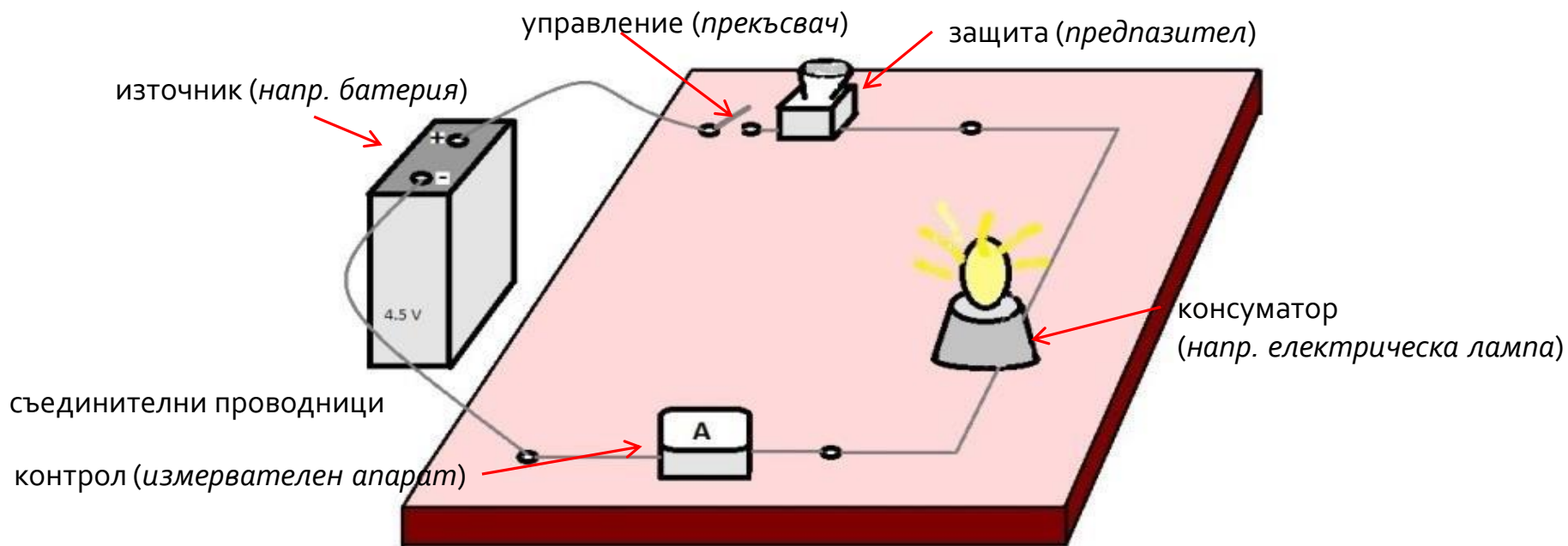


ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ

- Електрически вериги – основни величини, компоненти, параметри
- Основни закони
- Анализ на линейни постояннотокови електрически вериги при установен режим



Електрическата верига е съвкупност от източници на електрическа енергия, консуматори и предавателни линии (съединителни проводници, защитна и друга апаратура), процесите (*преобразуване, пренасяне, разпределяне и измерване на електрическа енергия*) в която могат да се описват основно с помощта на интегрални величини – основно величините *електрически ток, електрическо напрежение*.



Фиг. 1. Проста електрическа верига

I. Основни величини

A. Енергетични величини

- *постоянни (постояннотокови)* – означават се с главни латински букви (U , I)
- *променливи (променливотокови)* – означават с малки латински букви ($u(t)$, $i(t)$)

