Stejnosměrný proud – základní pojmy

PROUD, PROUDOVÁ HUSTOTA

- elektrický proud – elektrický náboj prošlý průřezem vodiče za jednotku času: $I = \dfrac{Q}{t}$ (A, C, s)
- proudová hustota: $J = \dfrac{I}{S}$ $(\dfrac{\mathrm{A}}{\mathrm{mm}^2}, \mathrm{A}, \mathrm{mm}^2)$, výpočet kruhového průřezu z průměru: $S = \dfrac{\pi d^2}{4}$ $(\mathrm{mm}^2, \mathrm{mm})$

OHMŮV ZÁKON, ODPOR, VODIVOST

- základní tvar Ohmova zákona pro stejnosměrný obvod s odporem: $I = \dfrac{U}{R}$ (A, V, Ω)
- vodivost – převrácená hodnota odporu: $G = \dfrac{1}{R}$ (S, Ω)
- Ohmův zákon s vodivostí: $I = UG$ (A, V, S)

MĚRNÝ ODPOR, MĚRNÁ VODIVOST

- měrný odpor – odpor vodiče o jednotkovém průřezu a jednotkové délce: ρ $(\dfrac{\Omega \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}})$
- výpočet odporu vodiče z rozměrů a materiálu: $R = \rho \dfrac{l}{S}$ $(\Omega, \dfrac{\Omega \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}, \mathrm{m}, \mathrm{mm}^2)$
- měrná vodivost: $\gamma = \dfrac{1}{\rho}$ $(\dfrac{\mathrm{Sm}}{\mathrm{mm}^2}, \dfrac{\Omega \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}})$

ZÁVISLOST ODPORU NA TEPLOTĚ

- výpočet odporu po oteplení o $\Delta\vartheta$: $R_2 = R_1(1 + \alpha.\Delta\vartheta)$ (Ω, Ω, K^{-1}, K)
- teplotní součinitel odporu α (K^{-1}) - poměrné zvýšení odporu při zvýšení teploty o 1 K

PRÁCE A VÝKON STEJNOSMĚRNÉHO PROUDU

- výkon elektrického proudu: $P = UI$ (W, V, A)
- práce elektrického proudu: $A = Pt = UIt$ (J, W, s)
- výkon elektrického proudu na odporu: *R*: $P = RI^2$ (W, Ω, A)
- práce elektrického proudu na odporu: $A = RI^2 t$ (J, Ω, A, s)

KIRCHHOFFOVY ZÁKONY

- První Kirchhoffův zákon: součet proudů vstupujících do uzlu je roven součtu proudů z uzlu vystupujících.

nebo: Algebraický součet proudů v uzlu je roven nule. *(zde je třeba zohlednit znaménko)*

- Druhý Kirchhoffův zákon: Součet napětí zdrojů v uzavřené smyčce je roven součtu úbytků napětí na spotřebičích v téže smyčce.

nebo: Algebraický součet napětí v uzavřené smyčce je roven nule.

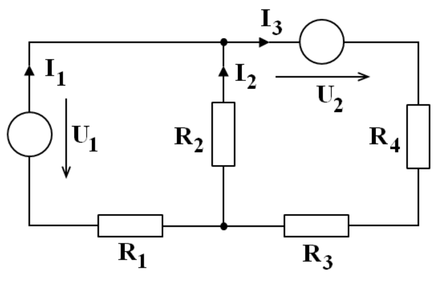
Příklad použití - obvod podle obr.:

1. Označíme v obvodu napětí a proudy ve všech větvích.
2. Napíšeme rovnice podle Kirchoffových zákonů.

první smyčka: $-U_1 - R_2 I_2 + R_1 I_1 = 0$

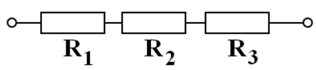
druhá smyčka: $U_2 + R_4 I_3 + R_3 I_3 + R_2 I_2 = 0$

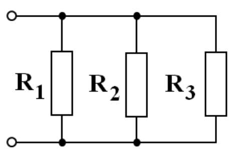
uzel: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$



