

Основни закони в електрическите вериги

Първото нещо, което ще направим, е да въведем основните величини и понятия в електротехниката.

Основни величини в електротехниката

Елементарните частици на веществото могат да бъдат електрически неутрални или да притежават електрически заряд. Електрически заредените частици се наричат още токоносители и могат да бъдат:

1. Отрицателно заредени (електрони, аниони);
2. Положително заредени (протони, катиони).

Мерната единица за заряд е Кулон [C], а големината на един елементарен заряд е:

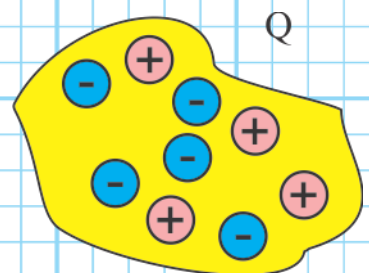
$$q_0 = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ [C]}$$

В: Ако в дадено място от пространството са струпани множество елементарни заряди, какъв е общият им заряд?

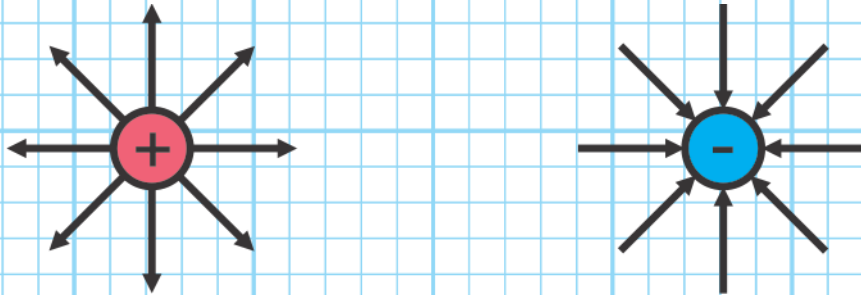
О: Сумарният заряд Q се определи с:

$$Q = \sum q^+ + \sum q^-$$

Около електрически заредените частици съществува електрическо поле.

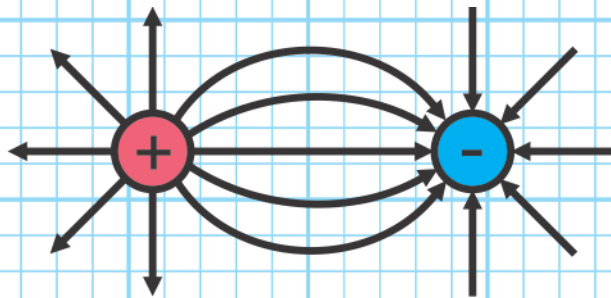


Условно е прието, че посоката на полето на положителните заряди е насочено навън от заряда, а на отрицателните – към заряда.

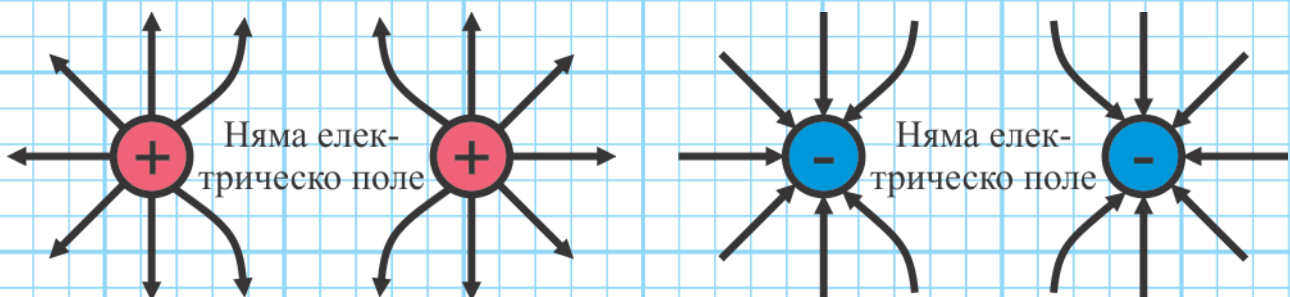


Когато неподвижни заредени частици се намират в близост една до друга, между тях действат сили:

1. Между заредени частици с противоположен знак действат сили на привличане:



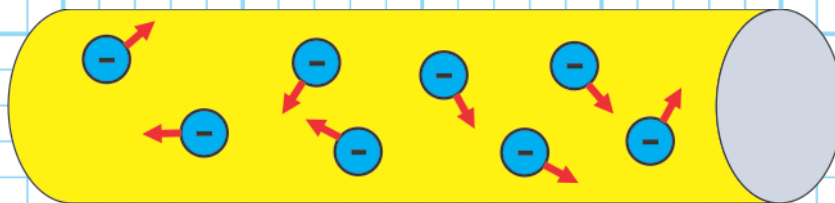
2. Между заредени частици с еднакъв знак действат сили на отблъскване:



Тъй като в диелектриците няма свободни токоносители, в тях електрическото поле теоретично може да съществува безкрайно дълго време.

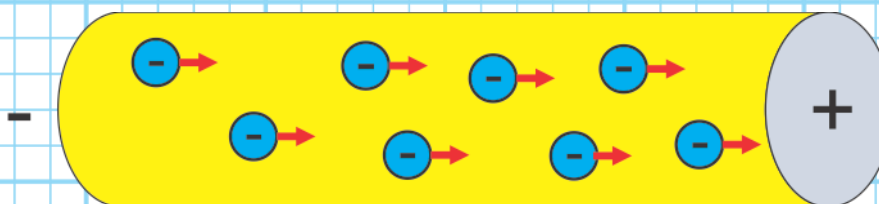
В: Казвате го така, сякаш при проводниците е различно.

