# Технически университет – София Електротехнически Факултет Катедра "Обща електротехника" Презентация № 1

Постояннотокови вериги. Основни определения и закони. Анализ на прости и сложни електрически вериги при постоянен ток

дисципл<mark>ина "Електротех</mark>ника и електроника 1" – ВІМ16 ОКС "Бакалавър" от Учебен план на специалност Индустриален мениджмънт, Професионално направление 5.13. Общо инженерство



#### ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



#### Съдържание

- Електрическа верига
  - Понятие за ел. верига, ел. величини в нея
  - Дефиниция за ток, посоки
  - Дефиниция за напрежение, посоки
  - Дефиниция за е.д.н., посоки
  - Постоянно и променливо величини в ел. вериги
- Основни компоненти и параметри в ел. верига
  - Клон, възел, контур
  - Параметри в ел. ве<mark>р</mark>иги (R, L, C, E)
- •Основни закони
  - Закон на Ом
  - Закони на Кирхоф
  - Мощност и енергия в ел. вериги, к.п.д.
- •Анализ на прости електрически вериги
  - Паралелно и последователно свързване на пасивни двуполюсници
  - Паралелно и последователно свързване на активни двуполюсници
- •Анализ на сложни електрически вериги
  - Метод със закони на Кирхоф
  - Метод с наслагването
- •Литература



#### ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

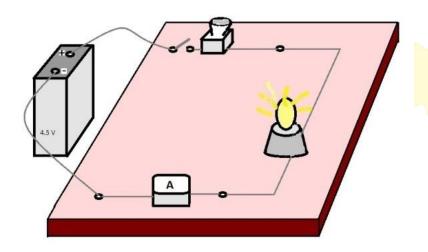
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!





### Електрическа верига

**Електрическата** верига е съвкупност от източници на електрическа енергия, консуматори и предавателни линии (съединителни проводници, защитна и друга апаратура), процесите в която могат да се опишат с помощта на величините електрически ток, електрическо напрежение и електродвижещо напрежение (е.д.н.).



Фиг. 1.1

Най-простата електрическа верига се състои от един източник (напр. батерия), консуматор един (напр. ел. лампа), съединителни проводници, апарати управление (прекъсвач), защита (предпазител) контрол (измервателен апарат). включване на прекъсвача се получава затворена верига, през която протича електрически ток, ел. лампа светва, а стрелката на амперметъра се отклонява и той отчита големината на тока.

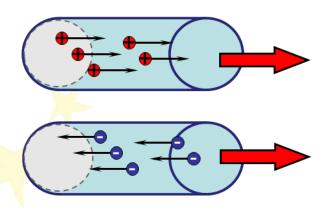


#### ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



Електрическият ток представлява насочено движение на електрически заредени 3a положителна частици. посока на електрическия ток се приема посоката на движение на положително заредените частици. На фиг. 1.1 в участъка на веригата извън източника ел. ток протича положителния към отрицателния полюс на батерията.



**Големината на тока** се определя с количеството заредени частици q, преминали през напречното сечение на проводника за единица време. Когато ел. ток е променлив във времето i = dq/dt, когато той остава постоянен във времето както по големина, така и по посока I = q/t. В системата SI <u>големината на тока</u> се измерва в Ампер, А (Токът е един ампер тогава, когато за една секунда през напречното сечение на проводника преминава заряд един кулон).



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



#### Електрическа верига

При движение на заряда Q от точка a към точка b във външната (по отношение на източника) част на електрическата верига се извършва определено количество работа  $A_{ab}$ .

Величината  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = A_{ab} / q$  , която е числено равна на работата за пренасяне на единица положителен заряд от т. a до т. b, се нарича електрическо напрежение или потенциална разлика между тези две точки.

 $\varphi_a$  - потенциалът в т. a

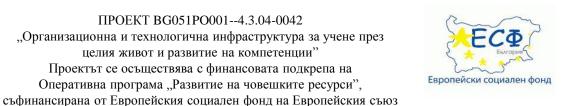
 $\varphi_b$  - потенциалът в т. b

При определяне на напрежението  $U_{ab}$  задължително трябва да се обръща внимание, че посоката е от <u>т. а</u> към <u>т. b</u>.

В системата SI *напрежението* се измерва във *Волт, V.* 

Положителната посока на величината **електрическо напрежение** е посоката от точката с по-висок потенциал към точката с по-нисък потенциал (*m.e. om* "+" *към* "–").





#### Електрическа верига

В електрическото поле под въздействието на електрическите сили (кулонови сили) положително заредените частици се движат от точките с по-висок потенциал към точките с понисък потенциал. Настъпва взаимно компенсиране на зарядите им, изравняване на потенциалите и изчезване на електрическите ефекти. Следователно, за да могат да работят ел. устройства, е необходимо в електрическите вериги да съществуват други, неелектрически сили, които противопоставяйки се на кулоновите, да разделят разноименните заряди, да създават и поддържат потенциалните разлики и протичането на електрически ток. Тези сили действат вътре в източника на ел. енергия и са резултат от преобразуването на неелектрическата енергия в електрическа. Участието на силите от неелектрически характер се оценява количествено чрез работата, която се извършва за пренасяне на зарядите вътре в източника.

Величината, която е числено равна на работата за пренасяне на единица положителен заряд вътре в източника от отрицателния до положителния му полюс  $E = A_{ab}/q$  се нарича електродвижещо напрежение (е.д.н.). В системата SI електродвижещото напрежение се измерва във Волт, V.

