

## 2 JEDNOSMERNÉ ELEKTRICKÉ OBVODY

### *Ciele*

Po preštudovaní kapitoly by mal byť študent schopný:

1. Definovať pojem elektrický obvod a uviesť jeho základné súčasti
2. Charakterizovať pojmy aktívny a pasívny dvojpól a vysvetliť ich funkciu v elektrickom obvode
3. Nakresliť schémy jednoduchých elektrických obvodov a vyznačiť v nich príslušné elektrické veličiny
4. Definovať základné zákony pre analýzu jednosmerných elektrických obvodov
5. Vysvetliť podstatu základných metód analýzy jednosmerných elektrických obvodov
6. Pomocou základných metód analýzy jednosmerných elektrických obvodov analyzovať jednoduché elektrické obvody
7. Prostredníctvom softvéru analyzovať zložitejší elektrický obvod

### 2.1 Úvod do elektrických obvodov

V rámci elektrotechniky je skúmanie príslušných fyzikálnych veličín a ich vzťahov predmetom dvoch základných oblastí:

- *teórie elektromagnetického poľa*
- *teórie elektrických obvodov*

V prvom prípade je predmetom záujmu predovšetkým šírenie sa elektromagnetických vln priestorom (využívané napr. pri satelitnej technike). V druhom prípade sa predpokladá sústredenie energie elektromagnetického poľa do sústav, ktoré možno rozčleniť na obvodové prvky, ktoré sú navzájom vodivo alebo indukčne spojené.

**Elektrický obvod** je také zoskupenie obvodových prvkov, ktoré je určené na prenos a vzájomnú premenu energie elektromagnetického poľa na iné formy energie a naopak alebo ktoré je určené na prenos informácií.

**Obvodové prvky** sú prvky vytvárajúce elektrický obvod, pričom ich delíme na *zdroje* a *spotrebiče*.

Elektrické obvody delíme do nasledujúcich skupín:

1. *Elektrické obvody so sústredenými parametrami* – obvodové prvky majú nulovú dĺžku a sú sústredené do jednotlivých bodov obvodu, t.j. elektrické veličiny nie sú funkciou polohy.  
*Elektrické obvody s rozloženými parametrami* – elektrické prvky sú spojito rozložené v obvode a elektrické veličiny sú funkciou polohy.
2. *Neparametrické elektrické obvody* – parametre jednotlivých prvkov nezávisia na čase  
*Parametrické elektrické obvody* – parametre jednotlivých prvkov sa môžu v čase meniť

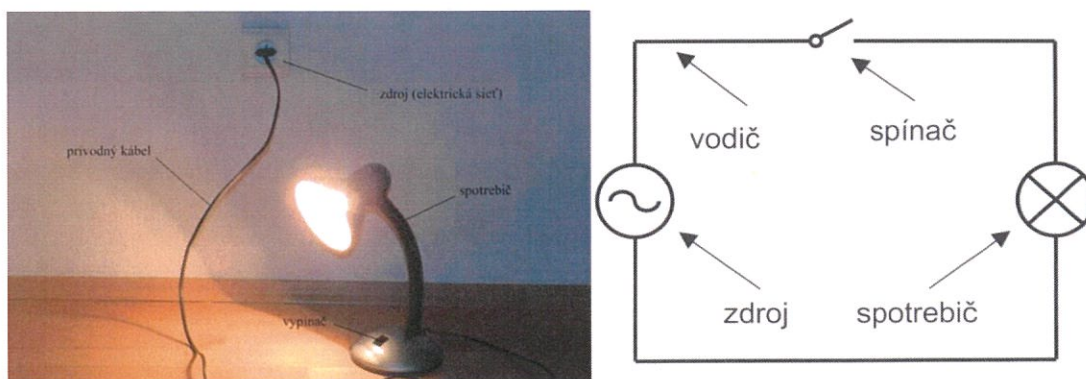
3. *Lineárne elektrické obvody* – parametre jednotlivých prvkov nezávisia na hodnotách iných elektrických veličín v obvode  
*Nelineárne elektrické obvody* – parametre jednotlivých prvkov vykazujú závislosť na iných elektrických veličinách v obvode
4. *Jednosmerné elektrické obvody* – hodnota elektrických veličín sa v čase nemení (t.j. je konštantná)  
*Striedavé elektrické obvody* – hodnota elektrických veličín sa v čase mení

Základný elektrický obvod obvykle obsahuje nasledujúce časti:

1. **Zdroj elektrickej energie** – nazýva sa tiež *aktívny prvok* obvodu. Jeho úlohou je premieňať určitý druh energie na elektrickú a dodávať ju do obvodu. Typickým príkladom je (elektrochemický) článok, akumulátor alebo elektrická rozvodná sieť.
2. **Spotrebič elektrickej energie** - nazýva sa tiež *pasívny prvok* obvodu. Jeho úlohou je premena elektrickej energie dodanej zdrojom na iný druh energie. Všeobecne môže ísť o ľubovoľný elektrický spotrebič (napr. v domácnosti), špecificky to môže byť pasívny prvok v elektrickom obvode (napr. rezistor).
3. **Prenosová časť elektrického obvodu** – Jej úlohou je zabezpečiť vedenie elektrickej energie od zdroja k spotrebiču. Aj keď je najčastejšie vodivé spojenie zabezpečené pomocou vodičov, alternatívou môže byť indukčná väzba kde sú časti obvodu galvanicky oddelené.
4. **Regulačná časť elektrického obvodu** – Jej úlohou je regulácia toku elektrickej energie v elektrickom obvode. Najjednoduchším príkladom je spínač, ktorý pri zopnutí umožňuje prietok elektrického prúdu a pri rozopnutí tento prietok prerušuje.

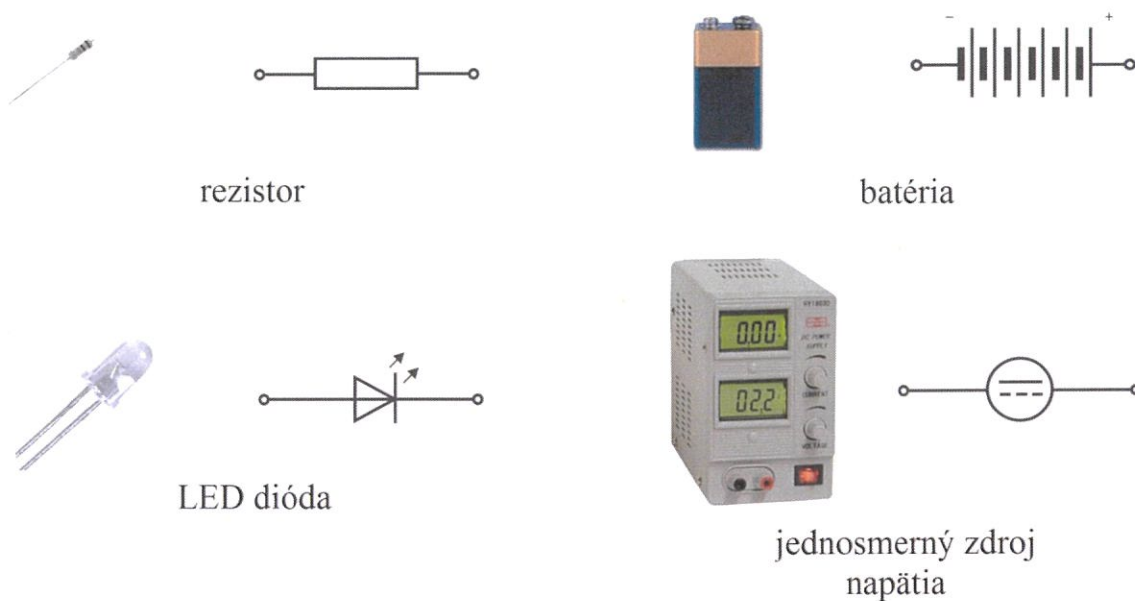
Na Obr. 2.1 je znázornený príklad veľmi jednoduchého elektrického obvodu (elektrická lampa pripojená k sieti), s ktorým sa môžeme stretnúť v každej domácnosti. V tomto obvode môžeme identifikovať všetky štyri základné časti elektrického obvodu: *zdroj* – elektrická rozvodná sieť (dodáva elektrickú energiu do obvodu), *spotrebič* – žiarovka elektrickej lampy (v nej sa premieňa dodaná elektrická energia na iné formy), *prenosová časť* – kábel lampy (zabezpečuje vodivé spojenie medzi zdrojom a spotrebičom) a *regulačná časť* – vypínač (pomocou neho môžeme prerušiť alebo obnoviť tok elektrickej energie obvodom).

Pri analýze a syntéze elektrických obvodov sa používa prehľadná reprezentácia skutočného elektrického obvodu pomocou **schémy** (Obr. 2.1 vpravo). V schémach berieme do úvahy len elektrické vlastnosti jednotlivých obvodových prvkov pričom vodivé spojenie medzi nimi naznačujeme čiarami predstavujúcimi ideálne vodiče (s nulovým elektrickým odporom).



Obr. 2.1 Jednoduchý elektrický obvod (vľavo) a jeho reprezentácia pomocou schémy (vpravo)

Väčšinu obvodových prvkov zaraďujeme k **dvojpólom** (Obr. 2.2) – prvkom, z ktorých každý má dvojicu svoriek pomocou ktorých ich môžeme pripojiť do obvodu.



