

Практическа електроника

Част пета

Електрически капацитет – Кондензатор.

Индуктивност – Бобина.

Променливо напрежение и ток – трептящ кръг.

1. Електрически капацитет. Кондензатори.

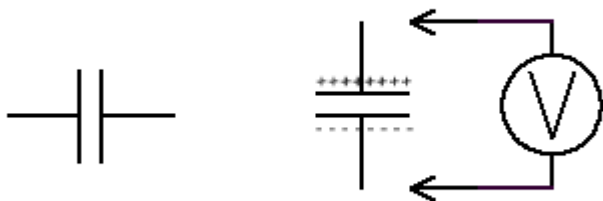
Темата за кондензаторите също е доста обширна, но за нашите начални цели смятам доста да я посъкратя. Можете да прочетете повече подробности в книгата на Шишков или друга литература. За сега, обаче, нека се придържаме към минималните необходими знания.

Капацитетът е характеристика на някои електронни елементи, която показва тяхната способност да натрупват електрически заряди. Колкото по-големи заряди може да натрупа даденият елемент – толкова по-голям капацитет има той. Капацитетът се измерва във Фаради.

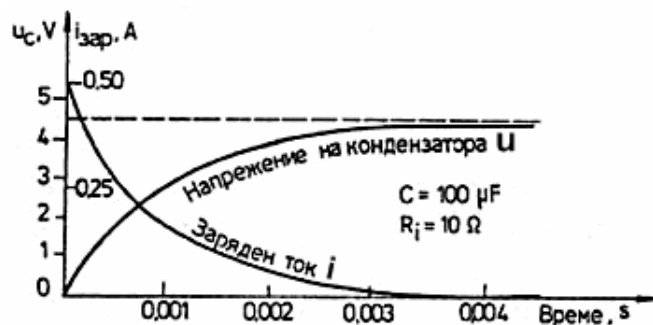
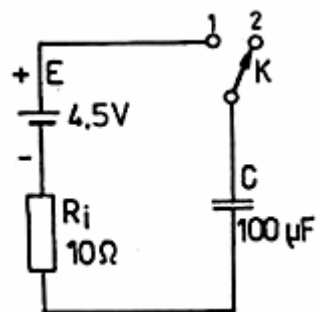
1 Фарад (F) е равен на $1\text{C}/1\text{V}$ – 1 Кулон електричество при 1 Волт напрежение. Не се задълбочавайте в тази формула – и без това няма с какво да измерим 1 Кулон електричество, нито можем да изброим милионите електрони, които го съставят 😊

Как се реализират капацитетите в електрониката и каква роля играят?

Капацитетът е основната характеристика на кондензаторите. Кондензаторът представлява две проводящи плочи или пластини, разделени с диелектрик. Означава се по този начин:



От условия му знак става ясно, че през него няма как да тече постоянен ток – изолаторът пречи. Но изолаторът е една от причините за капацитета. При подаване на напрежение в крайщата на кондензатора двете му плочи се наелектризират с еднакви по големина заряди – едната положително, а другата отрицателно. Дори като премахнем външното напрежение, кондензаторът си остава зареден и на крайщата му има напрежение. Да видим процеса на заряд на един кондензатор:

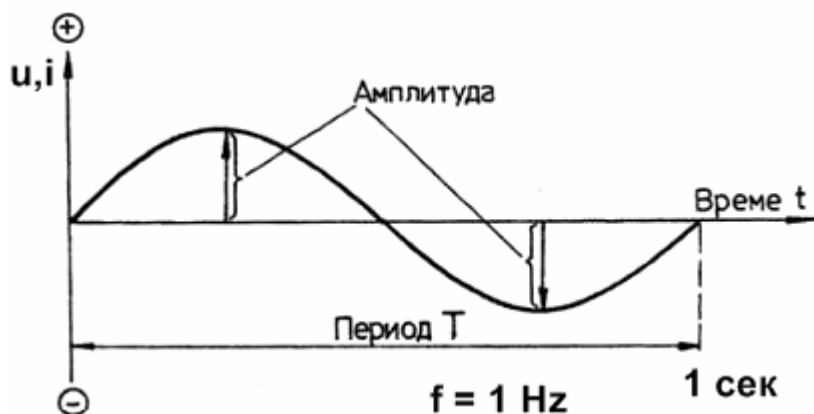


В първия момент кондензаторът е разреден и напрежението върху него е 0. Като подадем напрежение той започва да се зарежда по експоненциален закон, като напрежението клони към захранващото напрежение. В същото време токът през кондензатора в началния момент е максимален, а после по експоненциален закон клони към 0. Когато е напълно зареден кондензаторът има напрежението на захранващия източник, а токът през него и в цялата верига е нула.

