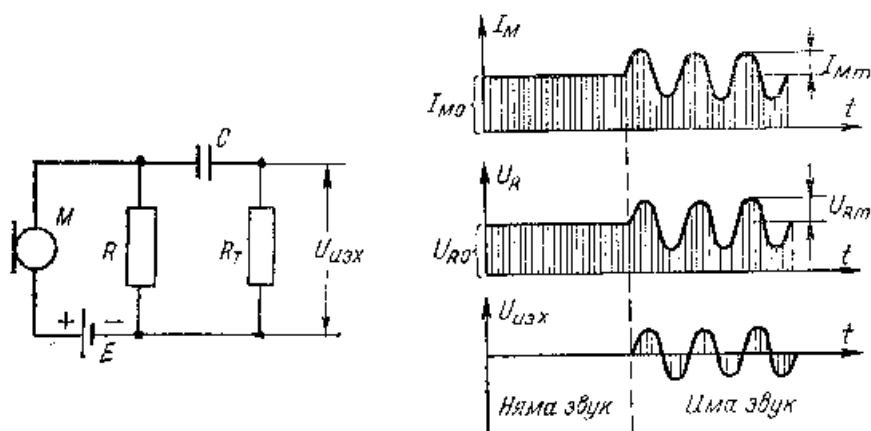
21.1. Защо си служим със синусоиди

При изследване работата на усилвателните стъпала обикновено подаваме синусоидално трептене на входа и проследяваме явленията през положителния и отрицателния му полупериод. Тук възниква въпросът: нали при говор и музика напреженията и токовете имат сложна форма? Не поставяме ли усилвателите в „неестествена обстановка“, когато ги изследваме чрез синусоидални сигнали?

Ние вече знаем (вж. фиг. 12.8), че съгласно теоремата на Фурие и най-сложното периодично трептене може да се разложи на сума от голям брой синусоидални трептения. Те се наричат *хармонични* и образуват *честотен спектър* с определена широчина. Така че ако усилвателят усилва добре няколко определени честоти от спектъра (включително най-ниската и най-високата), очевидно той ще усилва добре и самото сложно трептене.

21.2. Постоянна и променлива съставна

В т. 13.1 беше споменато, че по време на работа в различните участъци на електронните схеми *действуват едновременно постоянни и променливи*

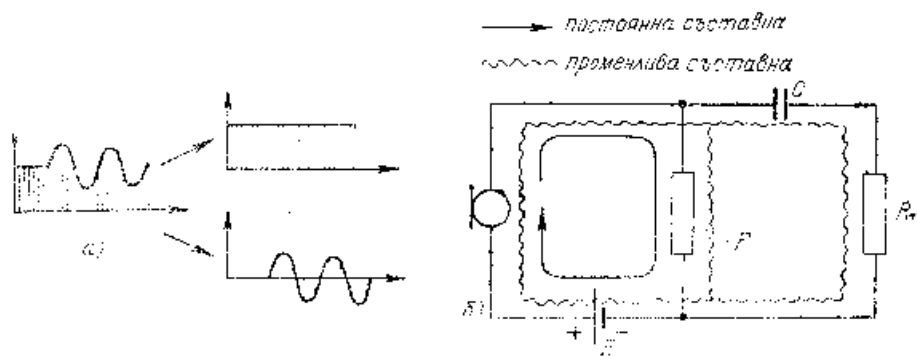


Фиг. 21.1

напрежения. В резултат на това в редица вериги тече едновременно постоянен и променлив ток или, както се казва още, *постоянна и променлива със-*

ставна. Разграничаването на тези две съставни е абсолютно необходимо за правилното разбиране действието на електронните схеми. Във връзка с това трябва да се знае следното:

1. При липса на сигнал (звук) във веригата: батерия E —въгленов микрофон M —съпротивление R (фиг. 21.1) протича постоянният микрофонен ток



Фиг. 21.2

I_{M0} . В двата края на R се образува постояннотоков над U_{R0} , но поради наличието на кондензатора C на изхода нямаме напрежение.

2. При наличие на сигнал (звук) във веригата $E—M—R$ (фиг. 21.1) протича микрофонен ток, състоящ се от постоянна съставна I_{M0} и променлива съставна с амплитуда I_{Mm} .

В двата края на R се образува над, състоящ се от постоянна съставна U_{R0} и променлива съставна с амплитуда U_{Rm} . През кондензатора преминава променлива съставна и се появява на изхода, като амплитудата ѝ зависи от големините на X_C и R_T .

3. Голяма част от сложните течения се състоят от постоянна и променлива съставна (фиг. 21.2 а). Те могат да бъдат разделени с помощта на кондензатор (фиг. 21.2 б). *Променливата съставна е носителът на информация (говор, музика и др.) и именно тя се усилва от отделните стъпала.*

4. *Източникът на постоянната съставна е батерията (захранващият източник), докато източници на променливата съставна са микрофонът, магнетофонната глава, транзисторът и др.*

5. За променливата съставна батерията (токоизточникът) представлява късо съединение. И наистина всички захранващи батерии, а също изходът на всеки токоизправител, са шунтирани с кондензатор с голям капацитет.

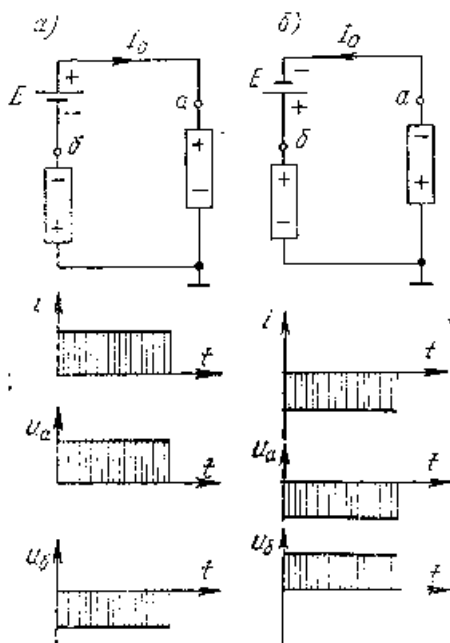
21.3. Полярност на напреженията и токовете в електронните схеми

При анализ на електронни схеми особено важни са полярността на напрежението и посоката на тока. Начиваещите любители на електрониката твърде често се затрудняват от това, че във веригата текат едновременно както постоянни, така и променливи съставни. Във връзка с това е нужно да се знае следното:

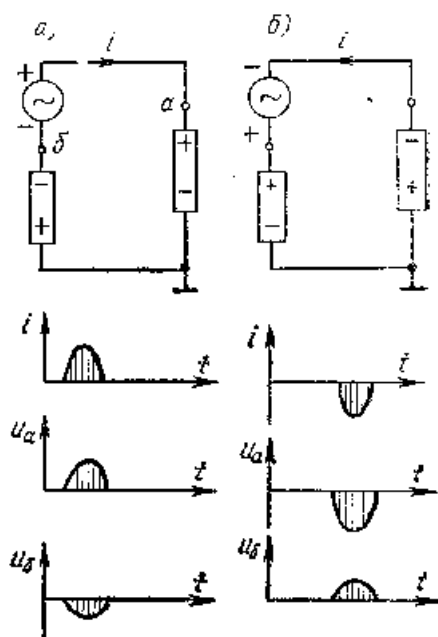
1. *Напреженията в различните точки на електронните схеми се измерват спрямо общия проводник (шасито).*

2. При протичане на ток през заден резистор точката, в която токът „влиза“, има по-висок потенциал от точката, през която „излиза“ (вж. фиг. 4.5).

3. За положителна посока на тока в затворените вериги на схемата се приема условно една предварително избрана посока. Ако посоката на реалните токове съвпада с условно избраната, те са положителни, ако е противоположна — те са отрицателни.



Фиг. 21.3



Фиг. 21.4

4. При липса на сигнал във веригите съществува само постоянната съставна на напрежението и тока. Когато с волтметър и амперметър проверяваме режима на дадена схема, ние измерваме именно постоянната съставна. За дадена схема полярността и високата на постоянната съставна остават непроменени по време на работа.

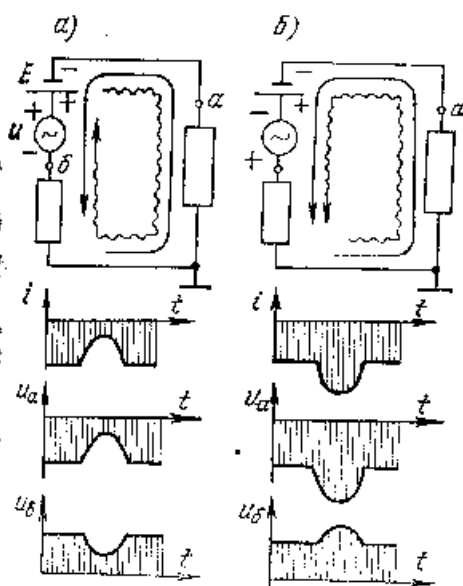
5. При наличие на сигнал във веригите се появява променлива съставна. Тя непрекъснато се променя, като през единия полупериод има една полярност и посока, а през другия — друга.

На фиг. 21.3 а и б са показани вериги, съдържащи само постоянна съставна. (Тук и в следващите схеми за положителна посока е избрана посоката на въртене на часовниковата стрелка.) Под тях въз основа на споменатите правила са начертани графиките на токовете и полярността на напреженията в точките а и б.

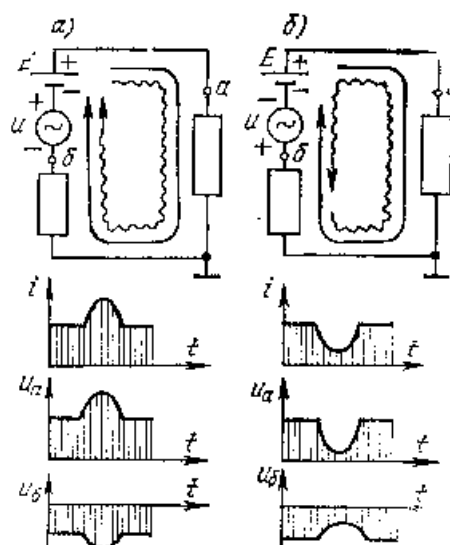
На фиг. 21.4 е показана верига, съдържаща само променлива съставна. Под схемите са начертани графиките на токовете и полярността на напреженията в точките а и б през единия и другия полупериод.

На фиг. 21.5 е показана верига, съдържаща едновременно постоянна и променлива съставна, като постоянната съставна е положителна. Тук също са начертани графиките на токовете и полярността на напреженията в точ-

ките а и б. Обръщаме внимание, че през единия полуперод постоянната и променливата съставна са *съпросочни*, поради което токовете и напреженията *нарастват* по абсолютна стойност. През другия полуперод постоянната и променливата съставни са *противопосочни*, поради което токовете и напреженията *намалават* по абсолютна стойност. На фиг. 21.6 е показана същата верига, обаче постоянната съставна е отрицателна.



Фиг. 21.5



Фиг. 21.6

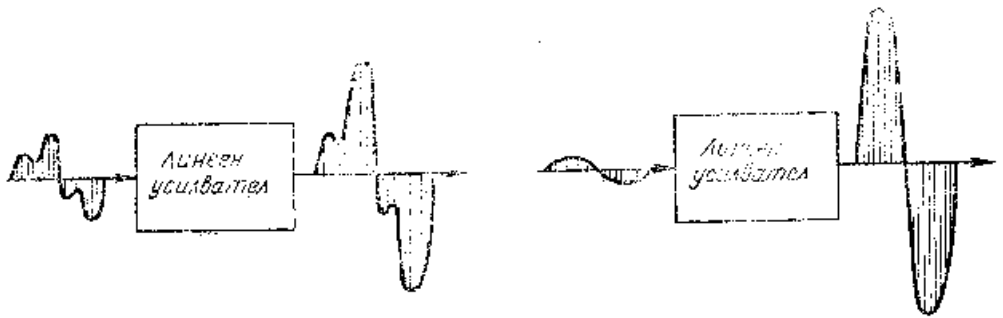
З А П О М Ъ Н Е Т Е !

1. Въпреки че реалните звукове имат сложен характер, при изследване на усилвателите си служим със синусоидални трептения. Това е така, понеже всяко сложно периодично трептене се състои от определен брой синусоидални трептения, наречени хармонични.
2. При липса на сигнал във веригите на всяка схема съществува само постоянна съставна. При настройка и ремонт на схемата ние измерваме с волтметра и милиамперметра именно постоянната съставна на напрежението и тока. По време на работа посоката на постоянната съставна не се променя и се обуславя само от захранващите токоизточници.
3. При наличие на сигнал във веригите съществуват едновременно постоянна и променлива съставна, като през единия полуперод те са съпросочни и се сумират, а през другия — противопосочни и се изваждат.
4. Токоизточниците (те винаги са шунтирани с кондензатор с голям капацитет) представляват за променливата съставна късо съединение. Това означава, че за променливата съставна «плюсът» и «минусът» на всяка схема са свързани накъсо.

Биполярният транзистор като линеен усилвател

22.1. Общи сведения

В глава XIX изяснихме, че едно устройство е усилвател тогава, когато мощността, получена на изхода му, е по-голяма от мощността, подадена на входа, като, разбира се, това увеличение на мощността е за сметка на токоизточниците. С помощта на транзисторите може да се конструират различни



Фиг. 22.1

видове електронни усилватели, но най-широко приложение в практиката намират *линейните усилватели* (те работят в т. нар. усилвателен клас А). При тях променявият изходен сигнал (макар многократно увеличен по мощност) трябва да има същата форма като входния (фиг. 22.1). Или както се казва, между изходния и входния сигнал трябва да съществува линейна зависимост (оттук и името линейни усилватели).

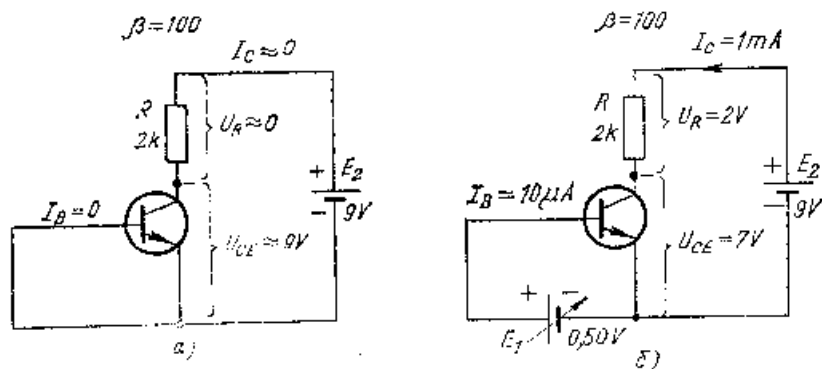
22.2. Транзисторът като усилвателен елемент

За да разберем конкретно как усилва транзисторът, нека разгледаме схемата, дадена на фиг. 22.2 а, при която в колекторната верига е включено *товарно съпротивление* $R=2k\Omega$. С един числен пример ще покажем, че мощността (напрежението и токът) на променящата съставка в товара е по-голяма от мощността (напрежението и тока) във входа.

Отначало нека да разгледаме схемата, дадена на фиг. 22.2. Тук базата е свързана с емитера ($I_B=0$), поради което при липса на сигнал транзисторът е запушен, т. е. $I_C \approx 0$. (За простота е пренебрегнат нищожно малкият ток I_{CES} .) Съпротивлението колектор—емитер на всеки запушен транзистор е

голямо, напр. $0,1 \div 1 \text{ M}\Omega$. Поради това почти цялото напрежение на батерията действа между колектора и емитера ($U_{CE} \approx 9\text{V}$), а падът върху резистора е почти нула ($U_R \approx 0$).

Ако сега чрез променливия ток източник E_1 (фиг. 22.2б) подадем на входа напрежение $0,50 \text{ V}$, то ще породи сравнително малък базов ток $I_B = 10 \mu\text{A}$.

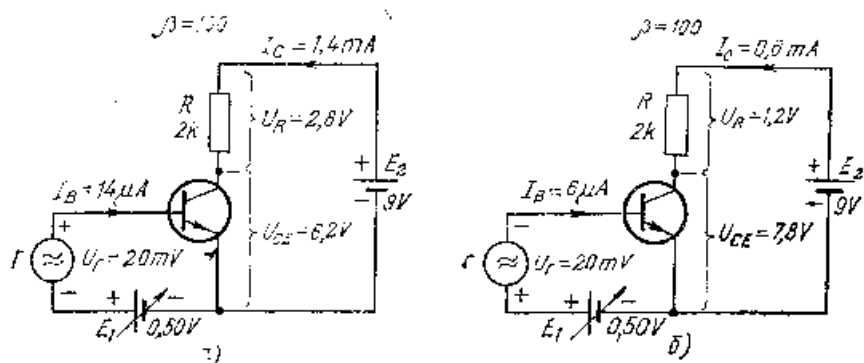


Фиг. 22.2

(Това може да се отчита от входната характеристика на транзистора.) Понеже избраният транзистор има $\beta = 100$, от основното му свойство следва, че колекторният ток е $I_C = \beta I_B = 100 \cdot 10 = 1000 \mu\text{A} = 1 \text{ mA}$. Този ток върху съпротивлението R ще образува пад $U_R = I_C R = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 = 2 \text{ V}$, а за напрежението колектор-емитер ще имаме $U_{CE} = E_2 - U_R = 9 - 2 = 7 \text{ V}$ (фиг. 22.2 б).

Нека сега към входа на тази схема да включим и генератор, който да произвежда синусоидални трептения с амплитуда $U_T = 20 \text{ mV}$, и да проследим явленията.

а. Положителен полупериод (фиг. 22.3а). В този случай напрежението на генератора ще се сумира с напрежението на ток източника E_1 и на управля-



Фиг. 22.3

ващия преход ще действа напрежение $U_{BE} = U_{E1} + U_T = 0,50 + 0,02 = 0,52 \text{ V}$. Базовият ток ще парасне на $I_B = 14 \mu\text{A}$ (това се отчита от входната характеристика) и колекторният ток ще стане $I_C = \beta I_B = 100 \cdot 14 = 1400 \mu\text{A} = 1,4 \text{ mA}$. Този ток върху съпротивлението R ще образува пад $U_R = I_C R = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 = 2,8 \text{ V}$, а за напрежението колектор-емитер ще имаме $U_{CE} = E_2 - I_C R = 9 - 2,8 = 6,2 \text{ V}$.

6. Отрицателен полупериод (фиг. 22.3 б). В този случай напрежението на генератора *ще се изважда* от това на токоизточника E_1 и на управляващия преход *ще* действува напрежение $U_{BE} = U_{E1} - U_T = 0,50 - 0,02 = 0,48V$. От това базовият ток *ще* намалее на $I_B = 6\mu A$ (отчита се от входната характеристика) и колекторният ток *ще* стане $I_C = \beta I_B = 100 \cdot 6 = 600\mu A = 0,6 mA$. Този ток върху съпротивлението R *ще* образува пад $U_R = I_C R = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 = 1,2V$, а за напрежението колектор—емитер *ще* имаме $U_{CE} = E_2 - I_C R = 9 - 1,2 = 7,8 V$.

Като се сравнят двете състояния, дадени на фиг. 22.3, с изходното състояние, дадено на фиг. 22.2 б, може да се направят следните изводи:

1. При липса на сигнал напрежението върху управляващия преход е $0,50V$, а базовият ток е $10\mu A$. Колекторният ток е $1 mA$, като постояннотоковият пад върху товарното съпротивление е $2V$, а колекторното напрежение— $7V$.

