2. ELEKTRICKÉ OBVODY STEJNOSMĚRNÉHO PROUDU

Určeno pro posluchače bakalářských studijních programů

1. Základní pojmy v elektrotechnice – topologie elektrických obvodů

2. Základní veličiny a zákony v elektrotechnice

3. Aktivní a pasivní prvky elektrických obvodů

4. Řazení prvků (paralelní, sériové)

5. Metody řešení elektrických obvodů

6. Nelineární obvody

poslední úprava říjen 2007

Ing. Jan Dudek, Ph.D.
Ing. Václav Kolář, Ph.D.
Doc. Ing. Václav Vrána, CSc.

1 Základní pojmy v elektrotechnice – topologie elektrických obvodů

1.1 Rozdělení elektrických obvodů

Elektrické obvody můžeme dělit podle několika kritérií. Zde uvedeme ty pro praxi nejdůležitější.

Podle časového průběhu obvodových veličin:

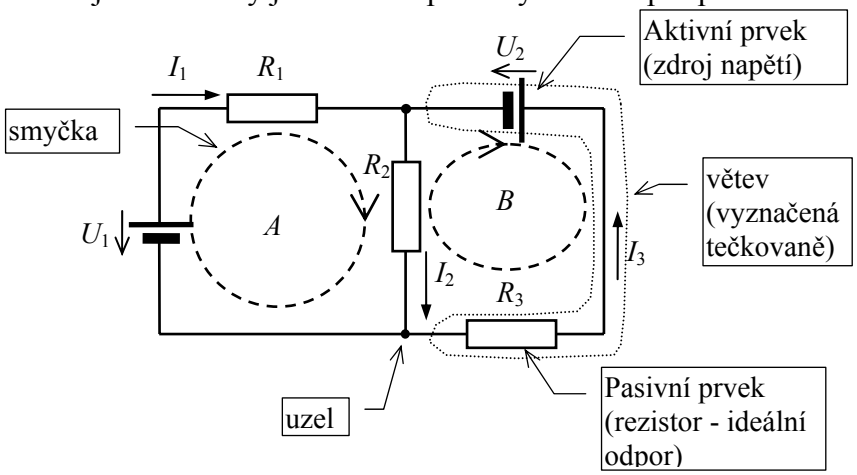
- Stejnosměrné – obvodové veličiny napětí a mají stále stejný směr.
- Střídavé – obvodové veličiny napětí a proud mění v čase velikost i směr.

Podle linearity:

- Lineární – obsahují pouze lineární prvky, to je takové, u kterých je závislost mezi napětím a proudem a jejich derivacemi lineární. (U rezistorů - odporů záleží pouze na napětí a proudu, u cívek – indukčností a kondenzátorů – kapacit i na derivaci napětí a proudu).
- Nelineární – obsahují alespoň jeden nelineární prvek, výše zmíněné závislosti tam nejsou lineární.

1.2 Topologie elektrických obvodů

Elektrické obvody se skládají z prvků, které jsou spolu různě spojeny – vázány. Z geometrie zapojení elektrického obvodu vychází nauka nazývaná **topologie.**
Nejjednodušším prvkem v elektrickém obvodě je dvojpól. Má pouze dva vývody a poměry na něm jsou dány dvojicí základních elektrických veličin - **napětím** a **proudem**. K označení dvojpólů požíváme dohodnuté schématické značky a sčítací šipky, které určují orientaci napětí a proudu. (Napětí se kreslí otevřenou šipkou, proud uzavřenou.) Na obr. 1 jsou uvedeny jednoduché příklady značení pro pasivní i aktivní prvky včetně napětí a proudů v daném obvodu.
Každý dvojpól se zapojuje do obvodu dvěmi svorkami (póly). Spojení dvou nebo více vodičů se nazývá **uzel**, část obvodu mezi dvěmi uzly je **větev**, viz obr. 1 .
Uzly mohou být ve schématech označeny tak jak je nakresleno na obr. 2.
Libovolně uzavřený okruh v daném obvodě se nazývá **smyčka**. Na obr. 1 jsou vidět dvě takovéto smyčky - smyčka A a B.

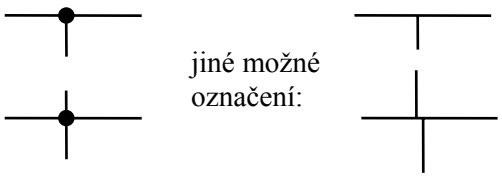


Obr.1 – Základní pojmy v topologii elektrického obvodu

2 Základní veličiny a zákony v elektrotechnice

2.1 Základní veličiny v elektrotechnice

Poznámka: Pokud je veličina v čase konstantní, je zvykem označovat ji velkým písmenem, pokud se v čase mění a máme-li na mysli její okamžitou hodnotu, značíme ji malým písmenem.



Obr.2 – Označení uzlu ve schématu

- Elektrický náboj Q. Jednotkou je coulomb (C).
- Elektrický proud I. Jednotkou je ampér (A). Je to uspořádaný tok nosičů elektrického náboje ve vodiči. (Zjednodušeně se dá přirovnat k toku kapaliny v potrubí). Elektrický proud je množství elektrického náboje, které proteče vodičem za jednotku času. Platí: $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
- Elektrické napětí U. Jednotkou je volt (V).
  (Zjednodušeně se dá přirovnat k rozdílu tlaků mezi začátkem a koncem potrubí, který způsobuje tok kapaliny, stejně elektrické napětí způsobí proud ve vodiči).