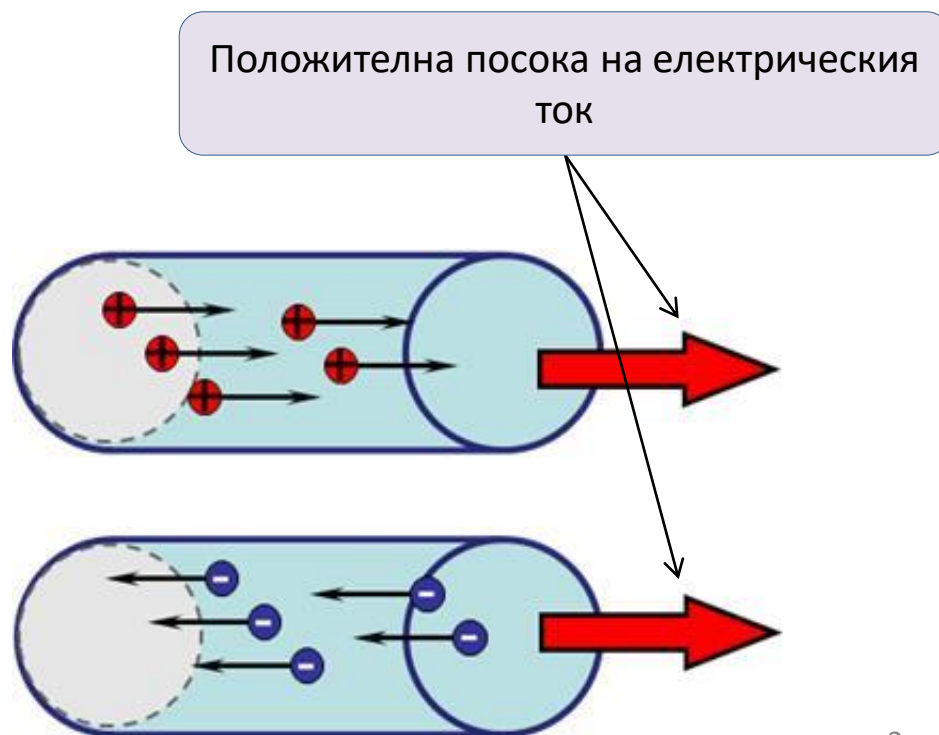
1. Електрически ток



Електрически ток – насочено движение на електрически заредени частици

$$I = Q/t \text{ , A}$$

$$i = dq/dt \text{ , A}$$



2. Токова плътност

$$j = i/S \quad , \text{ A / m}^2$$

3. Електрическо напрежение

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = A_{ab}/q \quad , \text{ V}$$

4. Електрическа мощност

$$p = u.i \quad , \mathbf{W}$$

$$p = U.I = P = \text{const}$$

5. Електрическа енергия

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p.dt = \int_{t_1}^{t_2} u.i.dt \quad , \mathbf{W.s}$$

Б. Параметри на електрическите вериги

Всеки параметър характеризира отделен процес (явление) в електрическите вериги.

1. Електродвижещо напрежение (е. д. н.) и електродвижещ ток (е. д. т.)

• електродвижещо напрежение (е. д. н.) **e, E** , **V**

• електродвижещ ток (е. д. т.) **j_e, J_e** , **A**

2. Електрическо съпротивление

- електрическо съпротивление R

$$p = R.i^2 \quad , \Omega$$

3. Индуктивност – L , H

$$\Psi = L.i$$

4. Капацитет – C , F.

$$q = C.u$$

При *параметрите* на електрическите вериги много важен е въпросът зависи ли стойността им от режима на работа. Ако стойността на един параметър не зависи от тока и напрежението на елемента, то той е линеен. Ако стойността на параметъра е функция на тока (напрежението), той е нелинеен. При повечето анализи параметрите (с изключение на е.д. н. и е. д. т.) се счита, че не зависят от времето.

II. Елементи на електрическите вериги

А. Според предназначението

1. Източници – задължителни елементи, които преобразуват неелектрическа енергия в електрическа.

2. Консуматори (товари, потребители) – задължителни елементи, които преобразуват електрическа енергия в неелектрическа.

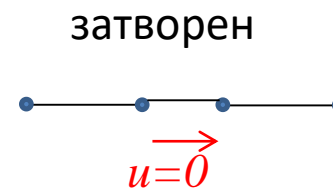
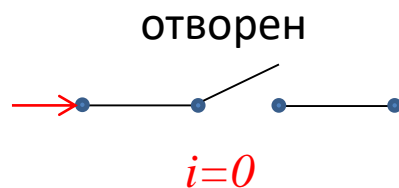
3. Съединителни проводници (линейни проводници, линия) – не са задължителни, но много рядко отсъстват от електрическите вериги.

4. Спомагателни елементи

а) Измервателни

б) Комутационни

електрически ключ



в) За защита

Б. Според броя на изводите

1. Двуполюсници

2. Триполюсници

3. n – полюсници

В. Според броя на описващите параметри

1. Идеални

2. Реални

Г. Според енергийните процеси в елементите

- 1. Пасивни** – Не се характеризират с никой от параметрите е. д. н. или е. д. т.
- 2. Активни** – Характеризират с някой от параметрите е. д. н. или е. д. т.

Д. Според вида на описващите уравнения

- 1. Линејни** – когато се описват само с *линејни* параметри.
- 2. Нелинејни** – когато поне един от описващите параметри е *нелинеен*.

Е. Според топологията

1. Клон

2. Възел

3. Контур

а) реално затворени контури

б) фиктивно затворени контури

Електрическите вериги са съставени от реални устройства (*източници, проводници, консуматори, измервателна и друга апаратура*), свързани по определен начин.