2. При подаване на входен сигнал с амплитуда $20mV$ променливата съставна на базовия ток има амплитуда $4\mu A$, а амплитудата на колекторния ток е $0,4 mA$. Следователно за *коэффициента на усилване по ток* на това стъпало можем да напишем

$$K_i = \frac{I_{max}}{I_{вх}} = \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-6}} = 100 \text{ пъти.}$$

3. При подаване на сигнал *променливотоковият пад върху товарното съпротивление е равен на променливотоковия пад върху транзистора* (с колкото нараства U_R , с толкова намалява U_{CE} и обратно). Именно това е изходният сигнал на стъпалото и в нашия случай той има амплитуда $0,8V$. И понеже входният сигнал има амплитуда $20mV$, за *коэффициента на усилване по напрежение* на това стъпало можем да напишем

$$K_u = \frac{U_{max}}{U_{вх}} = \frac{0,8}{20 \cdot 10^{-3}} = 40 \text{ пъти.}$$

4. Понеже мощността е произведение от напрежение по ток, за *коэффициента на усилване по мощност* на това стъпало *ще* имаме

$$K_p = K_u K_i = 40 \cdot 100 = 4000 \text{ пъти.}$$

22.3. Работна точка на транзистора

За да успява, всеки транзистор *трябва да бъде поставен в подходящ постояннотоков режим* и тогава да му се подаде входен сигнал. Основните величини, които характеризират постояннотоковия режим, са:

1. **Напрежение на управляващия преход в режим на покой.** Нарича се още *базово преднапрежение* и се бележи $U_{BEп}$ или $U_{EBп}$. (Тук и нататък „п“ означава покой.)

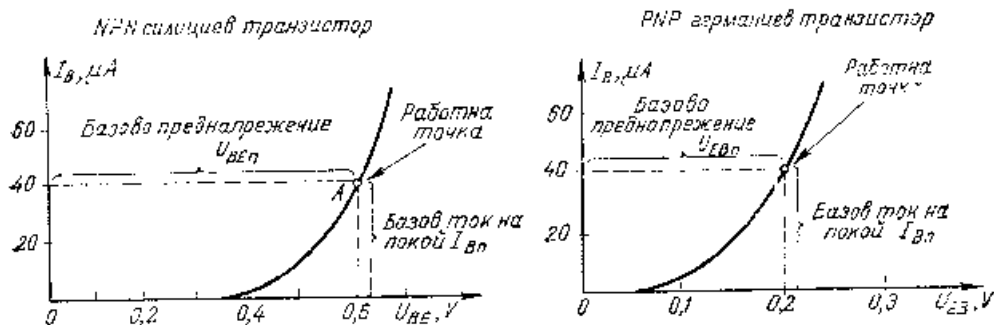
2. **Базов ток на покой (начален базов ток) $I_{Bп}$.** Очевидно той зависи от избора на преднапрежение $U_{BEп}$ и тези две величини определят т. нар. *работна точка на транзистора* върху входната му характеристика (фиг. 22.4).

3. **Колекторен ток на покой $I_{Cп}$.** Както знаем, неговата стойност е β пъти по-голяма от базовия ток на покой.

4. **Колекторно напрежение в режим на покой $U_{CEп}$.** То не бива да е по-малко от $0,8-1V$, тъй като от фиг. 20.4 се вижда, че при твърде малки напрежения базовият ток не управлява колекторния (характеристиките се сливат в една линия), т. е. *транзисторът престава да бъде усилвателен*

елемент. Последните две величини (I_{C_n} и I_{CE_n} определят работната точка върху изходните характеристики на транзистора (фиг. 22.5 а).

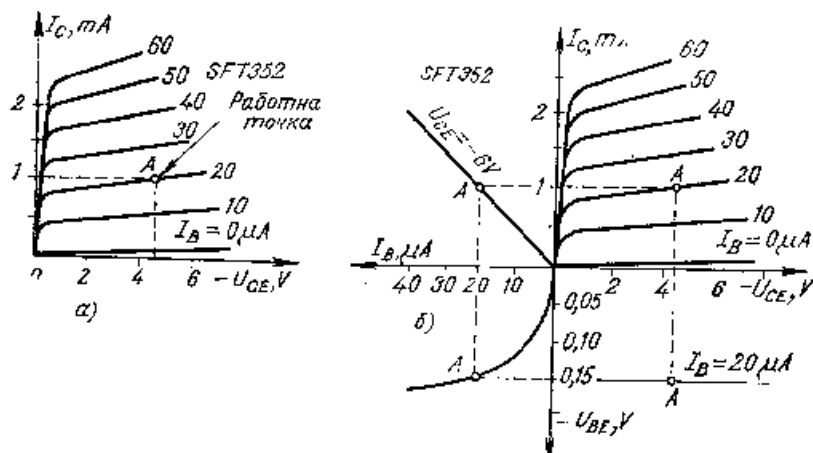
Веднага трябва да се подчертае, че при даден постоянен ток режим транзисторът има една работна точка, която може да бъде изобразена



Фиг. 22.4

или върху входната, или върху изходната характеристика (а също така върху останалите характеристики. Това е така, понеже споменатите по-горе, четирите величини U_{BE_n} , I_{B_n} , I_{C_n} и U_{CE_n} не могат да бъдат произволни, а са свързани помежду си.

В практиката (напр. в справочниците) работната точка най-често се задава чрез колекторния ток на покой I_{C_n} и колекторното напрежение U_{CE_n} .



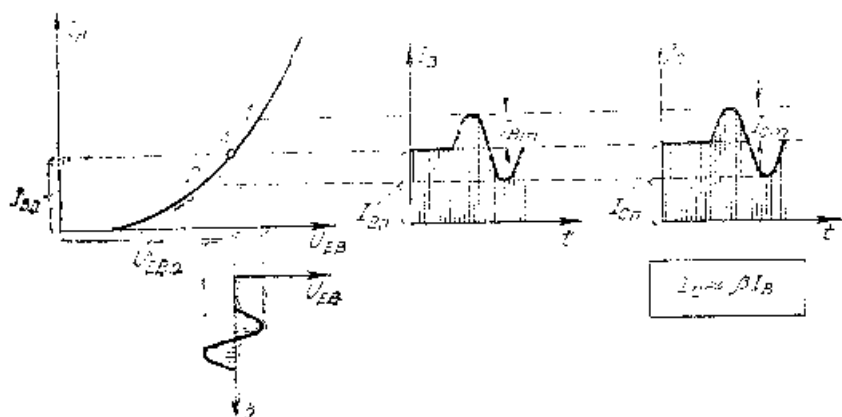
Фиг. 22.5

На фиг. 22.5 б в полето на изходните характеристики е изобразена работната точка А, съответстваща на $I_{C_n} = 1\text{mA}$ и $U_{CE_n} = -4,5\text{V}$. Чрез проектанс тази точка е пренесена върху останалите характеристики. От входната характеристика се отчита, че за да имаме $I_{C_n} = 1\text{mA}$, трябва $I_{B_n} = 20\ \mu\text{A}$, а за това е нужно транзисторът да има преднапрежение $U_{BE_n} = 0,15\text{V}$.

22.4. Защо е важен изборът на работната точка

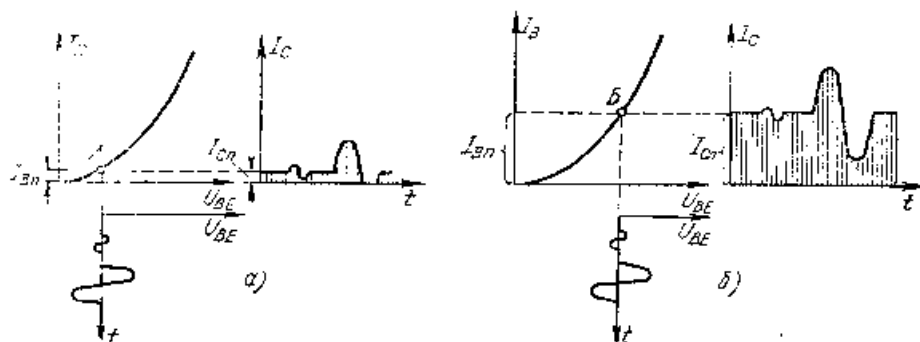
Правилният избор на работната точка е един от най-важните моменти при работа с транзисторни схеми. Причините за това са следните.

При подаване на определено преднапрежение U_{EB} (или при протичане на определен базов ток на покой I_{B0}) работната точка върху входната ха-



Фиг. 22.6

рактеристика е определена, с което е определен и колекторният ток на покой I_{C0} . При подаване на входен сигнал напрежението на управляващия преход става ту по-голямо, ту по-малко, като работната точка се движи между положения 1 и 2 (фиг. 22.6), като с проекциите си върху ординатата очертава амплитудите I_{Bm} на променливата съставна на базовия ток. На същата фигура са представени и колекторният ток на покой I_{C0} и амплитудата I_{Cm} на неговата променлива съставна. (Обръщаме внимание, че те са β пъти по-големи, понеже мащабите на I_C и I_B са различни).



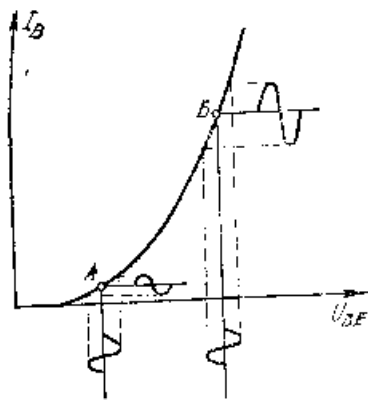
Фиг. 22.7

Входната характеристика на транзистора е *нелинейна*, поради което *стръмността* и в различните участъци е различна. Ето защо при различен избор на работната точка *един и същ* променлив входен сигнал ще предизвика променлив базов (респ. колекторен) ток с *различно големи амплитуди*

(фиг. 22. 8). На пръв поглед изглежда, че винаги е по-благоприятно работната точка да се избере по-налясно върху входната характеристика (точка на фиг. 22. 8), където *стръжността на транзистора* е по-голяма. Обаче при по-голям базов (респ. колекторен) ток на покой входното съпротивление на транзистора намалява (вж. т. 21.3), а това е много важно, понеже *влие върху товарното съпротивление по променлив ток на предното стъпало* и води до намаляване на усилването.

Изборът на работна точка е в тясна зависимост от амплитудата на усилвания сигнал. Например работната точка А (фиг. 22.7 а) е правилно избрана при условие на малък сигнал, докато при голям сигнал (амплитудата му е по-голяма от постоянната съставна) се получават изкривявания. На фиг. 22.7 б работната точка В е правилно избрана за голям сигнал, докато при малък сигнал режимът е икономичен и освен това входното съпротивление ще е малко. В практиката (ако няма някакви специални изисквания) при маломощни транзисторни линейни усилватели твърде често се препоръчва работна точка $I_{Cн} = 1 \text{ mA}$ и $U_{CEн} = 1 + 3 \text{ V}$, при което усилвателното стъпало има оптимални параметри (коэффициент на усилване, входно съпротивление и др.). При такъв режим и употреба на транзистори с $\beta = 100 - 150$ може да се получат $K_u = 50 - 100$, $K_i = 100 - 150$ и $K_p = 2000 - 6000$.

В редния случай транзисторът се използва като нелинеен усилвател, т. е. изходният сигнал се различава по форма от входния. Във връзка с това различаваме няколко класа на усилване. Практически това се постига именно чрез подходящ избор на работната точка.



Фиг. 22.8

ЗАПОМНЕТЕ!

1. При линейните усилватели (усилвателите, работещи в т. нар. усилвателен режим клас А), изходният променлив сигнал, макар и многократно увеличен по мощност, трябва да има същата форма, както входният.
2. За да усилва, транзисторът трябва да бъде поставен в подходящ постояннотоков режим или, както се казва, да му се осигури подходяща работна точка. Практически това става чрез подаване на определено преднапрежение, т. е. осигурява се протичане на определен базов ток на покой. За самата работна точка най-често се съди по колекторния ток на покой $I_{Cн}$ и по колекторното напрежение $U_{CEн}$.
3. В практиката при маломощни линейни усилватели (ако няма специални изисквания) често се препоръчва работна точка $I_{Cн} = 1 \text{ mA}$ и $U_{CEн} = 1 + 3 \text{ V}$, при което параметрите на усилвателно стъпало (коэффициенти на усилване, входно съпротивление и др.) са оптимални.
4. В някои случаи транзисторът се използва като нелинеен усилвател, при което променливият изходен сигнал се различава по форма от входния (напр. класове на усилване АВ, В, С и др.). Това се постига именно чрез подходящ избор на работната точка.

Схеми за осигуряване на избраната работна точка на транзисторните предусилвателни стъпала

23.1. Общи сведения

Вече знаем, че най-важните източници на електрически сигнали са микрофоните, електрическите мембрани, магнетофонните глави, приемните антени и др. Напрежението, което се получава от тези източници, е твърде малко (напр. от $10 \mu\text{V}$ до 100 mV) и за да задействува високоговорителя то трябва да бъде усилено. Това става с помощта на електронни усилватели, които обикновено се състоят от няколко стъпала. Първите няколко стъпала във всеки усилвател се наричат *предусилвателни* и в тях сигналът е с относително ниско ниво (напр. от $100 \mu\text{V}$ до $0,5 \text{ V}$). Последното стъпало във всеки усилвател се нарича *крайно* (или усилвател на мощност) и в него напрежението на сигнала има значителна стойност (напр. от 1 V до 10 V).

За да има усиление, всяко стъпало трябва да бъде поставено в подходящ постояннотоков режим и чак тогава да се подаде сигнал. В тази глава ще разгледаме накратко схемите за осигуряване постояннотоковия режим (т. е. работната точка) на предусилвателните стъпала.

Основните изисквания към всяка схема, осигуряваща работна точка на транзистора, са следните:

1. Схемата да се захранва *от един токоизточник*.
2. Да се осигури *подходящо преднапрежение, т. е. подходящ базов ток на покой*.
3. Да се осигури *подходяща верига за променливия входен сигнал с оглед той да действувa на управляващия емитерен преход*.

В гл. XIX се спомена, че една от важните особености на всяко транзисторно стъпало е неговата температурна стабилност. С оглед на това схемите за осигуряване на работната точка на транзистора биват *нестабилизирани* и *стабилизирани*.

23.2. Схема с фиксирано напрежение

От фиг. 23.1 се вижда, че тази схема съдържа малък брой елементи, като с тънки линии е означен пътят на базовия ток на покой I_{B_n} и β пъти по-големият колекторен ток на покой I_{C_n} .

Тук определянето на подходящата работна точка става *чрез съответен избор на съпротивлението R_1* . Колкото това съпротивление е по-малко, толкова базовият, респ. колекторният ток на покой, са по-големи. Понеже постояннотоковото съпротивление на управляващия преход е далеч по-

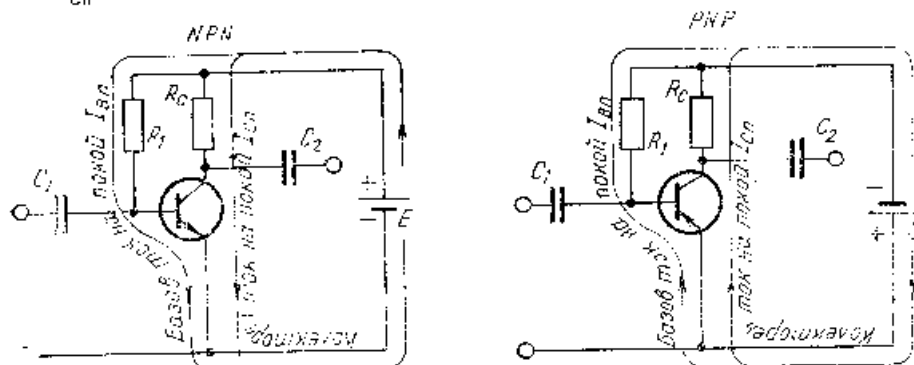
малко от стойността на R_1 , за определяне стойността на последното може да се използва формулата

$$R_1 = \frac{\beta E}{I_{Cn}} \quad (23.1)$$

Пример 23.1. Каква трябва да бъде стойността на съпротивлението R_1 , ако употребеният транзистор има $\beta=80$ и $E=6$ V, а желаем колекторен ток на покой $I_{Cn}=1$ mA.

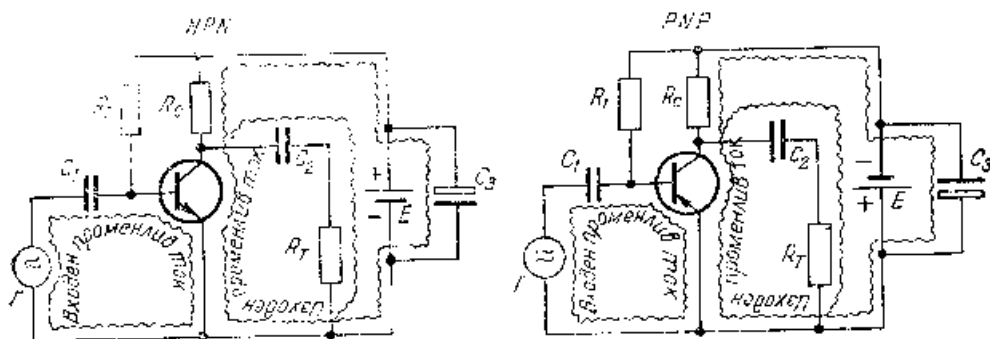
Заместваме в горната формула:

$$R_1 = \frac{\beta E}{I_{Cn}} = \frac{80 \cdot 6}{1 \cdot 10^{-3}} = 480 \text{ k}\Omega$$



Фиг. 23.1

На фиг. 23.2 е показан пътят на входния променлив ток (при наличие на входен сигнал), който минава през управляещия преход на транзистора. Стойността на кондензатора C_1 се избира така, че за входния сигнал с най-ниска честота капацитивното съпротивление X_{C1} да е значително по-малко от променливотоковото съпротивление на управляещия преход. На същата фигура е показан и изходният променлив ток, генериран от тран-

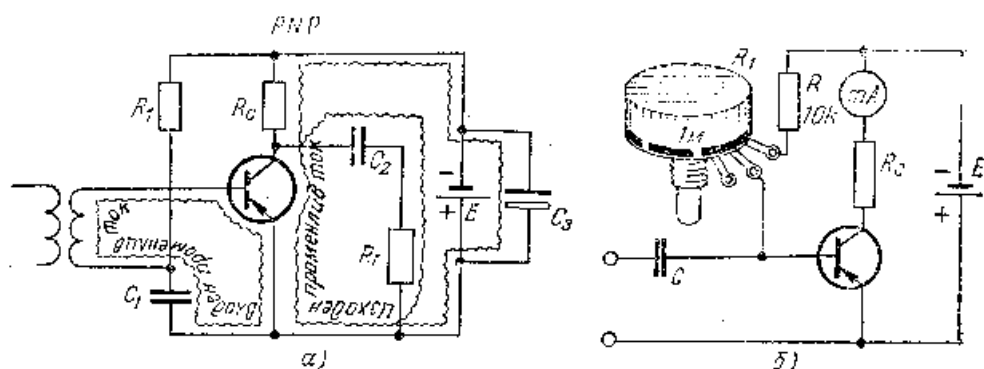


Фиг. 23.2

зистора и β пъти по-голям от входния. Тук кондензаторите C_2 и C_3 се избират достатъчно големи, така че практически представляват късо съединение за този ток. Обръщаме внимание, че изходният променлив ток се разклонява през колекторното съпротивление R_c и през R_T (тук с R_T сме оз-

начили променливотоковото входно съпротивление на следващото стъпало), т. е. за променливата съставка R_C и R_T са свързани паралелно. По такъв начин товарното съпротивление на транзистора за постоянната съставка е R_C , а товарното му съпротивление за променливата съставка е

$$R_{\Sigma} = \frac{R_C R_T}{R_C + R_T} \quad (23.2)$$



Фиг. 23.3

И понеже усилването на едно транзисторно стъпало е толкова по-голямо, колкото е по-голямо товарното му съпротивление по променлив ток, става ясно, че входното съпротивление на следващото стъпало не трябва да бъде малко. Например, ако $R_C = 4 \text{ k}\Omega$ и $R_T = 1 \text{ k}\Omega$, то $R_{\Sigma} \approx 800 \Omega$. Ако обаче $R_C = 4 \text{ k}\Omega$ и $R_T = 4 \text{ k}\Omega$, то $R_{\Sigma} = 2 \text{ k}\Omega$ и усилването ще бъде почти 2,5 пъти по-голямо.

