

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ №

(AV)

АНАЛИЗ НА ПРОСТИ
ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ
ПРИ ПОСТОЯНЕН ТОК

АНАЛИЗ НА ПРОСТИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ ПРИ ПОСТОЯНЕН ТОК

ЦЕЛ НА УПРАЖНЕНИЕТО

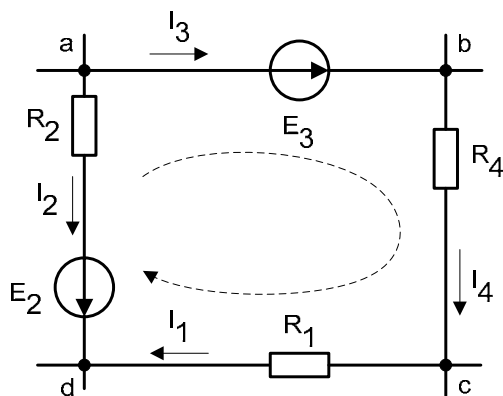
1. Запознаване с основните величини и закони, описващи процесите в електрическите вериги при постоянен ток.
2. Запознаване с видовете свързване на консуматорите в електрическите вериги и зависимостите, с които се определят еквивалентните параметри на веригата.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Съвкупността от източници на електрическа енергия, консуматори на същата и свързващата ги предавателна линия образува електрическа верига. Графичното изобразяване на една електрическата верига се нарича схема. В схемите е възприето, участващите във веригите източници и консуматори да се представят със символи, които отразяват техните свойства (параметри), а връзките между тях се осъществяват с идеални проводници.

Елемент на електрическата верига, който се свързва с останалите участници във веригата посредством два извода се нарича двуполусник. Двуполусниците се наричат активни, когато притежават в себе си източник на електрическа енергия и пасивни при липса на такъв. Свойствата на двуполусниците се описват с техните параметри, които отразяват извършващото се в тях преобразуване на електрическата енергия.

Когато за описание на процесите в един двуполусник е достатъчно да се използва само един параметър той се нарича идеален (каквито са R_1 ; E_3 ; R_4 в схемата от фигурата). Двуполусник, поведението на който изисква описание посредством повече от един параметър е реален (двуполусник R_2 E_2 от същата фигура).



В електрическите вериги се различават:

- *Клон* – участък от веригата, в който протича неизменен ток - R_1 ; R_2 E_2 ; E_3 ; R_4
- *Възел* – участък от веригата, в който се свързват повече от два клона - *a*, *b*, *c*, *d*;
- *Контур* – участък от веригата съставен от последователно свързани клонове;

Процесите в електрическите вериги се анализират посредством векторните величини: електрически ток - I , $i(t)$, електрическо напрежение - U , $u(t)$ и електродвижещо напрежение (е.д.н.) - E , $e(t)$. Величините се представят с малки букви когато променят големините си във времето .

Електрическият ток представлява насочено движение на електрически заредени частици. Неговата големина се определя от количеството заредени частици преминали през единица от напречното сечение на проводник за единица време.

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

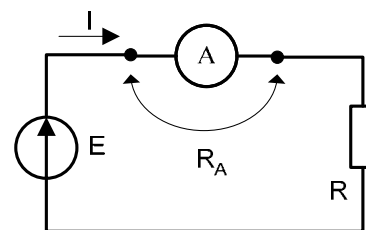
$$i = \frac{dq}{dt}, \text{ A}$$

За *положителна посока* на електрическия ток се приема посоката на движение на положително заредените частици. Основна измервателна единица за електрическия ток е Ампер [A].

Апаратът, с който се измерва електрически ток се нарича амперметър. Във веригите той се свързва така, че токът да преминава през него.

СВЪРЗВАНЕТО СЕ НАРИЧА ПОСЛЕДОВАТЕЛНО.

Съпротивлението между изводите на апарата следва да бъде много малко ($R_A \approx 0$), за да не се променя режима на работа на веригата по време на измерването.