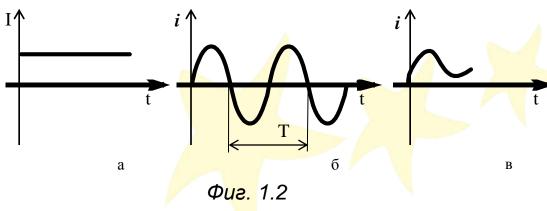
Положителната посока на величината **електродвижещо напрежение** (**е.д.н.**) е от отрицателния към положителния полюс на източника (*m.e.* от "–" към "+").



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз



Е.д.н., напреженията и токовете в една електрическа верига могат да бъдат постоянни във времето (по посока и големина) или променливи. Постоянните във времето величини се означават с главни букви (E, U, I), а променливите - с малки букви (e, u, i).



фиг. 1.2 са дадени графиките на постоянен (фиг.1.2 а) и променлив ток (фиг.1.2 б, в) . Променливите величини могат да бъдат периодични (фиг.1.2 б ) или непериодични (dbuz.1.2 Величините са периодични, когато през еднакви интервали от време Т повтарят своите стойности, като Tсе нарича *период*, а честотата f на периодично изменящите ce величини е равна на броя на периодите за 1 секунда s т.е. f = 1/T(честотата се измерва в Херц, Нz).

От фиг.1.2 се вижда, че величините могат да бъдат еднополярни (фиг.1.2 в) или двуполярни (фиг.1.2 б).



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



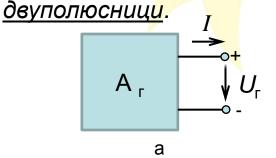


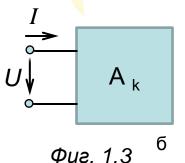
### Основни компоненти и параметри

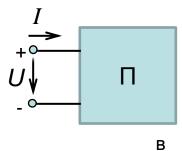
Отделните елементи на електрическата верига могат да бъдат свързани помежду си по различен начин, образувайки различни по конфигурация вериги. В една електрическа верига се различават:

- Клон участък, през който в даден момент от време протича един и същи ток;
- Възел участък от веригата, в която се свързват повече от два клона;

Ако елементите в една електрическа верига имат само два извода, чрез които те се свързват с останалите елементи на веригата, се наричат









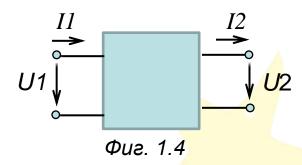
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



Когато елементът има повече от два извода, той се нарича многополюсник. Елементите, които се характеризират с е.д.н., се наричат активни. В противен случай елементите са пасивни, тъй като, за да могат да изпълняват ролята си в електрическата верига, върху тях е необходимо да въздействат източници на електрическа енергия, които да предизвикат протичането на електрически ток.



На фиг. 1.3 са показани означенията на активен генераторен (фиг. 1.3 а), активен консуматорен (фиг. 1.3 б) и пасивен двуполюсник (фиг. 1.3 в), а на фиг. 1.4 — многополюсник (в случая четириполюсник).

При протичането на електрически ток през отделните елементи на електрическата верига се създават магнитно и електрическо полета, в които се натрупва известно количество енергия. От друга страна протичането на електрически ток се съпровожда с преобразуването на електрическата енергия в неелектрическа. За характеризиране на наличието и интензивността на тези процеси се въвеждат т.нар. параметри на елементите на електрическата верига.



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



#### Основни компоненти и параметри

Процесът на необратимо преобразуване на електрическата енергия в неелектрическа (в частен случай топлинна) се характеризира с параметъра <u>електрическо съпротивление</u> R. В системата SI електрическото съпротивление R се измерва в R се използва величината <u>електрическа проводимост R</u>, която се определя като реципрочна стойност на електрическото съпротивление R, т.е. G=1/R . В системата SI електрическата проводимост R се измерва в R системата SI електрическата проводимост R се измерва в R системата SI електрическата проводимост R се измерва в R системата SI електрическа енергия в топлинна е желан процес, при източниците и предавателните линии той е нежелан, но неизбежен процес. Това са т. нар. *топлинни загуби*, които по подходящи начини се свеждат до допустим минимум.

За характеризиране на енергийните явления, свързани със създаване и разпадане на магнитното и електрическото поле, се въвеждат параметрите <u>индуктивност L</u>, <u>капацитет С</u> и <u>взаимна индуктивност М</u>. В системата SI <u>индуктивността</u> L и взаимната индуктивност М се измерват в Хенри, H, а капацитетът С се измерва във Фарад, F.

За характеризиране на процеса на преобразуване на неелектрическата енергия в електрическа се използва величината електродвижещо напрежение E (електродвижещ ток  $J_{\rho}$ ).

съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

Инвестира във вашето бъдеще!



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси",

При протичане на електрически ток през даден източник се създава магнитно и електрическо поле и част от произведената електрическа енергия се преобразува необратимо (вътре в източника) в топлина. Следователно за описване на електромагнитните процеси в активния елемент е необходимо да се използват освен е.д.н. E (електродвижещ ток  $J_e$ ) и параметрите R, L и C.