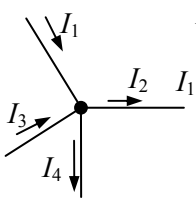
- Elektrický odpor R, jednotkou je Ohm (Ω).
  Je to vlastnost materiálu, která klade odpor průchodu proudu.
- Elektrická vodivost G, jednotkou je Siemens (S). Je to převrácená hodnota odporu: $G = \frac{1}{R}$
- Elektrický výkon P. Platí vztah $P = U \cdot I$, jednotkou je volt (V).
- Energie elektrického proudu, číselně se rovná práci, platí pro ni $E = P \cdot t$, kde P je výkon a t je čas. Základní jednotkou energie je joule (J), ale v elektrotechnice se častěji udává ve watthodinách (Wh) nebo kilowatthodinách (kWh), platí 1 Ws = 1 J; 1 Wh = 3 600 J; 1 kWh = 3 600 000 J.

2.2 Základní zákony v elektrotechnice

- Ohmův zákon. Udává vztah mezi napětím a proudem na odporu. Odporem může být součástka – rezistor, nebo vodič mající určitý odpor, nebo jakýkoli jiný prvek mající odpor. Ohmův zákon může být zapsán ve třech základních tvarech:

$$I = \frac{U}{R}\ (\mathrm{A;V,\Omega}) \qquad R = \frac{U}{I}\ (\Omega;\mathrm{V,A}) \qquad U = R \cdot I\ (\mathrm{V;\Omega,A})$$

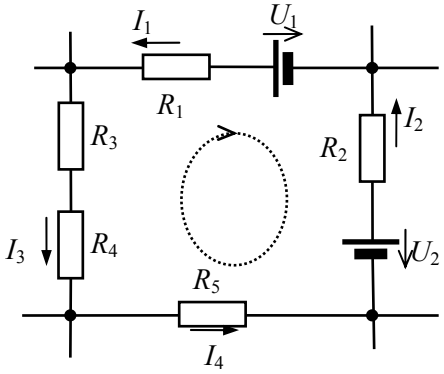
- I. Kirchhoffův zákon.
  Tento zákon říká že součet proudů přitékajících do uzlu se rovná součtu proudů z uzlu vytékajících, nebo jinými slovy že celkový součet proudů v uzlu je roven nule, viz obr. 3.



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

Obr. 3 - I. Kirchhoffův zákon

- II. Kirchhoffův zákon.
  Tento zákon říká, že součet napětí zdrojů v uzavřené smyčce se rovná součtu úbytků napětí na spotřebičích, nebo jinými slovy, že celkový součet napětí v uzavřené smyčce se rovná nule. Viz obr. 4



úbytky napětí na rezistorech
(vyjádřeny z Ohmova zákona jako $R \cdot I$)

$$U_1 + U_2 = R_2 \cdot I_2 + R_5 \cdot I_4 + R_4 \cdot I_3 + R_3 \cdot I_3 + R_1 \cdot I_1$$

nebo

Obr.4 - II. Kirchhoffův zákon

3 Aktivní a pasivní prvky elektrických obvodů

V teoretické elektrotechnice dělíme prvky v elektrických obvodech na:
- pasivní prvky - jsou spotřebičem elektrické energie, tedy přeměňují elektrickou energii na jinou formu energie, např. tepelnou. Ve schématu mají vždy šipky napětí a proudu u pasivního prvku shodný směr.
- aktivní prvky - jsou zdrojem elektrické energie, tedy přeměňují jiný druh energie na energii elektrickou. Mohou být dvojí - napěťové a proudové.

Dále prvky elektrických obvodů dělíme na ideální a reálné:
- ideální prvky – každý prvek má pouze jednu požadovanou vlastnost (parametr), např. rezistor má odpor, cívka má indukčnost, kondenzátor kapacitu a tak dále.
- reálné prvky – kromě základní požadované vlastnosti má prvek navíc i parazitní vlastnosti, např. reálná cívka má kromě indukčnosti i odpor, kondenzátor má svodový odpor (ideální prvek nelze vyrobit).