Obr. 2.2 Prikklady dvojpólom – vľavo skutočné zariadenie alebo súčiastka, vpravo schematická značka (dvojica svoriek je dobre viditeľná na každom z obrázkov)

Dvojpóly môžeme rozdeliť do nasledujúcich skupín:

1. *Jednoduché dvojpóly* – nedajú sa ďalej rozložiť  
*Zložené dvojpóly* – skladajú sa z dvoch alebo viacerých jednoduchých dvojpólom
2. *Pasívne dvojpóly* – v pasívnych dvojpólom sa elektrická energia trvale mení na iný druh energie  
*Aktívne dvojpóly* – v aktívnych dvojpólom sa trvale mení určitý druh energie na elektrickú
3. *Ideálne dvojpóly* – majú len jednu, hlavnú elektrickú vlastnosť  
*Skutočné dvojpóly* – majú viac vedľajších, často nežiaducich vlastností
4. *Lineárne dvojpóly* – závislosť medzi napätím a prúdom je u nich lineárna (graficky je to priamka)  
*Nelineárne dvojpóly* – závislosť medzi napätím a prúdom nie je lineárna (v určitej časti V-A charakteristiky je obvykle možné ju linearizovať)

## 2.2 Zdroje v elektrických obvodoch

Ako bolo uvedené zdroj v elektrickom obvode predstavuje aktívny prvok obvodu, ktorého úlohou je premieňať určitý druh energie na elektrickú energiu. Zdroje elektrickej energie delíme na:

1. *Napät'ové zdroje*

## 2. Prúdové zdroje

V praxi sa častejšie stretávame s napätovými zdrojmi (napríklad akumulátory alebo batérie). V skutočných zdrojoch sa vždy časť energie premení na teplo, a preto ju nie je možné v elektrickom obvode využiť. Pri analýze a syntéze elektrických obvodov sa zavádza pojem **ideálny zdroj napätia** a **ideálny zdroj prúdu**. V ideálnych zdrojoch k strate tejto energie premenou na teplo nedochádza. Skutočný zdroj potom modelujeme pomocou sériového alebo paralelného zapojenia ideálneho zdroja a rezistora a charakteristickými parametrami reálnych zdrojov sú:

1. *Vnútorne napätie*  $U_0$  a *vnútorný odpor*  $R_v$  (napätové zdroje)
2. *Vnútorný prúd*  $I_0$  a *vnútorná vodivosť*  $G_v$  (prúdové zdroje)

Na Obr. 2.3 sú znázornené spôsoby zapojenia napätového a prúdového zdroja. Napätový aj prúdový zdroj môžu byť zapojené tromi spôsobmi:

1. *Naprázdno* (I. a IV.)
2. *Nakrátko* (II. a V.)
3. *So záťažou* (III. a VI.)

Činnosť zdrojov v jednotlivých zapojeniach je možné objasniť s pomocou Obr. 2.3. Je vhodné si uvedomiť, že úlohou napätového zdroja je zabezpečiť konštantné napätie na svorkách (nazývané tiež *svorkové napätie*) – v ideálnom prípade bez ohľadu na pripojenú záťaž. V prípade prúdového zdroja je jeho úlohou dodávať konštantný prúd do záťaže.

Zdroje naznačené na Obr. 2.3 sú zdroje reálne pretože majú nenulový vnútorný odpor ( $R_v \neq 0$  pre napätový zdroj) resp. nenulovú vnútornú vodivosť ( $G_v \neq 0$  pre prúdový zdroj). V prípade I. je napätový zdroj zapojený naprázdno (nie je pripojená žiadna záťaž), a preto prúd pretekajúci obvodom je rovný 0. V dôsledku toho nevzniká na vnútornom odpore žiaden úbytok napätia

$$U_v = R_v I = R_v \cdot 0 = 0V \quad (2.1)$$

a na svorkách je vnútorné napätie zdroja. Ak svorky zdroja skratujeme (príp. II.), je svorkové napätie rovné 0

$$U = R_z I = 0 \cdot I = 0V \quad (2.2)$$

a obvodom preteká maximálny možný prúd určený hodnotou vnútorného napätia a vnútorného odporu, ktorý býva u napätových zdrojov veľmi malý (tzv. *skratový prúd*)

$$I = \frac{U_0}{R_v} \quad (2.3)$$


Štandardným spôsobom zapojenia zdroja je zapojenie so záťažou, kedy je k svorkám zdroja pripojená záťaž charakterizovaná odporom  $R_z$ . V takom prípade je prúd v obvode určený vzťahom

$$I = \frac{U_0}{R_v + R_z} \quad (2.4)$$

a vnútorné napätie je znížené o úbytok napätia na vnútornom odpore ( $\Delta U = R_v I$ )

$$U = U_0 - \Delta U = U_0 - R_v I \quad (2.5)$$

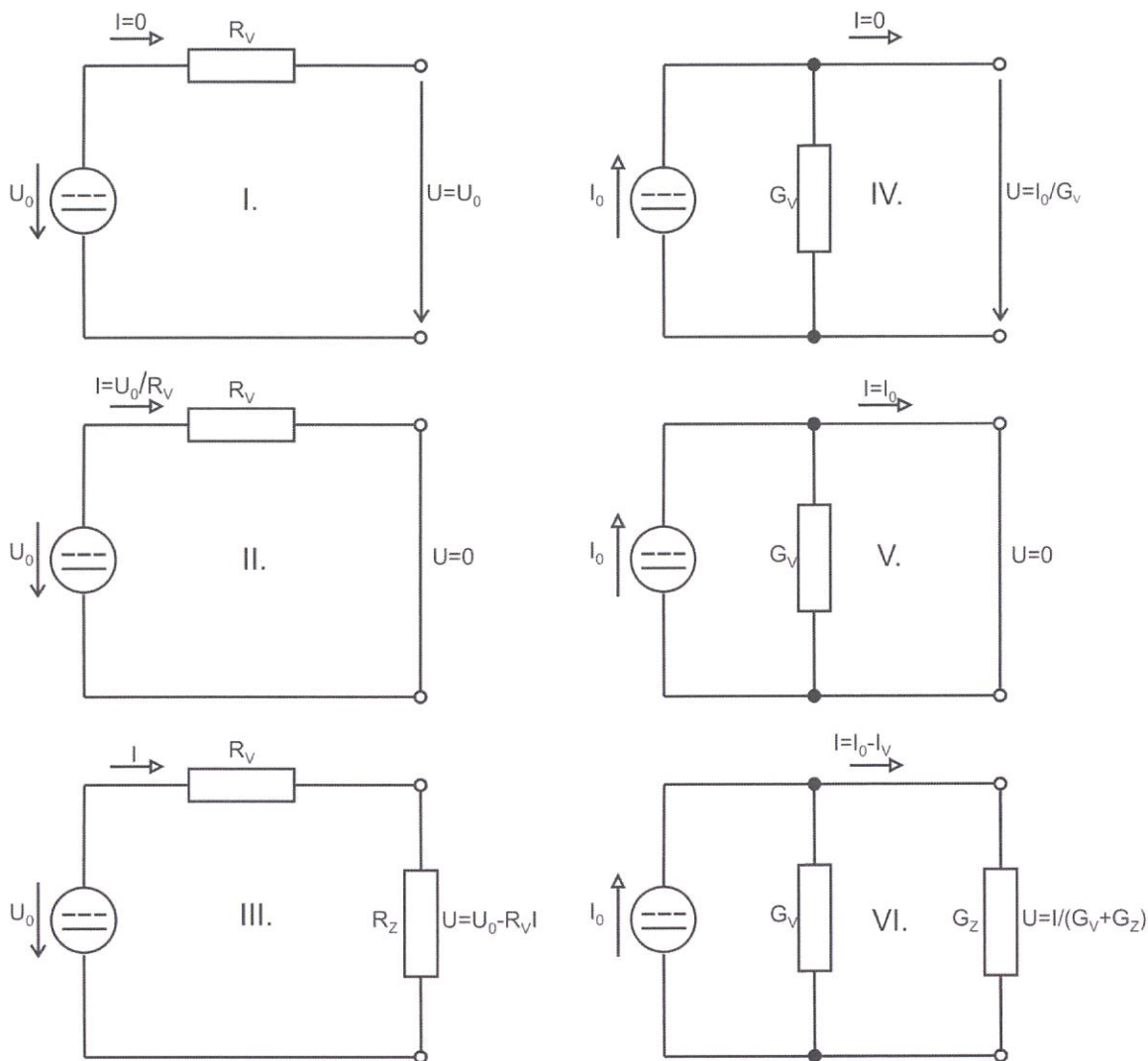
Z posledného vzťahu vyplýva, že u reálneho napätového zdroja (s nenulovým vnútorným odporom) svorkové napätie závisí od veľkosti prúdu v obvode (ktorý je určený vzťahom 2.4), a teda pri rastúcej hodnote prúdu klesá hodnota svorkového napätia (táto závislosť sa nazýva zaťažovacia charakteristika zdroja a je vyznačená na Obr. 2.4). Čím výraznejšia je táto zmena (pre danú zmenu prúdu), tým je zdroj mäkkší.