Когато един двуполюсен елемент от електрическа верига се характеризира само с един параметър, той се нарича <u>идеален елемент</u>. Например идеалният активен двуполюсен елемент се характеризира само с е.д.н. E или електродвижещ ток  $J_e$ . Идеалният резистивен пасивен елемент (идеалният резистор) се характеризира с параметъра електрическо съпротивление R, идеалният индуктивен пасивен елемент (идеалната бобина) се характеризира с параметъра индуктивност L, а идеалният капацитивен елемент (идеалният кондензатор) – с параметъра капацитет C.

<u>Реалните елементи</u> се характеризират с повече от един параметър. В някои случаи обаче, ако се пренебрегнат второстепенните явления, реалните елементи могат да се разглеждат приблизително като идеални.



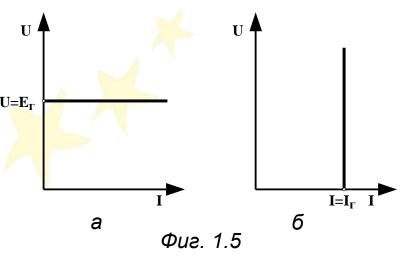
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 
"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" 
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!

Европейски социален фонд

Елементите на електрическите вериги могат да бъдат <u>линейни</u>, когато параметрите им остават постоянни, независещи от интензивността на електромагнитните процеси, и <u>нелинейни</u> – когато параметрите им не са постоянни, а са функция на интензивността на електромагнитните процеси

 $(I \ N \ U)$ . Идеалните активни двуполюсни елементи (източниците на електрическа енергия), които се характеризират само с величината е.д.н., се наричат <u>идеални източници на е.д.н.</u>.

Идеалните активни двуполюсни елементи, които се характеризират само с величината електрически ток, се наричат <u>идеални източници на ток</u>.



Европейски социален фонд

Техните външни характеристики U=f(I) са показани на фиг.1.5 а, б. При това под <u>идеален постояннотоков източник на е.д.н.</u> се разбира такъв източник на електрическа енергия, е.д.н.  $E_{\Gamma}$  на който остава постоянно независимо от големината на консумирания ток I (фиг. 1.5 а). <u>Идеалният постояннотоков източник на ток</u> има изходен ток  $I=I_{\Gamma}=const.$  независимо от големината на изходното напрежение (фиг. 1.5 б).



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!

#### Основни компоненти и параметри

Електрическите вериги са съставени от реални устройства (източници, проводници, консуматори, измервателна и друга апаратура), свързани по определен начин. За да могат електрическите вериги да бъдат изобразени графично, се въвеждат съответни условни означения за отделните им елементи.

<u>Електрическите схеми</u> представляват графично изображение на реалните електрически вериги. За означаване на елементите на електрическата верига в схемите се използват условни означения, които в общия случай са стандартизирани (т.е. формата и размерите им са точно определени). Стандартизирани са десет типа схеми, обединени в четири групи. Те се класифицират в зависимост от предназначението им и начина на представяне на отделните елементи на електрическата верига, като всеки тип схема има свой идентифициращ шифър.

<u>Група 1</u> – за общо запознаване (структурна схема – 101; функционална схема – 102);

<u>Група 2 – за де<mark>та</mark>йлно запознаване</u> (принципна схема – 201; еквивалентна схема – 202);

<u>Група 3</u> – за е<mark>лек</mark>трическите съединения между части (схема на съединенията – 301; обща схема на съединенията – 302; схема на включване – 303);

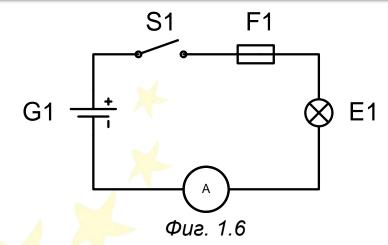
<u>Група 4</u> – за относително разположение на съставните части на изделието (схема на разположение – 401; схема на електросъоръженията и инсталациите в проектите – 402; схема на електроснабдяването и връзките – 403).



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
"Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции"
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси",
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз



На фиг. 1.6 е показана схемата на свързване (съединение) на електрическата верига от фиг.1.1. Съставните й части са показани с условните си графични и буквено-цифрови означения: батерия – G1, ел. лампа – E1, прекъсвач – S1, предпазител – F1 и измервателен апарат – амперметър.



Ще спрем вниманието си на <u>еквивалентната схема</u>, чието предназначение е да служи за анализ на електромагнитните процеси в електрическите вериги и изчисляване на параметрите на отделните елементи в тях.

В еквивалентните (заместващите) електрически схеми са отразени от една страна конфигурацията на електрическите вериги (т.е. начина на свързване на техните елементи), а от друга – основните електромагнитни процеси, които се проявяват в отделните елементи и които се характеризират чрез съответните параметри. Пълното, подробно изучаване на свойствата на електрическите вериги и на техните елементи е извънредно сложна и практически неосъществима задача.



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

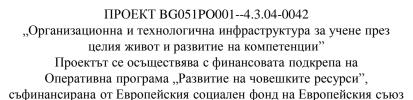


#### Основни компоненти и параметри

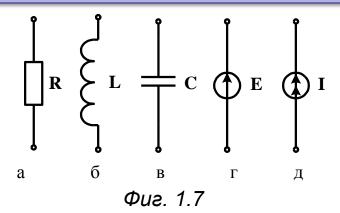
За облекчаване на анализа на процесите в електрическите вериги и изчисляване на параметрите на техните елементи се прибягва до създаването на опростен, приблизителен модел на електрическата верига, най-важните отразяват който съществени ce страни пренебрегват процеси, второстепенните, електромагнитните a ce несъществени моменти. В този модел, който предста<mark>вл</mark>ява *идеализирана* електрическа верига, като градивни елементи се използват идеалните елементи. Графичното изображение на идеализираната ДВУПОЛЮСНИ електрическа верига <u>е еквивалентната електрическа схема</u>. За една и съща електрическа верига могат да се използват различни еквивалентни електрически с<mark>хеми с</mark>поред к<mark>онкретни</mark>те условия, в които нейните който елементи И начина, ПО искаме да отразим електромагнитните процеси в тях.