О: Точно така. В проводниците съществуват свободни заряди. В случай, че отсъства електрическо поле, тези токоносители извършват хаотично топлинно движение:



Отсъства електрическо поле

Но ако към проводник бъде приложено електрическо поле, свободните токоносители започват да се движат насочено, като отрицателните частици се насочват към плюса (+), а отрицателни – към минуса (-):



Наличие на електрическо поле

Електрически ток

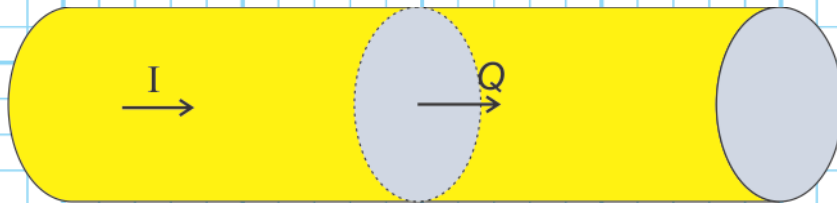
Вече можем да дефинираме понятието електрически ток:
Електрически ток се нарича всяко насочено движение на електрически заряди в пространството.

1. В проводниците съществува основно **ток на проводимост**.
В металите той се дължи на свободните **електрони**, в електролитите – на свободните **йони**, а в газовете – както на **електрони**, така и на **йони**.

2. В диелектриците също е възможно протичане на ток, наричан ток на разместване, но той няма да бъде разглеждан в рамките на тази дисциплина.

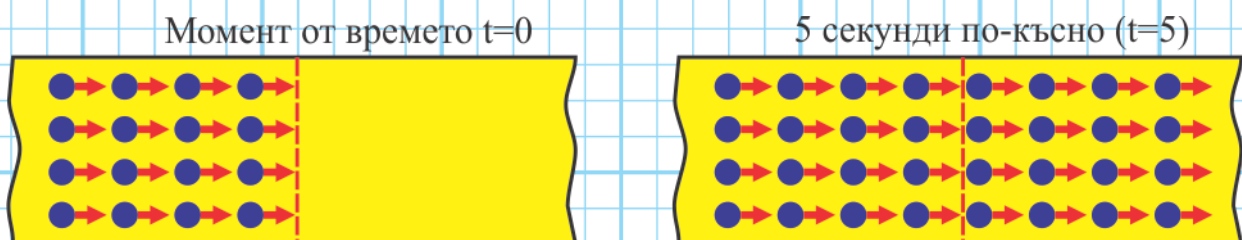
За количествена оценка на тока най-често се използва понятието **големина на тока**. Големината на тока I се дефинира като количеството заряд Q , минаващ през сечението S на проводник, за единица време t :

$$I = \frac{dQ}{dt} [A]$$



Мерната единица за големина на електрическия ток е Ампер и се отбелязва с $[A]$.

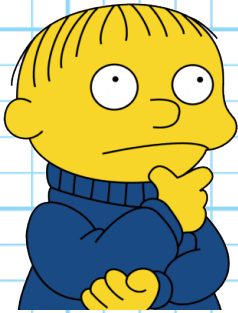
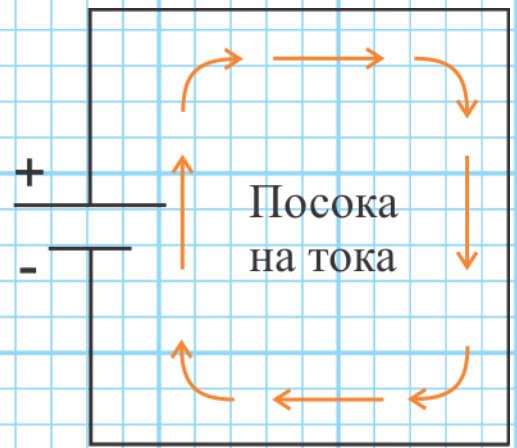
Пример: Да се определи токът през проводник, ако през сечението му за 5 секунди да минават 16 елементарни електрически заряда:



Големината на тока е:

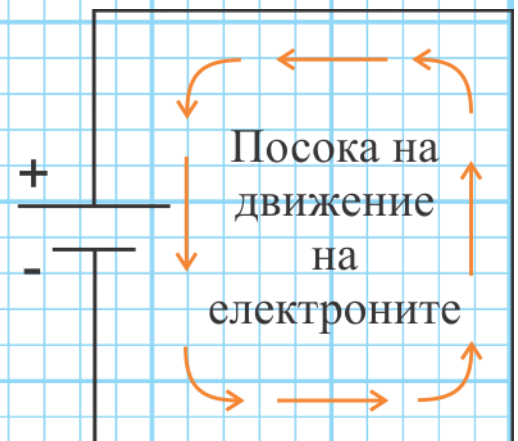
$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{16 \cdot q_0}{5} = \frac{16 \cdot 1,6021 \cdot 10^{-19}}{5} = 5,13 \cdot 10^{-19} [A]$$

За посока на тока се приема посоката на движение на положително-заредените електрически заряд, т.е. от плюс (+) към минус (-).



В: Но вие току що казахте, че електрическият ток в металите се дължи на електроните, които са отрицателно заредени. От вашите думи излиза, че в металите не тече ток.

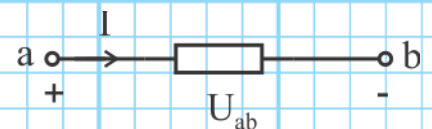
О: Електроните се движат от минус (-) към плюс (+), т.е. обратно на приетата посока на тока. Но въпреки това ние казваме, че токът тече от плюс към минус.



Освен това ако токът тече в електролит, той се дължи както на положителни, така и на отрицателни заряди (йони), т.е. при тях токоносителите се движат едновременно и в двете посоки.

Електрическо напрежение

Нека под въздействието на електрическо поле протича електрически ток I , при което електрическият заряд Q се премества от т. а до т. b. Това означава, че електрическото поле извършва някаква работа, т.е. изразходва се някаква енергия A :



$$A = Q \cdot U_{ab}$$

Величината U_{ab} се нарича електрическо напрежение (или пад на напрежение) и се измерва във Волти [V].