Електрическото напрежение U , или $u(t)$ е физична величина, която отразява разликата в количеството електрическа енергия съсредоточена в две точки (два възела) от електрическа верига. Тъй като величината електрически потенциал ϕ отразява количеството електрическа енергия съсредоточена в точка от пространството, то за електрическото напрежение U се записва:

$$U = \phi_a - \phi_b, V$$

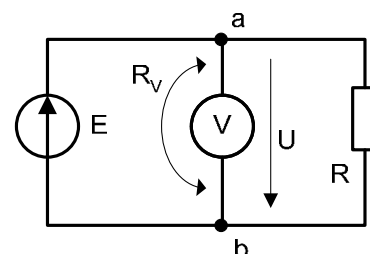
където ϕ_a и ϕ_b са съответно потенциалите във възлите a и b на електрическата верига.

Условната положителна посока на величината *електрическо напрежение* е от точката с по-висок потенциал в случая “ a ”, към точката с по-нисък потенциал “ b ”. Основна измервателна единица за електрическото напрежение е Волт [V].

Апаратът с който се измерва напрежение се нарича волтметър. В схемите той се свързва между възлите, чиято потенциална разлика ни интересува.

СВЪРЗВАНЕ ОТ ТОЗИ ТИП СЕ НАРИЧА ПАРАЛЕЛНО

Съпротивлението между изводите на апарата следва да бъде много голямо ($R_V \approx \infty$). При такова съпротивление апаратът няма да консумира енергия от източниците и няма да промени режима на работа на изследваната верига.



Електродвижещото напрежение E , или $e(t)$ е физична величина която характеризира източниците на електрическа енергия. Тя отразява използването на неелектрическата енергия на източника за предвижването на единичен положителен заряд от точка с по-нисък потенциал “ b ” към точка с по-висок потенциал “ a ”. Величината се дефинира посредством израза:

$$E = \phi_b - \phi_a, V$$

където ϕ_a и ϕ_b са съответно потенциалите във възлите a и b на електрическата верига.

Условната положителна посока на величината *електродвижещо напрежение* е от точката с по-нисък потенциал в случая “ b ”, към точката с по-висок потенциал “ a ”. Основна измервателна единица за електродвижещото напрежение е Волт [V].

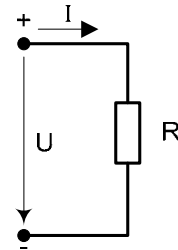
Анализът на процесите в електрическите вериги се извършва с помощта на законите на Ом и Кирхоф. Всеки един от тях действа в строго определен участък на електрическата верига и се прилага при спазване на определени изисквания.

ЗАКОН НА ОМ ЗА КЛОН НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ВЕРИГА

Големината на ток в клон на електрическа верига се определя от напрежението приложено на изводите му и от параметрите на участващия в клоната двуполусник.

Когато клон на електрическа верига съдържа един пасивен двуполусник с параметър R , токът в него се определя от:

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

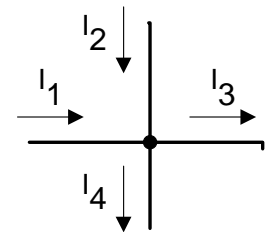


ЗАКОН НА КИРХОФ ЗА ВЪЗЕЛ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ВЕРИГА:

Алгебричната сума на всички токове за един възел на електрическа верига е нула:

$$\sum_{K=1}^N I_K = 0$$

При алгебричното сумиране на токовете е възприето влизащите токове във възела да се записват с *положителен* знак, а излизащите с *отрицателен* знак.



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

ЗАКОН НА КИРХОФ ЗА КОНТУР НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ВЕРИГА:

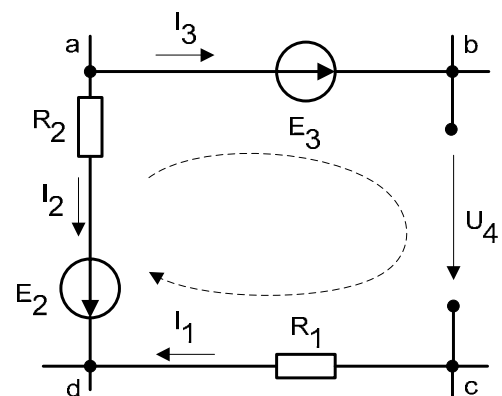
Алгебричната сума от е.д.н. в затворен контур на електрическа верига е равна на алгебричната сума от напрежителните падове на изводите на клоновете, образуващи контура.

$$\sum_{K=1}^N E_K = \sum_{K=1}^N U_K$$

Прилагането на този закон изисква да се определят предварително:

- условната положителна посока за токовете в отделните клонове;
- посоката на алгебрично сумиране.