ЗАБЕЛЕЖЕТЕ, че токовете и напреженията в тази верига са означени с малко i и малко u . Така се означават динамични величини, такива, които се изменят с времето по някакъв закон. Захранващото напрежение е с голямо U защото то е статично и не се изменя.

Другото и най-важно за електрониката свойство на кондензатора е това, че той не пропуска постоянен ток (като се зареди – токът през него е 0), но пропуска променлив ток.

ПРОМЕНЛИВ ТОК – ток, който се изменя в течение на времето и променя посоката си периодично. Т.е. токът се движи и в двете посоки по проводниците и когато в електрониката се говори за променлив ток най-често се има предвид синусоиден ток – който се изменя по синусоиден закон:



1 Херц е равен на един период
за една секунда

f [Hz] - честота - брой периоди за една секунда

T [s] - период - $T = 1/f$

Енерго производителите и енергоразпределителите също ползват такъв ток (и съответно напрежение), защото той има много предимства: лесно се произвежда, лесно се преобразува и лесно се пренася. За електрониката променливият ток е важен за всички устройства, които обработват сигнали – звукови или радиосигнали... но да караме по ред. Променливият ток има няколко основни характеристики: Ефективна стойност – стойността на еквивалентен постоянен ток, който ще свърши същата работа като променливия. Максимална стойност – максималната моментна стойност на върха на синусоидата. Връзката между тях е $U_{\max} = \sqrt{2} \times U_{\text{eff}}$. Говоря за ток, а пиша формула за напрежение... не е фатално. В активен товар и двете се подчиняват на закона на Ом и се изменят по същата синусоида.

Но да се върнем на ефективната стойност. Например напрежението в мрежата за домашно ползване е 220V. Това е ефективната стойност. Максималната стойност на върха на синусоидата е $\sqrt{2} \times 220 = 310 \text{ V}$.

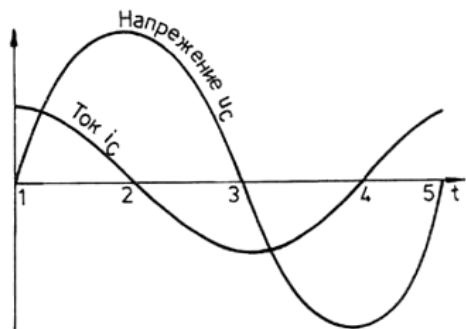
Това, че работим с променливи токове и напрежения не трябва да ви смущава – при активен товар за тях също важи законът на Ом. Просто работим с тяхната ефективна стойност, не с максималната. Измервателните уреди за променливи напрежения и токове също са конструирани така, че да дават като резултат ефективната им стойност.

Друга важна характеристика на променливите напрежения и токове е тяхната честота. Тя дава представа колко периода от синусоидата протичат за единица време. Честотата се измерва в Херцове. 1 [Hz] Херц = 1 период от трептенето за 1 секунда. Честотата се бележи с f .

От където пък можем да намерим периода на дадено трептене ако знаем честотата му

$T=1/f$, където честотата е в Херцове, а периодът – в секунди.

Връзката между променливите токове и кондензаторите е, че през кондензаторите могат да текат променливи токове. Защо? Защото както казахме променливият ток периодично сменя посоката си и зарежда кондензатора в противоположна посока два пъти за всеки период, а както видяхме при презареждането на кондензатора през него тече ток – токът на заряд... а също така и на разряд.



Погледнете тази графика. Тя показва, че токът през кондензатора е дефазирани спрямо напрежението, като го изпреварва с 90 градуса. Това е характерна особеност на реактивните съпротивления.

Тук трябва да въведем още едно понятие – реактивно съпротивление. За разлика от активното съпротивление на резисторите, което превръща мощността на протичащия през тях ток в топлина, реактивното съпротивление е характеристика на реактивните елементи като кондензаторите и бобините, която показва тяхното съпротивление към променливия ток. Реактивното съпротивление не превръща тока в топлина – то просто създава противоположно по посока ЕДН, с което противодейства на захранващото.

Реактивното съпротивление се бележи с X , измерва се в оме и зависи от честотата.