При създаване на изчислителния модел на електрическите вериги като градивни елементи служат идеалните активни и пасивни двуполюсници. В електрическите схеми тези двуполюсници се изобразяват чрез условни графични означения, показани на фиг. 1.7.









Показаните графични означения са на идеални пасивни двуполюсници: резистивен (фиг.1.7а), индуктивен (фиг.1.7б) и капацитивен (фиг.1.7в) и на идеален източник на е.д.н. (фиг.1.7г) и идеален източник на ток (фиг.1.7д).

Електромагнитните процеси в реалните пасивни двуполюсни елементи се характеризират с едновременното участие на трите основни явления: необратимо преобразуване на електрическа енергия в неелектрическа, създаване и разпадане на магнитното и електрическото поле. Следователно за описание и анализ на електрическите вериги с такива реални двуполюсни елементи в най-общия случай е необходимо да се използват и трите пасивни параметъра *R, L* и *C.* В някои случаи, обаче като се пренебрегнат второстепенните явления, за приблизително описване на електромагнитните процеси в пасивните двуполюсни елементи могат да се използват само два или дори само един параметър.



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

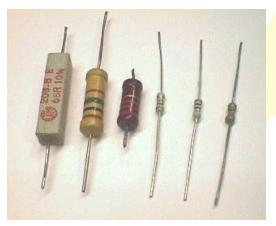


#### Основни компоненти и параметри

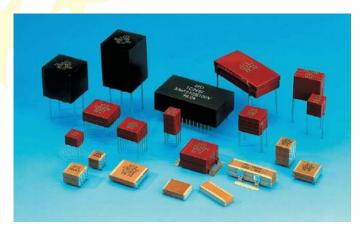
На фиг.1.8 са показани резистори. Основният параметър, с който се описват тези двуполюсници е съпротивлението R.

На фиг.1.9 са показани бобини. Основният параметър, с който се описват тези двуполюсници е индуктивността L.

На фиг.1.10 са показани кондензатори. Основният параметър, с който се описват тези двуполюсници е капацитетът С.







Фиг. 1.8

Фиг. 1.9

Фиг. 1.10



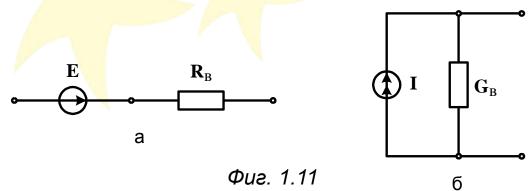
#### ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



Реалните активни двуполюсни елементи в най-общия случай се характеризират освен с e.d.h.( или с e.d.h.( или с e.d.h.) (което се обуславя от преобразуването на неелектрическа енергия в e.d.h. още и с параметрите e.d.h. и e.d. В идеализираните модели на електрическите вериги, в които те участват, обикновено се представят чрез два фиктивни идеални двуполюсника: e.d.h. (идеален източник на e.d.h. (идеален източник на e.d.h. (идеален източник на e.d.h.) и пасивен — e.d.h. използват се две еквивалентни схеми, с които се изобразяват реалните активни двуполюсни елементи — e.d.h. (фиг. 1.11 а) и e.d.h. (фиг. 1.11 б).





ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



Реалните електрически вериги съдържат реални активни и пасивни двуполюсни елементи, свързани по съответен начин. За съставянето на изчислителния модел на реалната верига се преминава през следните стъпки:

- ✓ разглежда се всеки реален елемент поотделно и за него се избира подходящ конкретен модел (в зависимост от условията и режима на работа) и в зависимост от мястото му в електрическата верига;
- ✓ на базата на тези модели за отделните елементи се изгражда идеализираната електрическата верига, която очевидно е съставена от идеални активни и пасивни двуполюсни елементи;
- ✓ на базата на така получения изчислителен модел се начертава еквивалентната електрическа схема на реалната верига.

Така предложеният алгоритъм води до разнообразие на еквивалентните схеми, на базата на които могат да се анализират реалните електромагнитни процеси. Независимо от това те трябва да бъдат еквивалентни по отношение на получаваните с тяхна помощ резултати.





### Класификация на електрическите вериги

В зависимост от характера на елементите във веригата:

- ≻Линейни;
- ≻Нелинейни.

В зависимост от конфигурацията на електрическата верига:

- ≻Едноконтурни (неразклонени, прости);
- ➤Многоконтурни (разклонени, сложни).

В зависимост от вида на тока, протичащ във веригата:

- *≻Постояннотокови;*
- *≻Еднофазни про<mark>ме</mark>нлив<mark>ото</mark>кови;*
- ≽Многофазни ( в <mark>частност</mark> дву-, т<mark>ри- и т</mark>.н. фазн<mark>и</mark>) променливотокови.

### Класификация на основните режими на електрическите вериги

- Установени (стационарни);
- ≻Неустановени (нестационарни, преходни).

Установеният режим се получава при достатъчно продължително действие на източниците на електрическа енергия в електрическата верига.