 *Dôležitým aspektom elektrických zdrojov je **dualita** napätových a prúdových zdrojov, čo znamená, že obe zdroje sú z hľadiska ich vonkajších svoriek ekvivalentné a ktorýkoľvek z nich je možné previesť na druhý na základe znalosti ich charakteristických parametrov. Ak chceme nahradiť prúdový zdroj napätovým, vypočítame na základe znalosti vnútorného prúdu  $I_0$  a vnútornej vodivosti  $G_v$  vnútorné napätie  $U_0$  a vnútorný odpor  $R_v$ . Ak naopak chceme previesť napätový zdroj na prúdový, vypočítame vnútorný prúd  $I_0$  a vnútornú vodivosť  $G_v$  pomocou vnútorného napätia  $U_0$  a vnútorného odporu  $R_v$ . Tieto vzťahy môžeme zapísať v nasledujúcej podobe:*

$$U_0 = \frac{I_0}{G_v}, R_v = \frac{1}{G_v} \quad a \quad I_0 = \frac{U_0}{R_v}, G_v = \frac{1}{R_v}$$

Podobné vzťahy (avšak týkajúce sa prúdu) môžeme odvodiť aj pre prúdový zdroj. V prípade IV. je prúdový zdroj zapojený naprázdno, a preto je prúd dodávaný do záťaže nulový. V prípade V. je prúdový zdroj zapojený nakrátko (svorkové napätie sa rovná 0) a do záťaže je dodávaný vnútorný prúd zdroja  $I_0$  (do vetvy s vnútornou vodivosťou  $G_v$  netečie žiaden prúd). Ak pripojíme záťaž s vodivosťou  $G_z$ , časť vnútorného prúdu  $I_0$  tečie do vetvy s vodivosťou  $G_v$  ( $\Delta I = G_v U$ ) a do záťaže je dodávaný prúd

$$I = I_0 - \Delta I = I_0 - G_v U \quad (2.6)$$

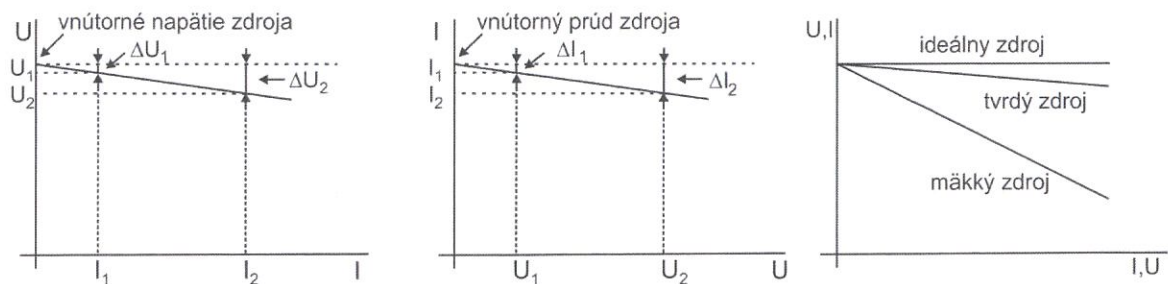


Obr. 2.3 Zapojenie zdrojov : I. – napät'ový naprázdno, II. – napät'ový nakrátko, III. – napät'ový zaťažený, IV. – prúdový naprázdno, V. – prúdový nakrátko, VI. – prúdový zaťažený

Pre svorkové napätie potom platí

$$U = \frac{I}{G_z} = \frac{I_0 - G_v U}{G_z} \quad (2.7)$$

V tomto prípade je u reálneho prúdového zdroja (s nenulovou vnútornou vodivosťou) dodávaný prúd závislý na svorkovom napätí (vzťah 2.6), pretože od neho závisí časť vnútorného prúdu zdroja  $\Delta I$ , ktorá tečie vetvou s vnútornou vodivosťou zdroja. Z tohto dôvodu dostávame zaťažovaciu charakteristiku prúdového zdroja (Obr. 2.4 v strede), s podobným priebehom ako u napät'ového zdroja avšak ako závislosť dodávaného prúdu do záťaže  $I$  na svorkovom napätí  $U$ .



Obr. 2.4 Zaťažovacie charakteristiky zdrojov : napätový zdroj (vľavo), prúdový zdroj (v strede) a rozdelenie zdrojov podľa tvrdosti (vpravo)

Typickými príkladmi reálnych napätových zdrojov sú napríklad akumulátory v aute alebo články (resp. batérie). Ich vnútorný odpor má byť čo najnižší (ideálny napätový zdroj má vnútorný odpor rovný nule) a rádovo má hodnoty miliohmov (akumulátory) alebo jednotiek ohmov (články). Akumulátory aut sú tiež príkladom tvrdých zdrojov, u ktorých sa svorkové napätie mení s odoberaným prúdom len pomerne málo (to je dôležité z prevádzkových dôvodov, pretože zvýšenie odberu v súvislosti s väčším zaťažením by mohlo spôsobiť taký pokles napätia zdroja, ktorý by znemožňoval prevádzku jednotlivých napájaných zariadení). Typickým príkladom reálneho prúdového zdroja je zväčšenie dynamo, čo je točivý elektrický stroj používaný v oblúkovom zväčšení.

### Príklad 2.1

Určte charakteristické parametre napätového zdroja (vnútorné napätie  $U_0$  a vnútorný odpor  $R_v$ ) ak bolo pri prúde  $I_1 = 100 \text{ mA}$  namerané napätie na svorkách zdroja  $U_1 = 12 \text{ V}$  a pri prúde  $I_2 = 500 \text{ mA}$  namerané napätie  $U_2 = 10 \text{ V}$ . Pre reprezentáciu zmeny záťaže v obvode je v schéme vyznačený reostat (súčiastka umožňujúca reguláciu prúdu v obvode).

Svorkové napätie napätového zdroja môžeme vypočítať podľa rovnice (2.5). Predpokladáme lineárny priebeh zaťažovacej charakteristiky, čo znamená, že pre jej zostrojenie nám postačia dva body. Priamka pretne os  $y$  v bode odpovedajúcom napätiu naprázdno ( $U_0$ ), čo je jedna z našich neznámych. Druhou neznámyou je vnútorný odpor, ktorý bude určovať smernicu (sklon) zaťažovacej charakteristiky. Hodnoty veličín ( $U_1, I_1$ ) a ( $U_2, I_2$ ) odpovedajú dvom pracovným bodom charakteristiky, pomocou ktorých môžeme zostaviť dve rovnice o dvoch neznámych (vnútorné napätie a vnútorný prúd sú konštanty pre daný napätový zdroj):

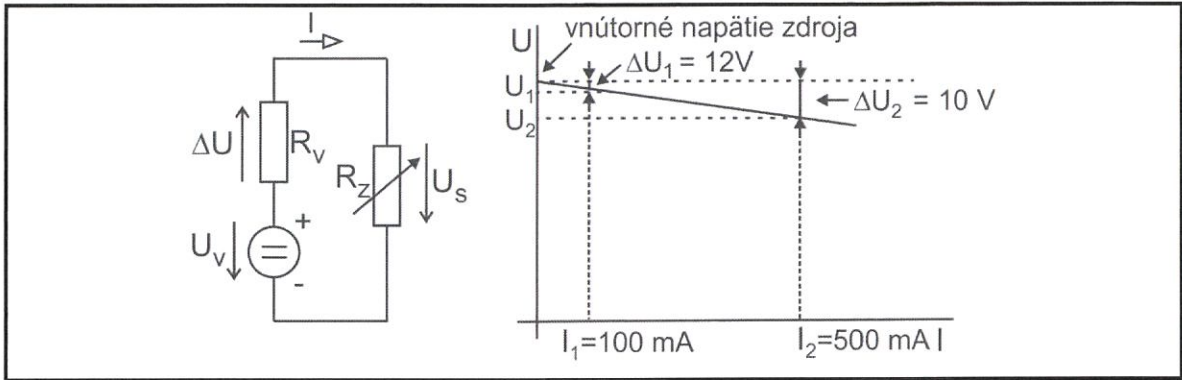
$$U_1 = U_0 - R_v I_1$$

$$U_2 = U_0 - R_v I_2 \Rightarrow U_0 = U_2 + R_v I_2$$

Po dosadení do prvej rovnice a následnom dosadení do vyjadrenia svorkového napätia máme

$$R_v = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = 5 \Omega$$

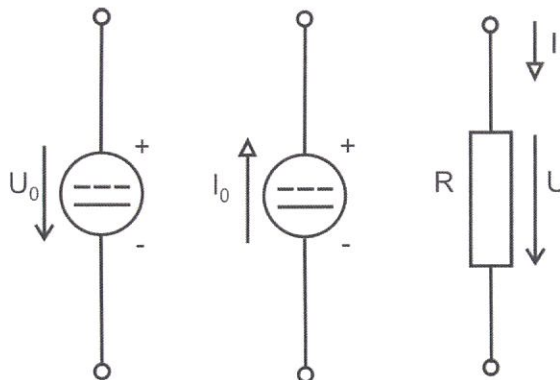
$$U_0 = U_2 + R_v I_2 = 12,5 \text{ V}$$



### 2.3 Spotrebiče v elektrických obvodoch

Ako už bolo uvedené, spotrebič elektrickej energie premieňa v elektrickom obvode elektrickú energiu dodanú zdrojom na iný druh energie. V zmysle tejto charakteristiky bude teda spotrebičom každé elektrické zariadenie, ktoré je pripojené k zdroju elektrickej energie (napr. žiarovka, rýchlovarná kanvica, elektrický motor a pod.). V schémach elektrických obvodov však často zvykneme spotrebiče znázorňovať pomocou rezistora, ktorý reprezentuje premenu elektrickej energie na tepelnú (v prípade, že ide o premenu na iné formy, môžeme ju charakterizovať pomocou rezistora s takou veľkosťou odporu aby Joulovo teplo, ktoré v ňom vznikne odpovedalo veľkosti energie iného druhu). V *jednosmerných elektrických obvodoch* bude teda spotrebič vždy reprezentovaný jediným druhom pasívneho prvku, a to *rezistorom*. Rezistor (alebo kombinácia viacerých rezistorov) predstavujúci spotrebič sa nazýva **zaťažovací rezistor**.