Изхождайки от горното, стойността на колекторното съпротивление се избира (в зависимост от напрежението на захранването E) най-често от 1 до 6 $\text{k}\Omega$, като се внимава колекторното напрежение U_{CK} да не е по-малко от 1–2 V.

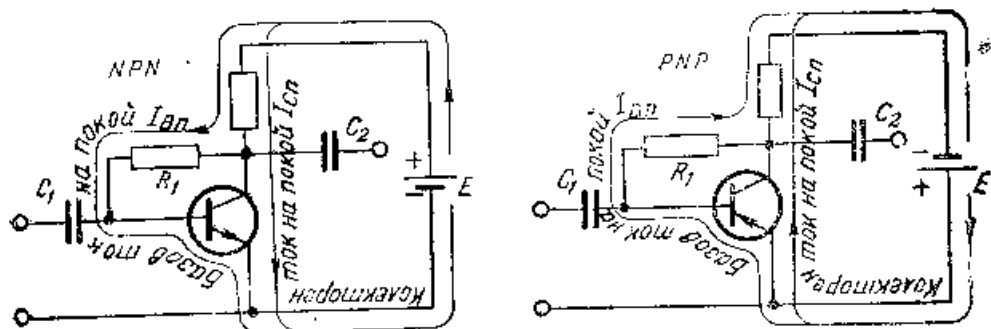
Една разновидност на току-що разглежданата схема е дадена на фиг. 23.3 а. Разликата тук е, че входният сигнал се подава чрез трансформаторна връзка.

На фиг. 23.3 б е показан един практически начин за определяне необходимата големина на базовото съпротивление R_1 . Потенциометърът има стойност $1 \text{ M}\Omega$ и чрез него се нагласява колекторният ток да има стойност 1 mA , а съпротивлението $R = 10 \text{ k}\Omega$ е предпазно. След това с омметър се измерва стойността на потенциометъра и на негово място се поставя необходимото базово съпротивление.

23.3. Схема с паралелна отрицателна обратна връзка

Тази схема прилича много на току-що разглежданата, само че тук базовото съпротивление е свързано не към токоизточника, а към колектора (фиг. 23.4). Чрез това свързване се получава т. нар. *отрицателна обратна връзка*, която подобрява температурната стабилност на стъпалото. И наистина, ако по някаква причина колекторният ток на покой започне да нараства, падът върху R_C ще расте, а колекторното напрежение U_{CK} ще започне да

намалява по абсолютна стойност. Това ще доведе до намаляване на базовия ток (базовата верига ще се захранва от точка с по-малко напрежение) и ще породят съответно намаляване на колекторния ток. Ако колекторният ток на покой започне да намалява, явленията протичат обратно и се появява тенденция за неговото увеличаване.



Фиг. 23.4

Стойността на базовото съпротивление може да бъде определена по формулата

$$R_1 = \frac{E - R_C I_{Cn}}{I_{Cn}} \beta \quad (23.3)$$

Пример 23.2. Да се намери големината на R_1 (фиг. 23.4), ако $E=9V$, $R_C = 3k\Omega$, $I_{Cn} = 1mA$, $\beta = 100$.

Заместваме в горната формула:

$$R_1 = \frac{E - R_C I_{Cn}}{I_{Cn}} \beta = \frac{9 - 3 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 = 600 k\Omega.$$

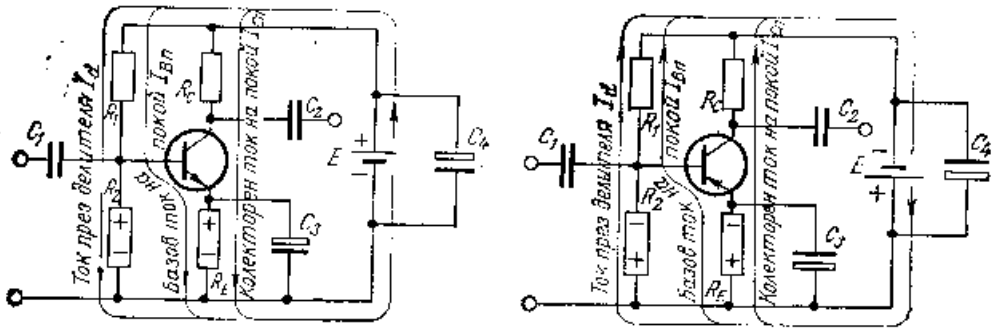
При тази схема колекторното съпротивление също се избира (в зависимост от захранването E) най-често от 1 до 6 $k\Omega$, като се внимава колекторното напрежение да не е по-малко от 1—2 V.

23.4. Схема с последователна отрицателна обратна връзка

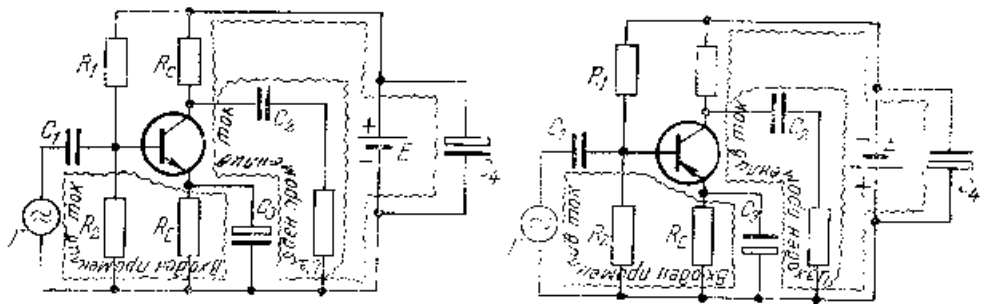
Тази схема (фиг. 23.5) се използва най-често в практиката, понеже осигурява най-добра температурна стабилност. Тук преднапрежението на транзистора се осигурява чрез делителя R_1-R_2 и емитерното съпротивление R_E . Освен това емитерното съпротивление осигурява и отрицателна обратна връзка, което подобрява температурната стабилност на стъпалото. В режим на покой тук протичат три тока: ток през делителя I_d , базов ток на покой I_{Bn} , колекторен ток на покой I_{Cn} . Преднапрежението на транзистора U_{BE} е равно на разликата между напрежителния пад върху R_2 и напрежителния пад върху R_E , т. е. $U_{BE} = U_{R2} - U_{RE}$. В нормален режим падът върху R_2 трябва да е винаги по-голям от пада върху R_E с около 0,1--0,4 V при германиеви и с около 0,4-0,8 V при силициеви транзистори.

Стойността на съпротивлението R_E се избира най-често от 500 Ω до 5 $k\Omega$, като при по-големите стойности температурната стабилност на стъпалото е по-добра.

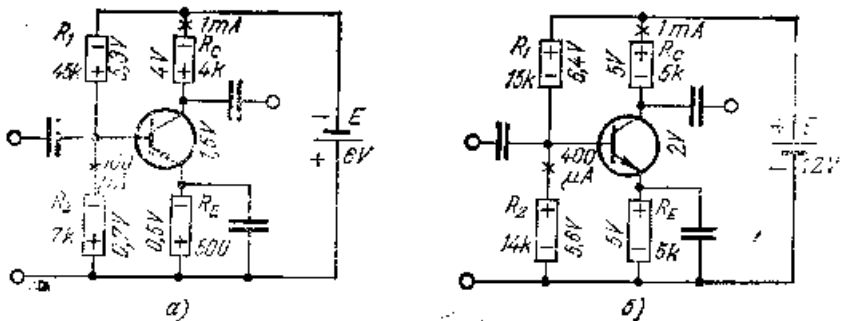
Кондензаторът C_3 трябва да има достатъчно голям капацитет, защото през него минава както входният, така и изходният променлив сигнал (фиг. 23.6) и за тях той трябва да има нищожно съпротивление.



Фиг. 23.5



Фиг. 23.6



Фиг. 23.7

Токът през делителя се избира най-често да е от 2 до 10 пъти по-голям от базовия ток на покой $I_{ДП}$, като по-големите стойности се преноръчват при нужда от по-добра температурна стабилност. Най-често $R_1 = 10 \text{ k}\Omega \div 100 \text{ k}\Omega$, а $R_2 = 3 \text{ k}\Omega \div 20 \text{ k}\Omega$.

Съпротивлението R_C най-често има стойност $1 \text{ k}\Omega \div 6 \text{ k}\Omega$, като при всички случаи колекторното напрежение U_{CE} не бива да е по-малко от $1-2 \text{ V}$.

Нека добавим още, че настройката на схемата (с цел да се получи определен колекторен ток на покой) е най-добре да се извършва, като се подбира оптималната стойност на съпротивлението R_1 .

На фиг. 23.7 са показани две конкретни схеми, на които за улеснение на читателя са означени токовете и напреженията. Втората схема е температурно по-стабилна от първата, понеже съпротивлението R_E е избрано по-голямо.

ЗАПОМНЕТЕ!

1. За да може да усилва, всяко стъпало трябва да има осигурен подходящ постоянен ток режим, т. е. транзисторът трябва да има подходящо избрана работна точка.
2. Във всяко усилвателно стъпало трябва да се осигури верига за променливия входен сигнал с оглед максимално голяма част от него да действа в управляващия преход на транзистора.
3. Във всяко усилвателно стъпало трябва да се осигури верига за променливия изходен сигнал с оглед максимално голяма част от него да действа на входа на следващото стъпало.
4. Всяко стъпало трябва да има добра температурна стабилност, т. е. измененията на температурата сравнително слабо да влияят на неговите параметри.
5. Всяко предусилвателно стъпало трябва да има по възможност по-голям коефициент на усиление на напрежение.
6. Всички предусилвателни стъпала са маломощни, т. е. тяхната консумация е относително малка, затова въпросът за повишаване на техния к. п. д. тук изобщо не се поставя.

Схеми на крайни стъпала

24.1. Общи сведения

Предназначението на крайните стъпала е да усилят мощността на полезния сигнал, с оглед да може да бъде задействуван високоговорителят. За това крайните стъпала се наричат още усилватели на мощност.

Вече знаем, че мощността е равна на произведението от напрежението и тока (вж. формула 4.5). Следователно за получаване на значителна мощност е необходимо произведението от напрежението и тока да е голямо. (Например мощност $P = 1 \text{ W}$ може да се получи, ако $U = 10 \text{ V}$ и $I = 0,1 \text{ A}$, или пък ако $U = 2 \text{ V}$ и $I = 0,5 \text{ A}$ и т. н.). Ето защо крайните стъпала (за разлика от предусилвателните) се характеризират с това, че при тях сигналите са относително големи, т. е. *напрежението и токът имат значителни стойности*. Тук специално внимание обръщаме върху факта, че става дума за тока и напрежението не на постоянната съставка, а на променливия сигнал, тъй като именно той е носител на информацията.

Важна особеност на крайните стъпала е тяхната икономичност, или по-точно казано, техният коефициент на полезно действие (к. п. д.). Например, ако едно крайно стъпало консумира от захранващия ток източник постояннотокова мощност 1 W , а отдава във високоговорителя променлива мощност $0,1 \text{ W}$, очевидно неговия к. п. д. ще е само 10%. Това е така, понеже само 10% от консумираната мощност, се подава на товара, а останалите 90% неужно загряват транзисторите, резисторите и др.

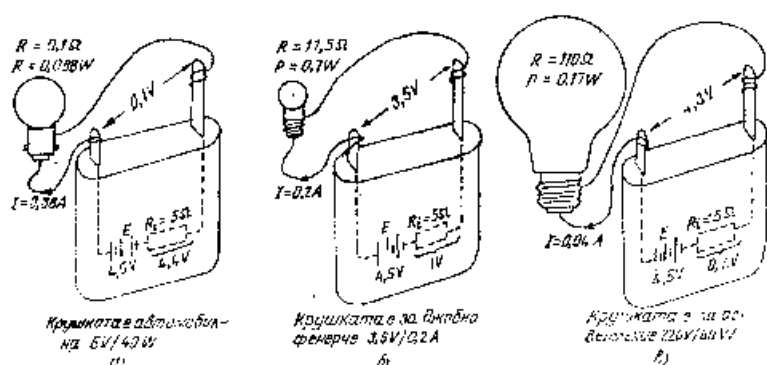
Основните показатели на всяко крайно стъпало са следните: изходна променливотокова мощност, отдавана на товара (при маломощните тя е десетки милувати, а при мощните е десетки ватове); честотна лента (т. е. обхвата между най-виската и най-високата честоти, които стъпалото може да усилява); коефициент на полезно действие (при различните схеми той е най-често от 10% до 70%). Получаването на голям к. п. д. може да стане само ако крайното стъпало е съгласувано с товара. Нека изясним това по-подробно.

24.2. Електрическо съгласуване

В електротехниката много често си служим с понятията генератор (ток източник) и товар (консуматор). Например на фиг. 4.1 а батерийката представлява постояннотоков генератор, а крушката се явява товар. Също така всяко усилвателно стъпало може да се разглежда като променливотоков генератор, а следващото стъпало — като негов товар.

Когато даден генератор е свързан с определен товар, *централният въпрос, който възниква, е въпросът за тяхното съгласуване*. Много често младите

радиолюбители мислят, че генераторът и консуматорът се съгласуват по напрежение (например, ако батерийката е 4,5 V, то и крушката трябва да е 4,5 V и т. н.). В действителност въпросът за съгласуването се свежда до съотношение между вътрешното (изходното) съпротивление на генератора и



Фиг. 24.1

съпротивлението на товара. За да изясним това, нека да разгледаме един опит, който можем да направим сами.

На фиг. 24.1 към една и съща батерийка първо е включена автомобилна лампа, след това лампа за джобно фенерче и накрая — лампа за осветление. И на трите схеми са нанесени токовете и напреженията, като с R е означено съпротивлението на лампата в конкретния случай, а с P е означена мощността, подавана от батерията на лампата. (Напомниме, че съпротивлението на лампата е нелинейно, т. е. то не е постоянна величина, а зависи от протичащия ток). Чрез този опит ще бъде показано, че при свързване на генератор с консуматор *решаващо значение има не само е. д. н. на генератора, но и съпротивлението на консуматора*. Затова е необходимо читателят много внимателно да разучи зависимостите, илюстрирани на фиг. 24.1, защото те лежат в основата на цялата схемотехника. Резултатите от тези опити могат да се резюмират така.

При първия опит (фиг. 24.1 а) *съпротивлението на консуматора е много по-малко от вътрешното съпротивление на генератора, т. е. $R \ll R_1$* . В резултат на това клемното (изходното) напрежение е значително по-малко от самото е. д. н. Освен това токът във веригата е относително голям, а мощността, отдавана в товара — малка. Крушката не свети, попееже мощността, отдавана в нея, е едва 0,088 W. Едновременно с това върху вътрешното съпротивление R_1 се отделя значителна мощност (3,9 W), която ненужно загрява самата батерия. Мощността, отделяна в товара, е далеч по-малка от мощността, отделяна в батерията, поради което к. п. д. на системата е едва 2%.

При втория опит (фиг. 24.1 б) *съпротивлението на консуматора е от същия порядък като това на генератора, т. е. $R \approx R_1$* . В резултат на това клемното (изходното) напрежение е малко по-ниско от е. д. н. на батерията. Токът във веригата е средно голям, а мощността в товара е значителна ($P = 0,7 \text{ W}$), поради което крушката свети нормално. Мощността, отделена в самата батерия, е 0,2 W, т. е. тя е значително по-малка от мощността в товара, при което к. п. д. е около 30%.

При третия опит (фиг. 24.1 в) *съпротивлението на консуматора е значително по-голямо от вътрешното съпротивление на генератора, т. е. $R \gg R_1$* .

В резултат на това клемното (изходното) напрежение е почти равно на ϵ д.п. на батерията. Токът във веригата е твърде малък. Мощността, отдадена в товара, е също малка (0,17 W), поради което крушката не свети. Мощността, отдадена в самата батерия, е твърде малка (0,008 W), но полже и мощността в товара не е голяма, к. п. д. на системата е малък (около 4,4%).

От горните три опита става ясно, че при различно съотношение между вътрешното съпротивление на генератора и съпротивлението на товара свойствата на веригата са твърде различни. Тук са в сила следните закономерности.

1. Ако главното изискване е даден генератор да осигури *максимално голям ток*, товарното съпротивление трябва да е многократно по-малко от вътрешното съпротивление на генератора.

2. Ако главното изискване е от даден генератор да се получи *максимална мощност*, съпротивлението на товара трябва да е равно на вътрешното съпротивление на генератора.

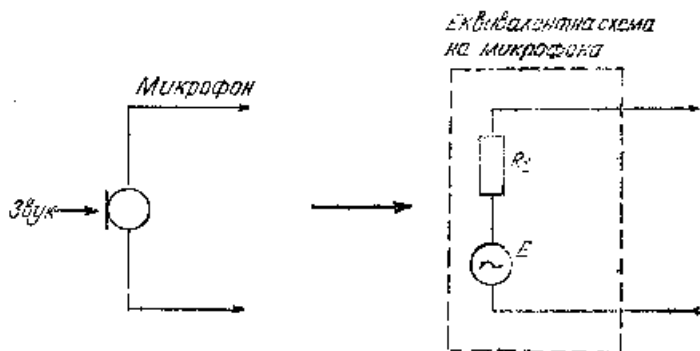
3. Ако главното изискване е генераторът да осигури *максимално голямо напрежение* на изхода си, товарното съпротивление трябва да е многократно по-голямо от вътрешното съпротивление на генератора.

Нека отбележим, че при конструиране на дадено усилвателно стъпало специалистите се ръководят не само от едно „главно“ изискване, а се съобразяват с много фактори. Следователно в практиката се правят определени компромиси с оглед цялото устройство да има оптимални качества.

24.3. Входно и изходно съпротивление на усилвателните стъпала

Електронните устройства обикновено се състоят от няколко усилвателни стъпала. Сигналът, който се подава към усилвателя, най-напред се усилва от първото стъпало, след това от второто и т. п., докато стигне до високоговорителя. При това положение *всяко предно стъпало се явява генератор за следващото, а всяко следващо — товар за предното.*

Изискванията, които се предявяват към различните стъпала на един усилвател, не са еднакви. Така например в предусилвателните стъпала главното

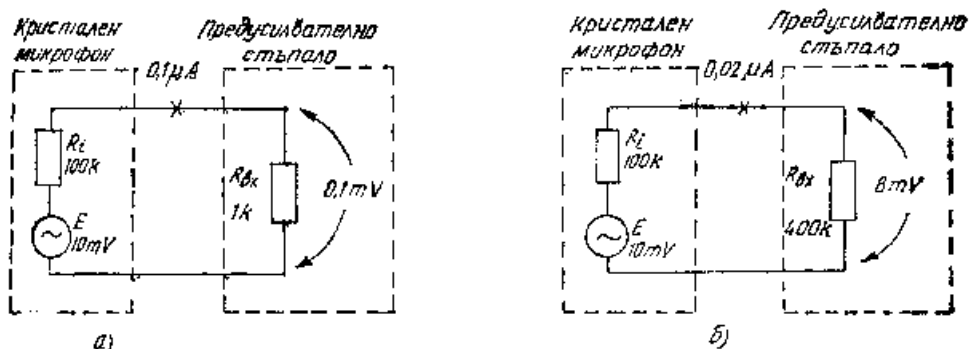


Фиг. 24.2

изискване е да имаме максимално отдаване на напрежение от генератора в товара, докато при крайните стъпала главното изискване е максимално отдаване на мощност от генератора на товара. На практика тези различни изисквания се осъществяват чрез подходящ подбор на вътрешното съпротив-

ление на генератора и входното съпротивление на товара. (Обръщаме внимание, че става дума за входно и изходно съпротивление по променлив ток, тъй като сигналят, който се подава от едно стъпало към друго, е променлив).