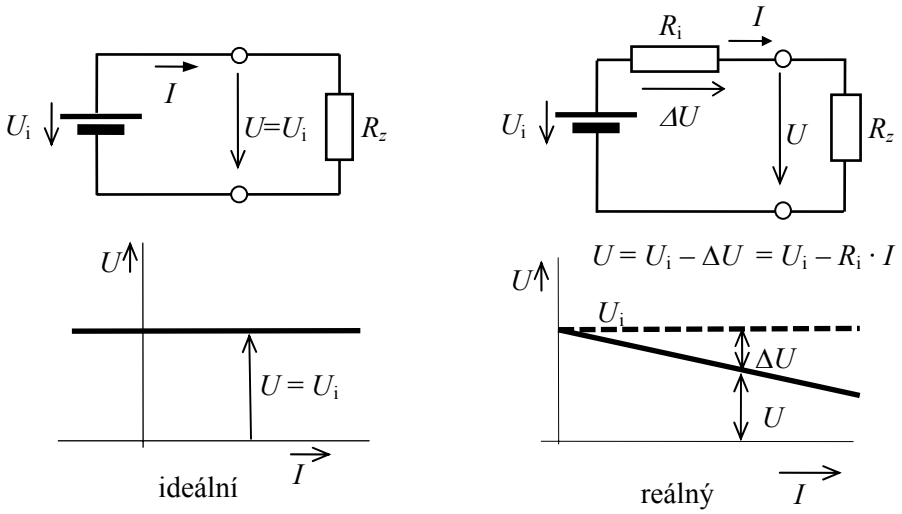
Ve skutečnosti jsou všechny prvky elektrických obvodů reálné. Ale v některých případech jsou parazitní vlastnosti tak malé, že je můžeme zanedbat. Např. odpor u cívky většinou zanedbat nemůžeme, ale svodový odpor je u kvalitního kondenzátoru většinou tak malý, že ho zanedbat můžeme.

3.1 Aktivní prvky elektrických obvodů – zdroje

Zdroje elektrické energie přeměňují jiný druh jiný druh energie na elektrickou. Z hlediska teoretické elektrotechniky rozeznáváme napěťový a proudový zdroj.
Proudový zdroj – napájí obvod konstantním proudem. Výstupní napětí se mění podle toho, jakou zátěž (spotřebič) k němu připojíme. Proudové zdroje nejsou v praxi příliš časté, příkladem je např. svářečka. Proudovými zdroji se nebudeme dále zabývat.
Napěťový zdroj – napájí obvod konstantním napětím. Výstupní proud se mění podle toho, jakou zátěž (spotřebič) k němu připojíme. Napěťové zdroje jsou v praxi častější.

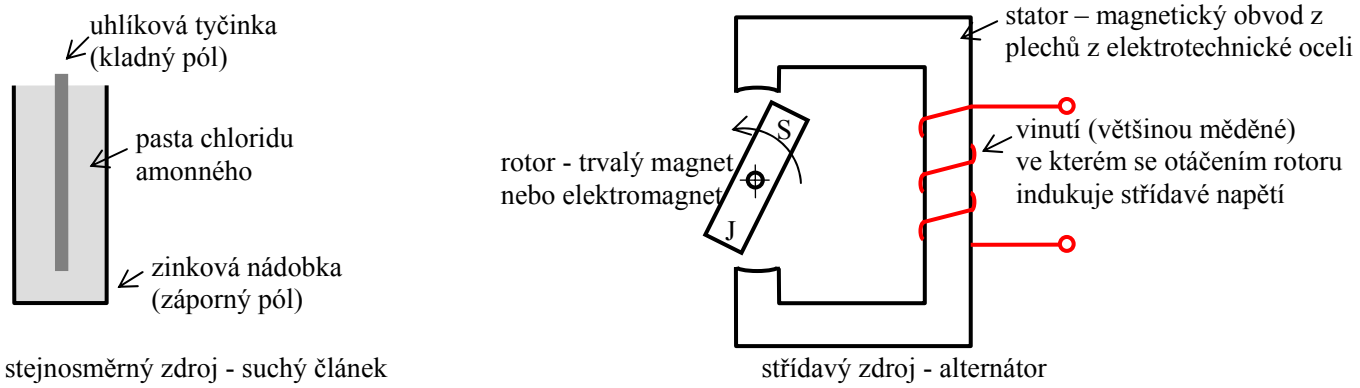
Ideální napěťový zdroj
U ideálního napěťového zdroje je výstupní napětí konstantní, bez ohledu na velikost odebíraného proudu. Vnitřní napětí U_i (pomyslné napětí, které má zdroj uvnitř) je za všech okolností rovno napětí na svorkách zdroje U.

Reálný napěťový zdroj
U tohoto zdroje dochází při odběru proudu k poklesu napětí na svorkách. (Praktickým příkladem je např. když při startování auta vlivem velkého odběru z baterie poklesne napětí a trochu pohasnou světla.)
V náhradním schémat reálného zdroje kreslíme vnitřní odpor R_i, na kterém při odběru proudu vznikne úbytek napětí. Pokud ze zdroje neodebíráme žádný proud (stav naprázdno), je svorkové napětí U rovno přímo vnitřnímu napětí U_i.
V praxi se všechny zdroje chovají jako reálné. Ve skutečnosti v nich není zapojen žádný odpor R_i, (to je pouze pomyslný odpor v náhradním schématu).
Úbytek napětí je způsoben nedokonalostí zdroje.
Pokud má zdroj úbytek napětí malý, říkáme že je **napěťově tvrdý** (např. akumulátor v autě), pokud má zdroj úbytek napětí velký, říkáme že je **napěťově měkký** (např. devítivoltová destičková baterie).



Obr. 5 – Napěťový zdroj ideální a reálný a jejich voltampérové charakteristiky

Praktickou realizací stejnosměrného napěťového zdroje je například suchý článek (monočlánek), akumulátor, nebo síťový zdroj sestávající z transformátoru a usměrňovače.
Praktickou realizací střídavého napěťového zdroje je například točivý generátor – alternátor.