Когато посоката на е.д.н., или напрежителен пад съвпадат с избраната посока на сумиране, те участват в изразите с положителен знак.

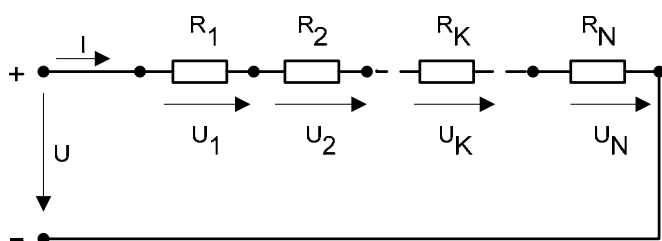


$$-E_2 + E_3 = R_1 I_1 - R_2 I_2 + U_4$$

В електрическите вериги двуполусниците могат да бъдат свързвани помежду си последователно и паралелно. Когато веригата е съставена само от последователно свързани двуполусници през тях протича еднакъв по големина ток. При това свързване, всички участници във веригата заедно са определили големината на тока, а падовете на напрежения върху всеки един от тях зависят от техните параметри и се определят от закона на Ом.

Електрическа верига съставена само от паралелно включени двуполусници осигурява на всички участници във веригата едно и също напрежение. При това свързване токовете във всеки двуполусник се определят отново от закона на Ом и зависят от неговите параметри.

ПОСЛЕДОВАТЕЛНО СВЪРЗВАНЕ

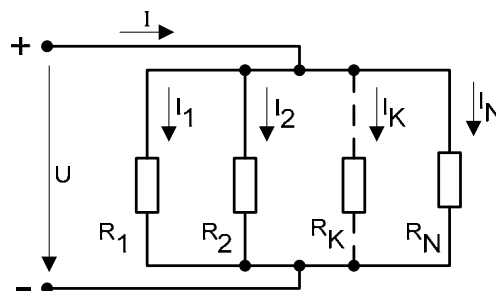


през всички двуполусници (R_K) протича
ЕДНАКЪВ ПО ГОЛЕМИНА ТОК

Падовете на напрежение U_k , на изводите на всеки двуполусник се определят от закона на Ом:

$$U_K = R_K I$$

ПАРАЛЕЛНО СВЪРЗВАНЕ



всички двуполусници (R_K) работят с
ЕДНАКВО НАПРЕЖЕНИЕ

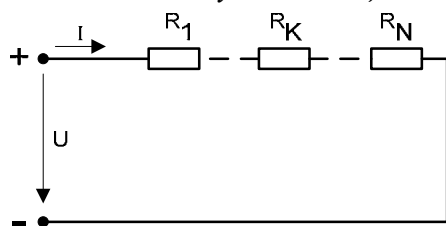
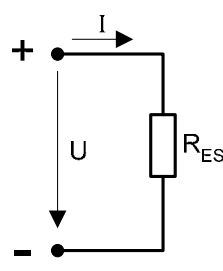
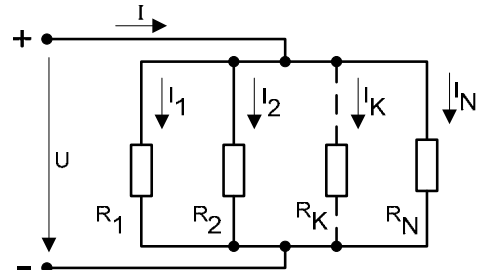
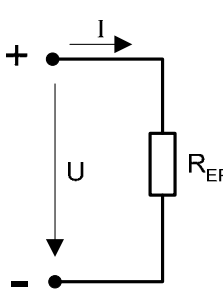
Токовете I_k , протичащи през всеки двуполусник се определят от закона на Ом:

$$I_K = \frac{U}{R_K}$$

Една верига съставена само от последователно или само от паралелно включени двуполусници, консумира от източник на напрежение ток, големината на който, зависи от параметрите на всички двуполусници. Аналитичното определяне на неговата големина може да се опрости, ако цялата верига се преобразува до еквивалентна верига, съставена само от един двуполусник. Параметрите на еквивалентния двуполусник трябва да са такива, че при захранването му със същото напрежение през него да протича ток със същата големина какъвто и в оригиналната верига. При спазване на тези изисквания, търсеният ток се определя от еквивалентната верига с прилагането на закона на Ом.