Ако т. а има потенциал U_a , а т. б има потенциал U_b (също измервани във Волти), електрическото напрежение също така може да се изрази чрез като разлика от двата потенциала:

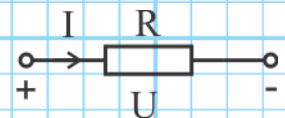
$$U_{ab} = U_a - U_b$$

В: Но това означава, че напрежението между точките b и a ще бъде $U_{ba} = U_b - U_a = -U_{ab}$. Нима напрежението може да бъде отрицателно?

О: Точно така. Знакът на пада на напрежението зависи от посоката му и е въпрос на „гледна точка“: от т. а към т. б или от т. б към т. а.

Електрическо съпротивление

Следващата основна величина, която ще дефинираме, дава връзката между токът I и падът на напрежение U върху даден участък от веригата:



$$U = I \cdot R$$

Коефициентът R се нарича електрическо съпротивление и се измерва в Омега [Ω].

Използва се също така и реципрочната му стойност, наречена проводимост:

$$G = \frac{1}{R}$$

Проводимостта се изменя в Сименси [S].

Електрически вериги

Електрическата верига е устройство или съвкупност от устройства за преобразуване, разпределение и пренасяне на електромагнитна енергия или информация, с помощта на електрически ток.

Класификации

Съществуват няколко класификации на електрическите вериги.

Според първата класификация веригите биват:

- **Вериги със съсредоточени параметри** – характеристиките на веригата (съпротивление, индуктивност, капацитивност) са съсредоточени в определени участъци;
- **Вериги със разпределени параметри** – характеристиките на веригата са разпределени равномерно или неравномерно по цялата и дължина.

Според втората класификация веригите биват:

- **Постояннотокови вериги** – електрическите токове и напрежения са с постоянна във времето големина;
- **Променливотокови вериги** – електрическите токове и напрежения се изменят във времето.

Според третата класификация веригите биват:

- **Линейни вериги** – волт-амперните характеристики на всички елементи във веригата са линейни;

- **Нелинейни вериги** – поне един от елементите има нелинейна волт-амперна характеристика.

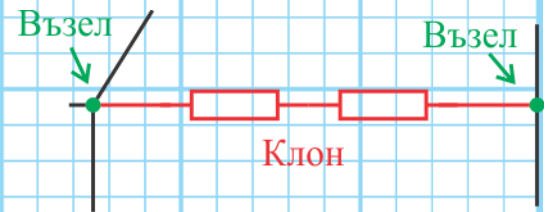
В днешната лекция ще разглеждаме **линейни постояннотокови** вериги със **съсредоточени параметри**.

Възел, клон и затворен контур

В една **електрическа верига** могат да се дефинират следните **топологични елементи**:

1. Възел – това е пресечната точка на поне 3 клона;

2. Клон – това е участък между два последователни възела. Клонът също така може да се дефинира като участък от веригата, във който токът има една и съща стойност;



3. Затворен контур – това е затворен път в електрическата верига, който минава през един или повече неповтарящи се клона/възела.



В една **електрическа верига** могат да се дефинират следните **структурни елементи**:


1. Консуматори (в постояннотоковите вериги това са **резисторите**);


2. Източници (още наричани генератори);

3. Свързващите ги проводници.

Резистори

Резисторът е пасивен двуполюсен елемент, който се използва за представяне на идеален приемник на енергия.

Условното означение за резистор е: 

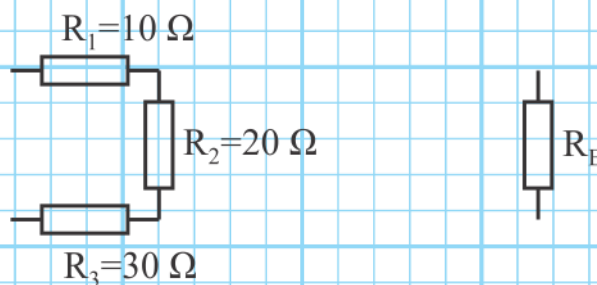
В някои държави (САЩ, Япония и др.) се използва: 

Всеки резистор се характеризира и със съпротивление R в Омосе или с проводимост G в Сименси.

При **последователно свързване на резистори**, тяхното еквивалентно съпротивление може да бъде определено с:

$$R_E = \sum R_i$$

Пример: Да се определи еквивалентното съпротивление на схемата.



Трите резистора са свързани последователно, така че еквивалентното съпротивление R_E е:

$$R_E = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 20 + 30 = 60 [\Omega]$$

При **паралелно свързване на резистори** могат да се събират техните **проводимости**:

$$G_E = \sum G_i = \sum \frac{1}{R_i}$$

От там за **еквивалентното им съпротивление** се получава:

$$R_E = \frac{1}{G_E} = \frac{1}{\sum \frac{1}{R_i}}$$



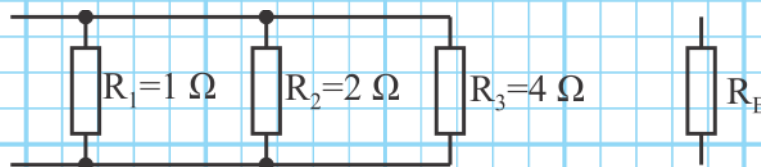
В: Следователно, ако имаме **два паралелни резистора** и приведем горната зависимост под общ знаменател, ще се получи:

$$R_E = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

О: Точно така. Еквивалентното съпротивление на два паралелни резистора се определя с:

$$R_E = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Пример: Да се определи еквивалентното съпротивление на схемата.