<u>Неустановеният режим</u> възниква при преминаването (прехода) от един към друг установен режим. Подобни режими се появяват при извършване на различни превключвания в електрическите вериги.



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



### Положителни посоки на величините в електрическите вериги

В основните уравнения, с помощта на които се анализират процесите в електрическите вериги, участват съответни е.д.н., токове и напрежения. За да могат да се запишат тези уравнения, необходимо е да се познават положителните посоки на съответните величини.

Действителните положителни посоки отразяват физическата същност на величините: за тока – това е посоката на движение на положително заредените частици; за напрежението – посоката от точка с по-висок потенциал към точка с понисък потенциал; за електродвижещото напрежение – посоката от полюса с понисък към полюса с по-висок потенциал вътре в източника на е.д.н.

В пасивните двуполюсни елементи посоките на напрежението и тока *съвпадат*. В активните двуполюсни елементи това зависи от режима на работа.

В сложните многоконтурни постояннотокови вериги непосредственото определяне на посоките на токовете и напреженията в отделните участъци е невъзможно, поради което се приемат условни положителни посоки. На основата на тези условни посоки се записват уравненията за електрическата верига. От изчисленията се получават величини с положителни или отрицателни стойности, което показва, че посоките на реалните токове и напрежения съвпадат или са противоположни на условно приетите.



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз



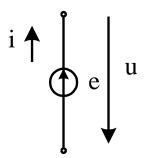
### 3 Основни закони при електрическите вериги

В повечето електрически вериги електромагнитните процеси се развиват в краен брой участъци. Тези участъци се разглеждат като елементи на електрическата верига и са свързани с проводници, които се идеализират. Елементите се делят на две големи групи: източници на енергия и приемници на енергия. Източниците на енергия преобразуват произволен вид енергия в електрическа, а приемниците преобразуват електрическата в друг вид енергия. Опростен вариант на приемниците са пасивните елементи. 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 — и, i, R, L, C, e, j<sub>e</sub>.

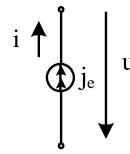
### <u>Идеални двуполю</u>сници

#### **Активни**

#### <u>Източник на напрежение</u>



 $R_e = 0$ , напрежението на изводите е постоянно u = e и не зависи от протичащия през него ток.



#### <u>Източник на ток</u>

 $R_e = \infty$ , токът през товара се определя само от е.д.т. на източника  $i = j_e$  и не зависи от приложеното напрежение u.



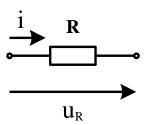
#### ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



#### Пасивни

#### **Резистор**

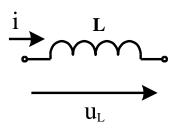


Резисторът замества участък от ел. верига, в който електрическата енергия се преобразува в топлинна енергия. Зависимостта между

$$|u_R = R.i|$$
 закон на Ом.

напрежението и тока е

#### <u>Бобина</u>

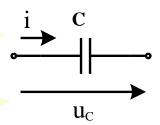


Индуктивният елемент (бобина) замества участък от ел. верига, в който се съсредоточава и преобразува магнитна енергия.

Зависимостта между напрежението и тока е

$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

### <u>Кондензатор</u>



Капацитивният елемент (кондензатор) замества участък от ел. верига, в който се съсредоточава и преобразува електрическа енергия.

Зависимостта между напрежението и тока е

$$i = C \frac{du_C}{dt}$$



В постояннотокови вериги в установен режим, при които  $U_L=0$  и  $I_C=0$ , параметрите L и C не участват в анализа на електромагнитните процеси.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



### Закони на Кирхоф

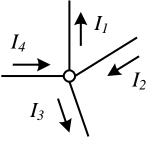
**Първи закон на Кирхоф** се отнася за *възел* на електрическа верига. Той гласи:

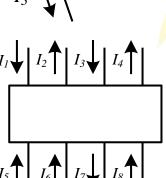
Алгебричната сума на токовете, свързани с един възел на електрическа верига, е равна на нула:

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



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).





Пример: за показания възел избираме посока на сумиране - влизащите токове във възела са със знак "+", излизащите – със знак " – ". Съгласно първи закон на Кирхоф записваме:

$$-I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

Първият закон на Кирхоф може да бъде записан и по отношение на затворена повърхнина, която обхваща няколко възела от сложна електрическа верига. Например за интегрална схема: избираме посока на сумиране - влизащите токове във възела са със знак "+", излизащите — със знак " – ". Съгласно първи закон на Кирхоф записваме:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 + I_6 - I_7 + I_8 = 0$$



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



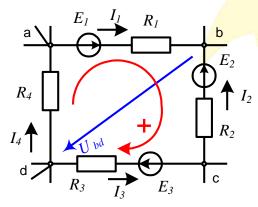
### **Втори закон на Кирхоф** се отнася за контур от електрическа верига. Той гласи:

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.

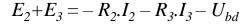
$$\sum_{k=1}^n e_k = \sum_{k=1}^m R_k . i_k$$

- 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* " – ".



- ightharpoonup 3а примера от фигурата (реално затворен контур) уравнението по втория закон на Кирхоф има вида:  $E_1 E_2 + E_3 = R_1 \cdot I_1 R_2 \cdot I_2 R_3 \cdot I_3 + R_4 \cdot I_4$
- →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 <u>bcdb</u>, в който участва напрежението U<sub>bd</sub>. Ако се приеме същата положителна посока на сумиране:





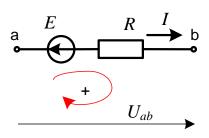
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси",

Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!