SÉRIOVÉ A PARALELNÍ ŘAZENÍ ODPORŮ

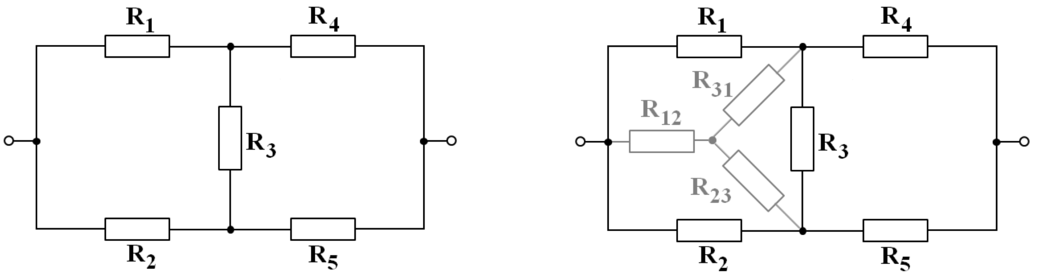
- sériové řazení: $R = R_1 + R_2 + R_3 + ...$
- paralelní řazení: $\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3} + ...$
    - pozor – výsledek je převrácená hodnota celkového odporu, nikoliv výsledný odpor!
    - pro dva odpory platí $R = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ (ale pouze pro dva odpory, nelze zobecnit)





TRANSFIGURACE TROJÚHELNÍKA NA HVĚZDU

Zapojení odporů v trojúhelníku není sérioparalelní kombinace. Abychom obvod vyřešili, musíme trojúhelník převést na hvězdu.



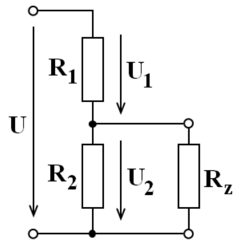
- odpory v trojúhelníku R_1, R_2, R_3 (vlevo) nahradíme odpory hvězdy R_{12}, R_{23}, R_{31} (vpravo)
- lze odvodit, že $R_{12} = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$; $R_{23} = \dfrac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$; $R_{31} = \dfrac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$
- upravený obvod posléze řešíme jako sérioparalelní kombinaci odporů

VĚTA O NAPĚŤOVÉM DĚLIČI

Poměr dvou napětí mezi určitými místy v obvodu je roven poměru příslušných odporů, tedy těch, které se nacházejí mezi těmito místy.

- postup:
  - Napíšeme rovnici podle věty o napěťovém děliči.
  - Vyřešíme rovnici pro konkrétní neznámou.

Příklad (zatížený dělič napětí):
napětí U_2 je na paralelní kombinaci R_2, R_z, proto platí například



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{\dfrac{R_2 R_z}{R_2 + R_z}};$$

nebo

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

ÚBYTEK NAPĚTÍ A ZTRÁTY NA VEDENÍ

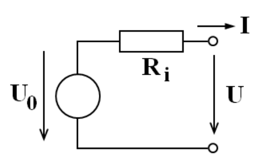
- odpor dvojvodičového vedení: $R_\mathrm{v} = \rho \dfrac{2l}{S}$ $(\Omega, \dfrac{\Omega\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}, \mathrm{m}, \mathrm{mm}^2)$
- úbytek napětí na vedení: $\Delta U_\mathrm{v} = R_\mathrm{v} I$ (V, Ω, A)
- ztráty na vedení: $\Delta P_\mathrm{v} = R_\mathrm{v} I^2$ (W, Ω, A) nebo také $\Delta P_\mathrm{v} = \Delta U_\mathrm{v} I$ (W, V, A)

ZTRÁTY A ÚČINNOST

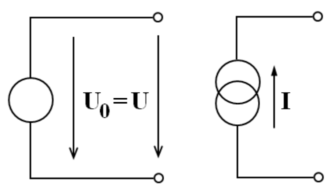
- účinnost je obecně poměr výkonu P a příkonu P_p zařízení; v poměrných jednotkách: $\eta = \dfrac{P}{P_\mathrm{p}}$ (–, W, W)
- účinnost vyjádřená v procentech: $\eta = \dfrac{P}{P_\mathrm{p}}.100$ (%, W, W)
- vztah mezi příkonem, výkonem a ztrátami (obecně): $P_\mathrm{p} = P + \Delta P$