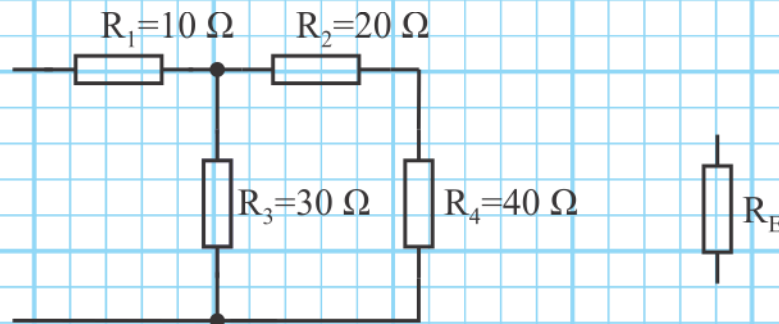


Резисторите са свързани паралелно, така че R_E е:

$$R_E = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4}} = 0,57 [\Omega]$$

В случай на по-сложни съединения, съдържащи както последователни, така и паралелни резистори, схемата се опростява стъпка по стъпка, като първо се обединяват последователните елементи, а след това паралелните.

Пример: Да се определи еквивалентното съпротивление на схемата.



За посочената схема първо ще обединим резисторите R_2 и R_4 , които са свързани последователно:

$$R_{24} = R_2 + R_4 = 20 + 40 = 60 [\Omega]$$

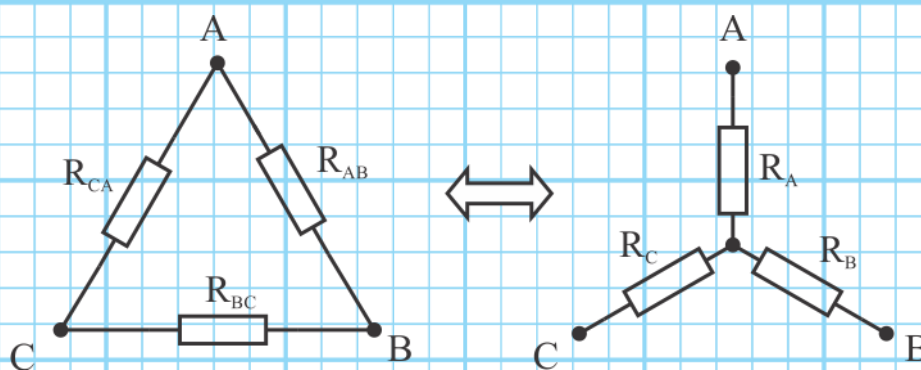
След това ще обединим резистори R_3 и R_{24} , които са свързани паралелно:

$$R_{324} = \frac{R_3 \cdot R_{24}}{R_3 + R_{24}} = \frac{30 \cdot 60}{30 + 60} = 20 [\Omega]$$

Най-накрая R_1 и R_{324} остават последователно съединени:

$$R_E = R_1 + R_{324} = 10 + 20 = 30 [\Omega]$$

Съществуват още два типа съединения: **Звезда** и **Триъгълник**.



При преобразуване от **звезда в триъгълник** могат да се използват следните зависимости:

$$R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_A R_B}{R_C}$$

$$R_{BC} = R_B + R_C + \frac{R_B R_C}{R_A}$$

$$R_{CA} = R_C + R_A + \frac{R_C R_A}{R_B}$$

При преобразуване от **триъгълник в звезда** се използват:

$$R_A = \frac{R_{AB} \cdot R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}$$

$$R_B = \frac{R_{AB} \cdot R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}$$

$$R_C = \frac{R_{BC} \cdot R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}$$

Източници на напрежение (ЕДН)

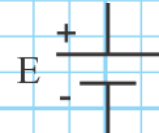
Източниците на напрежение преобразуват неелектрическа енергия в електрическа, като създават електродвижещо напрежение (ЕДН).

Могат да се разграничат два типа източници на напрежение:

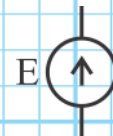
1. Идеален източник на напрежение

Идеалният източник на напрежение има нулево собствено съпротивление. Съществуват множество условни означения на идеален източник на напрежение.

- За обозначение на **батерия** (постояннотоков източник) се използва:



- По-**универсално означение** на идеален източник на напрежение е:



- За обозначаване на **синусоидален източник на напрежение** ние също така ще използваме:



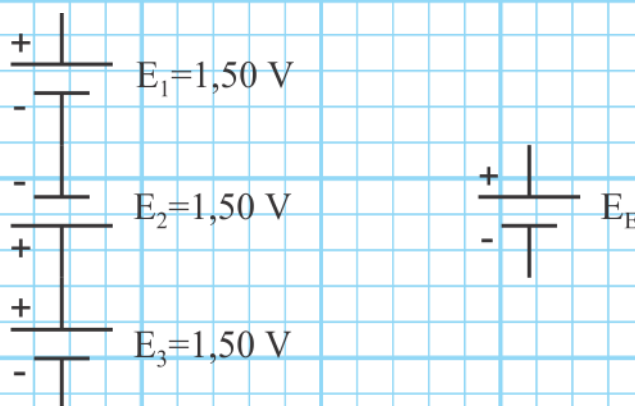
Използват се и други условни означения, но ние няма да ги използваме.

При **последователно свързване** на идеални източници на напрежение, тяхното еквивалентно съпротивление се определя като **алгебрична сума от техните напрежения**:

$$E_E = \sum E_k$$

Идеалните източници на напрежение не могат да се свързват паралелно.

Пример: Да се определи големината на еквивалентния източник на ЕДН.

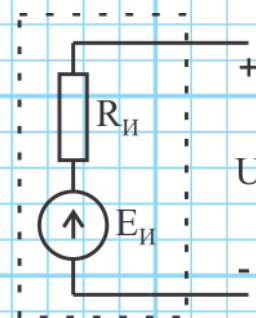


Източниците на напрежение са свързани последователно, т.е. големината на еквивалентния източник ще бъде:

$$E_E = E_1 - E_2 + E_3 = 1,5 - 1,5 + 1,5 = 1,5 \text{ [V]}$$

2. Реален източник на напрежение

Реалният източник на напрежение има ненулево съпротивление. Той се представя в заместваща схема като **последователно свързани** идеален източник на напрежение $E_{И}$ и резистор със съпротивление $R_{И}$.