Верига съставена от последователно свързани двуполусници се заменя с еквивалентна верига съставена само от един двуполусник, параметрите на който се определят като сума от параметрите на участващите в оригиналната верига. При паралелното свързване на двуполусници еквивалентната заместваща верига отново съдържа само един двуполусник, чиито параметри се определят от реципрочните стойности на параметрите на двуполусниците в оригиналната верига.

Формулите за преобразуване на верига съставена само от последователно или само от паралелно свързани пасивни двуполусници са представени в таблицата:

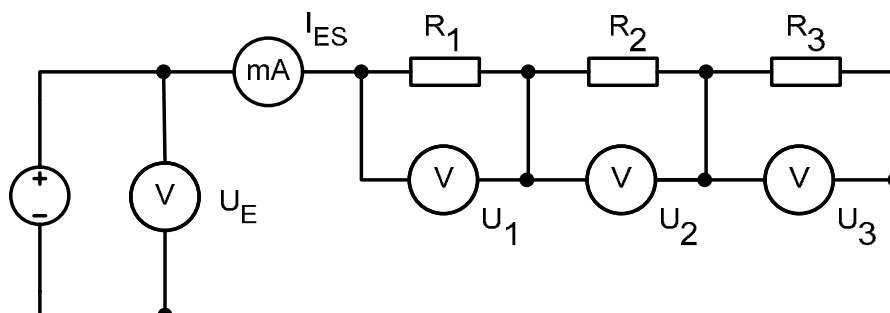
ОРИГИНАЛНА ВЕРИГА	ФОРМУЛА ЗА ПРЕОБРАЗУВАНЕ	ЕКВИВАЛЕНТНА ВЕРИГА	ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТОКА
<p><i>ПОСЛЕДОВАТЕЛНО свързани пасивни двуполусници</i></p> 	$R_{ES} = \sum_{K=1}^N R_K$		$I = \frac{U}{R_{ES}}$
<p><i>ПАРАЛЕЛНО свързани пасивни двуполусници</i></p> 	$R_{EP} = \left(\sum_{K=1}^N \frac{1}{R_K} \right)^{-1}$		$I = \frac{U}{R_{EP}}$

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Експерименталните изследвания се провеждат върху лабораторна постанова, която съдържа три регулируеми резистора, източник на постоянно напрежение и средства за измерване на токове и напрежения. Постановката позволява реализиране на вериги, съставени от последователно и паралелно свързани двуполусници. Резултатите от измерванията на токовете и напреженията във веригите позволяват да се провери действието на законите на Ом и Кирхоф, както и коректността на формулите за преобразуване. Изследванията се провеждат в следната последователност:

А. ПОСЛЕДОВАТЕЛНО СВЪРЗВАНЕ

- При изключено захранващо напрежение се съставя веригата от фиг. 1.
- Включва се захранващото напрежение и последователно се измерват: тока на цялата верига – I_{ES} , тока през всеки резистор – I_1 , I_2 и I_3 , напрежението на източника, захранващ веригата – U_E както и напрежителните падове на изводите на последователно свързаните резистори – U_1 , U_2 и U_3 .
- Резултатите от измерванията се записват в таблица 1.