V súvislosti s riešením elektrických obvodov je dôležité pripomenúť vyznačovanie smerov elektrických veličín. Elektrické napätie aj elektrický prúd v obvodoch orientujeme podľa dohodnutých pravidiel. Systém značenia rozdeľujeme na *generátorový* a *spotrebičový*, podľa toho či ide o vnútorné napätie (resp. vnútorný prúd) zdroja alebo úbytok napätia (resp. prúd) na pasívnom prvku.



Obr. 2.5 Značenie smerov napätí a prúdov (vľavo – generátorový systém pre napätový zdroj, v strede – generátorový systém pre prúdový zdroj, vpravo – spotrebičový systém)

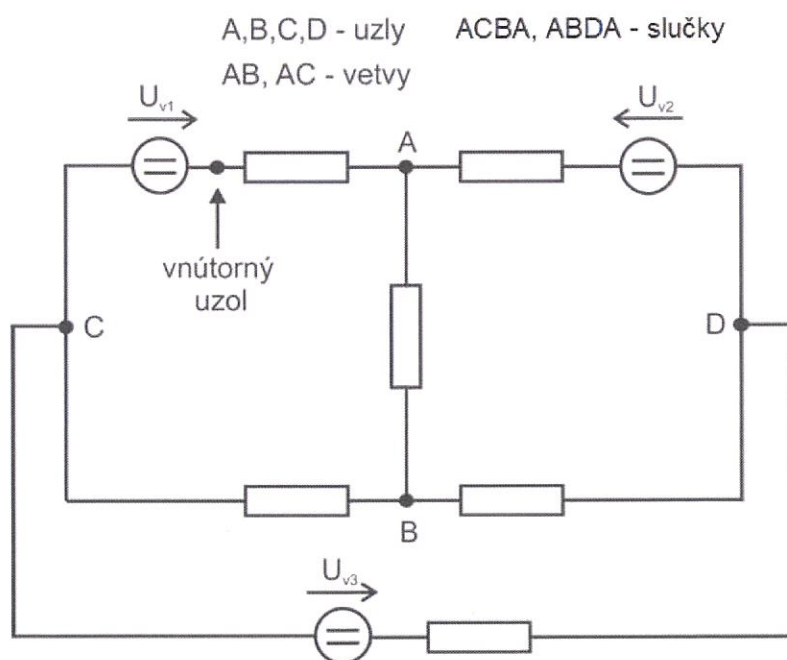
Na Obr. 2.5 si môžeme všimnúť, že vnútorné napätie napätového zdroja je orientované v smere od kladnej svorky k zápornej. Orientácia vnútorného prúdu prúdového zdroja je opačná, teda od zápornej svorky ku kladnej. V prípade spotrebičov sa smer úbytku napätia vyznačuje v súhlase so smerom prúdu pretože u spotrebičov tečie prúd vždy v smere napätia.

Ešte je vhodné pripomenúť, že v obvode sa za kladný smer prúdu považuje smer od kladnej svorky k zápornej, teda naopak ako tečie v skutočnosti.

## 2.4 Základné metódy analýzy elektrických obvodov

Hlavnou úlohou **analýzy elektrických obvodov** je určenie hodnôt neznámych elektrických veličín z toho čo je známe. Môže ísť vo všeobecnosti o určenie hodnôt elektrického prúdu resp. úbytkov napätí na príslušných pasívnych prvkoch pričom dané bývajú vnútorné napätia napáťových zdrojov (prípadne vnútorné prúdy prúdových zdrojov) a hodnoty odporu rezistorov. Úloha **syntézy elektrických obvodov** spočíva v navrhnutí príslušných prvkov (aktívnych aj pasívnych) na základe požiadaviek pre dosiahnutie určitých hodnôt elektrických veličín. Táto úloha je vo všeobecnosti náročnejšia a nemusí mať vždy riešenie. Analýza elektrických obvodov si vyžaduje charakterizovanie základných **topologických prvkov elektrického obvodu**. Medzi základné topologické prvky obvodov radíme (Obr. 2.6):

- uzol
- vetva
- cesta
- slučka



Obr. 2.6 Základné topologické prvky elektrického obvodu

**Uzol** – vzniká v mieste spojenia najmenej dvoch dvojpólov. Počet spojenia dvojpólov v danom mieste určuje stupeň uzla. Pokiaľ je uzol druhého stupňa nazýva sa *vnútorný uzol* a v schémach sa nevyznačuje. Uzol najmenej tretieho stupňa sa vyznačuje pomocou plného čierneho krúžku. Na Obr. 2.6 sú vyznačené štyri uzly tretieho stupňa označené písmenami A, B, C a D. Pre ilustráciu je zobrazený aj vnútorný uzol v mieste spojenia zdroja  $U_{v1}$  a vedľajšieho rezistora.

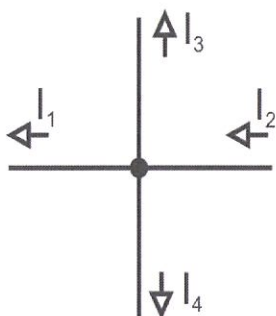
**Vetva** – je vodivé spojenie medzi dvoma uzlami, pričom celou vetvou tečie rovnaký prúd. Je potrebné zdôrazniť, že uzlami v tejto definícii sú chápané uzly najmenej tretieho stupňa (teda nie vnútorné). Na Obr. 2.6 je celkovo 6 vetiev – AC, AB, AD, CB, BD a CD.

**Cesta** – je také spojenie uzlov, v ktorých sa každá vetva vyskytuje iba raz. Napríklad cestou môže byť spojenie uzlov ACBD, ADBA, ABCD a iné.

**Slučka** – je do seba uzavretá cesta v obvode (čo znamená, že počiatočný a koncový uzol takejto cesty sú totožné), ktorá pozostáva z niekoľkých vetiev tak aby sa žiadnym uzlom ani vetvou neprešlo dvakrát. Príkladom môže byť cesta ACBA alebo ABDA. Ak takáto slučka neobsahuje vnútri žiadnu vetvu, nazýva sa *jednoduchá slučka*.

### 2.4.1 Kirchhoffove zákony

Kirchhoffove zákony (KZ) patria spolu s Ohmovým zákonom k základným zákonom analýzy elektrických obvodov. **Prvý Kirchhoffov zákon** je zovšeobecnením zákona zachovania náboja a týka sa prúdov v uzle elektrického obvodu (niekedy tiež nazývaný *uzlový zákon*). **Druhý Kirchhoffov zákon** je zovšeobecnením zákona zachovania energie a týka sa napätí v slučke elektrického obvodu (niekedy tiež nazývaný *slučkový zákon*). Ich znenia sú nasledovné:

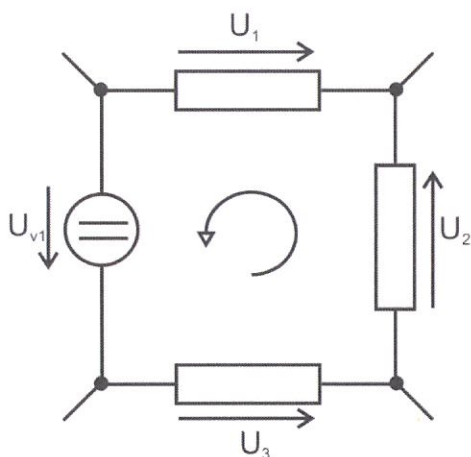


#### I. KZ

*Algebraický súčet prúdov v uzle sa rovná nule.*

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0, \text{ kde } n - \text{počet vetiev spojených v uzle}$$

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



#### II. KZ

*Algebraický súčet napätí v slučke sa rovná nule.*

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0, \text{ kde } n - \text{počet vetiev v slučke}$$

$$U_{v1} + U_3 + U_2 - U_1 = 0$$

Použitie KZ pri analýze elektrických obvodov umožňuje získať rovnice v ktorých vystupujú príslušné elektrické veličiny (úbytky napätí na pasívnych prvkoch, napätia zdrojov, prúdy v jednotlivých vetvách) a ktoré je potom možné riešiť pre výpočet neznámych. Prakticky je možné aplikovať zákony nasledovne:

*I.KZ Prúdy do uzla vstupujúce majú znamienko + a prúdy z uzla vystupujúce majú znamienko -.*

*II.KZ Napätia ktorých smer je v súhlase s vyznačeným smerom obehu majú znamienko + a napätia ktorých smer nie je v súhlase s vyznačeným smerom obehu majú znamienko -.*

Príklad použitia KZ v tejto forme je uvedený pre časti obvodov pri definícii. Pre I. KZ je vyznačený uzol 4. stupňa, pričom prúdy  $I_1$ ,  $I_3$  a  $I_4$  z uzla vystupujú a je im priradené znamienko  $-$  zatiaľ čo prúd  $I_2$  do uzla vstupuje a je mu priradené znamienko  $+$ . Pre II. KZ je v slučke vyznačený smer obehu slučky (proti smeru hodinových ručičiek) pričom napätia  $U_{v1}$ ,  $U_2$  a  $U_3$  sú v súhlase s vyznačeným smerom obehu (znamienko  $+$ ) a úbytok napätia  $U_1$  má smer proti vyznačenému smeru obehu (znamienko  $-$ ).