За да покажем важността на входното и изходното съпротивление, нека да разгледаме един пример. Знаем, че когато пред микрофона се издава звук,

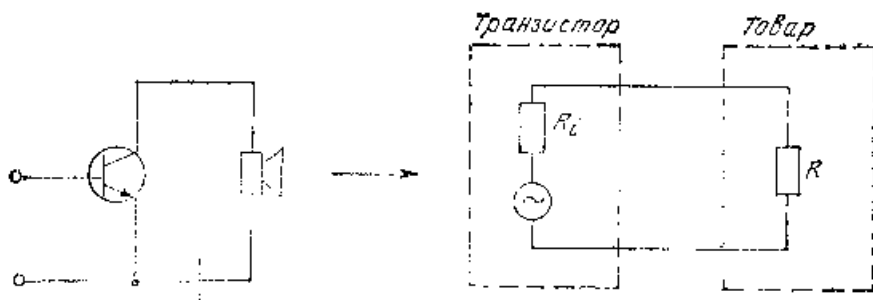


Фиг. 24.3

на неговия изход се появява променливо напрежение. Следователно микрофонът може да се представи като променливотоков генератор с определено вътрешно съпротивление. Това е показано на фиг. 24.2, като схемата вляво се нарича *еквивалентна схема* на микрофона.

След тези пояснения можем да разгледаме една конкретна схема с кристален микрофон. И практиката показва, че при него най-често $E = 10 \text{ mV}$ и $R_i = 100 \text{ k}\Omega$ (Обръщаме внимание, че кристалният микрофон е високоомен.) Въпросът, който ни интересува, е какво трябва да бъде входното съпротивление на първото предусилвателно стъпало, за да се получи максимално отдаване на напрежение от микрофона в стъпалото?

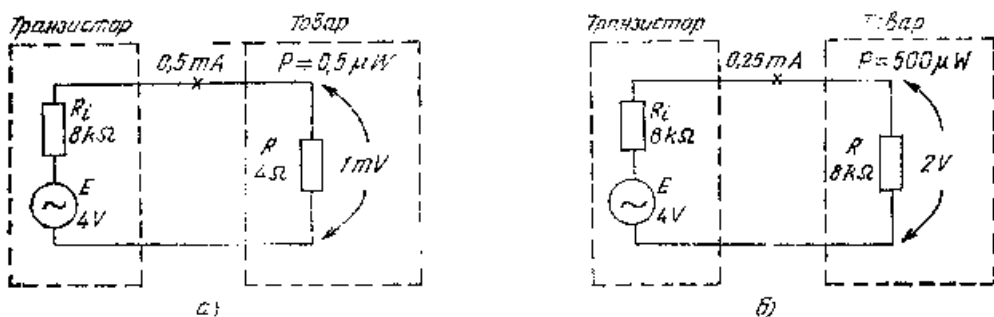
Като имаме пред вид казаното в т. 24.2, за да получим голямо напрежение на изхода на микрофона, предусилвателното стъпало трябва да има голямо входно съпротивление. И наистина от фиг. 24.3 а се вижда, че ако входното съпротивление на предусилвателното стъпало е малко, микрофонът отдава в стъпалото малка част от своето е. д. н. Ако обаче предусилвателното стъ-



Фиг. 24.4

пало има голямо входно съпротивление (фиг. 24.3 б), микрофонът ще отдава сравнително голямо напрежение в него. При сравняване на двете схеми от фиг. 24.3 се вижда, че във втория случай напрежението, подавано към стъпалото, е 80 пъти по-голямо от първия!

Нека да разгледаме още един пример. На фиг. 24.4 а е показано у еквивалентно състояние на мощност, като в колекторната верига на транзистора е включен високоговорител. Когато на входа се подава подходящ сигнал, транзисторът може да се представи като променливотоков генератор с опре-



Фиг. 24.5

делено вътрешно съпротивление, а високоговорителят може да се представи чрез съпротивлението на бобинката си. Това е показано на фиг. 24.4 б, като схемата вдясно се нарича *еквивалентна схема по променлив ток* на изходната верига на транзистора. (Обръщаме внимание, че схемата се отнася само за променливата съставка, за която батерията представлява късо съединение.) Въпросът, който ни интересува, е какво трябва да бъде съпротивлението на високоговорителя, за да може транзисторът да отдаде в него максимална мощност?

Както беше изяснено в т. 24.2, за да се получи максимално отдаване на мощност, съпротивлението на високоговорителя трябва да е равно на изходното (вътрешното) съпротивление на транзистора. Понеже този въпрос е твърде важен, нека се спрем на нещо по-подробно.

Съпротивление на високоговорителя. Това е съпротивлението на бобинката на високоговорителя за променлив ток (вж. фиг. 13.3). Практиката показва, че ако бобинката се направи с голямо съпротивление, цялата трептяща система ще стане тежка и това ще влоши качествата на високоговорителя. Именно затова съвременните високоговорители (маломощни и мощни) имат нискоомни бобинки със съпротивление $2+8 \Omega$.

Изходно съпротивление на транзистора. Това е изходното (вътрешното) съпротивление на транзистора за променлив ток. То зависи от схемата на свързване (ОЕ, ОБ, ОК), от вида на транзистора (маломощен, средномощен, мощен) и от работната му точка (т. е. от избрания колекторен ток на покой). Например маломощният транзистор SFT 323 при колекторен ток на покой 1 mA има $R_i = 30 \text{ k}\Omega$, а при колекторен ток на покой 5 mA то е $8 \text{ k}\Omega$. Мощният транзистор SFT 214 при колекторен ток на покой 10 mA има $R_i = 1500 \Omega$, а при колекторен ток на покой 50 mA то е 400Ω .

От горното става ясно, че изходното съпротивление на транзистора при схема ОЕ е значително по-голямо от съпротивлението на високоговорителите. Поради това, ако в колекторната верига на транзистора включим високоговорителя директно (фиг. 24.4), мощността, отдавана в него, ще е нищожно малка. Например, ако транзисторът е маломощен и високоговорителят има съпротивление $R = 4 \Omega$, ще имаме случая, показан на фиг. 24.5 а, като обръщаме внимание, че мощността, отдавана във високоговорителя, е едва $0,5 \mu\text{W}$. Ако обаче на същия транзистор осигурим товар $8 \text{ k}\Omega$ (фиг. 24.5 б)

мощността, отдавана в него, ще е 500 μW , т. е. 1000 пъти повече! Този пример още веднъж потвърждава, че за да имаме максимално отдаване на мощност трябва товарното съпротивление да е равно на изходното съпротивление на транзистора. Именно поради тази причина високоговорителите се включват към крайните стъпала не директно, а посредством изходен трансформатор.

24.4. Еднотактно крайно стъпало

Главна особеност на еднотактните крайни стъпала е, че имат малък н. п. д. Затова те се използват само при малки мощности — напр. до 20 mW.

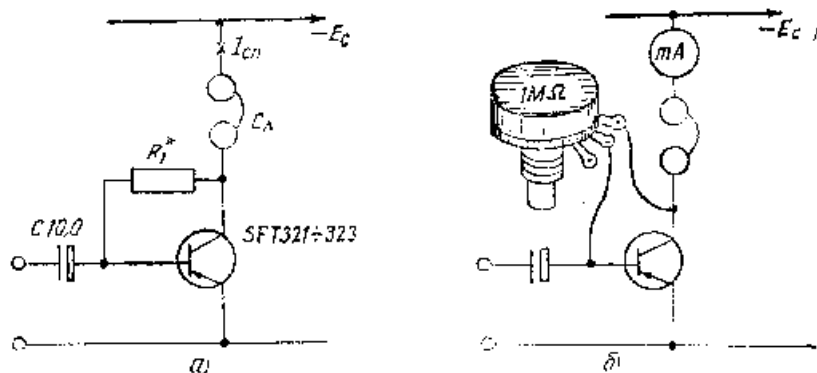
На фиг. 24.6 а е показана схема на еднотактно крайно стъпало със слушалки. То може да бъде използвано в малки радиолюбителски приемници.

Тук съпротивлението R_T в базата е означено със *звездичка*, което показва, че *точната му стойност се подбира по време на работа*. Това съпротивление определя големината на колекторния ток на покой $I_{CП}$ на транзистора. От своя страна необходимият колекторен ток на покой зависи от това, какво е напрежението на захранващата батерия и какво е съпротивлението на слушалките. Именно тези зависимости са показани в таблицата. Например от нея се вижда, че при захранване 6V и употреба на слушалки със съпротивление 4000 Ω необходимият колекторен ток на покой е $I_{CП} = 1 \text{ mA}$. Практически това се постига като на мястото на базовото съпротивление се включва потенциометър, а на мястото, означено с кръстче, се включва милиамперметър (фиг. 24.6 б). Като въртим потенциометъра, установяваме необходимата стойност на колекторния ток. След това с омметър измерваме съпротивлението на потенциометъра и на негово място поставяме съответен резистор. С помощта на тази схема (фиг. 24.6 а) може да се получи изходна мощност 0,1—10 mW, като с успех може да бъде употребен всеки маломощен високочестотен транзистор.

На фиг. 24.7 а е показана проста схема на маломощно крайно стъпало с малък високоговорител. Тук включването на високоговорителя не е директно, а посредством изходен трансформатор, с което се осигурява добро съгласуване между значителното изходно съпротивление на транзистора и малкото съпротивление на високоговорителя. В резултат на това изходната мощност на стъпалото е $\approx 20 \text{ mW}$. При изработката на трансформатора може да се използва такъв от стар транзисторен приемник, като се пренапие наново. Данините за изходния трансформатор са следните: сечение на магнитопровода — $0,16 \div 0,30 \text{ cm}^2$; първична намотка — 800 нав $\varnothing 0,07 \text{ mm}$; вторична намотка — 50 нав $\varnothing 0,17 \text{ mm}$. Точната стойност на базовото съпротивление се подбира опитно по познатия начин с оглед колекторният ток на покой да е 6 mA. Нека добавим, че и тук може с успех да бъде употребен всеки маломощен високочестотен транзистор.

Захранващо напрежение E_C, V	Съпротивление на слушалката R, Ω	Необходим колекторен ток на покой $I_{CП}, \text{mA}$
4,5	50—100	10
	200—500	5
	1000—4000	0,5
6	50—100	8
	200—500	4
	1000—4000	1
9	50—100	6
	200—500	3
	1000—4000	1

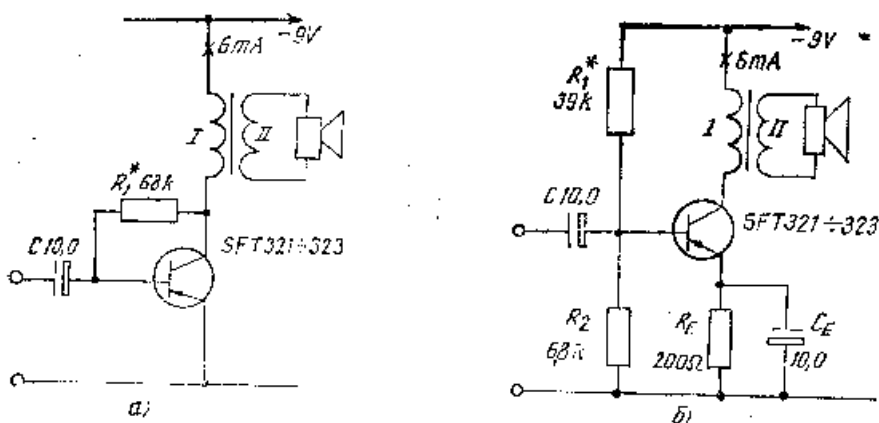
На фиг. 24.7 б е показана по-съвършена схема на еднотактно крайно стъпало с малък високоговорител. Тук е употребен същият трансформатор и се получава същата изходна мощност, но стабилността и качеството са подобрени. Стойността на резистора R_1 се подбира опитно по познатия начин с



Фиг. 24.6

оглед колекторният ток да е 6 mA. В това крайно стъпало също може да бъде употребен кой да е маломощен високочестотен транзистор.

Както вече казахме, *основен недостатък на еднотактните крайни стъпала е малкият ил. к. п. д.* — напр. 5–20%. И затова при малки мощности



Фиг. 24.7

това не е толкова важно, при по-големи мощности стойността на к. п. д. е от съществено значение. Например, ако на един фабричен транзисторен радиоприемник крайното стъпало е еднотактно, неговите батерии твърде бързо ще се изтощават и често трябва да се сменят. Това е така, понеже само малка част от енергията на батериите се превръща в звук, а останалата част ненужно загрява транзистори, резистори и др. Именно по тази причина крайните стъпала на почти всички НЧ усилвателни устройства се правят по двутактната схема.

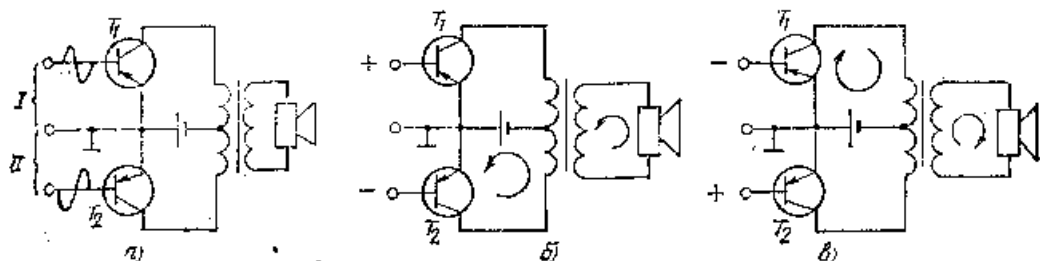
24.5. Двухтактно трансформаторно крайно стъпало

Главна особеност на двухтактните крайни стъпала е сравнително големия им к. п. д., който на практика достига до 60—70%. Едновременно с това тяхната схема е по-сложна, понеже в нея участвуват два транзистора.

Както се вижда от фиг. 24.8 а, едно такова стъпало има *два входа* (спрямо шаси), към които трябва да се подават *противофазни променливи напрежения*. Това означава, че когато променливото напрежение на едната база е положително, напрежението на другата база трябва да е отрицателно и обратно. Както ще видим по-нататък, тези две противофазни напрежения се изработват от т. нар. *фазоинверсно стъпало*. То има *два изхода* (спрямо шаси) и винаги се намира пред двухтактното крайно стъпало. Обръщаме внимание, че изходният трансформатор на двухтактните стъпала има средна точка в първичната си намотка (фиг. 24.8 а).

За да разберем как работи двухтактното крайно стъпало, на фиг. 24.8 б е показан момент, когато на първия вход действа положително напрежение (спрямо шаси), а на втория — отрицателно. При това положение горният транзистор е *запушен*, а долният се *отпушва*, т. е. само през долното рамо протича ток. В случая, когато на първия вход действа отрицателно напрежение, а на втория вход — положително (фиг. 24.8 в), долният транзистор е *запушен*, а горният транзистор — *отпушен*, т. е. ток протича само в горното рамо. Или, казано накратко, когато единият транзистор е отпушен, другият е *запушен* и обратно. Следователно едната полувайна на променливия ток в трансформатора се формира от единия транзистор, а другата полувайна — от другия. Важна особеност на схемата е това, че *при липса на входни сигнали колекторните токове на покой на двата транзистора са относително малки*. Следователно по време на паузите консумацията на двухтактното стъпало е малка и това е една от причините за неговата икономичност. Като втора причина за добрата икономичност може да се посочи фактът, че когато единият транзистор работи, другият е *запушен*, т. е. не консумира енергия.

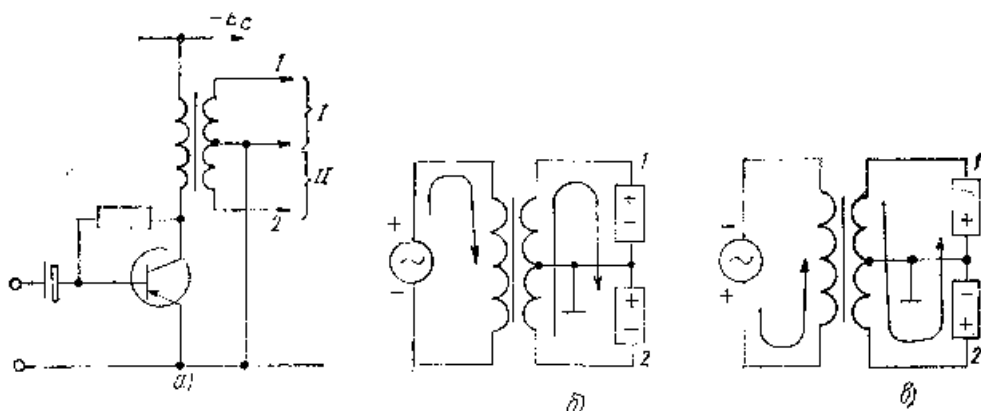
Нека сега да разгледаме една от най-разпространените схеми на фазоин-



Фиг. 24.8

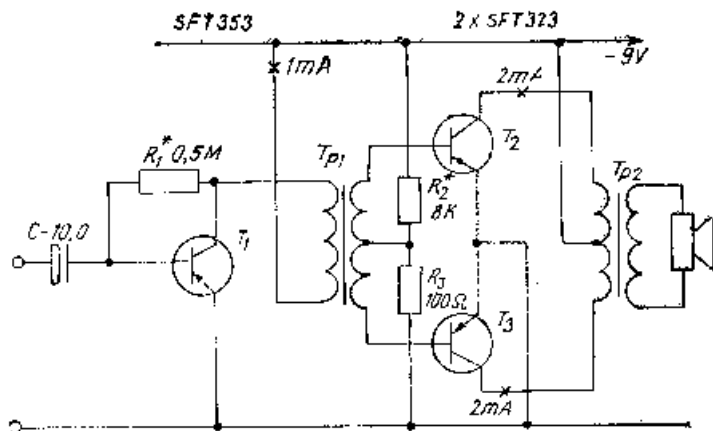
версно стъпало, показана на фиг. 24.9 а. Особеното тук е, че в колекторната верига на транзистора е включен *фазоинверсен трансформатор*. Неговата вторична намотка има *среден край* и той е *свързан към шаси*. По такъв начин фазоинверсният трансформатор има два изхода, чиито променливи напрежения са винаги *противофазни*. Това се вижда от фиг. 24.9 б, където при положителен полупериод на генератора точката 1 е *положителна* спрямо шаси, а точката 2 е *отрицателна*. През отрицателния полупериод на генератора точката 1 е *отрицателна* спрямо шаси, а точката 2 — *положителна*.

На фиг. 24.10 е показана конкретна схема на двутактно крайно стъпало заедно с фазоинверсното стъпало. Фазоинверсният трансформатор Tr_1 и изходният трансформатор Tr_2 могат да се купят от магазините за радиоматериали. Те обаче могат да се вземат и от стари транзисторни радиоприем-



Фиг. 24.9

ници. Данните за фазоинверсия трансформатор са следните: сечение на желязната сърцевина — $0,16 \div 0,36 \text{ cm}^2$; първична намотка — 1200 нав/0,07 mm; вторична намотка — 240 нав/0,10 mm с извод в средата. Изходният трансформатор има следните данни: сечение на желязната сърцевина — $0,25 \div 0,36 \text{ cm}^2$; първична намотка — 600 нав/0,12 mm с извод в средата; вторична намотка 50 нав/0,20 mm. Двата крайни транзистора трябва да са еднакви и да имат почти еднакъв коефициент на усилване β . Стойността на резистора R_1 се подбира опитно с оглед колекторният ток на покой на T_1



Фиг. 24.10

да е 1 mA. Същото се отнася и за точната стойност на резистора R_2 с оглед колекторните токове на покой на T_2 и T_3 да са 2 mA. Високоговорителят е малък и има съпротивление на бобинката 4Ω . При подходящ сигнал на входа изходната мощност на този усилвател е 0,1 W.