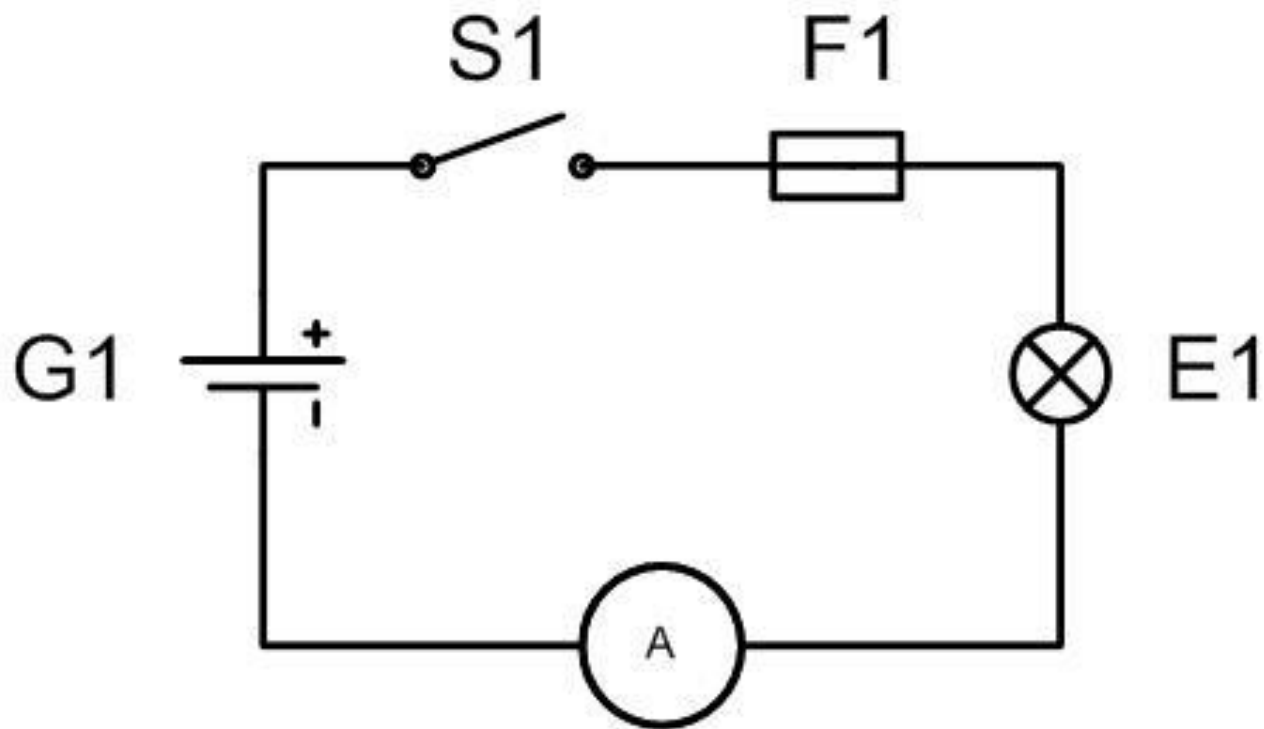
Електрическите схеми представляват графично изображение на реалните електрически вериги

Група 1 – за общо запознаване

Група 2 – за детайлно запознаване

Група 3 – за електрическите съединения между частите

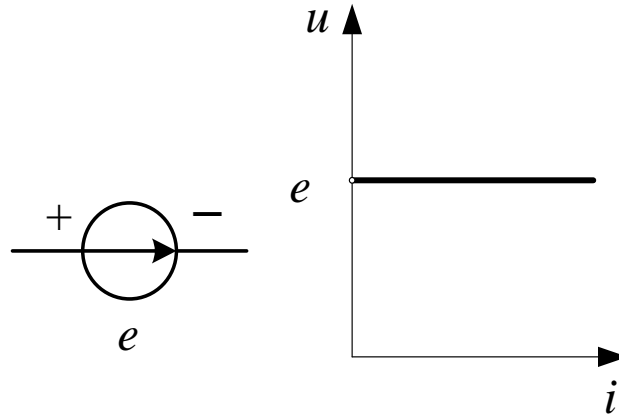
Група 4 – за относително разположение на съставните части на изделието



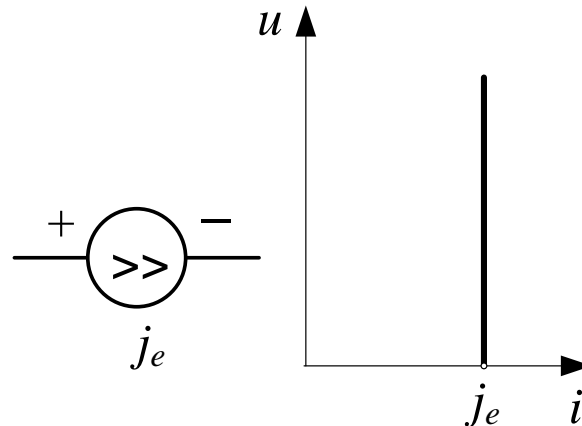
фиг. 2 Електрическа схема на електрическата верига от фиг.1

IV. Двуполюсници**А. Идеални двуполюсници****1. Активни**

а) идеален източник на напрежение – характеризира се само с параметъра е. д. н. **e**