Реалният източник на напрежение често се нарича **еквивалентен източник на Тевенен**, но за това ще говорим в края на тази лекция.

Източници на ток

Източниците на ток също преобразуват неелектрическа енергия в електрическа, като не създават ток. Могат да се разграничат два типа източници на ток:

1. Идеален източник на ток

Идеалният източник на ток има безкрайно-голямо собствено съпротивление. Това означава, че големината на тока

минаващ през идеален източник на ток не се влияе от други източници.

Условното означение за източник на ток е:



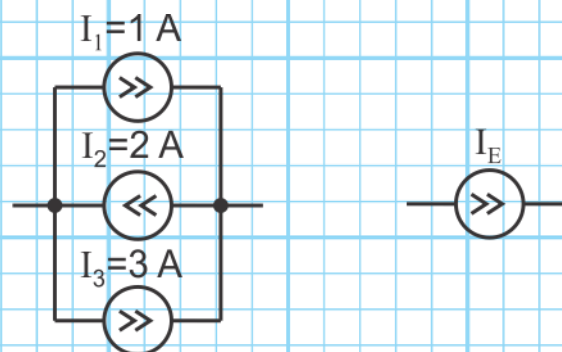
Известни са и други условни означения, но ние няма да ги използваме.

Идеалните източници на ток могат да се свързват **паралелно**, като големината на еквивалентния източник се определя като **алгебричната им сума**:

$$I_E = \sum I_k$$

Идеалните източници на ток не могат да се свързват последователно.

Пример: Да се определи големината на еквивалентния източник на ток.

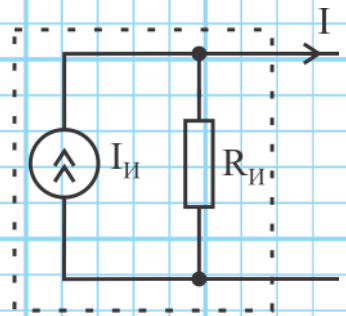


Източниците на ток са свързани паралелно, т.е. големината на еквивалентния източник ще е:

$$I_E = I_1 - I_2 + I_3 = 1 - 2 + 3 = 2 \text{ [A]}$$

2. Реален източник на ток

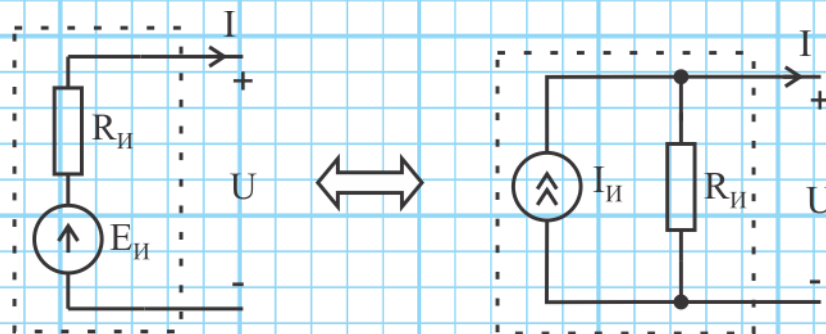
Реалният източник на ток има съпротивление различно от безкрайност. Той се представя в заместваща схема като **паралелно свързани** идеален източник на ток $I_{И}$ и резистор със съпротивление $R_{И}$.



Реалният източник на напрежение често се нарича **еквивалентен източник на Нортън**.

Взаимозаменяемост

Всъщност между реалните източници на ток и напрежение съществува взаимозаменяемост:



1. Всеки **реален източник на ток** може да се замени с **еквивалентен реален източник на напрежение**, като съпротивленията им са едни и същи, а големината на идеалния източника на ЕДН се определя с:

$$E_{И} = I_{И} \cdot R_{И}$$

2. Аналогично всеки **реален източник на напрежение** може да се замени с **еквивалентен реален източник на ток**, където големината на идеалния източник на ток се определя с:

$$I_{И} = \frac{E_{И}}{R_{И}}$$

В: Я стига! Как е възможно източник на ток и източник на напрежение да бъдат еквивалентни, след като единият създава ток, а другият - напрежение? Това е абсурдно!



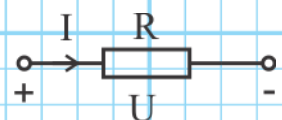
О: Реалните източници имат собствено съпротивление, поради което големината на създаваните от тях ток и напрежение зависят от веригата към която са свързани. На практика всеки реален източник захранващ някаква верига създава едновременно както ток, така и напрежение. Спомнете си, че токът и напрежението са правопропорционални: $U = I \cdot R$

Основни закони в електрическите вериги

Малко по-рано вече въведохме законът на Ом, но сега ще го дефинираме за две ситуации:

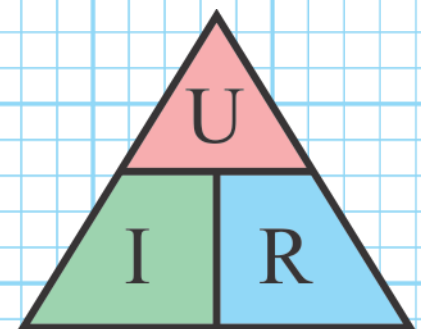
Закон на Ом за пасивен участък

Един участък от верига е пасивен, ако не съдържа източници на напрежение или ток.



При тази ситуация законът на Ом гласи, че ако върху участък от верига със съпротивление R се приложи напрежение U , през нея ще протече ток с големина I :

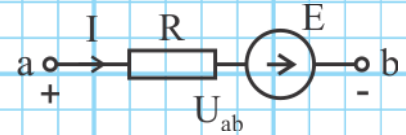
$$I = \frac{U}{R}$$



За удобство горната зависимост може да се представи като триъгълник.

Закон на Ом за активен участък

Един участък от верига се нарича активен, ако съдържа източник.