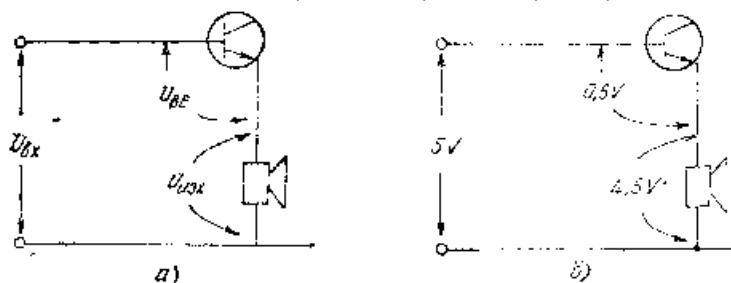
При тази схема може да бъде зададен въпросът: защо средният край на вторичната намотка на фазоинверсия трансформатор не е свързан към шаси директно, а посредством резистора R_3 ? Както се вижда от фиг. 24.10, стойността на R_3 е едва 100 Ω , поради което падът на напрежение върху него е твърде малък (около 0,1 V), т. е. може да се счита, че средната точка на трансформатора наистина е свързана към шаси. Едновременно с това напрежителният пад от около 0,1 V се явява едно малко преднапрежение за двата транзистора, чрез което се намаляват до минимум нелинейните изкривявания на стъпалото.

24.6. Двухактно безтрансформаторно крайно стъпало

Трансформаторите са обемисти и сравнително скъпи части и тяхното премахване значително намалява стойността и теглото на крайните стъпала. Именно затова белияството от съвременните крайни стъпала са безтрансформаторни.

При премахването на изходния трансформатор веднага възниква въпросът: как ще се осигури съгласуване между малкото съпротивление на високоговорителя ($4 \div 8 \Omega$) и сравнително голямото ($1 \div 10 \text{ k}\Omega$) изходно съпротивление на транзисторите? Това се постига, като крайните транзистори се свързват по схема ОК (емитерен повторител), в който случай изходното им съпротивление е твърде малко — напр. $10 \div 100 \Omega$. Тук веднага трябва да напомним за основния „недостатък“ на схемата ОК, а именно, че тя не усилюва по напрежение, т. е. каквото е входното променливо напрежение, почти такова е и променливото напрежение на изхода (товара). И понеже за получаване на значителна мощност изходното напрежение трябва да е също значително, това означава че при схема ОК входното променливо напрежение (за разлика от схема ОЕ) трябва да бъде относително голямо — напр. $1 \div 10 \text{ V}$. Тази особеност е важна и трябва да се запомни. Тя не противоречи на казаното по-горе, че дори и при мощните транзистори променливото напрежение между базата и емитера не може да е по-голямо от $0,5 \div 0,8 \text{ V}$. Защото при схема ОК входният сигнал действа в управляващия участък

Схема общ колектор (емитерен повторител)

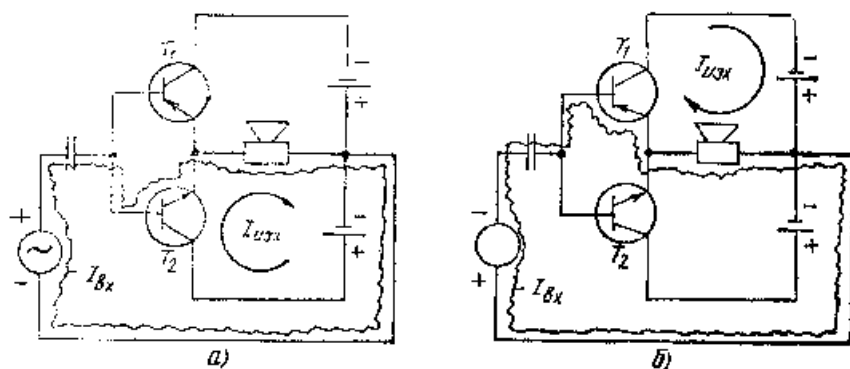


Фиг. 24.11

като преминва през товара, т. е. входният сигнал се разпределя между усиливащия участък и товара (фиг. 24.11 а). Например, ако променливият входен сигнал е 5 V, от него 4,5 V действуват върху товара и 0,5 V действуват в управляващия участък (фиг. 24.11 б). Сега вече е ясно, че безтрансформатор-

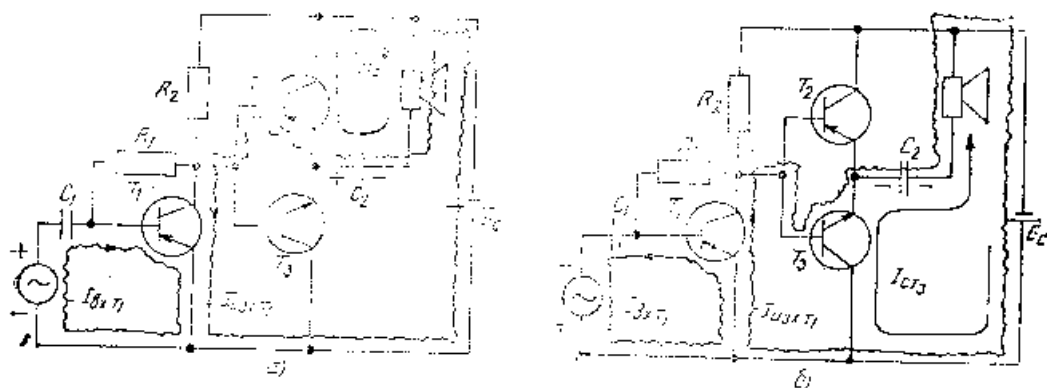
ните крайни стъпала трябва да се задействуват със значителни променливи входни напрежения, т. е. пред тях трябва да има поне едно-две предусилвателни стъпала.

Сега нека се спрем на въпроса за премахването на фазоинверсията на трансформатора, чиято основна задача беше да осигури две противофазни напре-



Фиг. 24.12

жения. Този трансформатор може да бъде премахнат, ако крайните транзистори се изберат с противоположна проводимост, т. е. единият да е NPN, а другият — PNP, като останалите им параметри (мощност, коефициент на усилване β и др.) са еднакви. Така подобрени, два транзистора се наричат *комплементарна двойка* или транзистори с допълнителна симетрия. Най-важната особеност на такова крайно стъпало е, че то се задействува не с два противофазни сигнала, а само с един сигнал, т. е. то има *само един вход*. Това е показано на фиг. 24.13, където при положителен входен сигнал (входният променлив ток е начертан с външообразна линия) се отпушва само долният транзистор, т. е. променлив колекторен ток протича само през долното

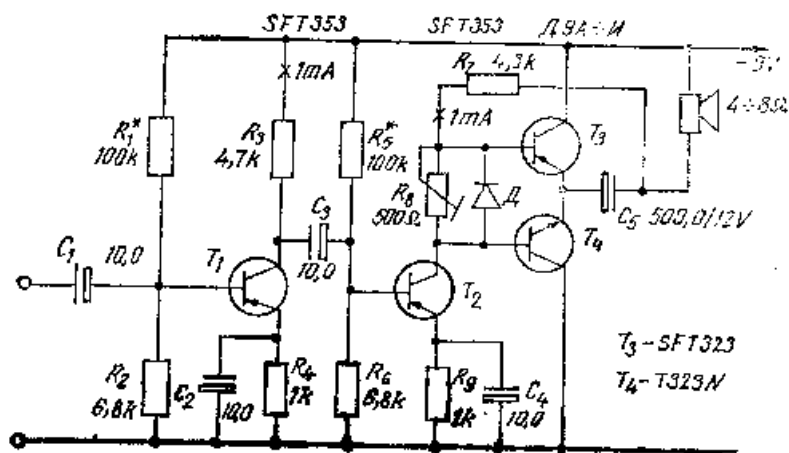


Фиг. 24.13

рамо. При отрицателен входен сигнал се отпушва само горният транзистор, т. е. променлив колекторен ток протича само през горното рамо. По такъв начин през единия полупериод токът през товара протича в една посока, а през другия полупериод — в друга. Недостатък на тази схема е това,

че се захранва от два токоизточника и освен това базите на транзисторите са плаващи.

Тези недостатъци са избягнати при схемата, дадена на фиг. 24.13, където освен крайното е начертано и предусилвателното стъпало. Тук с вълнооб-



Фиг. 24.14

разна линия е показан входният и изходният променлив ток на транзистора T_1 през първия и през втория полупериод. Обръщаме внимание на това, че изходният променлив ток на T_1 през първия полупериод отпущва транзистора T_2 и в неговата колекторна верига протича променлив ток, породен от заредения кондензатор C_2 . (При липса на сигнал кондензаторът C_2 е зареден до напрежение, равно на половината от напрежението на токоизточника). През втория полупериод изходният променлив ток на T_1 отпущва транзистора T_3 и в неговата колекторна верига протича променлив ток, породен от разликата от напреженията на токоизточника и кондензатора C_2 .

На фиг. 24.14 е показана една конкретна схема на НЧ усилвател с безтрансформаторно крайно стъпало с изходна мощност 0,1 W. Стойностите на резисторите R_1 и R_3 се подбират опитно с оглед колекторните токове на T_1 и T_2 да са 1 mA. Чрез тример-потенциометъра R_8 звукът на усилвателя се прави възможно най-чист, т. е. да има минимални нелинейни изкривявания. Диодът D служи за температурна стабилизация на крайните транзистори. Освен посочените крайни транзистори с успех могат да бъдат използвани и следните двойки: GC511K и GC521K, ГТ402Б и ГТ404Б, МП138 и МП142 и т. н.

ЗАПОМНЕТЕ !

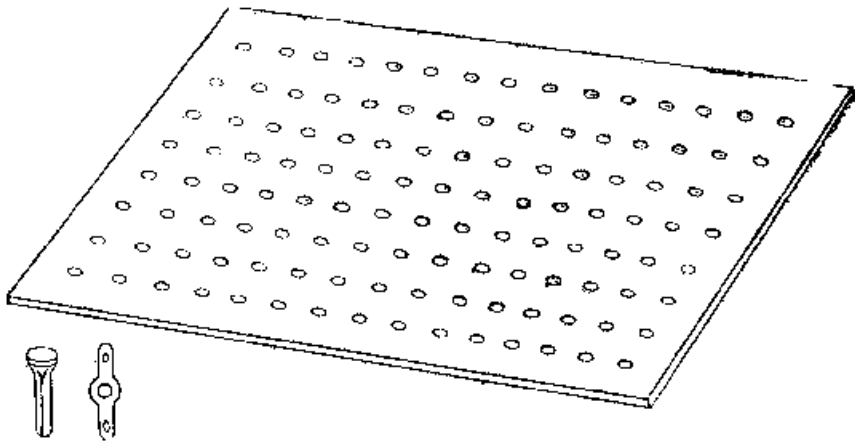
1. Електронните устройства обикновено се състоят от няколко усилвателни стъпала. Сигналът, който се подава към усилвателя, най-напред се усилва от първото стъпало, след това от второто и т. н., докато достигне до високоговорителя.
2. Основен параметър на всяко усилвателно стъпало е неговото входно и изходно съпротивление по променлив ток, понеже сигналът, който се подава от едно стъпало към друго, е променлив.
3. Централен въпрос при свързване на отделните усилвателни стъпала е тяхното съгласуване, т. е. избиране на подходящо съотношение между изходното съпротивление на предното стъпало и входното съпротивление на следващото стъпало.
4. Предназначението на крайните стъпала е да усилят мощността на полезния сигнал с оглед да може да се задействува високоговорителят, поради което тук токовете и напреженията имат значителни стойности.
5. Поради значителната мощност основно изискване към крайните стъпала е да бъдат икономични, т. е. да имат възможно по-голям к. п. д. И понеже двутактната схема има най-голям к. п. д., крайните стъпала на болшинството от съвременните радиоелектронни устройства са направени по двутактна схема.

Лаборатория на радиолюбителя

25.1. Общи сведения

Радиоелектрониката е приложна наука и нейното изучаване е немислимо без практически занимания. Съществува мнение, че преди да започнем направата на прости конструкции, трябва предварително да сме запознати с редица основни теоретически положения от електротехниката, полупроводниците и т. н. Други считат, че младият радиолюбител може да започне своята дейност с конструирането на прости устройства, без да е запознат с елементарната теория.

Според нас тези мнения са твърде крайни. Опитът е показал, че добри резултати се получават, когато теорията и практиката вървят заедно. Ето защо ние препоръчваме на начинаещите радиолюбители едновременно с елементарната теория да пристъпят към запознаване с различните радиочасти и материали и с конструиране на прости електронни устройства. За целта всеки радиолюбител трябва да започне организирането на своя „лаборатория“. Тук не става дума за някакво самостоятелно помеще-



Фиг. 25.1

ние, а за един ъгъл от стаята, в който той да постави маса или още по-добре някое старо бюро с чекмеджета, в които да подреди инструментите и материалите си. Нека споменем и най-необходимите инструменти: измерителен комбиниран уред (ампер-волт-омметър), индукционен (или обикновен) поял-

ник, клещи комбинирани, отвертки — малка и средна, чукче, пинцети, вожче, ножовка, малка ръчна бормашина, шило, център, свредла с различен диаметър, триъгълник, пожица за ламарина и др. А най-необходимите материали са следните: типол (калай), колофон, меден проводник ПЕЛ с различни диаметри, гол монтажен проводник, гетинаксови плочки с различни размери, прешпан (електрокартон), дебел 1 mm, изолационни тръбички (шляухи) с различен диаметър, кондензатори — различни, резистори — различни, потенциометри, транзистори, диоди, стари трансформатори и т. н.

При конструиране на електронни устройства се препоръчва пробно шаси, върху което се извършва първоначалният монтаж, без да се подрязват краищата на резисторите, диодите, транзисторите, кондензаторите и т. н. Такова пробно шаси е показано на фиг. 24.1. То представлява гетинаксова плоча с размери примерно $250 \times 150 \times 3$ mm, върху която в шахматен ред са пробити отвори на разстояние 15 mm един от друг, в които са занитени монтажни ушнички. При липса на такива може да си послужим с кабари за подвързване на учебници, като главичките им предварително почистваме с шкурка и ги калайдисваме, а след поставянето им ги подрязваме отдолу и ги закриваме, без да се допират.

Върху плочата може да пробем и други отвори за закрепване на феритна антена, потенциометри и др.

25.2. Батерии и акумулатори

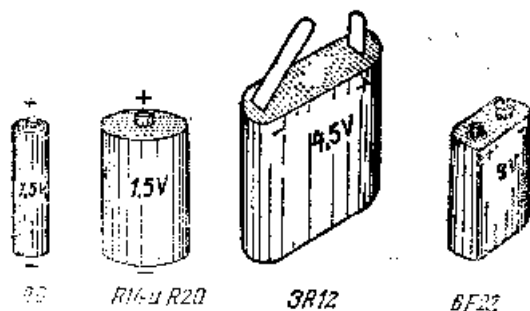
Захранването на различните радиоелектронни устройства става с батерии, акумулатори и токоизправители.

Батериите са галванични елементи, в които става превръщането на химическата енергия в електрическа. Те се използват еднократно и след изтощаването им се заменят с нови. На фиг. 24.2 са показани най-употребяваните батерии заедно с означенията им.

При липса на консумация (на „празен ход“) напрежението на клемите (полюсите) на всяка батерия е равно на нейното е. д. н. При консумация обаче клетното напрежение е по-малко от е. д. н. поради пада на напрежение върху вътрешното съпротивление (фиг. 25.3 а).

Тази особеност е твърде важна за всеки токоизточник и се изразява чрез неговата товарна характеристика. На фиг. 25.3 б са показани характеристики на идеален токоизточник, акумулатор и плоска батерия. Виждаме, че колкото е по-голямо вътрешното съпротивление, толкова по-бързо намалява клетното напрежение при нарастване на консумацията. Нека отбележим, че вътрешното съпротивление на новите батерии е от 1 до 10 Ω , а при изтощаването то достига до 100—500 Ω .

Акумулаторите са вторични източници на електрическа енергия, т. е. преди да се използват, те трябва да се заредят. На фиг. 25.4 е показан дисков акумулатор от типа НКХ (никел-кадмиев-херметически), а до него



Фиг. 25.2

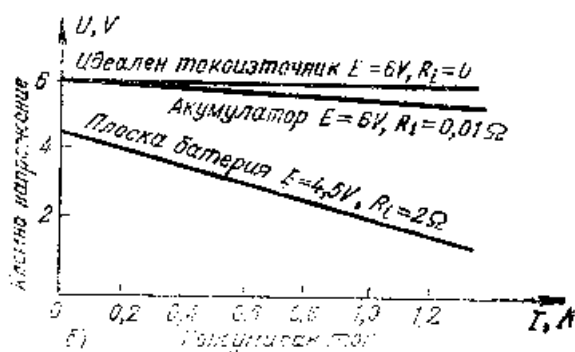
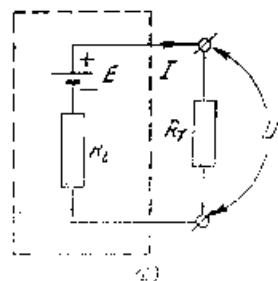
лежим, че вътрешното съпротивление на новите батерии е от 1 до 10 Ω , а при изтощаването то достига до 100—500 Ω .

Акумулаторите са вторични източници на електрическа енергия, т. е. преди да се използват, те трябва да се заредят. На фиг. 25.4 е показан дисков акумулатор от типа НКХ (никел-кадмиев-херметически), а до него

е представена акумулаторна батерия, която се състои от 7 последователно свързани дискови акумулатори.

В заредено състояние дисковите акумулатори от типа НКХ имат напрежение 1,5 V, а при разреждане то не бива да намалява под 1,1 V. Например

Токоизточник



Фиг. 25.3

в заредено състояние акумулаторната батерия 7Д — 0,1 има напрежение 8,75 V, а в разрежено — 7 V.

Зареждането на акумулаторите става с помощта на подходящ токоизправител, като зарядният ток и времето на зареждане се посочват от завода-производител.

25.3. Мрежови трансформатори

Мрежовите трансформатори са съставна част на почти всяко електронно устройство, захранвано от електрическата мрежа. Обикновено те не се купуват готови, а се изчисляват и изработват от самите радиолюбители, като се използва подходящ магнитопровод. Най-често се употребяват Ш-образни магнитопроводи, като на средното им рамо се навиват една върху друга (или една до друга) първичната и вторичната намотка (фиг. 25.5 а). Ламелите на тези магнитопроводи са стандартизирани, като дебелината на пакета се избира от конструктора. Тук основна величина е сечението на магнитопровода $Q_{\text{ж}}$ (фиг. 25.5 б), за което можем да напишем $Q_{\text{ж}} = ac$. Друга важна величина е площта на прозореца, за която можем да напишем $S_{\text{пр}} = bh$.