Формулата за кондензатор е:

$$X_C = \frac{1}{2 \pi f [Hz] C [F]}$$

Вижда се, че при увеличаване на честотата реактивното съпротивление на кондензатор намалява. Същото се получава и при увеличаване на капацитета на кондензатора.

F означава мерната единица за капацитет – Фарад. Тя е прекалено голяма за практическа употреба затова се ползват нейните производни:

Милифарад – [mF] – 0,001 F

Микрофарад – [μ F] – 0,000001 F

Нанофарад – [nF] – 0,000000001 F

Пикофарад – [pF] – 0,000000000001 F

Производните (кратни) единици се ползват и за всички останали параметри на електронните елементи: напрежение, ток, съпротивление, капацитет, индуктивност, мощност и т.н.

Тук ще споменем и тези, които представят големи числа:

Кило – [k] – 1000

Мега – [M] – 1000 000

Гига – [G] – 1 000 000 000

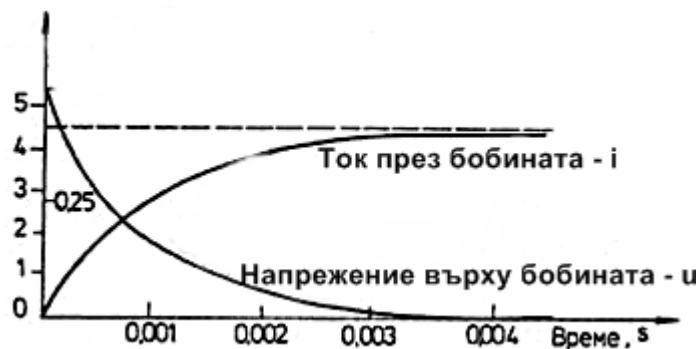
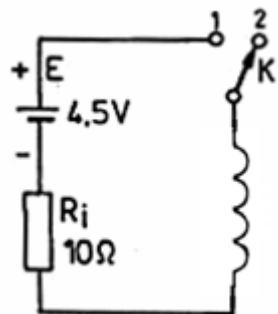
Да изчислим реактивното съпротивление на кондензатор с капацитет 10 nF за честота 25 kHz.

Заместваме в горната формула:

$$X_C = \frac{1}{2 \pi 25000 * 0,00000001} = 636,6 \Omega$$

2. Индуктивност. Бобини.

Ползваме същата схема, като тази за заряд на кондензатор, но вместо него поставяме бобина, чието основно свойство е индуктивността. Самата индуктивност е още по-трудна за обяснение от капацитета, но вижте графиката:



Виждате, че индуктивността се държи точно огледално на капацитета – токът в нея в първия момент е нула и по експоненциален закон расте бавно (защото магнитното поле на бобината пречи на нарастването му), а напрежението, което е максимално в началото – постепенно клони към нула. И както енергията на токоизточника се натрупва като електрически заряд в кондензатора, така в бобината тази енергия се натрупва в енергия на магнитното поле на бобината.

Индуктивността е характеристика на бобините, която показва колко голямо магнитно поле могат да съхранят те. Бележи се с L и се измерва в H – Хенри. Единици и десетки, че и повече Хенри индуктивност имат големите захранващи трансформатори. В електрониката се ползват бобини с индуктивности от няколко μH до няколко mH .

Реактивното съпротивление на бобините, разбира се, също зависи от честотата:

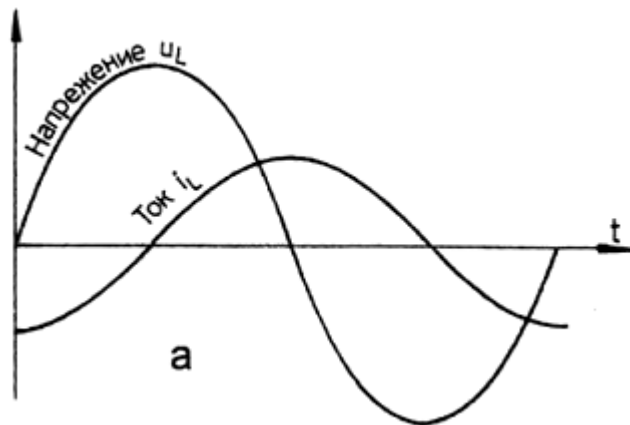
$$X_L = 2\pi fL$$

Да изчислим реактивното съпротивление на бобина с индуктивност 20 mH за честота 100 Hz .