STEJNOSMĚRNÉ ZDROJE

- lineární zdroj napětí: má konstantní vnitřní odpor R_i = konst
  - napětí naprázdno neboli vnitřní napětí zdroje $U_0 = U_\mathrm{i}$
  - svorkové napětí zdroje U
  - napěťová rovnice: $U = U_0 - R_\mathrm{i} I$
  - úbytek napětí uvnitř zdroje: $\Delta U_\mathrm{i} = R_\mathrm{i} I$
  - ztráty ve zdroji: $\Delta P_\mathrm{i} = R_\mathrm{i} I^2$
  - proud nakrátko: $I_\mathrm{k} = \dfrac{U_0}{R_\mathrm{i}}$



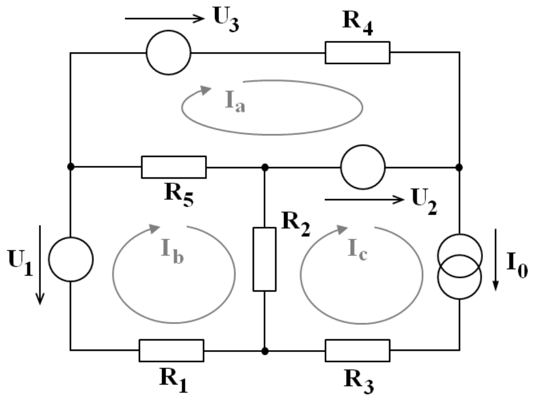
- ideální zdroj napětí (vlevo) má nulový vnitřní odpor $R_\mathrm{i} = 0$, svorkové napětí se rovná napětí naprázdno $U = U_0$
- ideální zdroj proudu (vpravo) má nekonečně velký vnitřní odpor, dodává do obvodu (zátěže R_z) konstantní proud I



Metody řešení složitějších obvodů

METODA SMYČKOVÝCH PROUDŮ

Použití: při řešení obvodů s více zdroji a spotřebiči, které obsahují méně smyček a více uzlů (smyčka – uzavřená část obvodu; uzel – místo, kde se stýkají nejméně tři vodiče).



Postup:

- v obvodu vybereme a označíme smyčky, ve smyčkách pojmenujeme smyčkové proudy;
    - každá větev obvodu musí být aspoň v jedné smyčce;
    - žádná smyčka nemůže být celá součástí jiných smyček;
- pro všechny smyčky napíšeme rovnice podle druhého Kirchhoffova zákona.

Příklad:

smyčka s proudem I_a: $U_3 + R_4 I_a - U_2 + R_5(I_a - I_b) = 0$

smyčka s proudem I_b: $-U_1 + R_5(I_b - I_a) + R_2(I_b - I_0) + R_1 I_b = 0$

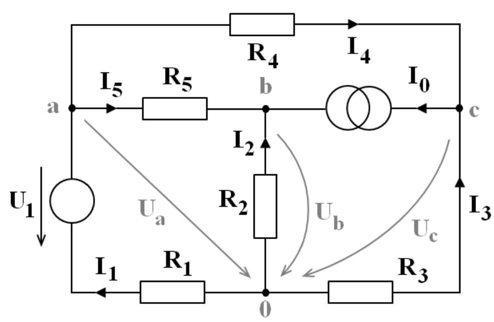
ve větvi se zdrojem proudu je smyčkový proud roven proudu tohoto zdroje (zde $I_c = I_0$), pro smyčku s tímto proudem rovnici nepíšeme – nelze vyjádřit úbytek napětí na proudovém zdroji

METODA UZLOVÝCH NAPĚTÍ

Použití: při řešení obvodů s více zdroji a spotřebiči, které obsahují méně uzlů a více smyček; je vhodná pro obvody s proudovými zdroji.