Разглежда се клон a - b от електрическа верига, който съдържа източник на е.д.н. Е. Нека за контура, който се състои от клон a – b и се затваря фиктивно чрез потенциалната разлика  $U_{ab}$  в краищата на клона, се приложи втория закон на Кирхоф . Избира се положителна посока на сумиране. Съгласно закона може да се запише:

$$-E = RI - U_{ab}$$
 , откъдето

$$U_{ab} = E + RI$$

 $U_{ab}=E+RI$  Тази зависимост изразява Обобщения закон на Ом.

Обобщеният закон на Ом може да се разглежда като частен случай на втори закон на Кирхоф.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



### Мощност и енергия в постояннотокови ел. вериги, к.п.д.

Консуматорите в една електрическа верига преобразуват елктрическа енергия в други видове енергия: нагревателни уреди — в топлинна, електрически двигатели — в механична, осветителни устройства — в светлинна и т.н. Когато на изводите на един консуматор е приложени напрежение U и през него протича ток I, за време t той преобразува t

W=U.I.t

Преобразуваната електрическа енергия е равна на работата A, която електрическите сили извършват при пренасяне на заряди, т.е. при протичане на електрически ток.  $\longrightarrow W = A$ 





От друга страна величината, която е числено равна на работата за пренасяне на единица положителен заряд от т. a до т. b се нарича електрическо напрежение между т. a до т. b и се определя по формулата

$$U_{ab} = A_{ab}/q$$
.

$$\rightarrow A_{ab} = U_{ab} \cdot q$$

Всеки консуматор се характеризира със своята мощност, т.е. енергията, която преобразува за единица време P=W/t.

$$\rightarrow P = A_{ab} / t = U_{ab} \cdot q / t$$

Но големината на тока се определя с количеството заредени частици q , преминали през напречното сечение на проводник за единица време, т.е. I=q/t

ightarrow P=U.I С прилагане на закона на Ом се достига до P= $R.I^2$  или P= $U^2/R$ 



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през

целия живот и развитие на компетенции"

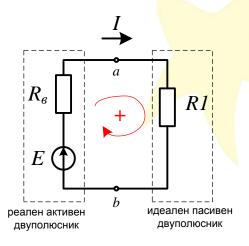
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



#### Баланс на мощностите

Според закона за съхранение на енергията в една затворена система, която е съставена от източници на енергия и консуматори на същата, енергията не се губи. Следователно източниците осигуряват точно толкова енергия на консуматорите, колкото им е необходима.

$$W_u = W_k$$
 или  $P_u = P_k$ 



Нека се разгледа електрическа верига, съставена от реален активен двуполюсник, който захранва идеален пасивен двуполюсник. Известни са параметрите на двуполюсниците, да се определи мощността на всеки от тях.

- Приемаме, че във веригата протича ток I
- Прилагаме закона на Кирхоф за контур
- Избираме положителна посока на обхождане на контура



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



$$E=R_{_g}I+R1.I$$
 където според закона на Ом  $U_{ab}=R1.I$   $o E=R_{_g}I+U_{ab}/.I$   $o E.I=R_{_g}I^2+U_{ab}.I$   $P_u=P_{_g}+P_k$  или  $P_u=\sum_{k=1}^n P_{ki}$  уравнение за мощностите

Създадената от източника електрическа мощност  $P_u$  се изразходва за загряване на вътрешното съпротивление на източника  $R_{_{\! g}}$  , а останалата част се предоставя на консуматора  $P_k$  .

Всеки реален източник притежава  $R_{\scriptscriptstyle g}$  . Загубата на енергия в него обуславя к.п.д. на източника:

$$\eta = \frac{P_k}{P_u} = \frac{P_u - P_e}{P_u} < 1$$



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!





### Анализ на прости електрически вериги

Установените постояннотокови режими се характеризират с постоянни големина токове, напрежения и е.д.н. При ПО посока електромагнитните процеси в електрическите вериги и отделните елементи могат бъдат описани помощта на пасивните параметри електрическо да съпротивление *R* или проводимост *G* и с *е.д.н. (или ток)* на активните елементи. Следователно изчислителните модели на реалните електрически вериги ще бъдат съставени от идеални резистивни пасивни двуполюсници и идеални активни двуполюсници.

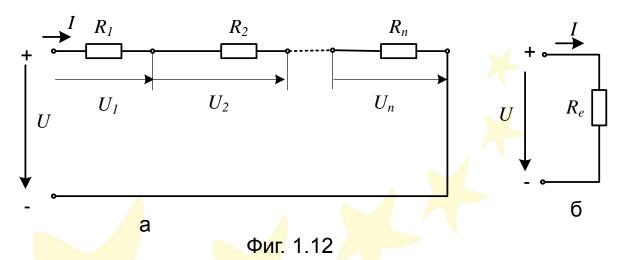
Първият етап от анализа на електрическите вериги е построяването на подходяща заместваща схема. След това на базата на тази схема се намират необходимите аналитични зависимости. Основен метод при анализа на процесите в постояннотоковите електрически вериги с по-проста конфигурация е преобразуването на заместващите ги електрически схеми в по-прости еквивалентни схеми. В резултат пасивните участъци от заместващата схема се преобразуват в един еквивалентен пасивен елемент, а активните – съответно в един еквивалентен активен елемент, за които се записва законът на Ом.