В случай, че в клона се съдържа източник на напрежение с големина E , чиято посока съвпада с посоката на тока, големината на тока I във веригата се определя с:

$$I = \frac{U_a - U_b + E}{R} = \frac{U_{ab} + E}{R}$$

В случая, U_a и U_b са потенциалите на точките a и b . Ако посоката на източника е противоположна, тогава знакът пред E ще бъде минус.

Първи закон на Кирхоф

Първият закон на Кирхоф (ПЗК) се отнася за **възел** от електрическа верига. Законът гласи, че сумата от влизащите в един възел токове $I_{\text{вл}}$ е равна на сумата от излизащите $I_{\text{изл}}$:

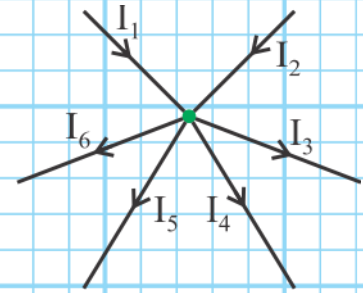
$$\sum I_{\text{вл}} = \sum I_{\text{изл}}$$

Един ток се смята за влизащ, ако посоката му сочи към възела. За излизащи се смятат тези токове, чиято посока е от (навън от) възела. Ето защо този закон също се нарича закон на Кирхоф за токовете.

Пример: Да се запише уравнение по ПЗК.

За дадения възел може да се запише следното уравнение по ПЗК:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$



Втори закон на Кирхоф

Вторият закон на Кирхоф (ВЗК) се отнася за затворен контур в електрическа верига. Законът гласи: Алгебричната сума от падовете на напреженията в един затворен контур е нула.

$$\sum U_k = 0$$

Но за нас е по-удобно да използваме друг запис, гласящ:

В един затворен контур алгебричната сума от големините на източниците на напрежение E_k е равна на алгебричната сума от падовете на напрежения U_k :

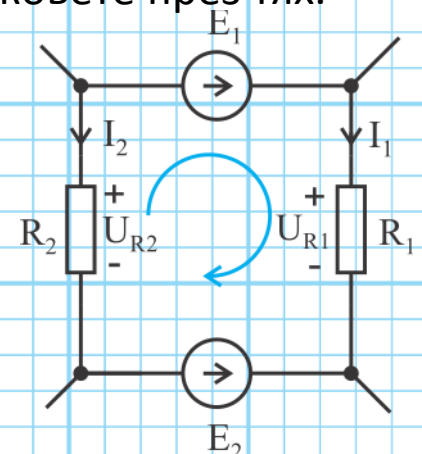
$$\sum E_k = \sum U_k$$

Трябва да се отбележи, че посоката на контура се избира случайно, а посоките на падовете върху консуматорите се избират така, че да съвпадат с посоката на токовете през тях.

Пример: За дадената верига да се запише уравнение по ВЗК.

За посочената верига може да запишем следното уравнение по ВЗК:

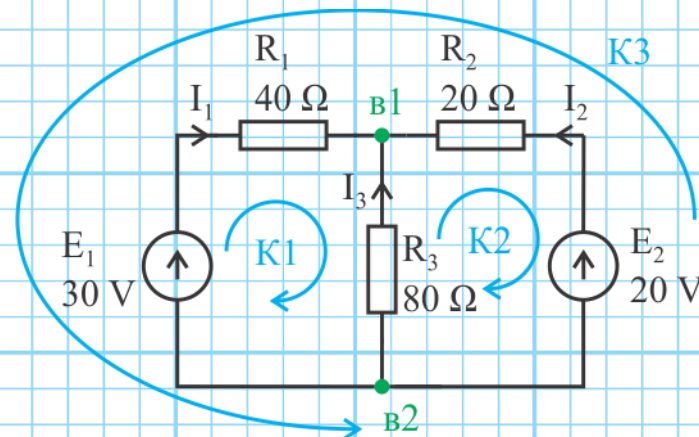
$$E_1 - E_2 = U_{R1} - U_{R2}$$



Ако в горното уравнение приложим законът на Ом, то става:

$$E_1 - E_2 = I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2$$

Пример: За дадената схема да се запишат всички възможни уравнения по ПЗК и ВЗК.



Дадената схема съдържа 2 възела (v1 и v2), т.е. за тях можем да запишем следните уравнения по ПЗК:

$$v1: I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$v2: 0 = I_1 + I_2 + I_3$$

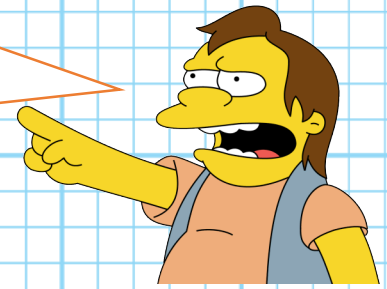
В горната схема също така съществуват три възможни затворени контура (K1, K2 и K3), чиито посоки са избрани случайно. За тях можем да запишем уравнения по ВЗК:

$$K1: E_1 = U_{R1} - U_{R3} = R_1 \cdot I_1 - R_3 \cdot I_3 = 40I_1 - 80I_3$$

$$K2: -E_2 = U_{R3} - U_{R2} = R_3 \cdot I_3 - R_2 \cdot I_2 = 80I_3 - 20I_2$$

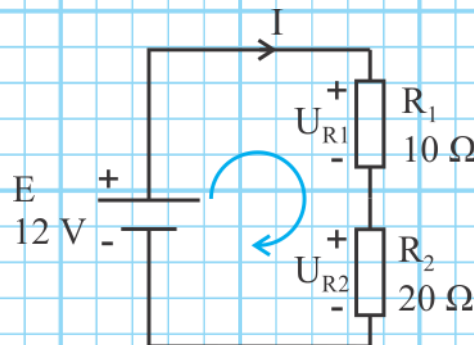
$$K3: E_2 - E_1 = U_{R2} - U_{R1} = R_2 \cdot I_2 - R_1 \cdot I_1 = 20I_2 - 40I_1$$

В: Вие току що сбъркахте! Написахте, че $I_1 + I_2 + I_3 = 0$, което не е възможно, тъй като няма как всички токове да влизат, и нито един да не излиза.