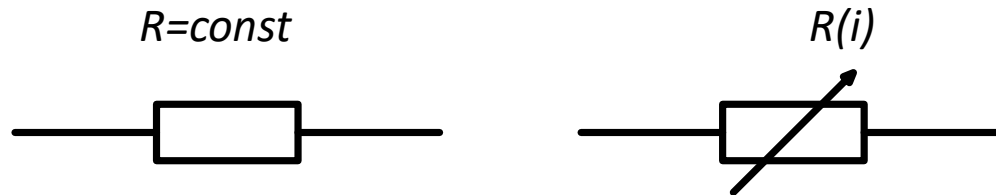


б) идеален източник на ток – характеризира се само с параметъра е. д. т. **j_e**

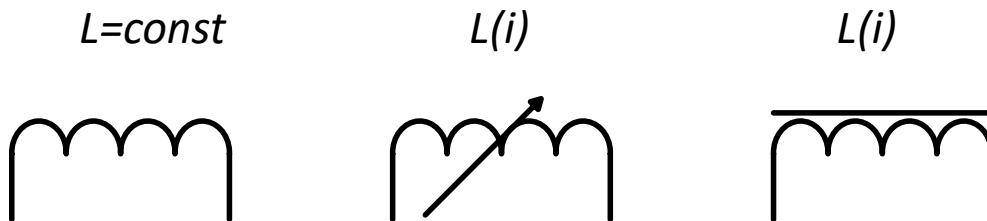


2. Пасивни

а) *идеален резистивен елемент (идеален резистор)* – характеризира се само с параметъра R



б) *идеален индуктивен елемент (идеална индуктивност)* – характеризира се само с параметъра L

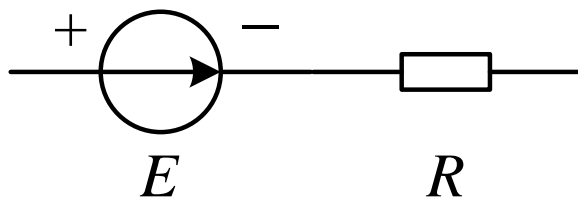


в) *идеален капацитивен елемент (идеален кондензатор)* – характеризира се само с параметъра C

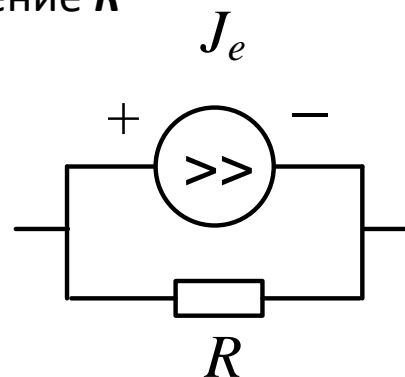


Б. Реални двуполюсници

1. Активни – При постоянен ток *реалните активни* двуполюсници се характеризират с два параметъра – е. д. н. E или е. д. т. J_e и съпротивление R

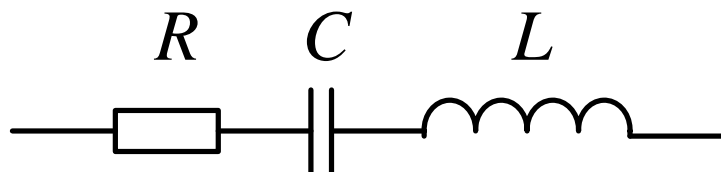


$$E = R \cdot J_e$$

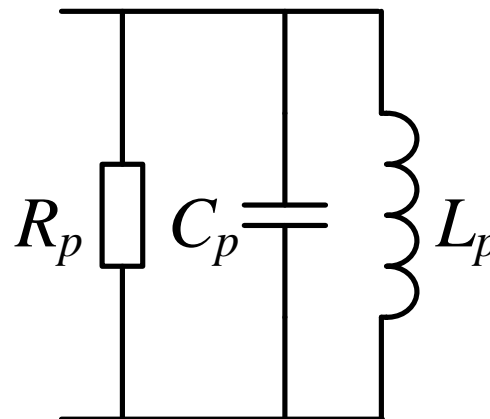


2. Пасивни – R, L и C

а) последователна заместваща схема



б) паралелна заместваща схема



В. Режими на работа на двуполюсниците

Активните двуполюсници могат да работят в три режима в зависимост от това как са свързани двата им извода:

1. Режим на празен ход

$$i_0=0 \qquad u_0 \neq 0$$

2. Режим на късо съединение

$$u_k=0 \qquad i_k \neq 0$$

3. Режим на натоварване

А. Според сложността на схемата

1. **Неразклонени** (прости) **електрически вериги** – Те нямат възли, имат само един клон и един реално затворен контур.
2. **Разклонени** (сложни) **електрически вериги** – Те имат поне два възела (поне три клона и много реално затворени контури).