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз



### Верига с последователно свързани пасивни двуполюсни елементи



Последователно свързаните пасивни елементи (фиг. 1.12 а) се преобразуват в един еквивалентен пасивен елемент (фиг. 1.12 б), за който е в сила законът на Ом  $U = I.R_e$  , където

$$U = \sum_{k=1}^{n} U_k = \sum_{k=1}^{n} R_k . I = I . \sum_{k=1}^{n} R_k = I . R_e$$
 Name  $R_e = \sum_{k=1}^{n} R_k$ 



Последователно свързаните двуполюсници работят с един и същи ток.



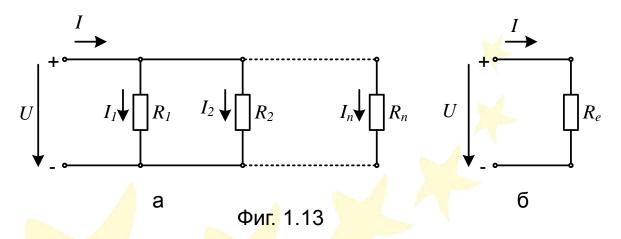
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз



### Верига с паралелно свързани пасивни двуполюсни елементи



На фиг. 1.13 са показани началната и преобразувана схема на паралелно свързани пасивни двуполюсни елементи. От първи закон на Кирхоф и закона на Ом може да се запише

$$I = \sum_{k=1}^n I_k = \sum_{k=1}^n rac{U}{R_k} = U.\sum_{k=1}^n rac{1}{R_k} = U.rac{1}{R_e} = U.G_e$$
 , където  $rac{1}{R_e} = \sum_{k=1}^n rac{1}{R_k}$  или  $G_e = \sum_{k=1}^n G_k$ 



Паралелно свързаните двуполюсници работят с еднакво напрежение.

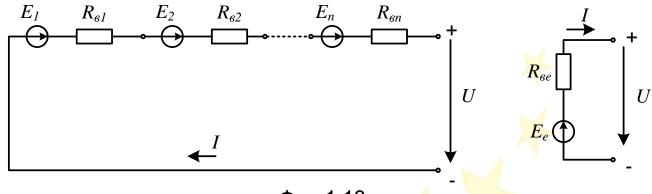


ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



#### Верига с последователно свързани активни двуполюсни елементи



Фиг. 1.13

Активни *генераторни* двуполюсни <mark>е</mark>лементи се свързват последователно, когато е необх<mark>одимо да</mark> се зах<mark>ранва</mark> консуматор с напрежение, по-високо от напрежението на единия от генераторите. На фиг. 1.13 са показани началната и преобразуваната схеми. При използване на обобщения закон на Ом може да се запише

$$U=E_{ze}-R_{ee}$$
  $I$  , където  $E_{ze}=\sum_{k=1}^n E_{zk}$  и  $R_{ee}=\sum_{k=1}^n R_{ek}$ 

При последователно свързани активни консуматорни двуполюсни елементи за еквивалентния елемент се получава аналогично \_n

алентния елемент се получава аналогично 
$$oldsymbol{I} oldsymbol{I} oldsymbol{I} oldsymbol{I} oldsymbol{I} oldsymbol{I}$$

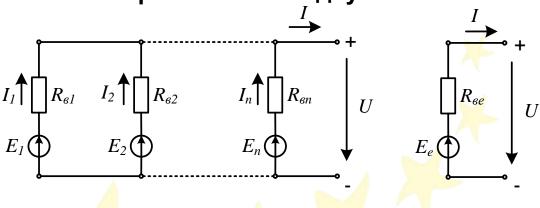
$$U=E_{npe}+R_{ee}.I$$
 , където  $E_{npe}=\sum_{k=1}^{n}E_{npk}$  и  $R_{ee}=\sum_{k=1}^{\infty}R_{ek}$ 



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



### Верига с паралелно свързани активни двуполюсни елементи



Фиг. 1.14

Активни *генераторни* двуполюсни елементи се свързват паралелно, когато е необходимо да се захранва консуматор с ток, превишаващ номиналния ток на отделните генератори. На фиг. 1.14 са показани началната и преобразуваната схеми. Еквивалентното е.д.н.  $E_e$  и еквивалентното вътрешно съпротивление  $R_{\rm Be}$  се определят с първия закон на Кирхоф и обобщения закон на Ом за активен участък.

$$I = \sum_{k=1}^n I_k = \sum_{k=1}^n \frac{E_k - U}{R_{ek}} = \frac{E_e - U}{R_{ee}}$$
 където  $\frac{1}{R_{ee}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_{ek}}$  и  $E_e = R_{ee} \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{R_{ek}}$ 



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!





### Анализ на сложни електрически вериги

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;
- 3.3а q = n-1 възела се записват уравнения по I закон на Кирхоф;
- 4.Определят се броя на необходимите затворени контури k = m-n+1;



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз



#### Анализ на сложни електрически вериги

- 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 II закон на Кирхоф;
- 8. Така записаните уравнения по т. 3 и т. 7 общо са *т* на брой независими уравнения по двата закона и се обединяват в система *т* на брой линейно независими уравнения;
- 9. Системата се решава и се определят **m** на брой клонови токове;
- 10. Прави се а<mark>нализ н</mark>а алгебричн<mark>ит</mark>е 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.