О: Няма грешка. Посоките на токовете се избират напълно случайно. Спомнете си, че падът на напрежението може да бъде положителен или отрицателен, в зависимост от посоката. Същото важи и за токовете. В горните уравнения по ПЗК със сигурност поне един от токовете има отрицателен знак, т.е. посоката му е противоположна на случайно избраната от нас.

Пример – Делител на напрежение



За дадената схема напреженията върху резисторите са:

$$U_{R1} = I \cdot R_1$$

$$U_{R2} = I \cdot R_2$$

Също така можем да запишем следното уравнение по ВЗК:

$$E = U_{R1} + U_{R2}$$

От уравнението се вижда, че входното напрежение 12 V се разделя между двата резистора. За да определим по какъв начин се разделя, ще определим следните отношения:

$$\frac{U_{R_1}}{E} = \frac{U_{R_1}}{U_{R_1} + U_{R_2}} = \frac{I \cdot R_1}{I \cdot R_1 + I \cdot R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Като прехвърлим E от другата страна на уравнението, за пада на напрежението върху резистор R_1 се получава:

$$U_{R_1} = E \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 12 \frac{10}{10 + 20} = 4 [V]$$

Аналогично можем да получим, че падът на напрежението върху R_2 е:

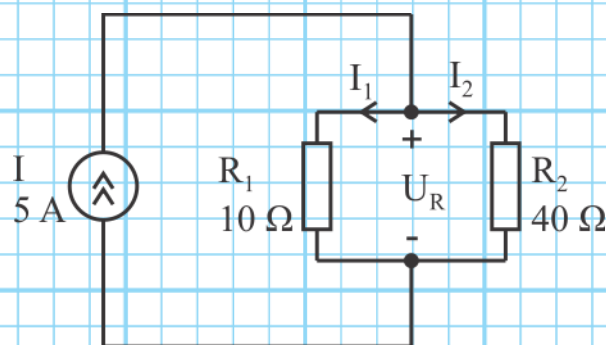
$$U_{R_2} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \frac{20}{10 + 20} = 8 [V]$$

Вижда се, че захранващото напрежение се разделя между двата резистора в същото съотношение като съотношението на техните съпротивления:

$$\frac{U_{R_1} [V]}{U_{R_2} [V]} = \frac{R_1 [\Omega]}{R_2 [\Omega]} \rightarrow \frac{4 [V]}{8 [V]} = \frac{10 [\Omega]}{20 [\Omega]}$$

Делителите на напрежение намират голямо приложение, когато е нужно дадено високо напрежение да бъде понижено до по-ниско.

Пример – Делител на ток



За дадената схема двата резистора са свързани паралелно, т.е. падът на напрежението U_R върху тях е един и същ. От там можем да изразим токовете през резисторите:

$$I_1 = \frac{U_R}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_R}{R_2}$$

Можем да запишем и уравнение по ПЗК:

$$I = I_1 + I_2$$

Вижда се, че входният ток се разделя между двата клона. За да определим в какво съотношение, ще запишем отношението на токовете:

$$\frac{I_1}{I} = \frac{\frac{U_R}{R_1}}{\frac{U_R}{R_1} + \frac{U_R}{R_2}} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Като прехвърлим токът I от другата страна на равенството се получава:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \frac{40}{10 + 40} = 4 [A]$$

Аналогично можем да получим, че токът I_2 е:

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 5 \frac{10}{10 + 40} = 1 [A]$$

Вижда се, че входният ток се разделя между двата резистора в съотношение обратнопропорционално на техните съпротивления:

$$\frac{I_1 [V]}{I_2 [V]} = \frac{R_2 [\Omega]}{R_1 [\Omega]} \rightarrow \frac{4 [V]}{1 [V]} = \frac{40 [\Omega]}{10 [\Omega]}$$

Енергия и мощност

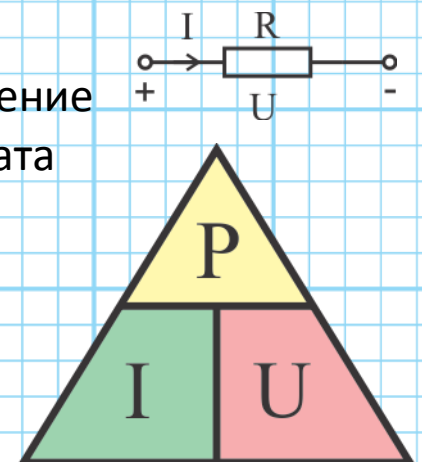
По рано ви казах, че когато върху свободен токоносител (заряд) действа електрическо поле, това води до неговото изместване, т.е. полето изразходва някаква енергия за преместването на заряда. **Енергията** се измерва в **Джаули [J]** но тази величина не винаги е удобна за работа, тъй като не е ясно за какъв период от време се изразходва енергията.

Понякога е по-удобно да знаем използваната енергия за единица време. Ето защо е въведена единицата Ват [W], показваща каква енергия се изразходва за единица време (1 секунда):

$$1 [W] = \frac{1 [J]}{1 [s]}$$

Съгласно законът на Джаул-Ленц, ако върху даден участък от верига има пад на напрежение U , в резултат на което тече ток I , разсейваната във веригата мощност е:

$$P = U \cdot I$$



В: Я чакай малко! Не можем ли в тази зависимост да приложим закона на Ом?



О: Точно така. Ако в горната зависимост заместим $U = I \cdot R$ или $I = \frac{U}{R}$ получаваме още два начина, по които можем да изразим разсейваната мощност в даден участък от веригата:

$$P = U \cdot I = I \cdot R \cdot I = I^2 \cdot R$$

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

Пример: Да се определи каква енергия ще консумира крушка с мощност $100 [W]$, ако работи в продължение на 1 час.