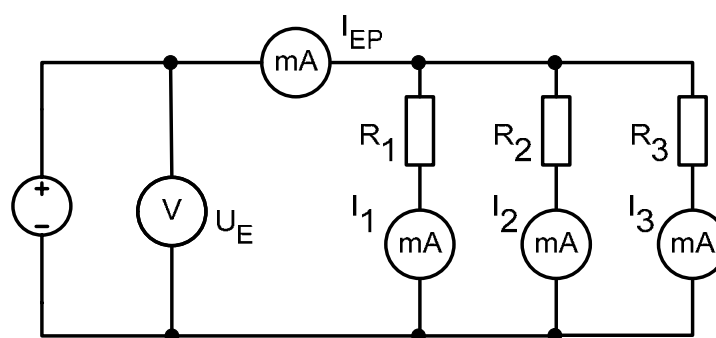
Фиг. 1

Таблица 1. Последователно свързване

РЕЗИСТОР		#1	#2	#3	ВЕРИГА		
U_K	V				U_E	V	
I_K	mA				I_{ES}	mA	
R_K	Ω				R_{OMS}	Ω	

В. ПАРАЛЕЛНО СВЪРЗВАНЕ

- При изключено захранващо напрежение се съставя веригата от фиг.2.
- Включва се захранващото напрежение и отново, последователно се измерват големините на същите величини.
- Резултатите от измерванията се записват в таблица 2.



Фиг. 2

Таблица 2. Паралелно свързване

РЕЗИСТОР		#1	#2	#3	ВЕРИГА		
U_K	V				U_E	V	
I_K	mA				I_{EP}	mA	
R_K	Ω				R_{OMP}	Ω	

ОБРАБОТКА НА ОПИТНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

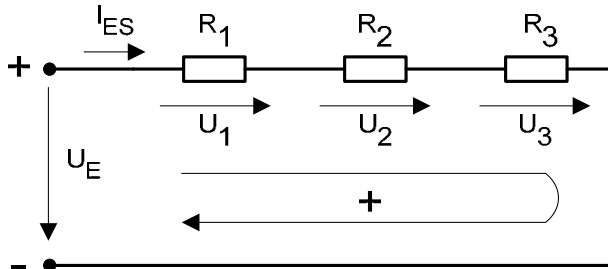
Измерените стойности на напреженията и токовете във веригите от фиг. 1 и фиг. 2 се използват за да се изчислят съпротивления на използваните резистори R_K и съпротивления на веригите R_{OMS} и R_{OMP} . Изчисленията се извършват с прилагане на закона на Ом използвайки зависимостите:

$$R_K = \frac{U_K}{I_K} \cdot 10^3, \Omega \quad \text{където } K = 1,2,3 \quad R_{OMS} = \frac{U_E}{I_{ES}} \cdot 10^3, \Omega \quad R_{OMP} = \frac{U_E}{I_{EP}} \cdot 10^3, \Omega$$

Резултатите от измерванията позволяват да се провери експериментално действието на законите на Кирхоф:

A) ПОСЛЕДОВАТЕЛНО СВЪРЗВАНЕ

- Използвайки резултатите от Таблица 1 се проверява дали токът през последователно свързаните резистори е еднакъв по големина, т.е. дали е вярно твърдението: $I_1 = I_2 = I_3 = I_{ES} = \dots \text{ mA}$
- Анализът на процесите във веригата от фиг.1 се извършва с прилагането на закона на Кирхоф за контура на опитната постановка. Използваните апарати изпълняват изискванията: ($R_A \approx 0$) и ($R_V \approx \infty$), което позволява при анализа на веригата тяхното присъствие да не се отчита.



$$\sum_{K=1}^N E_K = \sum_{K=1}^N U_K$$

откъдето

$$0 = U_1 + U_2 + U_3 - U_E$$

или

$$U_E = U_1 + U_2 + U_3$$

Последният израз се проверява с резултатите за измерените напрежения, записани в Таблица 1. При правилна работа U_E не се различава от сумата U_Σ на измерените напрежителни падове U_K , с повече от 0.1V, т.е. $(U_\Sigma - U_E) < 0.1V$. Резултатите от сравнението се записват в Таблица 3.

Таблица 3. Проверка на закона на Кирхоф за контур на електрическа верига

U_1	U_2	U_3	$U_\Sigma = \sum_{K=1}^3 U_K$	U_E	$U_\Sigma - U_E$
V	V	V	V	V	V

- Използвайки резултатите от Таблица 1 се проверява и верността на израза определящ еквивалентно съпротивление на верига, съставена от последователно включени резистори. За опитната постановка от фиг. 1 той има вида:

$$R_{ES} = R_1 + R_2 + R_3$$

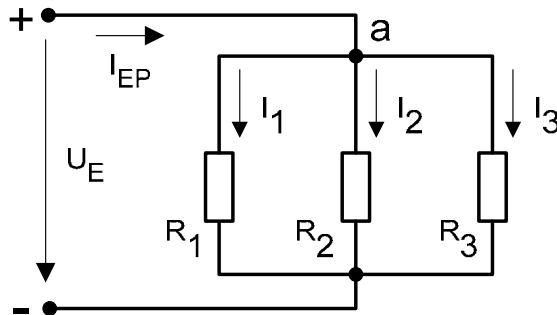
Определената стойност за R_{ES} се сравнява със стойността на съпротивлението на веригата - R_{OMS} , получена след прилагането на закона на Ом. Резултатите се записват в Таблица 4.