Postup:

- v obvodu vybereme referenční uzel, nejlépe ten, kde se stýká více větví. Jeho potenciál (napětí) stanovíme na nulu;
- označíme ostatní uzly a uzlová napětí v nich;
- označíme proudy ve všech větvích obvod;
- napíšeme rovnice pro uzly podle prvního Kirchhoffova zákona.



Příklad:

uzel a: $I_1 - I_5 - I_4 = 0$

uzel b: $I_5 + I_2 + I_0 = 0$

uzel c: $I_3 + I_4 - I_0 = 0$

po dosazení

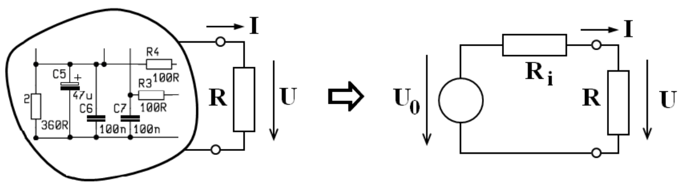
$$\frac{0\ -\ (U_a - U_1)}{R_1} - \frac{U_a - U_b}{R_5} - \frac{U_a - U_c}{R_4} = 0$$

$$\frac{U_a - U_b}{R_5} + \frac{0 - U_b}{R_2} + I_0 = 0$$ (proud proudového zdroje dosazujeme přímo)

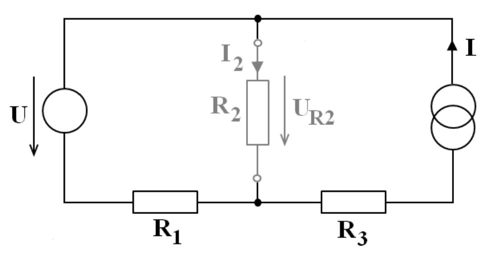
$$\frac{0 - U_c}{R_3} + \frac{U_a - U_c}{R_4} - I_0 = 0$$

THÉVENINOVA VĚTA

Jakýkoli obvod (tvořený lineárními prvky) lze z pohledu dvou svorek nahradit jednoduchým obvodem složeným z ideálního zdroje U_0 napětí a sériového odporu R_i.
Napětí náhradního zdroje se určí jako napětí naprázdno mezi příslušnými svorkami (tedy rozpojenými svorkami).
Velikost sériového odporu se zjistí jako odpor obvodu z pohledu těchto svorek, když se zdroje nahradí jejich vnitřními odpory (tj. napěťové zdroje se zkratují a proudové zdroje vyřadí).



Postup: překreslíme obvod podle Théveninovy věty; vypočítáme vhodnou metodou U_0 a R_i; spočítáme v náhradním obvodu napětí a proud mezi sledovanými svorkami.

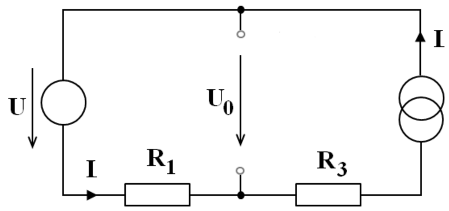


Příklad: je třeba určit U_{R2} a I_2 (na odporu R_2 mezi vyznačenými svorkami).

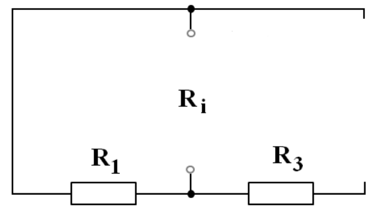
výpočet U_0:(druhý Kirchhoffův zákon): $U + R_1 I - U_0 = 0 \qquad U_0 = U + R_1 I$

výpočet R_i: $R_i = R_1$

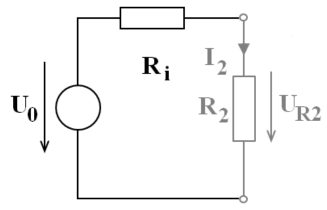
v náhradním obvodu platí $I_2 = \dfrac{U_0}{R_i + R_2}$ a $U_{R2} = R_2 I_2$