Б. Според зависимостта от времето на участващите величини

1. **Постояннотокови електрически вериги** – При тях токовете, напреженията, *е. д. н.* и *е. д. т.* са постоянни (не зависят от времето).
2. **Променливотокови електрически вериги** – При тях токовете, напреженията, *е. д. н.* и *е. д. т.* са променливи (зависят от времето).

В. Според вида на описващите уравнения

1. **Линейни електрически вериги** – В тях всички елементи са линейни.
2. **Нелинейни електрически вериги** – В тях поне един елемент е нелинеен.

1. Режими на работа на електрически вериги

А. Преходен (динамичен) режим – енергийното състояние на веригата се променя

Б. Стационарен (установен) режим – веригата работи в установено енергийно състояние

2. Видове задачи при електрически вериги

А. Задачи за анализ

1. Прави задачи за анализ

2. Обратни задачи за анализ

Б. Задачи за синтез

Основни закони при електрическите вериги

Електромагнитните процеси в електрическите вериги се анализират с помощта на основни зависимости и закони – *законите на Ом и Кирхоф*. Тези закони дават зависимостите между основните величини и параметри на елементите на електрическата верига – u , i , R , L , C , e , j_e .

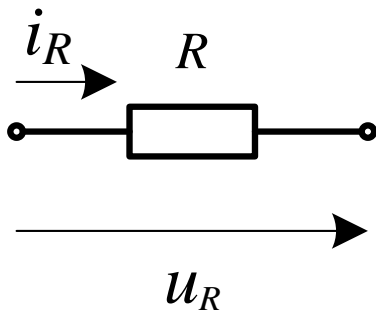


Специално внимание трябва да се обърне на факта, че в тези закони използваните суми са два вида. Едните са *аритметични*, защото участващите в тях събираеми са само положителни. Другите суми са *алгебричните* – събираемите имат различен алгебричен знак, който се определя от правило за знаците, което е неразделна част от алгебричните суми.

А. Основни закони за идеалните двуполусници**1. Идеални пасивни елементи**

а) идеален резистивен елемент

Закон на Ом

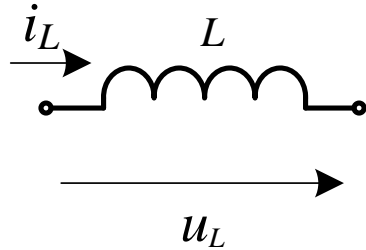


$$u_R = R \cdot i_R$$

$$i_R = u_R / R$$



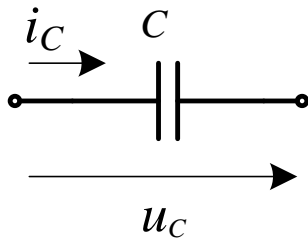
б) идеален индуктивен елемент



$$u_L = \frac{d\Psi_L}{dt} = L \frac{di_L}{dt}$$

$$i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt$$

в) идеален капацитивен елемент



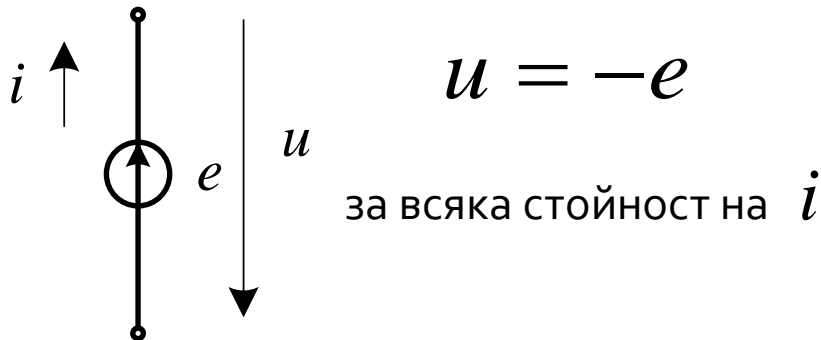
$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$$

$$i_C = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$$

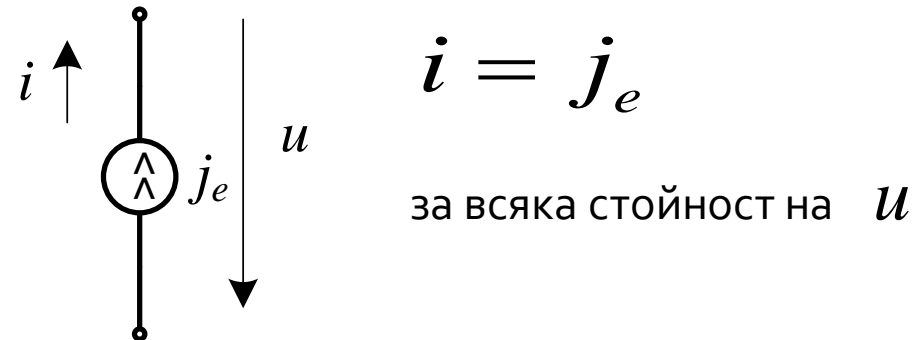
2. Идеални активни елементи

- *генераторен режим* – когато отдава енергия към останалата част от веригата
- *консуматорен режим* – когато активният двуполусник консумира енергия отвън