$$X_L = 2\pi 100 * 0,02 = 12,6\ \Omega$$

А сега същата бобина за честота 1000 Hz. Как се изменя съпротивлението на бобина с нарастване на честотата?

$$X_L = 2\pi 1000 * 0,02 = 125,6 \, \Omega$$



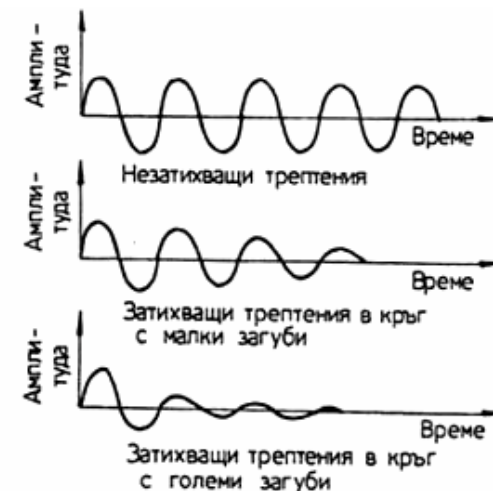
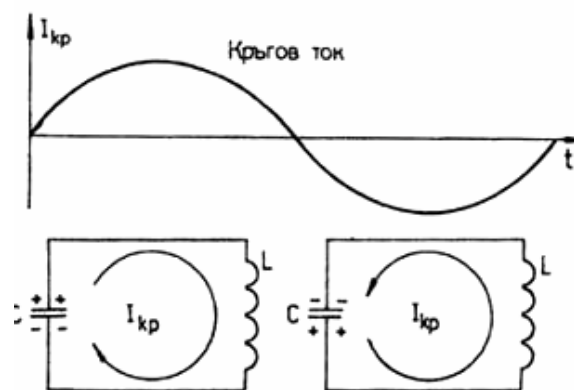
При протичане на променлив ток през бобина той е дефазиран спрямо напрежението, като закъснява с 90 градуса. Това е реактивният характер на индуктивното съпротивление.

Основната употреба на кондензаторите в електрониката е да разделят постояннотоковите от променливотоковите вериги.

И кондензаторите и бобините се ползват за филтриране на честоти, за филтриране на пулсации на захранващи напрежения и др. Едно от най-важните им свойства за радиоелектрониката е резонансът. Той възниква, когато се свържат кондензатор и бобина и им се подаде начално външно напрежение. В този т.нар. „Трептящ кръг” възникват електрически колебания, като токът и напрежението периодично ту зареждат кондензатора, ту бобината. Честотата на тези колебания, наречена резонансна честота зависи само от капацитета на кондензатора и индуктивността на бобината в трептящия кръг.

Формулата за резонансната честота е:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Ако честотата на трептенията е достатъчно висока, те могат да се превърнат в радиовълни, които да се излъчат в пространството със скоростта на светлината. В такъв случай те имат още едно свойство, наречено дължина на вълната – това е разстоянието, което пропътува радиовълната за един период на трептенето. Формулата за дължината на вълната включва честотата и скоростта на светлината:

$$\lambda = c/f$$

където λ е в метри, c е скоростта на светлината в м/с, а f е честотата в херцове.

За радиолобителски цели се ползва по-практичната формула:

$$\lambda[\text{m}] = 300/f[\text{MHz}]$$

3. Реални кондензатори.

Идеалният кондензатор има определен капацитет, може да работи на всякакво напрежение и няма никакви загуби – представлява чисто реактивно съпротивление X_c .

Реалните кондензатори обаче имат някои ограничения.

Първото е работното напрежение. Кондензаторите се произвеждат за определени максимални напрежения, които не трябва да се превишават по време на работа, тъй като ще настъпи необратим пробив на диелектрика. Капацитетът на кондензатор е право пропорционален на площта на плочите му и диелектричната проницаемост на диелектрика (физическа характеристика на диелектрика) и обратно пропорционален на разстоянието между плочите. Това означава, че при еднакви други условия капацитетът ще расте ако намаляваме дебелината на диелектрика. Това обаче означава, че и пробивното напрежение на кондензатора ще намалява. Това са все противоречиви условия, които в крайна сметка определят големината и формата на кондензаторите. Освен диелектричната проницаемост диелектрият има и други характеристики: пробивно напрежение (измерва се в kV/cm), диелектрични загуби и др.

Загубите са важни, особено когато работим с високи честоти, защото зависят от честотата. Някои диелектрици имат толкова големи загуби на Високи честоти, че не са подходящи за употреба. Ползват се само за ниски.