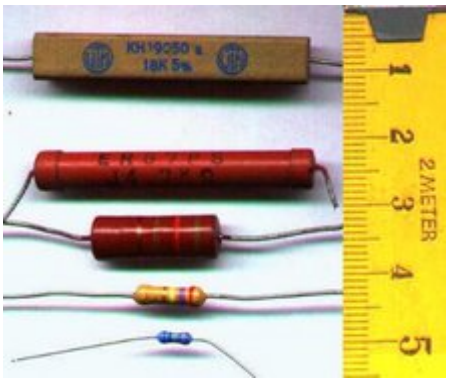
Obr.6 – Příklady napěťových zdrojů

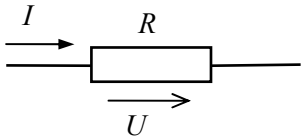
3.2 Pasivní prvky elektrických obvodů - spotřebiče

Rezistor
Rezistor (hovorově nazývaný odpor) přeměňuje elektrickou energii na teplo.
Jeho vlastností je odpor který má jednotku Ohm (Ω).
Mezi napětím a proudem na rezistoru platí Ohmův zákon, viz kapitola 2.2.
Pro výkon na rezistoru lze s využitím Ohmova zákona psát:

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

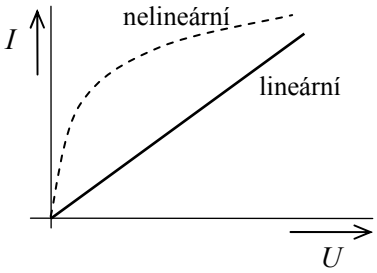
Rezistory bývají vyrobeny z odporového vodiče (většinou navinutého na keramickém jádře), nebo z malého válečku odporové hmoty.
Běžně používané rezistory mají odpory zhruba od 1Ω do 10 MΩ.
Při používání rezistorů je důležitý jejich dovolený ztrátový výkon (pro konkrétní rezistor ho udává výrobce), který se nesmí překročit, jinak se rezistor spálí. Běžné miniaturní rezistory pro elektroniku mívají dovolený ztrátový výkon pouze 0,5 W, některé i méně, naproti tomu například regulační rezistory u starších typů elektrických lokomotiv mají ztrátové výkony několik set kilowattů.





Známe-li rozměry a vlastnosti materiálu, lze odpor vypočítat podle vztahu: $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$ $(\Omega; \Omega \cdot \mathrm{m}, \mathrm{m}, \mathrm{m}^2)$

Kde: ρ je měrný odpor (rezistivita) materiálu, pro měď přibližně $0{,}0176 \cdot 10^{-6}$ Ω·m, pro hliník $0{,}03 \cdot 10^{-6}$ Ω·m,
l je délka vodiče,
S je průřez vodiče.



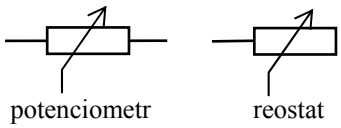
Obr.6 – Fotografie, schématická značka, a voltampérová charakteristika rezistoru

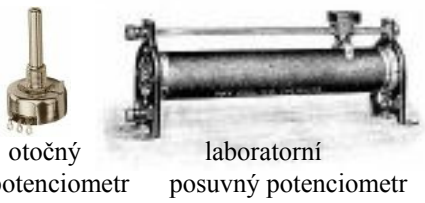
Ve většině případů se odpor poněkud mění s teplotou. U kovů roste, u nekovů klesá. Tuto závislost vyjadřuje vztah:

$$R_\upsilon = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\upsilon) \qquad (\Omega; \Omega, \mathrm{K}^{-1}, \mathrm{K})$$

Kde: R_υ je odpor při teplotě υ,
R_{20} je odpor při základní teplotě, nejčastěji při 20 °C
α je součinitel teplotní závislosti odporu
$\Delta\upsilon$ je oteplení (skutečná teplota mínus základní teplota)

U některých materiálů se odpor mírně mění i s osvětlením, nebo mechanickým namáháním a podobně.





Obr.7 – Proměnné rezistory

V praxi je většina rezistorů lineárních. Příkladem nelineárního rezistoru (odporu) je například žárovka. Za studena (při malém napětí) má vlákno malý odpor, když je rozžhavená, má odpor až desetkrát větší, proto má voltampérová charakteristika tvar přibližně takový, jak je na obr. 6 pro nelineární rezistor.

Ideální rezistor se chová stejně v obvodě stejnosměrného i střídavého napětí.
U většiny běžně vyráběných rezistorů můžeme zanedbat parazitní vlastnosti (považovat je za ideální).
Pouze u některých drátových rezistorů vyrobených z odporového drátu navinutého na jádře (podobně jako cívka) musíme při vyšších kmitočtech počítat s parazitní indukčností.
V praxi se někdy používají i proměnné rezistory – potenciometr (3 vývody) nebo reostat (2 vývody).
Každý potenciometr lze zapojit jako reostat.