При изчисляването на трансформатори величините, които са зададени предварително (и следователно са известни), са мрежовото напрежение $U_1 = 220 \text{ V}$, номиналното напрежение U_2 на вторичната намотка, номиналният ток I_2 през товара, номиналната вторична мощност $P_2 = U_2 I_2$. (Ако трансформаторът съдържа две и повече вторични намотки, номиналната вторична мощност е $P_2 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots$)

За бързо изчисление на маломощни мрежови трансформатори с Ш-образен магнитопровод може да се използва табл. 25.1. В нея са дадени вторичната мощност P_2 , сечението на магнитопровода $Q_{\text{ж}}$, броят на навивките w_2 в първичната намотка при $U_1 = 220 \text{ V}$, диаметърът d_1 на проводника на пър-

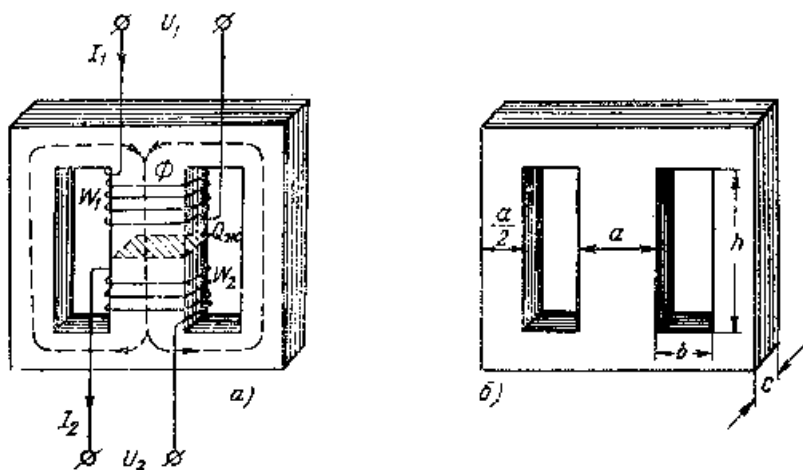


Фиг. 25.4

вторичната намотка, величината „नाविकи за един волт“ ω_{IV} .

Нека с един пример покажем как може да се използва таблица.

Пример 25.1. Да се изчисли мрежов трансформатор с данни: $U_1=220\text{ V}$, $U_2=9\text{ V}$, $I_2=0,2\text{ A}$.



Фиг. 25.5

Определяме вторичната мощност: $P_2=U_2I_2=9 \cdot 0,2=1,8\text{ W}$. Закръгляваме $P_2=2\text{ W}$. От табл. 25.1 намираме следните величини: $Q_{ж}=2,1\text{ cm}^2$, $\omega_1=4650\text{ нав.}$, $d_1=0,08\text{ mm}$, навивки за един волт $\omega_{IV}=21$. Броят на навивките във вторичната намотка намираме по формулата

$$\omega_2=1,1U_2\omega_{IV}=1,1 \cdot 9 \cdot 21=210\text{ нав.}$$

За определяне диаметъра на проводника на вторичната намотка използваме формулата

$$d_2=0,025\sqrt{I_2}=0,025\sqrt{200}=0,35\text{ mm},$$

като токът I_2 се замества в mA.

Таблица 25.1

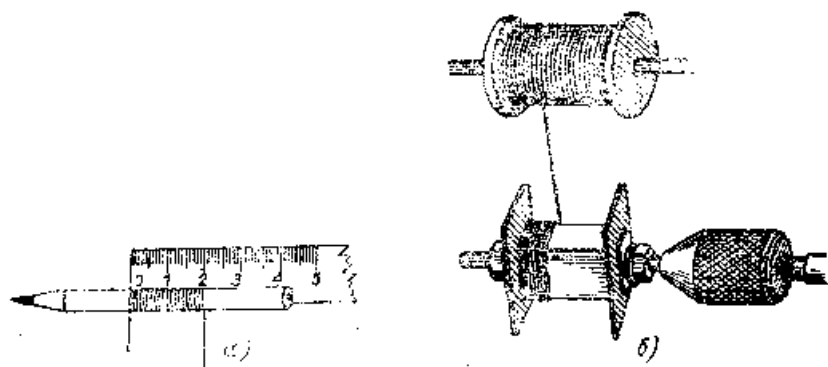
Вторична мощност $P_2, \text{ W}$	Сечение на маг. лентовете, $Q_{ж}, \text{ cm}^2$	Брой на навивките в първичната намотка ω_1	Диаметър на първичната намотка $d_1, \text{ mm}$	Навивки за един волт ω_{IV}	Вторична мощност $P_2, \text{ W}$	Сечение на маг. лентовете, $Q_{ж}, \text{ cm}^2$	Брой на навивките в първичната намотка ω_1	Диаметър на първичната намотка d_1	Навивки за един волт ω_{IV}
0,5	1,0	9900	0,05	45	36	7,9	1250	0,37	5,7
1	1,4	7100	0,06	32	40	8,3	1190	0,40	5,4
2	2,1	4650	0,08	21	46	8,9	1100	0,42	5,1
4	3,0	3300	0,12	15	52	9,2	1080	0,43	4,9
6	3,7	2650	0,15	12	60	9,8	1000	0,48	4,6
8	4,2	2360	0,17	10,7	70	10,3	950	0,52	4,3
10	4,6	2180	0,19	9,8	80	11,0	900	0,55	4,1
12	5,0	1980	0,21	9,0	90	11,7	860	0,59	3,9
14	5,3	1870	0,23	8,5	100	12,3	815	0,62	3,7
16	5,6	1760	0,25	8,0	120	13,4	750	0,68	3,4
18	5,9	1670	0,27	7,6	140	14,5	680	0,73	3,1
20	6,2	1600	0,28	7,3	160	15,5	640	0,78	2,9
24	6,6	1500	0,29	6,8	180	16,5	600	0,80	2,7
28	7,1	1400	0,32	6,4	200	17,3	570	0,86	2,6
32	7,5	1320	0,35	6,0					

При изработка на любителски мрежови трансформатори трябва да измерваме диаметъра на медния емайлиран проводник. При липса на микрометър измерването става по следния начин. На обикновен мотив навиваме плътно една до друга толкова навивки от проводника, че тяхната обща дължина да е 20 mm (фиг. 24.6 a).

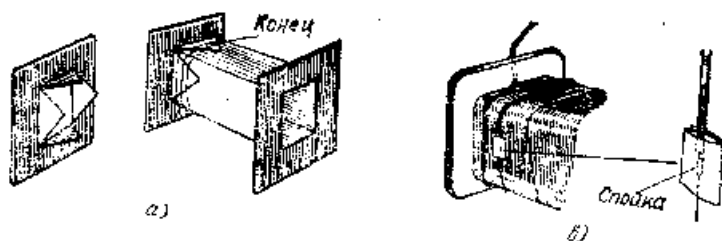
След това внимателно развиваме и преброяваме колко са били отделните навивки. Нека техният брой да е бил 57. Тогава разделяме $20:57=0,35$. Следователно диаметърът на проводника с изолацията е 0,35 mm. За определяне на диаметъра без изолацията е необходима *корекция* съгласно табл. 24.2. В нашия случай корекцията е 0,03. По такъв начин за диаметъра без изолацията получаваме $0,35-0,03=0,32\text{mm}$.

Таблица 24.2

Диаметър на изолацията на проводника, mm	Корекция, cm
От 0,05 до 0,09	0,01
0,10 0,19	0,01
0,20 0,25	0,02
0,26 0,29	0,02
0,30 0,39	0,03
0,40 0,49	0,03
0,50 0,70	0,04
0,70 1,00	0,05
1,00 2,00	0,06



Фиг. 25.6



Фиг. 25.7

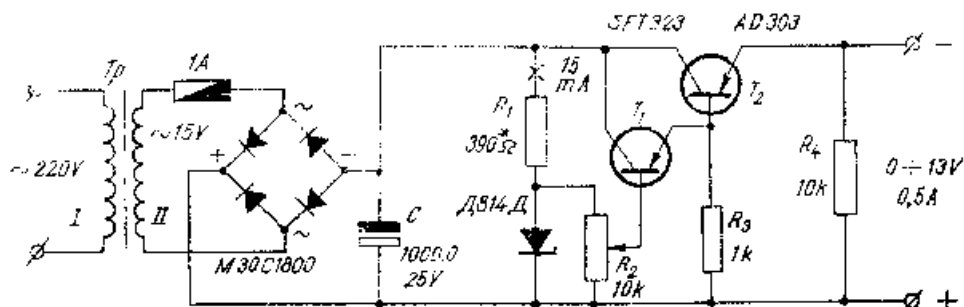
Когато дадена намотка (например вторичната) съдържа неголям брой навивки, навиването може да стане „на ръка“. Когато обаче намотката съдържа повече навивки (например първичната), навиването може да стане с помощта на ръчна бормашина, в патронника на която се стяга подходящ виег с две гайки (фиг. 25.8 б).

На фиг. 25.7 а е показано как може да си изработим самоделна макара за трансформатор. Тя се прави от здрав картон с дебелина например 1,5+2 mm, който изрязваме с ножци или джобно ножче. Отделните части на макарата залеждаме с подходящо лезило, като отгоре ги завързваме с конец.

Изводите на тънката намотка се правят от по-дебел проводник (фиг. 25.7б), който след извършване на свийката се изолира чрез същото картонче от рисувателен лист.

25.4. Регулируем стабизиран токоизправител

Едно от най-важните устройства в лабораторията на младия радиолюбител е регулируемият стабизиран токоизправител. С него могат да се изпробват различни схеми, да се запазват различни устройства, могат да се снимат волтамперни характеристики, лесно може да се установява напрежението на стабилизация на ценови диоди и др.



Фиг. 25.8

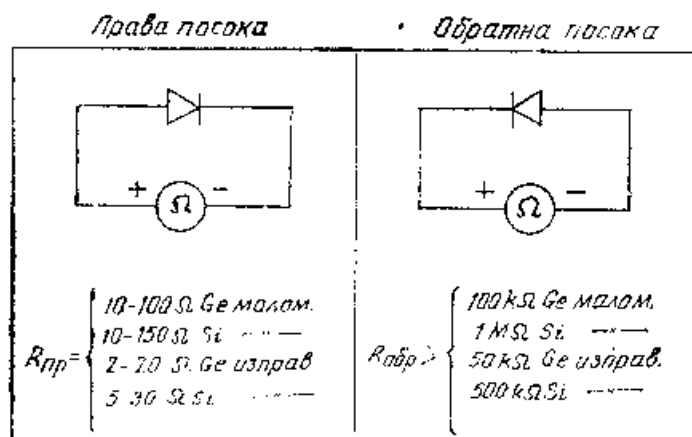
Схемата на токоизправителя е показана на фиг. 25.8. Мрежовият трансформатор се навива върху Ш-образен магнитопровод със сечение 5 cm². Първичната намотка съдържа 1980 навивки от емайлиран проводник с диаметър 0,12 mm, а вторичната — 135 навивки от емайлиран проводник с диаметър 0,55 mm. Точната стойност на резистора R_1 се определя опитно, с оглед токът през него да е около 15 mA. Транзисторът T_1 може да се замени с транзисторите SFT307+308, SFT351+353 и др., а транзисторът T_2 може да се замени с транзисторите SFT212+214, AD301+325 и др. За да не се загрява, транзисторът T_2 се закрепва на самоделен радиатор, представляващ алуминиева плочка с размери 40×70 mm, дебелина 2+4 mm. Препоръчваме токоизправителят да се монтира в подходяща пластмасова кутия, като копчето на R_2 се изведе навън и се градуира във волтове.

25.5. Проверка годността на диоди и транзистори

При работа с диоди и транзистори е особено важно да сме сигурни, че те не са повредени. Тяхната годност се проверява най-лесно с помощта на омметър, който обикновено е съставна част на комбиниран уред. Преди да разгледаме самата проверка, трябва да кажем, че с „—“ ще означаваме онази клемата на омметъра, която е свързана с положителния полюс на вградения токоизточник. (При някои комбинирани амперволт-омметри това е кле-

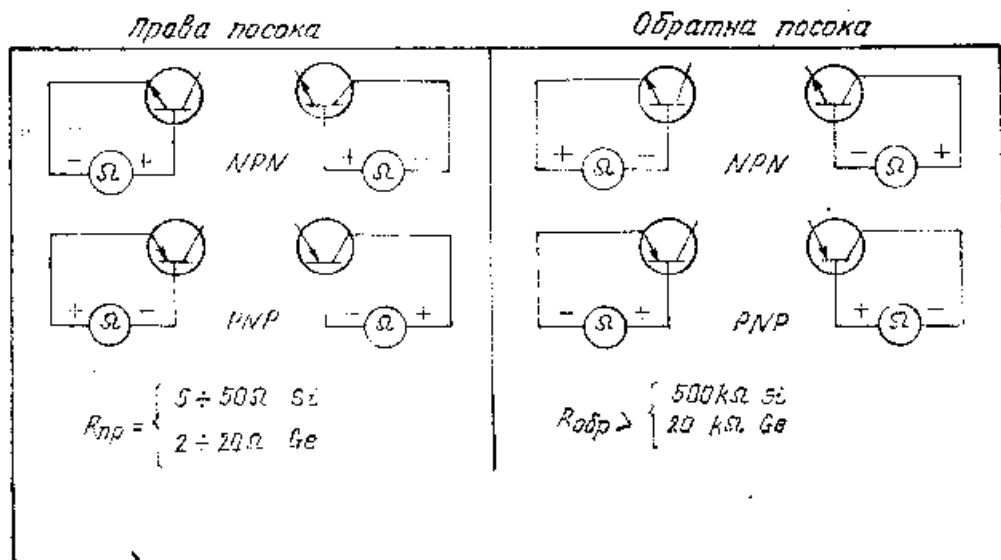
мата, маркирана с „+“, а при други — клемата, маркирана с „-“. Следователно трябва да сме напълно наясно с какъв омметър работим).

Полупроводниковите диоди са изправни, когато имат еднопосочна проводимост. При измерване с омметър техните съпротивления трябва да са



Фиг. 25.9

от порядъка на тези, дадени на фиг. 25.9. Ако даден диод н в двете посоки има нулево съпротивление или безкрайно голямо съпротивление, той е дефектен.

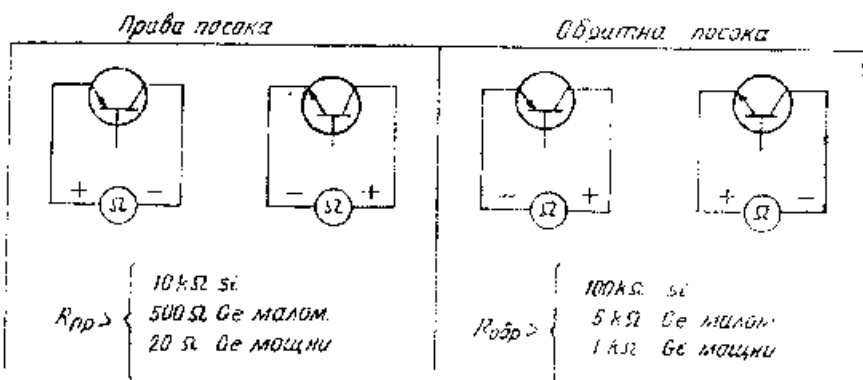


Фиг. 25.10

Биполярният транзистор е годен тогава, когато са изправни и двата му прехода и между електродите му няма късо съединение. При измерване с омметър съпротивленията на преходите трябва да са от порядъка на тези, показани на фиг. 25.10. След това трябва да се провери верността имите

колектор и в двете посоки, като съпротивленията, които трябва да имат изправните транзистори, са дадени на фиг. 25.11. При наличие на късо съединение между електродите транзисторът е негоден за работа.

С помощта на милиамперметър лесно може да бъде определен коефициентът на усилване β на всеки транзистор, като се използва схемата, дадена



Фиг. 25.11

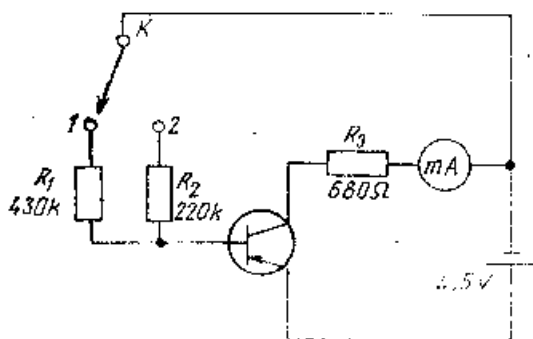
на фиг. 25.12. Резисторът R_2 е ограничителен и служи за предпазване на уреда, в случай че транзисторът е дефектен. Ако I_1 е измереният колекторен ток при положение 1 на ключа, а I_2 е измереният колекторен ток при положение 2, коефициентът β се определя по формулата

$$\beta = 100(I_2 - I_1), \quad (25.1)$$

където токовете са в милиампери. (При NPN транзистори полярността на батерията и на уреда трябва да бъде обратна).

Пример 25.2. При един транзистор, включен по схемата от фиг. 25.12, се получава $I_1 = 1,2$ mA и $I_2 = 2,1$ mA. Какъв е коефициентът му на усилване по ток?

Като заместим в горната формула, получаваме $\beta = 100(2,1 - 1,2) = 90$.



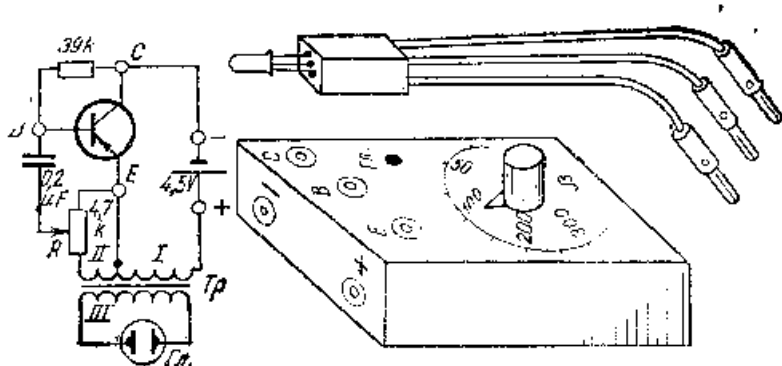
Фиг. 25.12

Нека подчертаем, че дадената по-горе формула за определяне големината на коефициента β се отнася само за случай, когато точно са спазени стойностите на резисторите и захранващото напрежение, посочени на фиг. 25.12.

Проверката на транзисторите е най-пълна, ако те се изпробват в генераторен режим. Това може да стане с показания на фиг. 25.13 транзистометър, с който може да се отчете и техният коефициент на усилване β .

Вътре в пластмасовата кутийка са монтирани: трансформатор, потенциометър, глимлампа, резистор и кондензатор, а външно посредством 5 букси се включват плоска батерия и изпробваният транзистор. Посочената полярност на батерията се отнася за PNP транзистори; при измерване на NPN

транзистори полярността трябва да е обратна. Включването на измервания транзистор става чрез самоделен пластмасов куплунг. (Напомниме, че пластмасите се лепят с ацетон). Този уред представлява *блокинггенератор*, в който участва измерваният транзистор. Ако транзисторът усилва, възникват генерации, напрежението на променливия колекторен ток се пови-



Фиг. 25.13

шава чрез трансформатора и глимлампата светва. Чрез потенциометъра R напрежението на обратната връзка, подавано на базата, се регулира, като при транзистори с по-голямо β запалването на глимлампата става по-рано. По такъв начин *отчитането на коефициента β става по моменти на запалването на глимлампата*. Самото градуиране на уреда става с помощта например на 4 предварително подбрани транзистора с коефициенти на усилване по ток съответно 50, 100, 200 и 300. Трансформаторът е миниатюрен (напр. от транзисторни приемници) със сечение на магнитопровода $5 \times 6 = 30 \text{ mm}^2$. Първо навиваме намотка III, която съдържа 2000 навивки от емайлиран проводник с диаметър 0,07 mm. Върху нея поставяме два пласта хартия (или тиксо) за изолация. След това от емайлиран проводник с диаметър 0,15 mm се навиват намотки I и II, като се прави извод. Намотка I съдържа 200 навивки, а намотка III — 100 навивки. Отгоре на пластмасовата кутия се прави подходящ отвор, през който да се вижда миниатюрната глимлампа (тя има напрежение на запалване 80—120 V). С уреда може да се проверяват и мощни транзистори, като за целта трябва да се направи подходящ куплунг.