Знаем, че $1 [W] = \frac{1 [J]}{1 [s]}$. Също така знаем, че в един час има 3600 секунди. Следователно консумираната A енергия е:

$$A = P \cdot 3600 = 100 \cdot 3600 = 360000 [J]$$

От горната зависимост се вижда, че за една единствена крушка, работеща в продължение на едва 1 час, се изразходват цели $360000 [J]$, енергия, т.е. единицата Джаул не е особено удобна за отчитане на консумирана електрическа енергия. Ето защо се използва единицата Киловатчас $[kW \cdot h]$, като $1 [kW \cdot h]$ се равнява на:

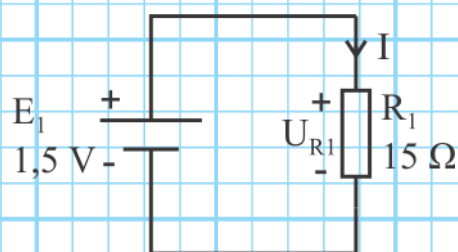
$$1 [kW \cdot h] = 1000 [W] \cdot 3600 [s] = 3,6 \cdot 10^6 [J]$$

Следователно ако в последния пример изразим консумираната електрическа енергия в киловатчаса, ще се получи:

$$A = 360000 [J] = 0.1 [kW.h]$$

Съгласете се, че е много по-удобно да се работи с малки числа.

Пример: Да се определят токът и разсейваната мощност във веригата.



Съгласно законът на Ом (или ВЗК), токът във веригата е:

$$I = \frac{E_1}{R_1} = \frac{1,5}{15} = 0.1 [A]$$

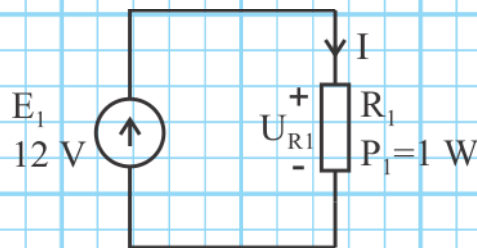
От ВЗК се вижда, че падът на напрежението върху резистора е равен на напрежението на източника ($U_{R1} = E_1$), т.е. разсейваната в товара мощност е:

$$P_1 = U_{R1} \cdot I = 1,5 \cdot 0,1 = 0,15 [W] = 150 [mW]$$

Но същата мощност бихме могли да определим и без да определяме предварително тока:

$$P_1 = \frac{U_{R1}^2}{R_1} = \frac{1,5^2}{15} = 0,15 [W]$$

Пример: Да се определи съпротивлението и токът на LED лампа, ако при напрежение 12 [V] разсейва мощност 1 [W].



Съпротивлението на LED-а можем да определим чрез мощността и приложеното напрежение:

$$P_1 = \frac{U_{R1}^2}{R_1} \rightarrow R_1 = \frac{U_{R1}^2}{P_1} = \frac{12^2}{1} = 144 [\Omega]$$

Токът във веригата можем да определим или от мощността, или от законът на Ом:

$$I = \frac{P_1}{U_{R1}} = \frac{1}{12} = 0,083 [A] = 83 [mA]$$

$$I = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{12}{144} = 83 [mA]$$

Природният **закон за запазване на енергията** е в сила и за електрическите вериги, като в случая той се нарича **баланс на мощностите**. Балансът на мощностите гласи, че сумата от консумираните мощности в една електрическа верига е равна на сумата от отделяните мощности от източниците:

$$\sum P_{\text{КОНС}} = \sum P_{\text{ИЗТ}}$$

Консумираната мощността $P_{\text{КОНС}}$ се определя с:

$$P_{\text{КОНС}} = I^2 \cdot R,$$

а отделяната от източниците мощност $P_{\text{ИЗТ}}$ е:

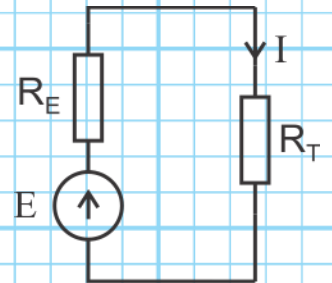
$$P_{\text{ИЗТ}} = E \cdot I$$

където E и I са съответно напрежението и тока на източника.

Теорема за предаване на максимална мощност

Сега ще разгледаме една много важна теорема, но първо трябва да си изясним **каква е постановката на теоремата**.

Постановката е следната: даден е реален източник с напрежение E и съпротивление R_E . **Целта** е да се определи **при какъв товар R_T** , източникът ще предава **максимална мощност** към товара.



За решението на тази теорема е нужно първо да определим тока във веригата:

$$I = \frac{E}{R_E + R_T}$$

Следователно разсейваната в товара мощност е:

$$\begin{aligned} P_T = I^2 R_T &= \frac{E^2 R_T}{(R_E + R_T)^2} = \frac{E^2}{\frac{(R_E + R_T)^2}{R_T}} = \frac{E^2}{\frac{R_E^2 + 2R_E R_T + R_T^2}{R_T}} \\ &= \frac{E^2}{\frac{R_E^2}{R_T} + 2R_E + R_T} \end{aligned}$$

От горното уравнение е очевидно, че мощността P_T е максимална когато знаменателят $\frac{R_E^2}{R_T} + 2R_E + R_T$ е минимален. Това условие е изпълнено при:

$$\frac{d\left(\frac{R_E^2}{R_T} + 2R_E + R_T\right)}{dR_T} = 0$$

Решението на производната е:

$$-\frac{R_E^2}{R_T^2} + 1 = 0$$

а решението на последното уравнение е $R_T = R_E$, т.е. източникът ще предава максимална мощност към товара, ако съпротивлението на товара е равно на това на източника:

$$R_T = R_E$$

Отново напомням, че тази теорема е в сила само и единствено, ако съпротивлението на източника е фиксирано и не може да се променя.