Cívka (induktor – ideální cívka)

Je to součástka, v níž se elektrická energie přeměňuje na magnetické pole. Ideální cívka má pouze jednu vlastnost a tou je indukčnost L, jednotkou indukčnosti je Henry (H).
Elektrická energie se v cívce v podobě magnetického pole akumuluje a cívka je schopna ji přeměnit zpět na elektrickou energii – naindukovat napětí. Cívka se chová jako setrvačnost vůči proudu – neklade odpor proudu jako takovému, ale jeho změně. Pokud dochází v obvodě ke změně proudu, cívka indukuje takové napětí, které působí proti této změně – snaží se zachovat proud konstantní.
(V případě náhlého přerušení proudu může cívka naindukovat tak velké napětí, které může vyvolat jiskru, poškodit obvod, nebo způsobit úraz – stovky až tisíce voltů. Toho se využívá např. v zapalování v benzínových motorech.)

Napětí indukované na cívce se dá vyjádřit vztahem: $U_L = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$ nebo $u_L = L \cdot \frac{di}{dt}$ (V; A, s)

Cívky bývají vyrobeny z izolovaného vodiče navinutého na jádře. Jako izolace často slouží pouze tenká vrstva laku, tzv. smalt – smaltované vodiče. Jádro může být buď z neferomagnetického materiálu, nebo feromagnetického materiálu (ocel, ocelové plechy nebo ferit) – takové cívce se pak říká tlumivka.
Na obrázku 8. jsou schématické značky a fotografie cívek.

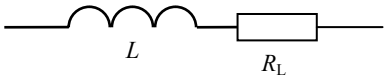
Cívky bez feromagnetického jádra jsou lineární, cívky s feromagnetickým jádrem (tlumivky) jsou nelineární, ale v určité pracovní oblasti často nelinearitu zanedbáváme.

Prakticky používané cívky mívají hodnoty indukčnosti řádově μH až mH (bez jádra) a mH až jednotky H (tlumivky).

Obr. 8 – Schématické značky a fotografie cívek

Reálná cívka

Skutečně existující cívky mají vždy kromě indukčnosti i odpor, protože jsou navinuty z vodiče, který má odpor. Náhradní schéma skutečné cívky se skládá ze sériového spojení ideální cívky a rezistoru, viz obr. 9.



Obr. 9 – Náhradní schéma reálné cívky

Pro napětí na reálné cívce platí: $u_L = L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i$

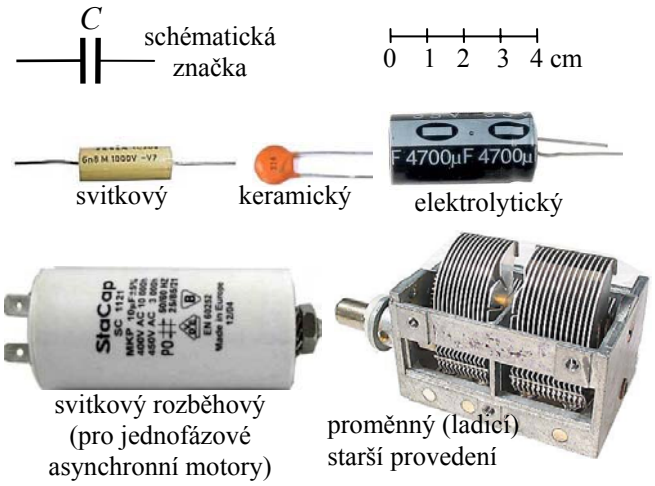
Kondenzátor (kapacitor – ideální kondenzátor)

Kondenzátor je prvek v němž se akumuluje energie elektrického pole. Jeho parametrem je kapacita C, jednotkou kapacity je Farad (F). V ideálním kondenzátoru nevznikají žádné ztráty. V kondenzátoru se hromadí elektrický náboj Q podle vztahu:

$Q = C \cdot U$

Pro proud kondenzátorem platí vztah:

$I_C = C \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}$ nebo $i_C = C \frac{du}{dt}$ (A; F, V, s)



Obr.10 – Schématická značka a foto kondenzátorů

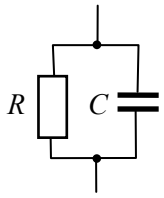
Chování kondenzátoru je v podstatě opakem chování cívky. Kondenzátor se chová jako setrvačnost vůči napětí. Po připojení na zdroj konstantního napětí se nabije (počáteční nabíjecí proud může být i velmi velký, téměř jako zkrat), po nabití jím už prakticky žádný proud neprochází. Začneme-li kondenzátor vybíjet, je schopen po omezenou dobu dodávat do obvodu proud – chová se jako zdroj.
Kondenzátory bývají vyráběny jako dvě elektrody, mezi nimiž je tenká vrstva nevodivého materiálu (zvaného v tomto případě dielektrikum). Dielektrikem může být například vzduch, fólie nebo elektrolyt. Většinou jsou elektrody i s dielektrikem svinuty do válečku. Kromě kapacity je důležitým parametrem kondenzátoru i dovolené napětí – nesmí se překročit, jinak se kondenzátor zničí. U elektrolytických kondenzátorů je potřeba dodržovat i polaritu napětí, při přepólování se elektrolytický kondenzátor zničí, nelze ho používat na střídavé napětí. Jednotka kapacity 1 Farad je velmi velká, běžně vyráběné kondenzátory mívají kapacity od pF do mF.