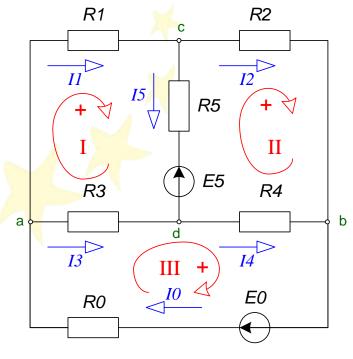




### ПРИМЕР:

На фиг. 1.15 е показана заместващата електрическа схема на **MOCT** на който Уитстон, ce използва температури измерване на чрез елемента Е5, който е включен измервателния диагонал *с-d*. Тъй като токовете не са известни по големина и посока, за да можем да запишем законите на Кирхоф, правим следните допускания:

- 1.Приемаме п<mark>роизволн</mark>и положите<mark>л</mark>ни посоки за токовете в отделните клонове;
- 2.Приемаме произволна положителна посока на сумиране в отделните контури.



Фиг. 1.15



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!



Прилагаме показания по-горе алгоритъм по точки:

- 1. Броя на възлите n = 4 и броя на клоновете m = 6;
- Означенията на токовете и техните условно избрани положителни посоки са показани със синьо;
- 3. За q = n-1 = 3 възела се записват уравнения по I закон на Кирхоф;

$$3$$
а възел **a**:  $I_0 - I_1 - I_3 = 0$   
 $3$ а възел **b**:  $-I_0 + I_2 + I_4 = 0$   
 $3$ а възел **c**:  $I_1 - I_2 - I_5 = 0$ 

- Забележка: Урав<mark>нението за възе</mark>л **d** е зависи<mark>м</mark>о уравнение т.е. то е линейна комбинация от останалите уравнения.
- 4. Определят се броя на необходимите затворени контури k = m n + 1 = 3;
- 5. Определят се 3 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.

Като се спазват посочените в т.5.1 и т.5.2 правила се определят контурите, означени на фиг. 1.15 с червени римски числа.



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции" Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз



- 6. За определените в т. 5 контури се определя положителна посока на обхождане на контура, която на фиг. 1 е показана с червени кръгови стрелки.;
- 7. За тези контури се записват необходимите уравнения по II закон на Кирхоф, а именно:

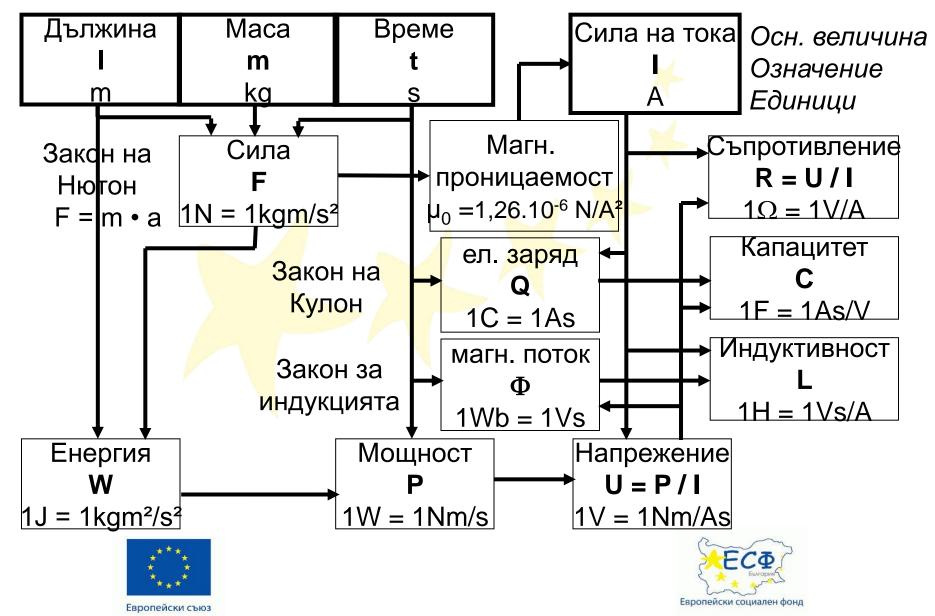
I контур: 
$$R_0I_0 + R_3I_3 + R_4I_4 = E_0$$
  
II контур:  $R_1I_1 - R_3I_3 + R_5I_5 = -E_5$   
III контур:  $R_2I_2 - R_3I_3 - R_5I_5 = E_5$ 

- 8. Така записаните уравнения по т. 3 и т. 7 общо са 6 на брой независими уравнения по двата закона и се обединяват в система 6 на брой линейно независими уравнения;
- 9. Системата се решава и се определят 6 на брой клонови токове;
- 10. Прави се ана<mark>лиз на а</mark>лгебричните <mark>зн</mark>аци на така получените стойности за токовете в отделните клонове:
  - 10.1. Ако получ<mark>ен</mark>ата 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.



ПРОЕКТ ВG051РО001--4.3.04-0042 "Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

## Връзки при електрически величини



# 6 Литература

#### Основна:

- 1. Цветков Д. и др., Електротехника и електроника, печат ЕТ "Здравков", София, 1997.
- 2. Цветков Д. и др., Основи на електротехниката и електрониката, изд. Техника, София, 1989.
- 3. Папазов С., С. Фархи, Теоретична електротехника, Техника, София, 1990.

### Допълнителна:

 Kuphaldt T. R., Lessons In Electric Circuits, Volume I – DC, Fifth Edition, 2006, Open Book Project collection.



#### ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!