а) идеален източник на напрежение



б) идеален източник на ток



Б. Закони на Кирхоф

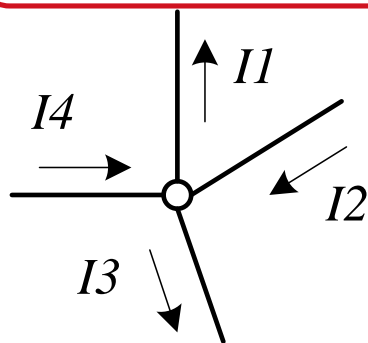
1. Първи закон на Кирхоф (закон за токовете) – отнася се за възел на електрическа верига. Той гласи:

Алгебричната сума на токовете, свързани с един възел на електрическа верига, във всеки момент от времето, е равна на нула:

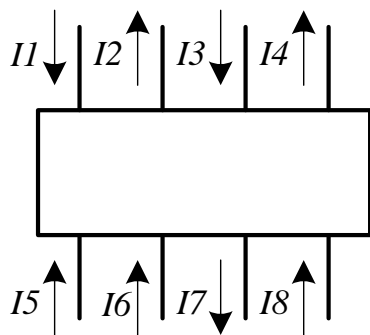
$$\sum_{k=1}^n i_k = 0$$



При прилагане на този закон трябва да се определи правило за посоката на алгебрично сумиране: например *влизащите токове във възела са със знак „+“, излизащите – със знак „–“* (или обратно).



$$-I1 + I2 - I3 + I4 = 0$$



$$I1 - I2 + I3 - I4 + I5 + I6 - I7 + I8 = 0$$

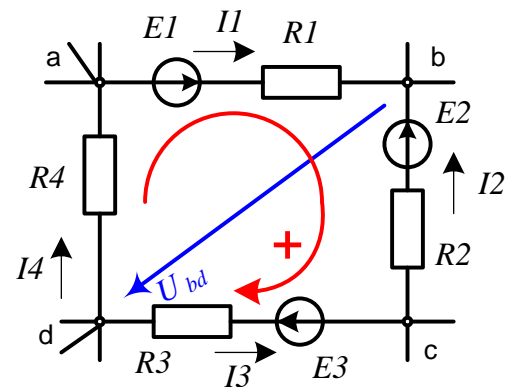
2. Втори закон на Кирхоф (закон за напреженията) – отнася се за контур на електрическа верига. Той гласи:

Алгебричната сума от е.д.н. в един затворен контур на сложна електрическа верига е равна на алгебричната сума от напрежителните падове в клоновете, образуващи контура, във всеки момент от времето:

$$\sum_{k=1}^n e_k = \sum_{k=1}^m R_k \cdot i_k$$



1. При прилагане на този закон трябва да се определи посоката на алгебрично сумиране: тя е по направление на избрания контур и може да съвпада с посоката на въртене на часовниковата стрелка или да бъде обратна на нея.
2. Трябва да бъде избрана и условна положителна посока за токовете в отделните клонове. Когато посоката на е.д.н. или токовете съвпада с избраната положителна посока на сумиране, те се записват със знак „+“, в противен случай – със знак „-“.



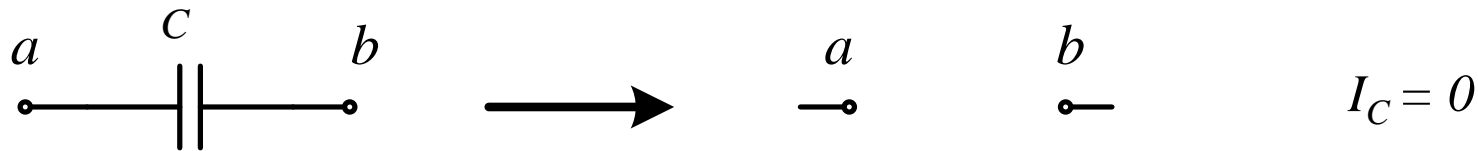
→ За примера от фигурата (**реално затворен контур**) уравнението по втория закон на Кирхоф има вида: $E1 - E2 + E3 = R1 \cdot I1 - R2 \cdot I2 - R3 \cdot I3 + R4 \cdot I4$

→ Вторият закон на Кирхоф може да се приложи и при **фиктивно затворени контури**, в които участват напреженията между две точки от схемата. За показаната схема може да се състави фиктивен затворен контур **bcd**, в който участва напрежението U_{bd} . Ако се приеме същата положителна посока на сумиране:

$$E2 + E3 = -R2 \cdot I2 - R3 \cdot I3 - U_{bd}$$

A. Особености на линейните постояннотокови ел. вериги при установени режими

1. Токовете, напреженията, е. д. н. и е. д. т. са постоянни, т. е. не зависят от времето.
2. Параметрите L и C не оказват влияние върху процесите в тези вериги и затова се премахват от схемите, както е показано