Reálný kondenzátor

Reálný (skutečný) kondenzátor má kromě kapacity navíc ještě svodový odpor. Ten je dán nedokonalostí dielektrika a projevuje se samovybíjením kondenzátoru. V náhradním schématu (obr. 11) se značí paralelním odporem. Většina vyráběných kondenzátorů je tak kvalitních, že svodový odpor můžeme při běžných výpočtech zanedbat – považovat je za ideální. Pokud nabijeme kvalitní kondenzátor na napětí, je schopen si ho udržet po několik hodin až dnů, z toho plyne nebezpečí úrazu elektrickým proudem u

zařízení s kondenzátory i po odpojení ze sítě. Pro proud procházející reálným kondenzátorem platí vztah:

$$i = \frac{u}{R} + C\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$$



Obr.11 - Náhradní schéma reálného kondenzátoru

Poznámka:

Jak cívka, tak kondenzátor, se uplatní pouze ve střídavých obvodech, kde se projevuje změna napětí a proudu v čase. Ve stejnosměrných obvodech se uplatní pouze v přechodných dějích, v ustáleném stavu ve stejnosměrném obvodě se cívka chová pouze jako vodič a kondenzátor jako přerušení obvodu.

4 Řazení prvků (sériové, paralelní, transfigurace)

Sériové řazení

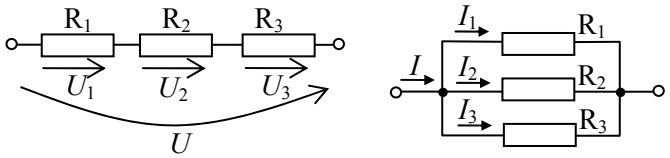
Sériové řazení je spojení prvků (např. rezistorů, nebo jiných) za sebou, viz obr. 12. Všemi sériově spojenými prvky prochází stejný proud, celkové napětí U se rozdělí na jednotlivé prvky, podle II. Kirchhoffova zákona potom platí: $U = U_1 + U_2 + U_3 + ...$

Takové spojení můžeme nahradit jediným prvkem, vztah pro výpočet náhradního prvku je v tabulce 1.

Paralelní spojení

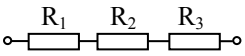
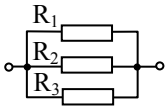
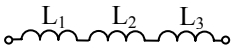
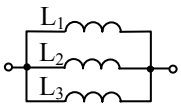
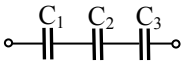
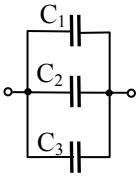
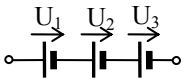
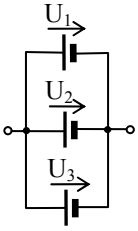
Paralelní spojení je spojení prvků vedle sebe, viz obr 12. Na všech paralelně spojených prvcích je stejné napětí, celkový procházející proud se rozdělí mezi jednotlivé prvky, podle I. Kirchhoffova zákona potom platí: $I = I_1 + I_2 + I_3 + ...$

Také u paralelního spojení můžeme nahradit několik prvků jediným prvkem, vztah pro výpočet jeho hodnoty je v tabulce 1.



sériové řazení paralelní řazení

Obr. 12 - Sériové a paralelní řazení rezistorů

	sériové řazení	paralelní řazení
rezistory	 $R = R_1 + R_2 + R_3 + ... = \sum_{i=1}^{n} R_i$	 $R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ...} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}}$
cívky	 $L = L_1 + L_2 + L_3 + ... = \sum_{i=1}^{n} L_i$	 $L = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + ...} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{L_i}}$
konden-zátory	 $C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ...} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}}$	 $C = C_1 + C_2 + C_3 + ... = \sum_{i=1}^{n} C_i$
zdroje napětí	 $U = U_1 + U_2 + U_3 + ... = \sum_{i=1}^{n} U_i$ Doporučuje se spojovat pouze stejné zdroje (stejné napětí a jmenovitý proud, u baterií, monočlánků a akumulátorů i stejná kapacita). Nejlépe zdroje stejného typu.	 podmínka $U_1 = U_2 = U_3 = U$ kapacita (baterií) $C = C_1 + C_2 + C_3 + ...$ (Ah) Toto zapojení zvětší kapacitu zdroje a zmenší vnitřní odpor (neplést s kapacitou kondenzátoru). Zde je vysloveně podmínkou, aby zdroje měly stejné napětí (jinak by mezi nimi tekly vyrovnávací proudy, které by je mohly poškodit, v krajním případě i zničit). Nejlépe, aby zdroje měly stejné i ostatní parametry – nejlépe zdroje stejného typu. Pro laiky takové spojování zdrojů nedoporučuji.