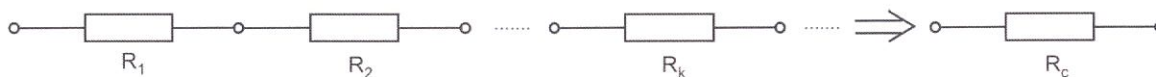
## 2.4.2 Metóda postupného zjednodušovania

Túto metódu je možné použiť v prípade, že obvod obsahuje jeden zdroj (prípadne ak je viacero zdrojov možné nahradiť jedným – to predpokladá zapojenie napäťových zdrojov v sérii alebo prúdových zdrojov paralelne), ku ktorému je pripojený zložený pasívny dvojpól. Základom metódy je tzv. **transfigurácia** pasívneho dvojpólu, čo predstavuje náhradu zloženého dvojpólu, ktorý je k nemu ekvivalentný (napr. náhrada viacerých rezistorov predstavujúcich záťaž jedným, ktorý je ekvivalentný k pôvodnému zapojeniu). Metódu môžeme rozdeliť na dva kroky:

1. Nahradíme pasívny dvojpól pozostávajúci z určitého počtu rezistorov zapojených sériovo alebo paralelne jedným, čím dostaneme základný obvod zaťaženého zdroja a podľa Ohmovho zákona vypočítame celkový prúd.
2. Ak potrebujeme čiastkové prúdy v niektorých vetvách, postupujeme späť k pôvodnému zapojeniu a vypočítavame prúdy vo vetvách využitím Kirchhoffových zákonov resp. Ohmovho zákona.

*Náhrada sériového zapojenia rezistorov*

Pri **sériovom zapojení** rezistorov (ale aj iných prvkov) je koniec jedného rezistora spojený so začiatkom ďalšieho (viď Obr. 2.7). Preto sa tomuto zapojeniu hovorí aj zapojenie *za sebou*.



Obr. 2.7 Sériové zapojenie rezistorov

Pre transfiguráciu (náhradu) sériového zapojenie rezistorov platí:

*Sériovo zapojené rezistory môžeme nahradiť jedným rezistorom, ktorého odpor sa rovná súčtu odporov všetkých rezistorov*

$$R_c = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{m=1}^n R_m \quad (2.8)$$

Z I.KZ a II. KZ vyplývajú pre sériové zapojenie rezistorov nasledujúce významné skutočnosti:

*Všetkými rezistormi zapojenými v sérii tečie rovnaký prúd a tvoria jednu vetvu.*

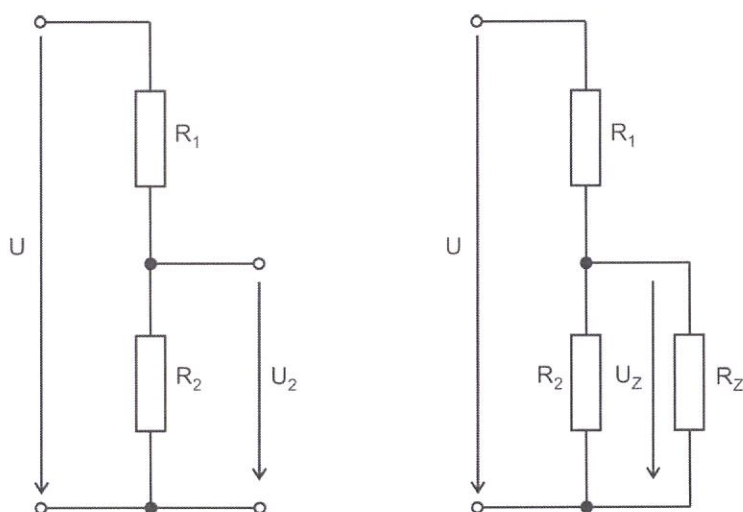
*Napätie sa pri sériovom zapojení rezistorov delí v priamom pomere veľkosti odporov.*

V súvislosti s druhou skutočnosťou nám sériové zapojenie rezistorov tvorí **napät'ový delič**. Úbytok napätia na ľubovoľnom rezistore v sériovom zapojení môžeme vypočítať na základe znalosti hodnôt odporov jednotlivých rezistorov a celkového napätia, ktoré sa delí. Vzťah, ktorý platí pre napät'ový delič má nasledujúcu podobu:

$$U_k = \frac{R_k}{\sum_{m=1}^n R_m} U \quad (2.9)$$

kde  $U_k$  – je úbytok napätia na  $k$ -tom rezistore,  $U$  – celkové napätie a  $\sum_{m=1}^n R_m$  - súčet odporov všetkých rezistorov v sérii. Ak použijeme tento vzťah na zapojenie na Obr. 2.8 vľavo dostávame pre úbytok napätia na rezistore  $R_2$  vzťah:

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$



Obr. 2.8 Napät'ový delič naprázdno (vľavo) a zaťažený (vpravo)

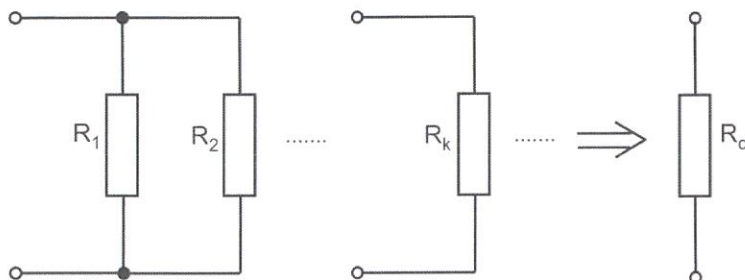
Pre napätie  $U_Z$  na zaťaženom deliči napätia na Obr. 2.8 vpravo platí:

$$U_Z = \frac{R_2 \parallel R_Z}{R_1 + R_2 \parallel R_Z} U, \quad \text{kde } R_2 \parallel R_Z = \frac{R_2 R_Z}{R_2 + R_Z}$$

Použitie vzťahu pre napät'ový delič si zapamätáme ľahko podľa toho, že v čitateli zlomku je odpor rezistora na ktorom úbytok napätia počítame a v menovateli zlomku je súčet odporov všetkých rezistorov zapojených v sérii, pričom za zlomkom vždy nasleduje násobenie celkovým napätím, ktoré sa delí.

### Náhrada paralelného zapojenia rezistorov

Pri **paralelnom zapojení** rezistorov (ale aj iných prvkov) sú začiatky a konce rezistorov zapojené do spoločných uzlov (viď Obr. 2.9). Preto sa tomuto zapojeniu hovorí aj zapojenie *vedľa seba*.



Obr. 2.9 Paralelné zapojenie rezistorov

Pre transfiguráciu (náhradu) paralelného zapojenie rezistorov platí:

*Paralelne zapojené rezistory môžeme nahradiť jedným rezistorom, ktorého prevrátená hodnota odporu sa rovná súčtu prevrátených hodnôt odporov všetkých rezistorov*

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{m=1}^n \frac{1}{R_m} \quad (2.10)$$

Z I.KZ a II. KZ vyplývajú pre paralelné zapojenie rezistorov nasledujúce významné skutočnosti:

*Na všetkých rezistoroch zapojených paralelne je rovnaké napätie.*

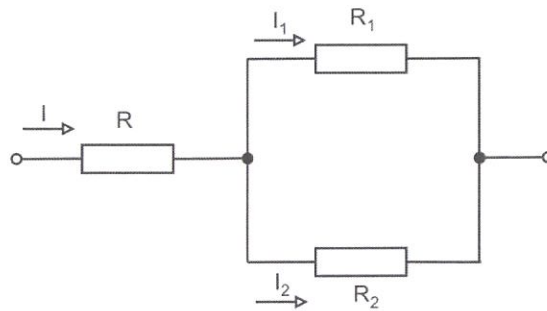
*Prúd sa pri paralelnom zapojení rezistorov delí do príslušných vetiev v priamom pomere ich vodivosti.*

V súvislosti s druhou skutočnosťou nám paralelné zapojenie rezistorov tvorí **prúdový delič**. Prúd pretekajúci niektorou z vetiev je možné vypočítať na základe znalosti vodivosti jednotlivých vetiev a celkového prúdu, ktorý sa do vetiev delí. Vzťah, ktorý platí pre prúdový delič má nasledujúcu podobu:

$$I_k = \frac{G_k}{\sum_{m=1}^n G_m} I \quad (2.11)$$


kde  $I_k$  – je prúd  $k$ -tej vetve,  $I$  – celkový prúd a  $\sum_{m=1}^n G_m$  - súčet vodivosti všetkých rezistorov zapojených paralelne. Ak použijeme tento vzťah na zapojenie na Obr. 2.10 dostávame pre prúd pretekajúci vetvou s odporom  $R_l$ :

$$I_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} I$$



Obr. 2.10 Prúdový delič

Podobne ako pri vzťahu pre napäťový delič použitie vzťahu pre prúdový delič si zapamätáme ľahko podľa toho, že v čitateli zlomku je vodivosť vetvy v ktorej počítame príslušný prúd a v menovateli zlomku je súčet vodivostí všetkých paralelných vetiev, pričom za zlomkom vždy nasleduje násobenie celkovým prúdom, ktorý sa do vetiev delí.