При много високи честоти загубите и параметрите на кондензатора могат да се повлияят вече и от индуктивността на плочите и изводите на кондензатора.



Реалният кондензатор вече няма чисто реактивно съпротивление, а има и активна съставка. Ползвайки висшата математика кондензаторът или по-точно токът през него се представя като комплексно число с реална и имагинерна съставка. Съпротивлението му вече не е просто X_c , а се отбелязва със Z и се нарича импеданс. Няма да се задълбочаваме в импеданса на кондензаторите, тъй като загубите в тях са достатъчно малки, за да ги пренебрегнем в нашите изчисления. В цитираната глава от Шишков са описани подробно някои най-често използвани видове кондензатори от близкото и по-далечно минало. Има няколко вида постоянни кондензатори – хартиени, керамични, слюдени, стирофлексни – с различни качества и подходящи за различни честоти. Електролитните кондензатори са подходящи само за ниски честоти и са полярни – трябва да се спазва означената на корпуса им полярност при включване.

В радиотехниката много се ползват променливите кондензатори. Те могат да са с твърд диелектрик – пластмаса или керамика, или да са с въздушен диелектрик. Пробивното напрежение на въздушните кондензатори зависи от разстоянието между плочите им и ... от надморската височина.

От физиката е известно, че пробивното напрежение на въздуха спада при намаляване на налягането – т.е. кондензатор, който работи добре на морско ниво при напрежение 1000 V – на няколко хиляди метра височина ще работи примерно до 400 V и ако му подадем 1000 – ще пробие и ще повреди устройството. По тази причина радиостанциите на самолетите (старите) се поставяха в херметичен кожух, който се надуваше с въздух под налягане докато самолетът лети...

Паралелно свързаните кондензатори имат резултатен капацитет сбора от всички паралелни капацитети.

$$C_{\text{рез.}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

При последователно свързани кондензатори общият им капацитет е по-малък от най-малкия и се изчислява по формулата за паралелни резистори...

$$1/C_{\text{рез.}} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$$

4. Реални бобини. Електромагнетизъм

Електромагнетизмът е труден за обяснение и за това изцяло се осланям на Шишков – глава 10.

Главният параметър на една бобина е нейната индуктивност. Като цяло аз лично си обяснявам индуктивността като способност на бобината да складира магнитно поле, и също така способността на бобината да генерира напрежение в крайщата си при преминаване през нея на магнитни силови линии. Това последното се нарича самоиндукция. Имайте предвид, че самоиндукция може да се получи само при ПРОМЯНА на магнитното поле, което пресича навивките на бобината. Ако полето е постоянно, дори и да е много силно – не индутира нищо в навивките, дори и да са хиляди...докато дори слабото магнитно поле при промяната си може да индутира значително напрежение. Например електрошоковите палки с една батерийка от 9 V и слабото магнитно поле, която тя може да предизвика на изхода си имат 70 – 100 kV.

Някои технически термини, които понякога ме дразнят при неправилна употреба ☺:

- Навивка – това е един пълен оборот от проводника, с който е навита дадена бобина или трансформатор – ЕДНА НАВИВКА.
- Намотка – това е множество навивки. Намотката има два края, на които подаваме напрежение или получаваме такова.

Т.е.: Една намотка може да се състои от една или повече навивки – дори десетки хиляди.

Докато една навивка – си е една навивка – просто един оборот от проводника само...

Една бобина има обикновено само една намотка с много навивки.

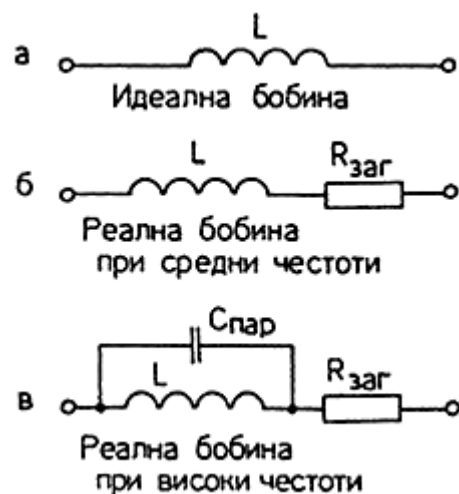
Един трансформатор има поне две намотки с различно количество навивки...