Tabulka 1. Vztahy pro výpočet sériově a paralelně řazených prvků (vztahy platí pro libovolný počet prvků)

5 Metody řešení lineárních obvodů

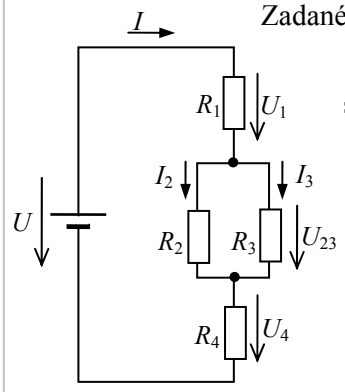
Řešení, neboli analýza elektrického obvodu spočívá v tom, že pro daný obvod výpočtem hledáme neznámé obvodové veličiny. Většinou máme zadané hodnoty napětí zdrojů a parametry prvků (odpory, indukčnosti, kapacity) a chceme vypočítat neznámé proudy. Zpravidla počítáme s lineárními prvky.
Základní metody řešení lineárních elektrických obvodů jsou :

- metoda postupného zjednodušování obvodu,
- řešení obvodu pomocí soustavy rovnic na základě Kirchhoffových zákonů,
- další metody: metoda smyčkových proudů, metoda uzlových napětí, metoda superpozice a další.

5.1 Metoda postupného zjednodušování obvodu (opakování fyziky)

Tuto metodu lze použít pouze v obvodech s jedním zdrojem (nebo s několika zdroji řazenými do série, které se chovají jako jeden). Její podstatou je postupné nahrazování sériových a paralelních skupin pasivních prvků ekvivalentními prvky. Nakonec dospějeme k jedinému pasivnímu prvku a zdroji. Pomocí Ohmova zákona vypočítáme proud a pak se postupně vracíme po krocích k původnímu nezjednodušenému obvodu a dopočítáváme proudy a napětí na jednotlivých prvcích. Příklad řešení je na obr. 13.

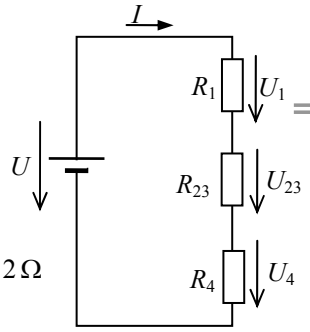
Zadání: V obvodě podle schématu určete hodnoty všech proudů.
Zadané hodnoty: $U = 18\text{V}$; $R_1 = 1\ \Omega$; $R_2 = 3\ \Omega$; $R_3 = 6\ \Omega$; $R_4 = 3\ \Omega$



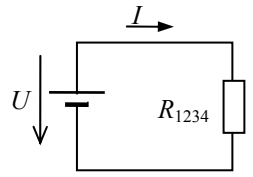
1. krok
zadané zapojení

R_2 a R_3 jsou paralelně.
Nahradíme je jediným náhradním prvkem R_{23}

$$R_{23} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = 2\,\Omega$$



2. krok



3. krok

R1, R_{23} a R_4 jsou sériově.
Nahradíme je jediným náhradním prvkem R_{1234}
$R_{1234} = R_1 + R_{23} + R_4 =$
$= 1 + 2 + 3 = 6\ \Omega$

4. krok
Podle Ohmova zákona vypočítáme proud I.

$$I = \frac{U}{R_{1234}} = \frac{18}{6} = 3\text{ A}$$

5. krok
Vrátíme se ke schématu z kroku 2.
Podle Ohmova zákona vypočítáme napětí U_1 , U_{23} a U_4.
$U_1 = R_1 \cdot I = 1 \cdot 3 = 3\text{ V}$
$U_1 = R_{23} \cdot I = 2 \cdot 3 = 6\text{ V}$
$U_1 = R_4 \cdot I = 3 \cdot 3 = 9\text{ V}$

6. krok
Vrátíme se ke schématu z kroku 1.
Podle Ohmova zákona vypočítáme proudy I_2 a I_3.

$$I_2 = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{6}{3} = 2\text{ A}$$

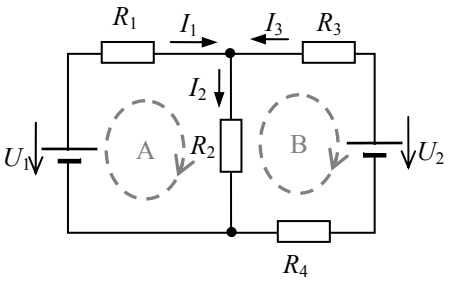
$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{6}{6} = 1\text{ A}$$

Obr. 13 – Příklad řešení obvodu metodou postupného zjednodušování

5.2 Řešení obvodu Kirchhoffovými zákony (metoda Kirchhoffových rovnic)

Obvod, ve kterém je více zdrojů v různých větvích, nelze vyřešit metodou postupného zjednodušování. Musíme použít některou ze složitějších metod. První z nich je „Metoda Kirchhoffových rovnic“. Pomocí I. a II. Kirchhoffova zákona můžeme sestavit několik rovnic, které popisují libovolný lineární elektrický obvod a vyřešením této soustavy rovnic vypočítáme neznámé proudy a napětí, při známých napětích zdrojů a velikostech odporů rezistorů. Příklad řešení touto metodou je na obr. 14.