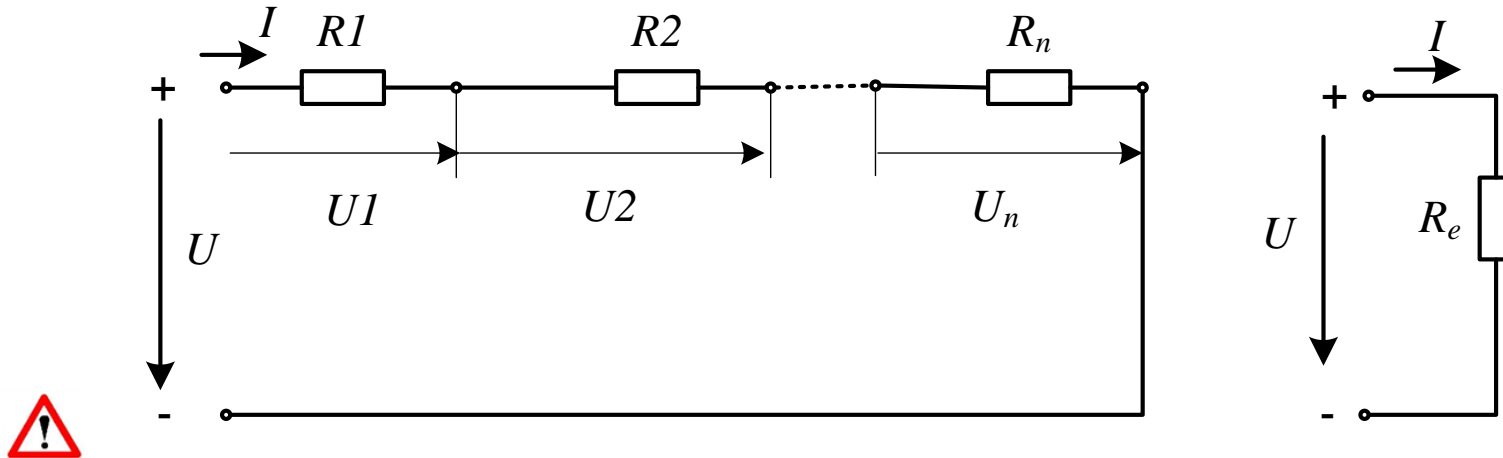
3. Единственият пасивен идеален елемент е линеен, т. е. $R = \text{const.}$

Б. Общи принципи при решаването на правите задачи за анализ

- 1.** От определението за клон следва, че броят на неизвестните токове една верига е равен на броя на клоновете k . Следователно от гледна точка на математиката имаме задача с k неизвестни, за решаването на която са необходими k независими уравнения.
- 2.** За неизвестните токове се търсят големината и посоката им. За определяне на големините се използват основните закони за ел. вериги, но за прилагането им са нужни посоките, които също са неизвестни. Затова се избират произволни посоки на токовете, за които се записват нужния брой уравнения за клоновите токове. Получените токове с положителен знак са в клонове, за които предположената посока е вярна и затова се оставя. Ако за някой ток се получи отрицателна стойност, това е индикация, че избраната посока не е вярна и трябва да се смени с противоположната.
- 3.** Препоръчително е предварително заместващата схема да се опрости чрез еквивалентно преобразуване. Две схеми са еквивалентни, ако токовете през еднаквите елементи и напреженията между съответните точки са равни. Целта е новата схема да е по-проста – с по-малко елементи и клонове. Най-просто, но многополезно е еквивалентното преобразуване на резистори.

В. Еквивалентно преобразуване на вериги с с пасивни двуполусни резистивни елементи

1. Верига с последователно свързани пасивни двуполусни резистивни елементи



Последователно свързаните двуполусници работят с един и същи ток.