 Pri náhrade dvoch paralelne zapojených rezistorov je možné použiť priamo vzťah, ktorý vyjadruje výsledný odpor bez prevrátenej hodnoty a vyplýva z matematickej úpravy vzťahu 2.10. Ak budeme uvažovať paralelné zapojenie rezistorov na Obr. 2.10 pre ich náhradu platí:

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_c = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

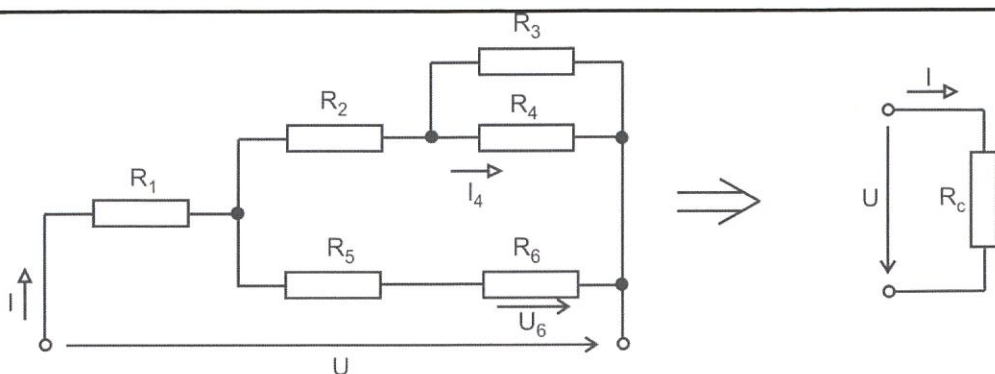
čo sme získali po úprave ľavého vzťahu na spoločného menovateľa a prevrátением ľavej strany.

Je dôležité upozorniť na to, že pri vyššom počte paralelne zapojených rezistorov (3 a viac) môže zvädzať upravený vzťah k tomu, že ho rozšírime o príslušný počet členov v násobení v čitateli a rovnaký počet členov v sčítaní v menovateli avšak toto neplatí ako si môžeme všimnúť nižšie.

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow R_c = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}$$

### Príklad 2.2

Vypočítajte prúd  $I_4$  vo vyznačenej vetve a vyznačený úbytok napätia  $U_6$  na rezistore  $R_6$  ak platí:  $U = 24V$ ,  $R_1 = R_3 = 5\Omega$ ,  $R_2 = R_5 = 3\Omega$ ,  $R_4 = R_6 = 7\Omega$



Pre výpočet použijeme metódu postupného zjednodušovania (obvod obsahuje jediný zdroj jednosmerného napätia). V prvom kroku musíme transfigurovať zložený pasívny dvojpól predstavujúci záťaž čo urobíme pomocou vzťahov 2.8 a 2.10 pre sériové a paralelné zapojenie rezistorov a následne vypočítame celkový prúd  $I$  na základe Ohmovho zákona (transfigurovaný obvod je na obrázku vpravo). Pre jednotlivé náhrady budeme používať spoločné indexy nahradených rezistorov:

$$R_{56} \text{ (sériové)} = R_5 + R_6 = 3\Omega + 7\Omega = 10\Omega$$

$$R_{34} \text{ (paralelné)} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{5\Omega \cdot 7\Omega}{5\Omega + 7\Omega} \cong 2,92\Omega$$

$$R_{234} \text{ (sériové)} = R_2 + R_{34} = 3\Omega + 2,92\Omega = 5,92\Omega$$

$$R_{2-6} \text{ (paralelné)} = \frac{R_{234} R_{56}}{R_{234} + R_{56}} = \frac{5,92\Omega \cdot 10\Omega}{5,92\Omega + 10\Omega} \cong 3,72\Omega$$

$$R_c \text{ (sériové)} = R_1 + R_{2-6} = 5\Omega + 3,72\Omega = \underline{\underline{8,72\Omega}}$$

Celkový prúd  $I$  vypočítame pomocou Ohmovho zákona:

$$I = \frac{U}{R_c} = \frac{24V}{8,72\Omega} \cong \underline{\underline{2,75A}}$$

Tento prúd sa delí do dvoch paralelných vetiev s rezistormi  $R_2, R_3$  a  $R_4$  a rezistormi  $R_5$  a  $R_6$ . Pre určenie prúdu  $I_4$  musíme určiť aká časť prúdu  $I$  tečie do vetvy s rezistormi  $R_2, R_3$  a  $R_4$  a následne aká časť z tohto prúdu tečie do vetvy s rezistorom  $R_4$ .

Najprv určíme prúd tečúci do vetvy s odporom  $R_{234}$  pomocou vzťahu pre prúdový delič:

$$I_{234} = \frac{G_{234}}{G_{56} + G_{234}} I = \frac{0,17S}{0,1S + 0,17S} 2,75A = 1,73A$$

Tento prúd sa delí do vetiev s odpormi  $R_3$  a  $R_4$  a môžeme ho určiť opäť pomocou vzťahu pre prúdový delič:

$$I_4 = \frac{G_4}{G_3 + G_4} I_{234} = \frac{0,14S}{0,2S + 0,14S} 1,73A = \underline{\underline{0,71A}}$$

Úbytok napätia  $U_6$  na rezistore  $R_6$  môžeme určiť pomocou Ohmovho zákona pre čo potrebujeme vypočítať prúd  $I_{56}$  (I.K.Z) pretekajúci rezistorom:

$$I_{56} = I - I_{234} = 1,73A - 0,71A = 1,02A$$

$$U_6 = R_6 I_{56} = 7\Omega \cdot 1,02A = \underline{\underline{7,14V}}$$

### 2.4.2.1 Spájanie kondenzátorov

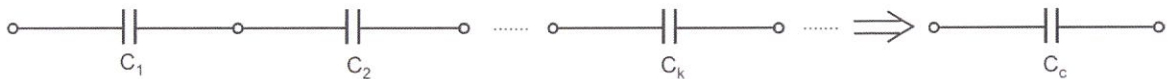
Z hľadiska možného zapojenia existujú u kondenzátorov rovnaké možnosti ako u rezistorov, a teda je ich možné zapojiť *sériovo* alebo *paralelne*. Pri sériovom zapojení (Obr. 2.11) je na všetkých kondenzátoroch rovnaký náboj a celkové napätie  $U$  je dané súčtom napätí na jednotlivých kondenzátoroch:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Keďže napätie na kondenzátoroch je nepriamo úmerné kapacite kondenzátora (vzťah 1.18), platí (po vykrátení hodnoty náboja):

$$\boxed{\frac{1}{C_c} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}} \quad (2.12)$$

*Pri sériovom zapojení sa prevrátená hodnota výslednej kapacity rovná súčtu prevrátených hodnôt kapacít jednotlivých kondenzátorov.*



Obr. 2.11 Sériové zapojenie kondenzátorov

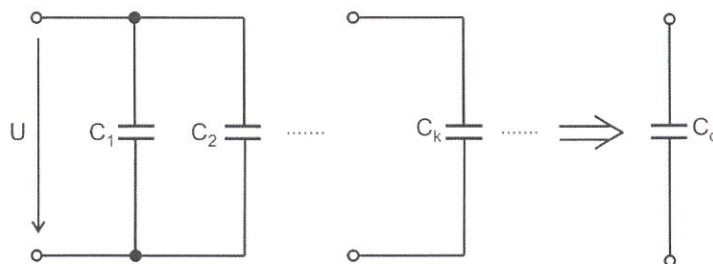
Pri paralelnom zapojení sú všetky kondenzátory pripojené na rovnaké napätie  $U$  a výsledný náboj  $Q$  je daný súčtom nábojov všetkých kondenzátorov:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

Na základe vzťahu pre kapacitu potom pre výslednú kapacitu paralelného zapojenia kondenzátorov platí:

$$\boxed{C = C_1 + C_2 + \dots + C_n} \quad (2.13)$$

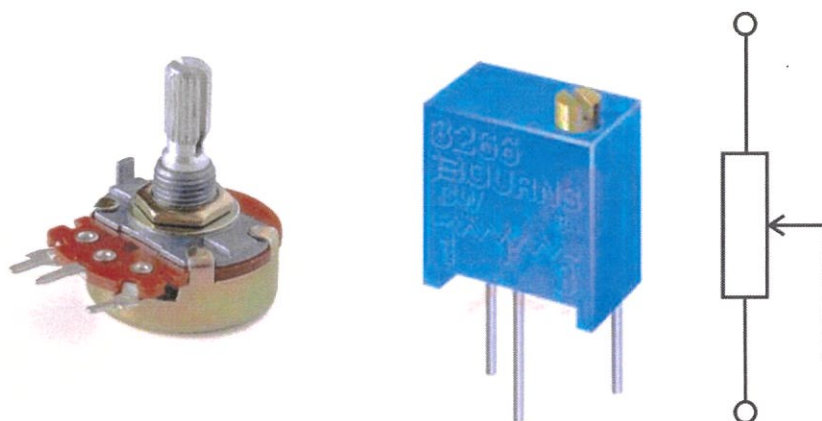
*Pri paralelnom zapojení sa hodnota výslednej kapacity rovná súčtu hodnôt kapacít jednotlivých kondenzátorov.*



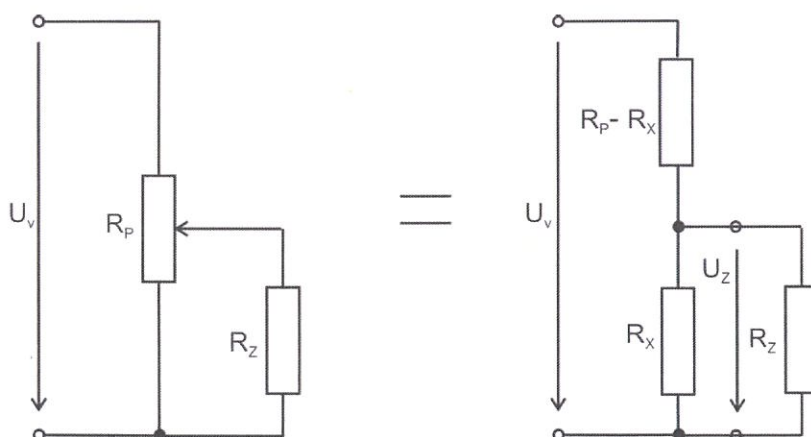
Obr. 2.12 Paralelné zapojenie kondenzátorov