Zadání: V obvodě podle schématu určete hodnoty všech proudů.
Zadané hodnoty: $U_1 = 16$ V; $U_2 = 28$ V; $R_1 = 12\ \Omega$; $R_2 = 4\ \Omega$; $R_3 = 6\ \Omega$; $R_4 = 3\ \Omega$



V zadaném obvodě jsou 3 neznámé proudy, ostatní hodnoty a veličiny známe.
Sestavíme 3 rovnice o 3 neznámých podle I. a II. Kirchhoffova zákona.
Podle I. Kirchhoffova zákona pro horní uzel:
$I_1 + I_3 - I_2 = 0$
(Protože I_1 a I_3 tečou do uzlu, přisoudili jsme jim kladné znaménko, I_2 teče ven, proto má znaménko záporné.)
Pro smyčky A a B sestavíme dvě rovnice pro napětí podle II. Kirchhoffova zákona.
Napětí na rezistorech vyjádříme podle Ohmova zákona jako $U{\cdot}I$. Napětí které jsou ve směru šipek bereme jako kladná, napětí která jsou proti směru šipek jako záporná.
$-U_1 + R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 = 0$
$-R_3 \cdot I_3 + U_2 - R_4 \cdot I_3 - R_2 \cdot I_2 = 0$
Do rovnic dosadíme číselné hodnoty:

$$I_1 + I_3 - I_2 = 0$$
$$-16 + 12 \cdot I_1 + 4 \cdot I_2 = 0$$
$$-6 \cdot I_3 + 28 - 3 \cdot I_3 - 4 \cdot I_2 = 0$$

Řešení soustavy rovnic zde nebudeme rozebírat (je to středoškolská matematika), uvedeme rovnou výsledek:
$I_1 = 0{,}5$ A
$I_2 = 2{,}5$ A
$I_3 = 2$ A
Kdyby některý z proudů vyšel záporný, znamená to, že ve skutečnosti teče obráceně, než ukazuje šipka tohoto proudu ve schématu.

Obr. 14 – Příklad řešení obvodu metodou Kirchhoffových rovnic

5.3 Další metody řešení obvodů

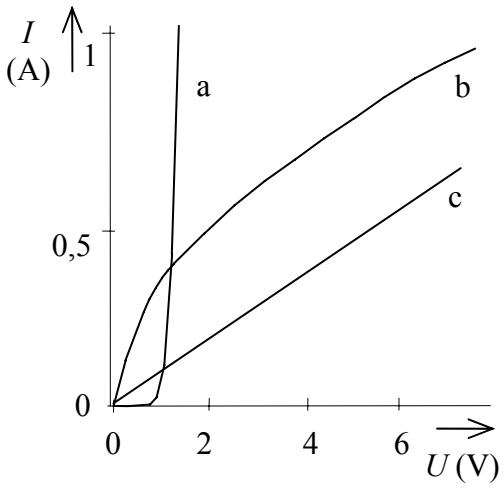
U složitějších obvodů s větším počtem smyček by řešení vedlo na velké soustavy rovnic s mnoha neznámými. Takové řešení by bylo matematicky velmi složité a pracné (zvláště bez využití výpočetní techniky) a také náchylné k dělání chyb. Proto byly vyvinuty další metody řešení elektrických obvodů, které snižují počet rovnic a neznámých. Jsou to například:

- metoda smyčkových proudů
- metoda uzlových napětí
- metoda náhradního napěťového zdroje
- metoda náhradního proudového zdroje
- metoda superpozice
- metoda řezů

Pro některé typy obvodů jsou některé z výše uvedených metod vhodnější, jiné méně (volba záleží na zkušenosti výpočtáře). Tyto metody jsou popsány v odborné literatuře a není nutné je zde rozebírat.
K řešení elektrických obvodů existuje mnoho různých počítačových programů, které ve svých algoritmech využívají některé z výše uvedených metod (ale to většinou uživatel nepotřebuje vědět).

6 Nelineární obvody

Kromě lineárních prvků, kterými jsme se zabývali v předchozích kapitolách, existují i prvky nelineární.
U lineárních prvků je procházející proud přímo úměrný napětí. Poměr mezi napětím a proudem (což je vlastně odpor) je konstantní, jejich voltampérová charakteristika je přímka.
U nelineárních prvků je závislost mezi napětím a proudem obecná, není lineární. To znamená, že jejich odpor se mění s přiloženým napětím, potažmo s procházejícím proudem. Jejich voltampérová charakteristika není přímka, viz obr. 15.
Takové prvky se nazývají <u>nelineární</u>. Ve skutečnosti jsou všechny reálné prvky alespoň mírně nelineární a to proto, že při průchodu proudu v nich vznikají Jouleovy ztráty, prvek se zahřívá a tím se mění jeho odpor. U většiny prvků můžeme ovšem tuto nelinearitu zanedbat. Jsou



Obr.15 – Nelineární voltampérové charakteristiky
a) diody b) žárovky c)lineárního odporu

ovšem prvky, u kterých nelinearitu zanedbat nemůžeme, nebo ji dokonce využíváme (usměrňování, zesilování, stabilizace ap.).
Řešení obvodů s nelineárními prvky je podstatně složitější, než u lineárních obvodů a v rámci těchto materiálů se jím nebudeme zabývat. Pro řešení je možné použít metodu linearizace v okolí pracovního bodu, metodu náhradního proudového nebo napěťového zdroje, nebo popsat chování prvku matematickou rovnicí.