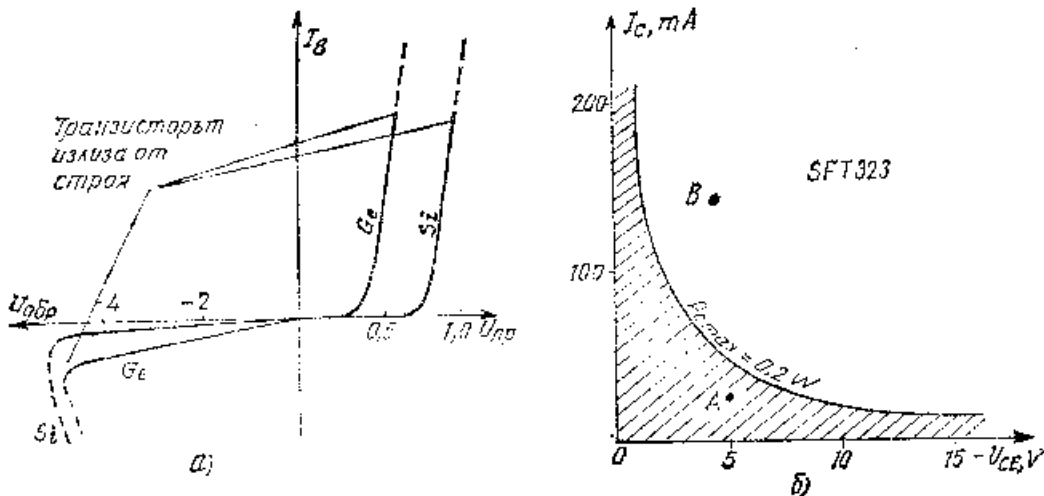
Когато измерваме даден транзистор и глимлампата при никое положение на потенциометъра не светва, това показва, че не възникват генерации, т. е. транзисторът е дефектен и не усилва.

25.6. Кога се повреждат транзисторите

В интерес на истината трябва да признаем, че едва ли има радиолюбител, който да не е повредил поне един-два транзистора. А колко е неприятно, когато повреденият транзистор не може веднага да бъде заменен с друг и започнатата конструкция трябва да се изостави в най-интересния момент...

Възможни са няколко десетки комбинации, при които поради невнимание транзисторът може да бъде повреден. По принцип обаче транзисторът се поврежда, когато преходите му излязат от строя. Във връзка с това трябва да се знае следното.

1. Напреженията, които е допустимо да се подават към *емитерния преход в права посока*, в никакъв случай не бива да надвишават 0,5 V за германиеви и 1 V за силициеви транзистори (фиг. 25.14 а). При превишаване на тези напрежения базовият ток става недопустимо голям, поради което емитерният преход се прегрява и губи свойствата си.



Фиг. 25.14

2. Напреженията, които е допустимо да се подават към *емитерния преход в обратна посока*, в никакъв случай не бива да надвишават 4÷5 V както за германиеви, така и за силициеви транзистори. (Напомниме, че емитерният преход, за разлика от колекторния, е нисковолтов). При превишаване на тези напрежения в прехода настъпва пробив.

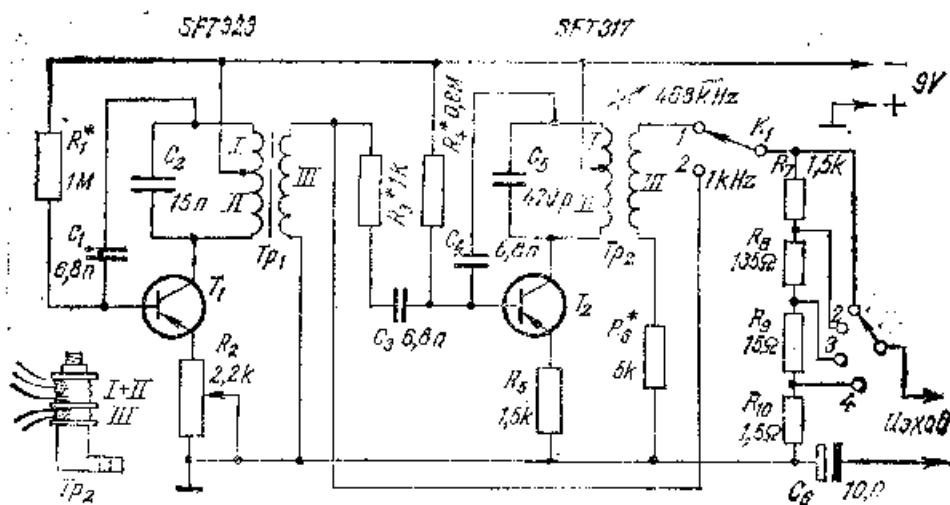
3. Твърде често транзисторите излизат от строя поради прегряване на колекторния преход. Това настъпва тогава, когато електрическата мощност, подавана към транзистора, е по-голяма от тази, която той може да разсее. Например транзисторът, SFT323 има $P_{Cmax} = 0,2W$ и това е изразено на фиг. 25.14 б чрез т. нар. хипербола на максималната мощност. За да не се прегрее този транзистор, е необходимо колекторното му напрежение и колекторният му ток да са така избрани, че работната точка в покой да се намира в заштрихованата област, а не извън нея. От тази фигура се вижда, че в точката А ($U_{CE} = 5V$ и $I_{Cp} = 25 mA$) подаваната към транзистора мощност е $P_C = 125mW$ и очевидно той няма да се прегрява, докато в точката В ($U_{CE} = 5V$ и $I_{Cp} = 150 mA$) подаваната към транзистора мощност е 750 mW и той ще се прегрее.

25.7. Любителски генератор

Този генератор (фиг. 25.15) е предназначен за откриване на полуприемници и НЧ усилватели. Когато ключът K_1 е в положение 1, на изхода се получава междинна честота 468 kHz, модулирана с ниска честота 1 kHz. С помощта на ключа K_2 (атенюатор) изходният сигнал може да има стойност 10μV, 100μV, 1mV и 10 mV.

Когато ключът K_1 е в положение 2, на изхода се получава сигнал с ниска честота 1 kHz, с чисто синусоидална форма. С помощта на ключа K_2 изходният сигнал може да има амплитуда 1, 10, 100 mV и 1 V.

Трансформаторът Tr_1 е миниатюрен (напр. от транзисторен приемник) със сечение на магнитопровода $5 \times 6 = 30 \text{ mm}^2$. Намотки I и II се навиват



Фиг. 25.15

от емайлиран проводник с диаметър 0,10 mm, като се прави извод. Намотка I съдържа 300 навивки, а намотка II — 1500 навивки. След това се слага един пласт хартия (или тиксо) и от емайлиран проводник с диаметър 0,15 mm се навива намотка III, която съдържа 250 навивки.

Трансформаторът Tr_2 се навива върху полистиролно тяло с диаметър 10 mm (вж. фиг. 25.15 ляво), в което има феритна сърцевина за настройка. Върху тялото се залепват три шайби от тънка пластмаса, както е показано на фигурата. Намотки I и II се навиват от емайлиран проводник с диаметър 0,25 mm, като се прави извод. Намотка I съдържа 40 навивки, а намотка II — 120 навивки. Намотка III съдържа 20 навивки от емайлиран проводник с диаметър също 0,25 mm.

Настройката на генератора се състои в подбор на резисторите R_1 , R_3 , R_4 и R_6 . С тримерпотенциометъра R_2 се подбира режимът на T_1 с оглед $HЧ$ сигнал да е синусоидален, а също да има необходимата амплитуда.

25.8. Зумер за изучаване на морзовата азбука

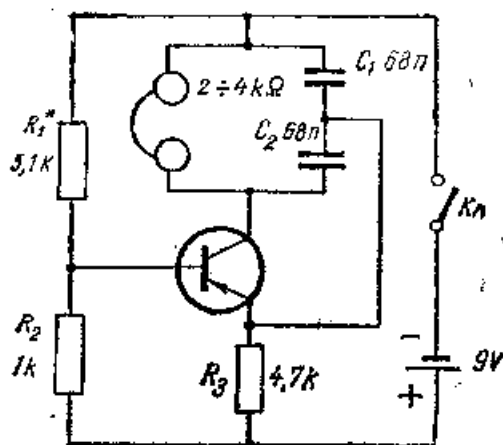
На фиг. 25.16 е показана схема на прост зумер за изучаване на морзовата азбука. Слушалките са високоомни и заедно с кондензаторите C_1 и C_2 участвуват в третия кръг. Транзисторът може да бъде кой да е нискочестотен маломощен транзистор с коефициент на усилване, по-голям от 50. (Ако използваме NPN транзистор, трябва да променим поляритета на батерията). Точната стойност на резистора R_1 се подбира опитно.

При изучаване на морзовата азбука трябва да се има пред вид следното:

1. Продължителността на едно тире е колкото продължителността на три точки.

Таблица 25.3

Морзови азбука				
А . —	К — — —	Ф	1 . — — — —	. . . . .
Б — . . .	Л —	Х	2 . — — — —	. . . . .
В — . . .	М —	Ц	3 . . . . .	. . . . .
Г — . . .	Н —	Ч —	4 . . . . .	. . . . .
Д	О —	Ш —	5 . . . . .	. . . . .
Е	П —	Щ —	6 . . . . .	. . . . .
Ж	Р —	Ъ —	7 . . . . .	. . . . .
З — . . .	С —	Ь —	8 . . . . .	. . . . .
И	Т —	Ю —	9 . . . . .	. . . . .
Й — . . .	У	Я	0 . . . . .	. . . . .
				(.
)



Фиг. 25.16

2. Интервалът между елементите на една буква е колкото една точка.
3. Интервалът между отделните букви е колкото едно тире.
4. Интервалът между отделните думи е колкото две тирета.
5. Когато работим с морзовия ключ, да не движим цялата си ръка, а само китката.
6. Първоначално предаването да става бавно, равномерно и спокойно.

Препоръчителен списък на радиолюбителски конструкции

За улеснение на младите радиоконструктори тук даваме заглавията на около 340 различни електронни устройства, чиито описания са публикувани в сп. „Радио-телевизия-електроника“ през последните години. Списанието може да бъде намерено в библиотеките, радиоклубовете и у по-стари радиолюбители. След всяко заглавие са посочени годината и броят на книжката.

26.1. Токозахранващи устройства

1. Регулируем стабилизирани токоизправител ($0 \div 9$ V, 0,1A), 1968/8
2. Стабилизирани токоизправител със защита (9 и 12V, 1A), 1970/6
3. Стабилизирани токоизправител ($0 \div 12$ V, 0,4A), 1970/10
4. Стабилизирани токоизправител (9V, 0,7A,) 1971/4
5. Универсален стабилизирани токоизправител, 1971/7
6. Транзисторен стабилизирани токоизправител ($0 \div 30$ V, 10A,) 1971/12
7. Токоизправител за зареждане на акумулатори, 1972/3
8. Трансформатори с вти магнитопроводи, 1972/3
9. Малък стабилизирани токоизправител ($0 \div 12$ V, 1,5A), 1972/4
10. Стабилизирани токоизправител за VEF (9V, 0,2A), 1973/8
11. Захранване на магнитофон 7,5 V от акумулатор 12V, 1973/11
12. Токоизправител за захранване на автомобилни акумулатори, 1973/12
13. Стабилизирани токоизправител ($6 \div 20$ V, 1A), 1974/7
14. Български никел-кадмиеви миниатюрни акумулатори, 1975/6
15. Лампов регулируем токоизправител ($20 \div 360$ V, 0,1A), 1975/10
16. Стабилизирани токоизправител ($0 \div 30$ V, 0,3A), 1976/1
17. Стабилизирани токоизправител с интегрална схема ($2 \div 30$ V, 1,5A), 1976/9
18. Стабилизатор за захранване на интегрални схеми (5V, 1A), 1977/4
19. Стабилизатори с интегрална схема $\mu A723$ (5V, 1A), 1977/7
20. Тиристорни регулатори на напрежение, 1977/8
21. Универсален стабилизатор на напрежение с електронна защита, 1977/9
22. Стабилен токоизправител, 1978/1
23. Изправител за зареждане на акумулатори, 1978/3
24. Транзисторен регулируем токоизправител, 1979/5
25. Стабилизирани токоизправител, 1979/9
26. Устройство за зареждане на акумулатори, 1979/9
27. Тиристорен стабилизатор на напрежение, 1979/12

26.2. Любителски радиоприемници

1. Радиоприемник с един транзистор, 1965/11
2. Любителски линейни приемници, 1965/11
3. Любителски транзисторни приемници, 1965/12
4. Схеми на любителски транзисторни приемници, 1966/2

5. Малък транзисторен приемник, 1966/3
6. Транзисторен супер, 1966/3
7. Рефлексен транзисторен приемник, 1966/4
8. Транзисторен приемник с ВЧ усилване, 1966/4
9. Двухтранзисторен приемник, 1966/6
10. Четиритранзисторен приемник 1966/6
11. Транзисторен приемник, 1966/7
12. Транзисторни приемници, 1966/10 и 11
13. Транзисторни любителски приемници, 1966/12
14. Четиритранзисторен рефлексен приемник, 1967/10
15. Детекторни приемници, 1968/4 и 5
16. Линеен транзисторен приемник, 1968/6
17. Прости транзисторни приемници, 1968/11
18. КВ приставка за автомобилни приемници, 1968/11
19. Схеми на любителски радиоприемници, 1969/10
20. Транзисторни приемници, 1970/6
21. Миниатюрен транзисторен приемник, 1971/3
22. Еднотранзисторен приемник, 1971/9
23. Транзисторен приемник с обратна връзка, 1971/11
24. Еднотранзисторен рефлексен приемник, 1971/12
25. Двухканален КВ приемник, 1973/9
26. Прост тюнер за СВ, 1974/6
27. Транзисторна УКВ/ЧМ приставка, 1974/8
28. Приемник с електронна настройка, 1974/10
29. ВЧ предусилвател към радиоприемник, 1976/8
30. Миниатюрен радиоприемник, 1977/5
31. УКВ тюнер с електронна настройка, 1977/7
32. Автоматично подтискане на смущенията при автомобилните радиоприемници, 1979/11

26.3. Нискофреkwотни устройства

1. Нискофреkwотен 10-ватов усилвател, 1965/8
2. Ултразвуков усилвател 8 вата, 1965/10
3. Лампов стерео Нi—Fi усилвател 2×10 вата, 1966/4
4. Грамофонен стереоусилвател 2×7 вата, 1966/8
5. Транзисторен стереоусилвател 2×10 вата, 1967/6
6. Транзисторен усилвател 50 вата, 1967/8
7. Транзисторен стереоусилвател 2×20 вата, 1967/8
8. Транзисторен стереоусилвател 2×15 вата, 1969/8 и 9
9. Нискофреkwотен усилвател „Регент“, 1971/9 и 1973/12
10. Транзисторен стереоусилвател „Аудиоват-20“, 1971/11 и 12
11. Нискофреkwотен стереоусилвател 2×100 вата, 1974/1
12. Нискофреkwотен усилвател „Маршал-100“, 1974/7
13. Транзисторен 50-ватов НЧ усилвател, 1974/8, 10 и 12
14. Транзисторен НЧ усилвател за китара 40 вата, 1975/1
15. Лампов НЧУ Фарфиза-40“, 1975/3
16. НЧУ за квазиквадропония с интегрална схема, 1975/8
17. Сензорно управление на НЧУ, 1976/7
18. Нi—Fi стереоусилвател 2×35 вата, 1977/3
19. Стереоусилвател 2×30 вата, 1977/10 и 11
20. Прост тонкоректор, 1978/5
21. Четириканален усилвател, 1978/12
22. Схема за предпаване на високоговорителите в безтрансформаторните крайни стъпала, 1979/9

26.4. Цветомузикални устройства

1. Транзисторна цветомузикална приставка, 1971/5
2. Устройство за цветомузика, 1971/9
3. Цветомузикално устройство, 1972/6
4. Цветомузикално устройство, 1973/2

5. Цветомузикално устройство, 1975/9
6. Транзисторно цветомузикално устройство, 1976:2
7. Приставка за цветомузика, 1976/7
8. Цветомузикално устройство, 1976/8
9. Тиристорна приставка за цветомузика, 1977:3
10. Цветомузикално устройство, 1977/6
11. Цветомузикална приставка, 1977/8
12. Цветомузикална приставка с тиристоря, 1977:10
13. Устройство за цветомузика, 1978:10
14. Цветомузикална приставка, 1978:12
15. Цветомузикално устройство, 1979:3
16. Цветомузикална приставка, 1979:5
17. Тиристорна цветомузикална приставка, 1979:10

26.5. Звукозапис и електроакустика

1. Звукови ефекти при магнетофонните записи, 1967:3
2. Магнетофон „Рилафон“ МК-10, 1967:7
3. Портативен магнетофон „Тесла“, 1967:8
4. Магнетофон „Кроун“ СТР-5400, 1967:12
5. Магнетофон „Телефункен“ 103, 1967:12
6. Безжичен микрофон, 1969:8 и 1969:7
7. Механичен ревербератор, 1968:12
8. Разполагане на тонколониите за стереозвук, 1969:10
9. Данни за универсалните магнетофонни касети, 1970:1
10. Автоматичен стои за магнетофони, 1970:3
11. Предусилвател с vibrator за електрическа китара, 1970:4 и 5
12. Hi-Fi-мода или културна необходимост?, 1970:8
13. Безжична грамофонна мембрана, 1971:1
14. „Уа-уа“-педал, 1971/2 и 1973:4
15. Стереопредаванията у нас, 1971:7
16. Приставка за модерни ефекти в китара, 1972:2
17. Електрически грамофон „Аудиофон-20“, 1972:2
18. Квадрофония, 1972/11
19. Транзисторен грамофон „Акорд“, 1973:3
20. Филтър прогив шума от грамофонната плоча, 1973:11
21. Означение на съветските магнетофонни ленти, 1974:2
22. Динамични грамофонни дози, 1974:2
23. Педал „Ла-ла“ за китара, 1974:4
24. Hi-Fi предусилвател за електрическа китара, 1974:5
25. Изкуствена реверберация, 1974/8
26. Смесителен усилвател с тонрегулатор, 1974:9
27. Висококачествен усилвател за псевдоквадрофония, 1974/9
28. Касетни магнетофони, 1975/1
29. Видове квадрофония, 1975/2
30. Касетофон „Монтана“, 1975/3
31. Басрефлексни тонколони, 1975/5
32. Касетен магнетофон „МК-122“, 1975:7
33. Стереопреусилвател за магнитна доза с интегрална схема, 1976/3
34. Български стереокомплект „Студио“, 1976:4
35. Озвучаване на автомобила, 1976/8
36. Тонкоректори за НЧУ, 1976/11
37. Педал за музикални ефекти, 1977/6
38. Озвучително тяло „ОТГ-1“, 1977/8
39. Приставка към соло китара, 1977/9
40. Озвучителни тела за дискотека, 1978/7
41. Автостоп за касетен магнетофон, 1978/8
42. Малогабаритно озвучително тяло, 1978/9
43. Озвучителни тела, 1979/1
44. Двудентово озвучително тяло, 1979/2
45. Малко озвучително тяло, 1979/3
46. Данни за магнетофонни глави, 1979/3
47. За Hi-Fi любителите, 1979/10
48. Системи за подтискане на шуми в касетни магнетофони, 1979:11 и 12
49. Прост тонкоректор за средни честоти, 1979:12