### 2.4.2.2 Potenciometer

Potenciometer je typ pasívneho prvku s tromi svorkami, z ktorých jedna predstavuje vývod tzv. *bežca* tvoriaceho pohyblivý (otočný alebo posuvný) kontakt. Pokiaľ sa využijú všetky tri svorky, potenciometer funguje ako **regulovateľný delič napätia** a na výstupe potenciometra (medzi spoločnou svorkou a svorkou bežca) môžeme namerať napätie odpovedajúce určitej časti napájacieho napätia podľa uhla natočenia bežca (alebo jeho posunutia). Ak sa využijú iba dve svorky (bežec a jedna zo zvyšných svoriek), potenciometer funguje ako **regulátor prúdu (reostat)**. Potenciometre sa používajú v rôznych elektrických a elektronických zariadeniach, kde vzniká potreba plynule regulovať napätie (napr. ovládanie hlasitosti v audio technike) alebo tiež ako snímače polohy. Na Obr. 2.13 je znázornený potenciometer ako súčiastka v dvoch vyhotoveniach (klasický otočný potenciometer vľavo a trimer používaný pre nastavenie (alebo občasné prestavenie) hodnôt nejakého obvodu v strede) a značka potenciometra používaná v elektrotechnických schémach.



Obr. 2.13 Potenciometer (vľavo) [16], (potenciometrický) trimer (v strede) [20], značka potenciometra (vpravo)



Obr. 2.14 Princíp činnosti potenciometra – zaťažný potenciometer (vľavo), reprezentácia zaťažného potenciometra pomocou dvoch sériovo zapojených rezistorov tvoriacich napätový delič

Princíp činnosti potenciometra je možné vysvetliť pomocou princípu napätového deliča uvedeného v kapitole 2.4.2. Potenciometer je totiž možné vnímať ako sériové zapojenie dvoch

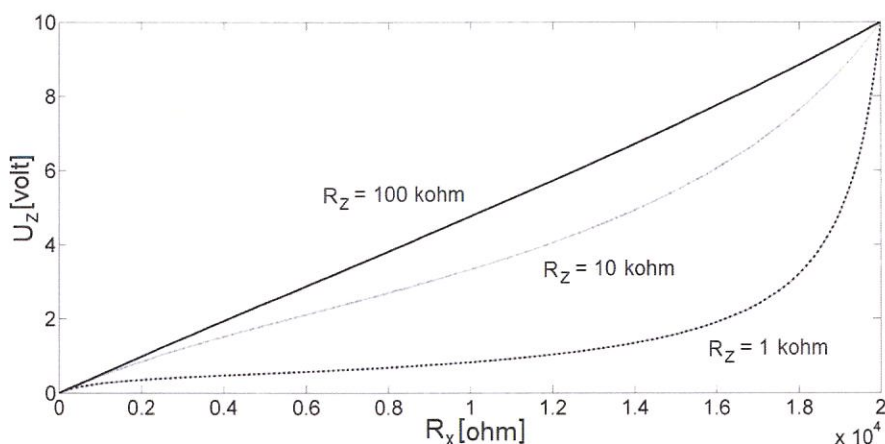
rezistorov tvoriacich napäťový delič, ktorého deliaci pomer je možné meniť pohybom bežca. Ak budeme uvažovať celkový odpor potenciometra  $R_p$  (konštantný), odpor záťaže  $R_Z$  (konštantný), napájacie napätie  $U_v$  (konštantné) a zaradenú odporovú dráhu  $R_x = R_p(x/l)$ , kde  $x$  – veľkosť zaradenej odporovej dráhy a  $l$  – celková dĺžka odporovej dráhy, je možné výstupné napätie zaťaženého potenciometra vyjadriť v nasledujúcej podobe:

$$U_Z = \frac{\frac{R_x R_Z}{R_x + R_Z}}{R_p - R_x + \frac{R_x R_Z}{R_x + R_Z}} U_v$$

a po úprave zloženého zlomku dostaneme:

$$U_Z = \frac{R_x R_Z}{R_p R_x + R_p R_Z - R_x^2} U_v \quad (2.14)$$

Ako je vidieť zo vzťahu 2.14 výstupné napätie potenciometra  $U_Z$  je nelineárnou funkciou odporu  $R_x$ . Nelinearita tohto vzťahu závisí od veľkosti odporu záťaže (Obr. 2.15), pričom lineárny vzťah dostávame pre nezaťažený potenciometer, teda  $R_Z = \infty$ .



Obr. 2.15 Závislosť výstupného napätia potenciometra na odpore  $R_x$  pri rôznych hodnotách odporu záťaže  $R_Z$  (zvolené hodnoty :  $R_p = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $U_v = 10 \text{ V}$ ,  $R_x = \langle 0; 20 \text{ k}\Omega \rangle$ )

### 2.4.3 Metóda priameho použitia Kirchhoffových zákonov

Nevýhodou metódy postupného zjednodušovania je jej obmedzenie na prípady kedy je v obvode jeden zdroj (resp. aj viac zdrojov ale nie v rôznych vetvách). Ak nie je možné použiť metódu postupného zjednodušovania, obvod sa dá analyzovať prostredníctvom metódy priameho použitia KZ, ktorá má všeobecný charakter. Výsledkom použitia tejto metódy je sústava lineárnych rovníc o  $n$  neznámych, riešením ktorých dostávame prúdy v príslušných vetvách. V minulosti boli odvodené modifikácie tejto metódy umožňujúce znížiť počet rovníc, ktoré bolo potrebné riešiť (*metóda slučkových prúdov* a *metóda uzlových napätí*). V súčasnosti takéto metódy strácajú na význame vzhľadom k dostupnosti výpočtovej techniky, ktorá umožňuje získať riešenie aj veľmi vysokého počtu rovníc v krátkom čase.

### Východiská metódy priameho použitia KZ:

1. Zostaví sa toľko rovníc, koľko je neznámych vetvových prúdov
2. Počet rovníc podľa I. KZ sa rovná počtu nezávislých uzlov
3. Počet rovníc podľa II. KZ sa rovná počtu nezávislých slučiek

Použitie metódy vedie na sústavu lineárnych algebrických rovníc o toľkých neznámych, koľko je neznámych vetvových prúdov. Počet nezávislých uzlov ( $u_n$ ) sa určí podľa počtu všetkých uzlov mínus jeden uzol ( $u_n = u - 1$ ). Počet nezávislých slučiek sa určí podľa počtu všetkých vetiev ( $v$ ) mínus počet nezávislých uzlov ( $s_n = v - u_n$ ).

### Postup pri riešení:

1. Zvolia sa smery vetvových prúdov
2. Zvolí sa referenčný uzol
3. Zistí sa počet nezávislých uzlov a počet nezávislých slučiek
4. Zvolia sa smery obehov v slučkách
5. Zostavia sa rovnice podľa I. KZ pre všetky nezávislé uzly
6. Zostavia sa rovnice podľa II. KZ pre všetky nezávislé slučky
7. Rieši sa výsledná sústava rovníc

Ak je niektorý z výsledných prúdov záporný, znamená to, že v skutočnosti tečie opačným smerom ako bolo zvolené.

**Príklad 2.3**

Vypočítajte vetvové prúdy  $I_1$ ,  $I_2$  a  $I_3$  ak je dané  $U_{v1} = 10V$ ,  $U_{v2} = 20V$ ,  $R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = 10\Omega$ ,  $R_3 = 12\Omega$ .

Vzhľadom k tomu, že použité ideálne napäťové zdroje v obvode sú v rôznych vetvách, nie je možné ich transfigurovať na jeden a je nutné použiť metódu priameho použitia KZ. Podľa postupu si najprv zvolíme smery vetvových prúdov (vyznačené v schéme) a tiež referenčný uzol (uzol 2). V druhom kroku zistíme počet nezávislých uzlov a počet nezávislých slučiek:

$$u_n = u - 1 = 2 - 1 = 1$$
$$s_n = v - u_n = 3 - 1 = 2$$

Výsledný počet rovníc v obvode je 3 ( $u_n + s_n$ ), čo je vidieť aj z vyznačených neznámych vetvových prúdov. Vyznačíme si tiež smery obehov v slučkách a zostavíme rovnice podľa I. a II. KZ.

Podľa I. KZ pre uzol 1 platí:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Podľa II. KZ pre nezávislé slučky platí:

$$U_1 + U_3 - U_{v1} = 0 \Rightarrow R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_{v1}$$

$$U_2 + U_{v2} - U_3 = 0 \Rightarrow R_2 I_2 - R_3 I_3 = -U_{v2}$$

Uvedené rovnice boli upravené tak, že úbytky napätí na pasívnych prvkoch sa rozpísali podľa Ohmovho zákona (v takom prípade nám budú v rovniciach figurovať už aj vetvové prúdy, ktoré sú neznámymi) a napätia zdrojov boli presunuté na pravú stranu.

Dosadením koeficientov pri neznámych a napätí zdrojov podľa zadania dostávame nasledujúcu sústavu:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$5I_1 + 12I_3 = 10$$

$$10I_2 - 12I_3 = -20$$

Po získaní matematického modelu elektrického obvodu v tejto podobe je získanie výsledku už len otázkou vyriešenia sústavy rovníc a je možné využiť ľubovoľnú matematickú metódu (alebo riešenie prostredníctvom PC). Výsledné hodnoty prúdov:

$$I_1 = \underline{-0,087A}, I_2 = \underline{-0,957A}, I_3 = \underline{0,87A}$$

Ako je vidieť z výsledkov, smer prúdov  $I_1$  a  $I_2$  je v skutočnosti opačný ako bol zvolený.