Таблица 4. Проверка на израза за еквивалентно съпротивление на веригата

R_1	R_2	R_3	$R_{ES} = \sum_{K=1}^3 R_K$	R_{OMS}	$R_{OMS} - R_{ES}$
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω

Б) ПАРАЛЕЛНО СВЪРЗАВАНЕ

- Използвайки резултатите от Таблица 2 се проверява дали паралелно свързаните двуполносници работят с еднакво напрежение, т.е. дали е вярно твърдението: $U_1 = U_2 = U_3 = U_E = \dots V$
- Анализът на процесите във веригата от фиг.2 се извършва с прилагането на закона на Кирхоф за един от възлите в опитната постановка. Използваните апарати изпълняват изискванията: ($R_A \approx 0$) и ($R_V \approx \infty$), което позволява при анализа на веригата тяхното присъствие да не се отчита.



$$\sum_{K=1}^N I_K = 0$$

за възел "а" на веригата

$$I_{EP} - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

или

$$I_{EP} = I_1 + I_2 + I_3$$

Последният израз се проверява с резултатите за измерените токове, записани в Таблица 2. При правилна работа токът I_{EP} не се различава от сумата I_{Σ} на измерените клонови токове I_K с повече от $0.1mA$, т.е. $(I_{\Sigma} - I_E) < 0.1mA$. Резултатите от сравнението се записват в Таблица 5.

Таблица 5. Проверка на закона на Кирхоф за възел на електрическа верига

I_1	I_2	I_3	$I_{\Sigma} = \sum_{K=1}^3 I_K$	I_{EP}	$I_{\Sigma} - I_{EP}$
mA	mA	mA	mA	mA	mA

- Използвайки резултатите от Таблица 2 се проверява верността на израза за еквивалентно съпротивление на верига съставена от паралелно свързани резистори. За опитната постановка от фиг. 2 той има вида:

$$R_{EP} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1}$$

Определената стойност за R_{EP} се сравнява със стойността на съпротивлението на веригата - R_{OMP} , получена след прилагането на закона на Ом. Резултатите се записват в Таблица 6.

Таблица 6. Проверка на израза за еквивалентно съпротивление на веригата

R_1	R_2	R_3	$R_{EP} = \left(\sum_{K=1}^3 \frac{1}{R_K} \right)^{-1}$	R_{OMP}	$R_{OMP} - R_{EP}$
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω

Контролни въпроси

1. Как се включват амперметрите и волтметрите в електрическите вериги?
2. Какви трябва да са по големина вътрешните съпротивления на амперметрите и волтметрите?
3. Два резистора със съпротивление $R_1=3\Omega$ и $R_2=6\Omega$ са свързани в паралел и се захранват от източник на постоянно напрежение U . Ако токът през R_2 е $I_1=1A$, каква е големината на напрежението на изводите им? Каква е големината на тока, който източникът на напрежение е осигурил на резисторите?
4. Вярно ли е че паралелно свързаните двуполюсници работят с един и същ ток?
5. Два резистора R_1 и R_2 са свързани в паралел. Ако $R_1=2R_2$ какво е съотношението между еквивалентното съпротивление на веригата R_E и съпротивленията на резисторите, $R_E > R_1$ или $R_E < R_2$?
6. Два резистора R_1 и R_2 са свързани последователно и се захранват от източник на постоянно напрежение U . Какъв ток тече през всеки един от тях? Определете големините им?
7. Две акумулаторни батерии с напрежения съответно $E_1=3V$ и $E_2=6V$ са свързани последователно. Определете еквивалентното напрежение на клемите на така получената акумулаторна батерия?