Индуктивността на бобина е правопрпорционална на броя на навивките и геометричните размери на бобината. Също така зависи и от сърцевината – желязната сърцевина увеличава индуктивността, но не може да работи на високи честоти. За тях се ползват сърцевини от специални феромагнитни материали с малки ВЧ загуби. При още по-високи честоти дори тези

сърцевини имат големи загуби и се ползват бобини без сърцевини – дори без тела и макарички - само намотка от обикновен меден или сребърен проводник.

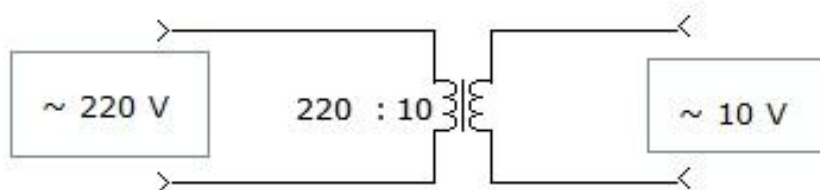
Всички тези фактори определят загубите в една бобина. Те са като цяло по-големи от тези при кондензаторите и не винаги може да се пренебрегнат. Един реален параметър предизвикващ загуби в бобините е активното съпротивление на проводника, с който е навита бобината – особено ако той е тънък, а навивките са няколкостотин или хиляди...

Друга причина за загуби в бобините е капацитетът между навивките – колкото работната честота на бобината е по-голяма – толкова повече влияе този капацитет.



Когато две бобини са близо една до друга или са на обща сърцевина взаимната им индукция ги превръща в трансформатор. Какво трансформира той? Напрежения и съпротивления. С две думи – от страната на високото напрежение намотката е с много навивки и съпротивлението XL е голямо. От страната на ниското напрежение – малко навивки, ниско съпротивление. Горе долу само мощността е една и съща – намалена с няколко процента поради загубите в трансформатора.

Пример – мрежов трансформатор. Целта му е да ни осигури нисковолтово захранване за нашето устройство, което ще работи на 10 V и ще черпи ток 5 A. Мощността, която ни е необходима е 50 W. Нашият трансформатор трябва да е достатъчно мощен за да ни осигури необходимите параметри. Примерните данни ще бъдат: вторична намотка – 80 навивки с меден проводник с диаметър 1 mm. Това означава, че за всеки волт напрежение ще имаме по 8 навивки. И тогава първичната намотка ще е с 1760 навивки за 220 V. Токът в първичната намотка ще е $50W/220V = 0,227$ A.



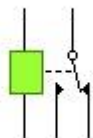
Това е прекалено опростено изчисление на мрежов трансформатор, но дава представа за принципа му на действие. Разбира се никога не забравяйте, че трансформаторите работят само с променливи напрежения.

Съвременните импулсни токозахранващи устройства са много по-леки и ефективни. Например едно компютърно захранване със същите параметри, но реализирано с мрежов трансформатор щеше да тежи 5 – 10 пъти повече и да е поне тройно по-обемисто...

Друго много характерно приложение на бобините е в електромагнитните релета. Това са устройства, чрез които с малко напрежение и ток можем да командваме изпълнителни вериги със значително по-големи токове и напрежения.

Електромагнитните релета са изградени от бобина, желязно ядро, котва и контакти. Едно типично реле има бобинка изчислена примерно за 5 волта. При подаване на такова напрежение към нея тя създава магнитно поле, привлича котвата, която превключва контактите. Контактите могат да превключват вериги с примерно напрежение 220 V и токове 10 A и повече. Бобинката на релето работи обикновено с постоянно напрежение, докато контактите могат да превключват както постояннотокови така и променливотокови вериги.

Графично релетата се обозначават по този начин:



Зеленото правоъгълниче е бобинката с изводите, на които се подава управляващото напрежение. Това конкретно реле има превключващ - един нормално отворен (НО) и един нормално затворен (НЗ) контакт. При задействане на релето НО контактът се затваря, а НЗ контактът се отваря. Има релета с различни пакети контакти. Има и релета с няколко намотки с различни функции, на които сега няма да се спираме.

Може да се направи едно сравнение между кондензаторите и бобините – те са реактивни и реципрочни елементи. Кондензаторите пропускат по-високите честоти, докато индуктивностите напротив – спират ги. Кондензаторите спират постоянния ток и пропускат променливия, докато индуктивностите правят обратното... Опростено обяснение, но вярно по принцип.

Източник и препоръчвана литература: Шишков А., Първи стъпки в радиоелектрониката.