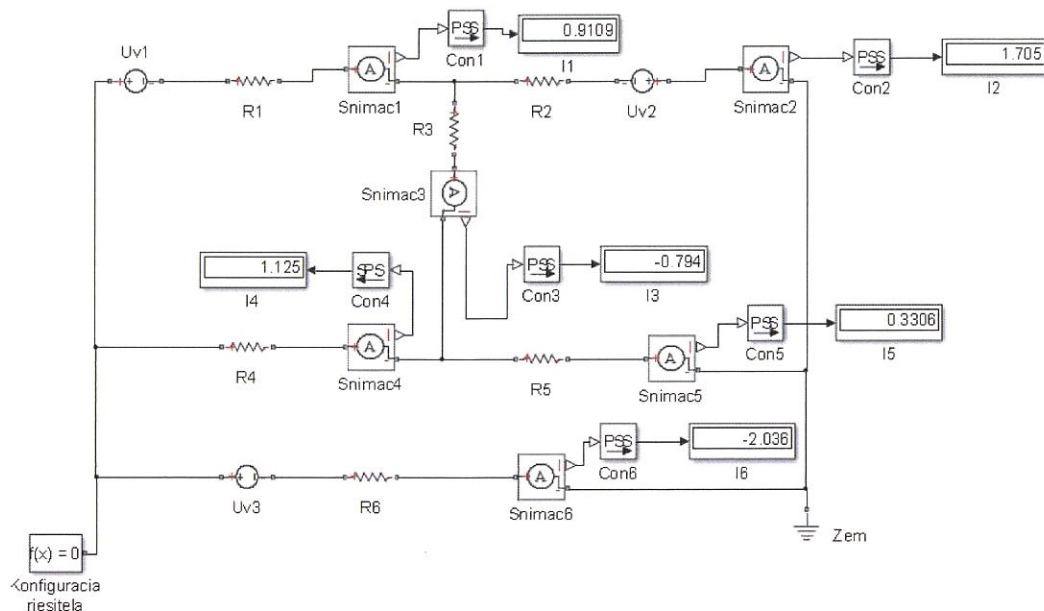
#### Príklad 2.4

V nasledujúcom príklade bude ilustrovaná výhoda použitia softvéru pre analýzu elektrického obvodu, pričom táto výhoda sa stáva markantnou predovšetkým pri zložitejších obvodoch. Softvér môže uľahčiť analýzu elektrického obvodu buď na úrovni riešenia sústavy rovníc predstavujúcich matematický model systému po ich zostavení vyššie uvedenou metódou priameho použitia KZ alebo kompletným riešením úlohy analýzy len na základe definovania hodnôt parametrov pasívnych a aktívnych prvkov obvodu a ich prepojenia.

Analyzovaný bude elektrický obvod schéma ktorého je uvedená na Obr. 2.6. Obvod obsahuje 6 neznámych vetvových prúdov, 3 zdroje napätia a 6 rezistorov. Sústava rovníc zostavená na základe metódy priameho použitia KZ by obsahovala 6 rovníc o 6 neznámych, čo takmer vylučuje pohodlné riešenie ručným výpočtom. Jedným zo softvérov, ktoré je možné pre analýzu elektrických obvodov využiť je SimElectronics Toolbox v rámci programu Matlab/Simulink.

Parametre sú dané nasledovne:

$R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = 2\Omega$ ,  $R_3 = 7\Omega$ ,  $R_4 = 8\Omega$ ,  $R_5 = 12\Omega$ ,  $R_6 = 1\Omega$ ,  $U_{v1} = 10V$ ,  $U_{v2} = 5V$ ,  $U_{v3} = 15V$ .



Analýza elektrického obvodu spočíva vo vytvorení schémy odpovedajúcej zapojeniu obvodu a spustení simulácie. Vzhľadom k tomu, že ide o simuláciu jednosmerného obvodu, majú príslušné vetvové prúdy konštantné hodnoty v čase a samotný čas simulácie nie je rozhodujúci. Je vhodné si všimnúť značky používané pre rezistory (označenie R1 až R6), ktoré odpovedajú americkému štandardu zobrazovania elektronických prvkov. V každej vetve obvodu musí byť umiestnený snímač prúdu (Snimac1 až Snimac6), ktorý umožňuje merať hodnoty vetvových prúdov, pričom výsledné hodnoty prúdov sú zobrazené na displejoch (I1 až I6). Znamienko výsledného prúdu závisí od smeru prúdu snímačom – je záporný ak smeruje od záporného pólu snímača ku kladnému a naopak. Skúšku správnosti môžeme ľahko vykonať aplikovaním I.K.Z pre jednotlivé uzly.

Z uvedeného vyplýva, že hlavná časť riešenia spočíva vo vytvorení softvérovej schémy analyzovaného obvodu, čo je samozrejme omnoho jednoduchšie ako riešenie sústavy rovníc o veľkom počte neznámych. V prípade zmeny parametrov obvodu je potrebné vykonať iba zmenu príslušného parametra v konkrétnom bloku schémy a opätovne spustiť simuláciu.



## Zhrnutie

1. Elektrický obvod je zoskupenie obvodových prvkov umožňujúce prenos energie elektromagnetického poľa na iné druhy a naopak resp. prenos informácií. Obvodové prvky delíme na aktívne (zdroje), ktoré premieňajú iný druh energie na elektrickú a pasívne (spotrebiče), ktoré premieňajú elektrickú energiu na iný druh energie. Obvody zjednodušene reprezentujeme pomocou schém, v ktorých sú jednotlivé prvky znázornené pomocou schematických značiek spojených čiarami znázorňujúcimi ideálne vodiče. Väčšina prvkov patrí k dvojpolom – prvkom, ktoré majú dvojicu svoriek.
2. Elektrické zdroje sa (z praktických dôvodov) delia na napäťové a prúdové avšak keďže platí dualita zdrojov, oba typy zdrojov sa vzhľadom k vonkajším svorkám chovajú rovnako a je možné previesť jeden na druhý. Charakteristickými parametrami

napätových zdrojov sú vnútorné napätie a vnútorný odpor a prúdových zdrojov sú vnútorný prúd a vnútorná vodivosť. V reálnych zdrojoch sa časť vytvorenej elektrickej energie mení na teplo čo charakterizujú práve parametre vnútorný odpor a vnútorná vodivosť. Čím väčšie hodnoty majú, tým je pokles svorkového napätia (pri napätových zdrojoch) alebo dodávaného prúdu (pri prúdových zdrojoch) pri zmene prúdu resp. napätia záťaže väčší – používame pojem mäkšie.

3. Pri analýze elektrického obvodu sa snažíme z daných hodnôt elektrických veličín určiť hodnoty neznámych elektrických veličín (obvykle prúdov alebo úbytkov napätí). Pri syntéze sa naopak snažíme navrhnuť obvod (prvky) tak, aby sme dosiahli žiadané hodnoty elektrických veličín. Z geometrického hľadiska rozlišujeme v obvodoch uzol, vetvu, slučku a cestu, pričom (vnútorný) uzol vzniká v mieste spojenia aspoň (dvoch) troch dvojpólov a cesta je vodivé spojenie medzi dvoma uzlami.
4. Pre analýzu elektrických obvodov používame tri základné zákony: Ohmov zákon, I. Kirchhoffov zákon a II. Kirchhoffov zákon. Podľa Ohmovho zákona je prúd priamo úmerný veľkosti napätia a nepriamo úmerný veľkosti elektrického odporu. Podľa I. Kirchhoffovho zákona platí, že algebrický súčet prúdov v uzle sa rovná nule. Podľa II. Kirchhoffovho zákona platí, že algebrický súčet napätí v slučke sa rovná nule.
5. Základnými metódami pre analýzu elektrických obvodov sú metóda postupného zjednodušovania a metóda priameho použitia Kirchhoffových zákonov. Ak je začiatok jedného dvojpólu spojený s koncom druhého dvojpólu, ide o sériové zapojenie. Ak sú začiatky a konce spojené do spoločných bodov, ide o paralelné zapojenie. Výsledný odpor sériového zapojenia je daný súčtom odporov všetkých rezistorov. Pri paralelnom zapojení sa prevrátená hodnota výsledného odporu rovná súčtu prevrátených hodnôt všetkých odporov.
6. Sériovo zapojené rezistory nám tvoria napätový delič pri ktorom platí, že napätie sa delí v priamom pomere veľkostí odporov. Sériovo zapojenými odpormi preteká rovnaký prúd. Paralelne zapojené rezistory nám tvoria prúdový delič, pri ktorom platí, že prúd sa delí v priamom pomere veľkostí vodivosti daných vetiev. Na paralelne zapojených odporoch je rovnaké napätie.
7. Potenciometer je s trojicou svoriek, ktorá funguje ako regulovateľný delič napätia. Jedna zo svoriek je spoločná pre vstup aj výstup. Obvykle sa napája konštantným napätím a posúvaním bežca meníme odpor zaradenej odporovej dráhy čím sa mení napätie medzi svorkou bežca a spoločnou svorkou podľa princípu napätového deliča – môžeme ho teda chápať ako zapojenie dvoch rezistorov sérii, ktorých jednotlivý odpor sa posunom bežca mení ale v súčte ostáva rovnaký (celkový odpor potenciometra).