26.6. Радиолобителски измерителни уреди

1. Транзисторен гриддипметър, 1966/5 и 1968/12
2. Прост измерител на транзистори, 1967/6
3. Универсален радиолобителски измервателен уред, 1967/9
4. Еднотранзисторен волтметър, 1968/9 и 11
5. Прост уред за изпробване на транзистори, 1969/2
6. Транзисторен волтметър, 1969/7
7. Транзисторен гриддипмер, 1969/9
8. Приставка за измерване на транзистори, 1969/10
9. Волтметър с полеви транзистор, 1969/12
10. Прост транзисторен волтметър, 1970/1
11. Генератор за проверка на транзистори, 1970/5
12. Прибор за проверка на транзистори, 1970/8
13. Изпитател на транзистори, 1970/10
14. Приставка за наблюдаване статичните характеристики на транзистори, 1970/11
15. Уред за проверка на мощни транзистори, 1971/1
16. Уред за измерване на индуктивности и емкости, 1971/4
17. Уред за измерване на транзистори, 1971/4
18. Измерване параметрите на полупроводниковите диоди, 1971/11
19. Уред за подбор на двойка транзистори, 1972/7
20. Уред за проверка на транзистори, 1972/8
21. Уред за изпробване на цезерови диоди, 1972/9
22. Транзисторен кондензиметър, 1972/9
23. Транзистометър, 1972/12
24. Транзисторен милivolтметър, 1973/1 и 1976/5
25. Измерител на транзистори, 1973/1 и 1977/6
26. Приставка към осцилоскоп за подбор на транзистори, 1973/8
27. Волтметър с полеви транзистор, 1973/11
28. Измерване годността на транзисторите, 1973/12 и 1974/9
29. Приставка за съизмерване характеристиките на транзисторите, 1976/6
30. Приставка за измерване на транзистори, 1976/8
31. Променливотоков милivolтметър, 1977/5
32. Измерител на транзистори, 1977/6
33. Омметър с линейна скала, 1977/7
34. Схема на RC-генератори, 1977/7
35. Кондензиметър с директно отчитане, 1977/9
36. Уред за измерване на цезерови диоди, 1977/10
37. Измерител на транзистори, 1978/1
38. Честотометър от 10 Hz до 100 kHz, 1978/4
39. Уред за измерване на честота и кондензитет, 1978/12
40. Нискофреkwентен генератор с операционен усилвател, 1979/2
41. Генератор на синусоидално напрежение с интегрална схема, 1979/11
42. Тестер за измерване на транзистори, 1979/12

26.7. Любителски генератори и сигналполавачи

1. Генератор за синусоидални и правоъгълни напрежения, 1967/6
2. Любителски вобелгенератор, 1967/9, 10 и 11
3. Генератор на шахматно поле, 1968/11 и 1972/5
4. Транзисторен тонгенератор, 1968/12
5. Транзисторен миниатюрен сигналгенератор, 1969/5
6. Транзисторен уред за ремонт на телевизори, 1969/7
7. Телевизионен пробник, 1969/9 и 1969/10
8. Транзисторен генератор (8Hz-175Hz), 1970/1 и 1971/3
9. Транзисторен RC-тонгенератор, 1972/6 и 1972/11
10. Стабилен синусоидален генератор (20Hz-200 kHz), 1972/9
11. Джебен минигенератор, 1972/9
12. Генератор на правоъгълни импулси, 1972/9
13. Широкообхватен импулсен генератор, 1973/2
14. Генератор на триъгълни и правоъгълни импулси, 1973/3
15. Сигналгенератор за радиоремонти, 1973/8

16. Звуков генератор, 1973/12
17. Малък синусоидален генератор, 1974/1
18. МЧ сигналгенератор, 1974/10
19. Генератор на шум с пениров диод, 1974/12
20. Универсален пробник, 1975/3
21. Нискокостотен генератор, 1975/4
22. Синусоидален генератор с интегрална схема, 1975/10
23. Транзисторен тонгенератор, 1976/4
24. Генератор на триънообразно напрежение, 1976/8
25. Преносим сервисен уред, 1976/10 и 11
26. Генератор на стъпално напрежение, 1977/1 и 1977/6
27. Практически схеми на CR-генератори, 1977/7
28. Две схеми на сигнал-генератори, 1978/4
29. Генератор на триънообразно напрежение, 1978/10
30. Генератор на триъгълни напрежения, 1979/2
31. Сигнал-генератор за УКВ, 1979/4
32. Универсален пробник с цифрова индикация, 1979/9

26.8. Любителски електронни устройства

1. Фотоселектронни релета, 1965/1 и 2
2. Електронна запалителна система в автомобилите, 1965/5 и 6
3. Електронни релета за време, 1965/4 и 6
4. Транзисторен металотърсач, 1966/5 и 1967/4
5. Разговорна уредба с 3 абоната, 1967/9
6. Устройство против кражба на автомобили, 1967/10
7. Металотърсач, 1967/11
8. Превключвател за рекламни цели, 1968/1
9. Електронен металотърсач, 1968/1
10. Транзисторно запалване в автомобилите, 1968/1, 5 и 7
11. Сигнализатор на лива, 1968/4
12. Реле за време, 1968/7
13. Устройство за регулиране аванса в автомобилите, 1968/9
14. Автомат за превключване осветлението на слъх, 1968/11
15. Сигнализатор на човешко допиране, 1968/11
16. Устройство за регулиране скоростта на чистачките в автомобилите, 1968/11
17. Металотърсач, 1968/12
18. Капацитивен включвател при приближаване на човек, 1969/2
19. Транзисторен метроном, 1969/2
20. Транзисторно реле за фотокопиране, 1969/8
21. Транзисторен металотърсач, 1969/9
22. Схеми на металотърсачи, 1969/10 и 1970/5
23. Приставка за измерване оборотите на автомобилния двигател, 1970/5 и 1972/5
24. Светофарен автомат, 1970/12
25. Транзисторен металотърсач, 1971/1
26. Малка конферентна уредба, 1971/3
27. Електронно реле за време, 1970/12 и 1971/6 и 7
28. Електронен музикален орган, 1971/7 и 1972/11
29. Електронен страж, 1972/1
30. Транзисторен металотърсач, 1972/1
31. Автоматично повикване чрез магнитофон, 1972/5
32. Металотърсач GD-48, 1972/6
33. Автоматична проекция на диалозитиви, 1972/7
34. Запалителна система с тиристор, 1972/7 и 1973/4
35. Устройство за измерване аванса в автомобилите, 1972/9
36. Измерител на пулс, 1972/11
37. Звуково реле, 1973/2
38. Устройство за превключване на чистачките в автомобила, 1973/5
39. Последователно запалване на сигнални лампи, 1973/9
40. Електронна сирена, 1972/11 и 1973/11 и 12
41. Транзисторен мигащ, 1973/12
42. Електронен оборотомер, 1974/2
43. Прост мегафон, 1974/3
44. Електронна бртва, 1974/4

45. Електронни фотосветкавници, 1974/4
46. Многогласен електронен орган, 1974/5
47. Металотърсач, 1974/5 и 1975/7
48. Устройство за установяване навивки на късо, 1974/7
49. Кондензаторно-тиристорно запалване, 1974/11
50. Прост електромюзикален инструмент, 1975/2 и 1976/6
51. Устройство с въртящи се светлини, 1976/6 и 7
52. Транзисторен автомат за стълбищно осветление, 1977/4
53. Електромюзикален звънец, 1977/4
54. Тиристорно реле за фотоекспонация, 1977/6
55. Автоматично управление на диапроектор с магнетофон, 1977/8
56. Електронна ключалка, 1977/9
57. Електронно реле, 1977/9
58. Превключвател на лампи (бягащи светлини), 1977/11
59. Акустичен превключвател, 1978/2
60. Електронна сирена, 1978/4
61. Устройство за автоматично включване на осветлението, 1978/5
62. Устройство за алармиране при нежелателно идване в автомобила, 1978/7
63. Електронна фотосветкавица, 1978/8
64. Електронна схема за новогодишна елха, 1978/12
65. Електромюзикален звънец, 1978/12
66. Устройство за контролиране оборотите на двигателя, 1979/1
67. Мигач за велосипеди, 1979/2
68. Малък електромюзикален инструмент „Авлига“, 1979/4
69. Схеми за светлинни ефекти, 1979/6
70. Електронно управление на запалването в автомобила, 1979/8
71. Електронно стрелбище, 1979/8
72. Многогласен електромюзикален инструмент, 1979/12

26.9. Любителски радиопредаватели

1. Еднотранзисторен КВ предавател, 1966/4
2. Транзисторен предавател за 144 MHz, 1967/12
3. Приемно-предавател за управление на модели, 1968/2
4. Транзисторни предаватели за 10 m обхват, 1968/2
5. Транзисторен предавател за 3,5 MHz, 1968/9
6. Приемно-предавател за корабен модел, 1969/2
7. Еднолентов предавател, 1969/2 и 3
8. Предавател и конвертор за 144 MHz, 1969/4
9. Предавател за „лов на лисици“ на 3,5 MHz, 1969/5
10. Транзисторен предавател за „лов на лисици“ на 3,5 MHz, 1969/6
11. Приемно-предавател за радиоуправление, 1970/2
12. Предавател 10 вата за 144 MHz, 1971/4
13. Транзисторен предавател (28 MHz, 0,1 W), 1971/9
14. Приемно-предавател на 3,5 и 14 MHz, 1976/2 и 3
15. Трансивърна приставка към приемник, 1976/5
16. Транзисторен предавател на 145 MHz, 1977/3
17. Портативен предавател, 1977/8

26.10. Антени и антенни усилватели

1. Антенен усилвател за I обхват, 1968/8
2. Антенен усилвател за 144 MHz, 1968/8
3. Телевизионни антенни усилватели, 1969/11
4. Транзисторен антенен усилвател, 1970/12
5. Транзисторни антенни усилватели, 1972/2
6. Приемни телевизионни антени, 1972/9
7. Колективни телевизионни антени, 1973/1 и 2
8. Антенен усилвател с един транзистор, 1973/8
9. Прост антенен усилвател, 1974/4 и 12
10. Широколентов антенен усилвател 1975/9 и 11
11. Антена за 22÷27 канал, 1976/4

12. Приемни антени за IV и V обхват, 1976/8
13. Всевълнова телевизионна антена, 1977/3
14. Телевизионна приставка за дециметровия обхват, 1977/3
15. Телевизионни антени усилватели за дециметровия обхват, 1978/1
16. Широкодиапазонна телевизионна антена, 1978/9
17. Широкопослени антенни усилватели, 1979/2
18. Антенни усилватели, 1979/8
19. Широкопослени антенни усилватели, 1979/10

26.11. Отдел на късовълновика

1. Транзисторен генератор за морзова азбука, 1966/9
2. Един нов радиолобителски спорт — радиопеленговане, 1967/1
3. Разпределение на обхвата 144 MHz в НРБ, 1968/4
4. Транзисторен морзов ключ, 1968/8
5. Конвертор за петте обхвата, 1968/11
6. Зумер за тренировка на радисти, 1969/4
7. Автоматичен морзов ключ, 1972/3
8. Прост транзисторен конвертор за 2 m обхват, 1972/6
9. Конвертор за 144 MHz, 1972/7
10. Честотни ленти за любителски радиостанции, 1972/12
11. Зумер към манипулатора, 1972/12
12. Нов правилник за радиолобителската дейност, 1973/5
13. За начинаещите радиослушатели, 1973/11
14. Списък на страните и инициалите им, 1974/3
15. Ново разпределение на УКВ обхватите, 1974/4
15. Филтър за КВ любителска радиостанция, 1974/10
17. Автоматичен телеграфен ключ, 1979/5
19. Електронен морзов ключ, 1979/11

Съдържание

1. Кратка история на радиоелектрониката	5
1.1. Един радиолюбител спасява експедицията Нобиле	6
1.2. Предаване на съобщения на разстояние	6
1.3. Откриване на телеграфа	6
1.4. Електромагнитни вълни	7
1.5. Откривателят на радиото А. С. Попов	7
1.6. Развитие на радиотехниката	8
1.7. Възникване на радиолюбителското движение	9
1.8. Развитие на радиотехниката у нас	11
1.9. Какво означава думата „радиоелектроника“	
2. Основни сведения за електричеството	
2.1. Електротехниката е основа на радиоелектрониката	12
2.2. Наелектризиране на телата	12
2.3. Обяснение на наелектризирането	13
2.4. Електрон	14
2.5. Единица за количество електричество	14
2.6. Електрическо поле	15
3. Постоянен електрически ток	
3.1. Проводници и изолатори	17
3.2. Електрически ток	18
3.3. Източници на електрически ток	19
3.4. Скорост на електрическия ток	19
3.5. Посока на електрическия ток	20
3.6. Големина на тока	21
3.7. Електрическо напрежение	22
3.8. Електрическо съпротивление	24
4. Основни закони за постоянния ток	
4.1. Закон на Ом за част от веригата	26
4.2. Електрически схеми	27
4.3. Пад на напрежението	29
4.4. Основни свойства на токоизточниците	29
4.5. Закон на Ом за цялата верига	30
4.6. Закон на Кирхоф	32
4.7. Мощност на електрическия ток	34
4.8. Електрическа енергия	35
4.9. Топлинно действие на електрическия ток	35
5. Променлив ток	
5.1. Същност на променливия ток	37
5.2. Синусоидални трептения	39
5.3. Токове с ниска и висока честота	42
6. Съпротивления и резистори	
6.1. Активни съпротивления	43
6.2. Резистори	43
6.3. Класове на точност на резисторите	44

6.4.	Стойност на резисторите	44
6.5.	Мощност на резисторите	47
6.6.	Логаритмичен мащаб. Степенно представяне. Номограми	46
7. Свързване на съпротивленията. Реостат. Потенциометър		
7.1.	Общи сведения	50
7.2.	Последователно свързване на съпротивленията	50
7.3.	Паралелно свързване на съпротивленията	51
7.4.	Реостат	52
7.5.	Делителя на напрежение	53
7.6.	Потенциометър	53
8. Електрически капацитет и кондензатори		
8.1.	Електрически капацитет	56
8.2.	Общи сведения за кондензаторите	57
8.3.	Ролята на диелектрика	59
8.4.	Капацитет на плосък кондензатор	60
8.5.	Кондензатор във верига на постоянен ток	61
8.6.	Кондензатор във верига на променлив ток	63
9. Видове кондензатори. Свързване на кондензаторите		
9.1.	Основни параметри на кондензаторите	68
9.2.	Постоянни кондензатори	69
9.3.	Променливи кондензатори	70
9.4.	Свързване на кондензаторите	71
10. Електромагнетизъм		
10.1.	Постоянни магнити	73
10.2.	Магнитно действие на тока	74
10.3.	Бобина	74
10.4.	Електромагнитна индукция	75
10.5.	Взаимна индукция	76
10.6.	Индуктивност	77
11. Някои свойства на индуктивността. Видове бобини		
11.1.	Индуктивност във верига на постоянен ток	79
11.2.	Индуктивност във верига на променлив ток	80
11.3.	Реални бобини	82
11.4.	Висококачествени бобини	83
11.5.	Основни параметри на ВЧ бобини	84
11.6.	Дросели	85
12. Звук и неговите особености		
12.1.	Същност на звука	87
12.2.	Скорост на звука	88
12.3.	Височина на тоновете	88
12.4.	Сила на звука	90
12.5.	Тембър на звука	90
12.6.	Честотен спектър	91
13. Електроакустични преобразуватели		
13.1.	Микрофони	93
13.2.	Слушалки	94
13.3.	Високоговорители	94
14. Радиопредаване		
14.1.	Студио на радиопредавателя	97
14.2.	Радиопредавател	97
14.3.	Предавателна антена	97
14.4.	Радиовълни	98

14.5.	Разпространение на радиовълните	99
14.6.	Паразитни смущения	101
15. Радиоприемане		
15.1.	Ролята на приемната антена	102
15.2.	Устройство на приемната антена	102
15.3.	Заземяване	103
15.4.	Задачи на радиоприемника	103
16. Трещящ кръг		
16.1.	Общи свойства	105
16.2.	Електрически резонанс	107
16.3.	Видове трещящи кръгове	109
16.4.	Входно устройство с трещящ кръг	111
17. Полупроводникови диоди		
17.1.	Полупроводници. PN преход	113
17.2.	Точкови диоди	114
17.3.	Плоскостни диоди	115
17.4.	Селенови изправители	116
17.5.	Волтамперни характеристики на полупроводниковите диоди	117
17.6.	Ценерови диоди	119
18. Биполарни транзистори		
18.1.	Общи сведения	122
18.2.	Видове биполарни транзистори	122
18.3.	Устройство на биполарните транзистори	122
18.4.	Как усилва биполарният транзистор	124
19. Особенности на биполарните транзистори		
19.1.	Обратен колекторен ток	129
19.2.	Температурна нестабилност	130
19.3.	Коефициент на усилване β	130
19.4.	Неуправляеми токове в транзистора	131
19.5.	Коефициент на усилване α	132
19.6.	Полярност на захранващите напрежения	133
19.7.	Основни параметри на биполарния транзистор	133
20. Графични характеристики на биполарния транзистор		
20.1.	Входни статични характеристики при схема <i>OE</i>	136
20.2.	За какво се използват входните статични характеристики	137
20.3.	Входни статични характеристики при схема <i>OB</i>	138
20.4.	Изходни статични характеристики на биполарния транзистор при схема <i>OE</i>	139
20.5.	За какво се използват изходните статични характеристики	139
20.6.	Изходни статични характеристики на биполарния транзистор при схема <i>OB</i>	140
20.7.	Статични характеристики на правото предаване по ток	141
20.8.	Статични характеристики на обратното предаване по напрежение	141
20.9.	Пълни статични характеристики	142
21. Анализ на електронните схеми		
21.1.	Защо си служим със синусоиди	144
21.2.	Постоянна и променлива съставна	144
21.3.	Полярност на напреженията и токовете в електронните схеми	145
22. Биполарният транзистор като линеен усилвател		
22.1.	Общи сведения	148
22.2.	Транзисторът като усилвателен елемент	148
22.3.	Работна точка на транзистора	150
22.4.	Защо е важен изборът на работната точка	152

23. Схеми за осигуряване на избраната работна точка на транзисторните предусилвателни стъпала	
23.1. Общи сведения	154
23.2. Схема с фиксирано преднапрежение	154
23.3. Схема с паралелна отрицателна обратна връзка	156
23.4. Схема с последователна отрицателна обратна връзка	157
24. Схема на крайни стъпала	
24.1. Общи сведения	160
24.2. Електрическо съгласуване	160
24.3. Входно и изходно съпротивление на усилвателните стъпала	162
24.4. Еднотактно крайно стъпало	165
24.5. Двухактно трансформаторно крайно стъпало	167
24.6. Двухактно безтрансформаторно крайно стъпало	169
25. Лаборатория на радиолюбителя	
25.1. Общи сведения	173
25.2. Батерии и акумулатори	174
25.3. Мрежови трансформатори	175
25.4. Регулируем стабилизирал ток изправител	178
25.5. Проверка годността на диоди и транзистори	178
25.6. Кога се повреждат транзисторите	181
25.7. Любителски генератор	182
25.8. Зумер за изучаване на морзовата азбука	183
26. Препоръчителен списък на радиолюбителски конструкции	
26.1. Токозахранващи устройства	185
26.2. Любителски радиоприемници	185
26.3. Нискочестотни усилватели	186
26.4. Цветомузикални устройства	186
26.5. Звукозапис и електроакустика	187
26.6. Радиолюбителски измервателни уреди	188
26.7. Любителски генератори и сигналподавачи	188
26.8. Любителски електронни устройства	189
26.9. Любителски радиопредаватели	190
26.10. Антени и антенни усилватели	190
26.11. Отдел на късовълновика	191