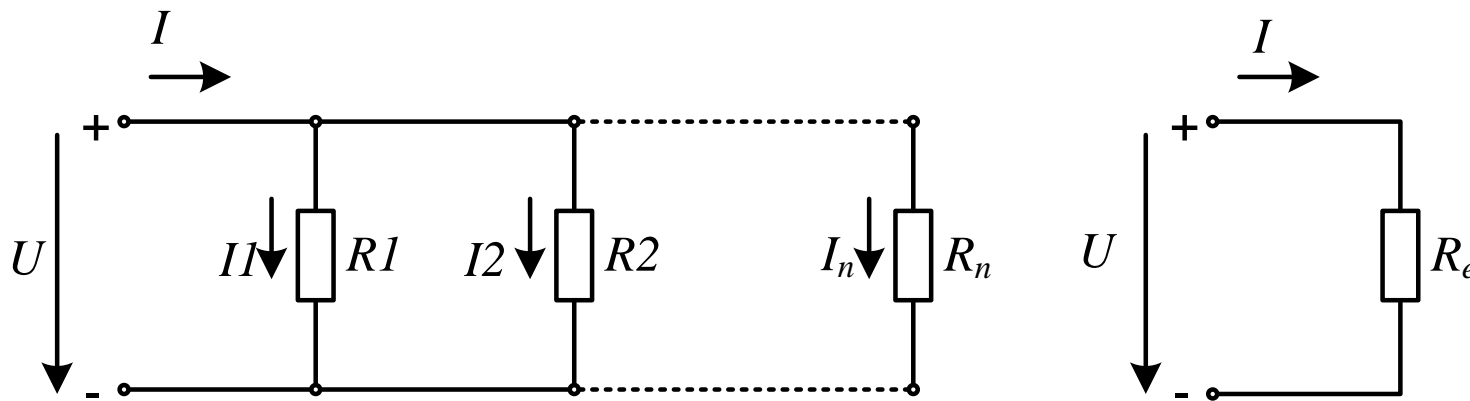
Последователно свързаните пасивни елементи се преобразуват в един еквивалентен пасивен елемент, за който е в сила законът на Ом $U = I \cdot R_e$, където

$$U = \sum_{k=1}^n U_k = \sum_{k=1}^n R_k \cdot I = I \cdot \sum_{k=1}^n R_k = I \cdot R_e \quad \text{или}$$

$$R_e = \sum_{k=1}^n R_k$$



2. Верига с паралелно свързани пасивни двуполюсни резистивни елементи



Паралелно свързаните двуполюсници работят с еднакво напрежение.

Паралелно свързаните пасивни елементи се преобразуват в един еквивалентен пасивен елемент. От първи закон на Кирхоф и закона на Ом може да се запише

$$I = \sum_{k=1}^n I_k = \sum_{k=1}^n \frac{U}{R_k} = U \cdot \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} = U \cdot \frac{1}{R_e} = U \cdot G_e \quad , \text{ където}$$



$$\frac{1}{R_e} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

или

$$G_e = \sum_{k=1}^n G_k$$

Г. Анализ на неразклонени линейни постояннотоккови ел. вериги при установени (стационарни) режими

Тези вериги имат само един клон. Следователно се търси само един неизвестен ток. За намирането му е необходимо едно уравнение, което се получава от прилагането на *втория закон на Кирхоф* за единствения *реално затворен контур*. Избира произволна посока на търсения ток. Ако посоката на сумиране се избере да съвпада с избраната посока на тока, по *втория закон на Кирхоф* се получава:

$$I = \frac{\sum_{k=1}^n E_k}{\sum_{l=1}^m R_l}$$

Сумата в числителя е *алгебрична*. Положителни са е. д. н., чиято посока съвпада с посоката на сумиране. Може да бъде с различен знак. Сумата в знаменателя е *аритметична*. Тя винаги е положителна. Следователно за тока може да се получи положителна или отрицателна стойност в зависимост от знака на числителя. Действителната посока на тока се уточнява според знака му.

Д. Анализ на разклонени линейни постояннотокowi ел. вериги при установени (стационарни) режими

Основният метод за изчисляване на сложни линейни електрически вериги се състои в прякото прилагане на законите на Кирхоф. Всички останали методи се базират на тези закони, като в зависимост от конкретния случай някои от тях предлагат по-лесна изчислителна процедура.

Метод с използване на законите на Кирхоф

Алгоритъм на метода:

1. По дадената заместваща схема се определят броя на възлите **n** и броя на клоновете **m** ;
2. За всеки клон на електрическата схема се означава тока, който протича през него и се означава условно избрана положителна посока;
3. За **$q = n - 1$** възела се записват уравнения по I закон на Кирхоф;
4. Определят се броя на необходимите затворени контури **$k = m - n + 1$** ;

5. Определят се k на брой независими контура, като се спазва следното:
 - 5.1. Първият контур се избира произволно;
 - 5.2. Всеки следващ контур се избира така, че той да съдържа един нов клон, който не участва в предишния.
6. За определените в т. 5 контури се определя положителна посока на обхождане на контура;
7. За тези контури се записват необходимите уравнения по // закон на Кирхоф;
8. Така записаните уравнения по т. 3 и т. 7 общо са m на брой независими уравнения по двата закона и се обединяват в система m на брой линейно независими уравнения;
9. Системата се решава и се определят m на брой клонови токове;
10. Прави се анализ на алгебричните знаци на така получените стойности за токовете в отделните клонове:
 - 10.1. Ако получената стойност е с положителен знак, тогава условно определената посока на клоновия ток в т. 2 е вярна;
 - 10.2. Ако получената стойност е с отрицателен знак, тогава действителната посока на клоновия ток е обратната на условно избраната в т. 2.