překreslený obvod pro výpočet U_0

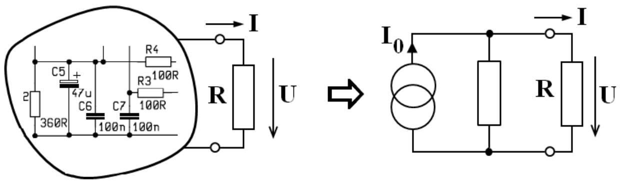


překreslený obvod pro výpočet R_i



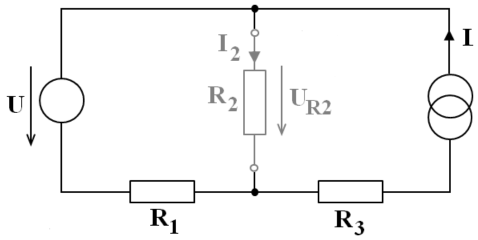
náhradní obvod

NORTONOVA VĚTA



Jakýkoli obvod (tvořený lineárními prvky) lze z pohledu dvou svorek nahradit jednoduchým obvodem složeným z ideálního zdroje proudu I_0 a paralelního odporu R_i.
Proud náhradního zdroje se určí jako proud nakrátko mezi příslušnými svorkami (tedy spojenými dokrátka).
Velikost paralelního odporu se zjistí jako odpor obvodu z pohledu těchto svorek, když se zdroje nahradí jejich vnitřními odpory (tj. napěťové zdroje se zkratují a proudové zdroje vyřadí).

Postup: překreslíme obvod podle Nortonovy věty; vypočítáme vhodnou metodou I_0 a R_i; spočítáme v náhradním obvodu napětí a proud mezi sledovanými svorkami.

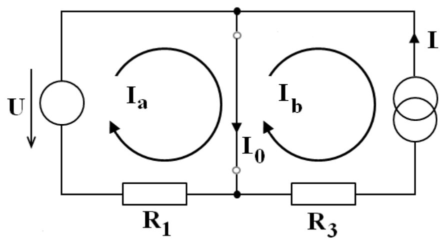


Příklad: je třeba určit U_{R2} a I_2.
výpočet I_0 (např. metodou smyčkových proudů):

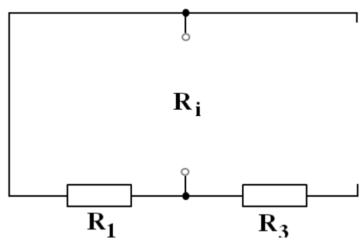
$$-U + R_1 I_\mathrm{a} = 0 \qquad I_\mathrm{b} = -I \; ; \qquad I_0 = I_\mathrm{a} - I_\mathrm{b} = \frac{U}{R_1} + I$$

výpočet R_i: $R_\mathrm{i} = R_1$ (shodný s Théveninovou větou)

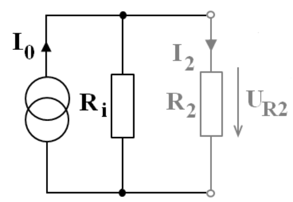
v náhradním obvodu platí: $U_{R2} = \dfrac{R_i R_2}{R_i + R_2} I_0$; $I_2 = \dfrac{U_{R2}}{R_2}$



překreslený obvod pro výpočet I_0



překreslený obvod pro výpočet R_i



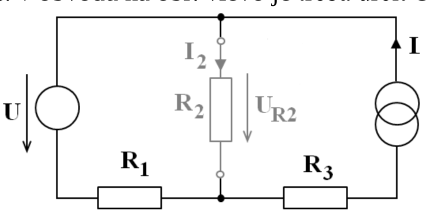
náhradní obvod

PRINCIP SUPERPOZICE

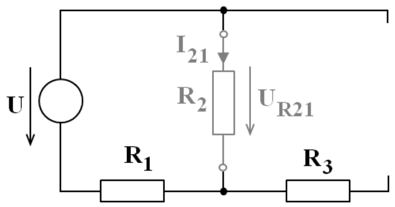
Obvod s *n* zdroji (tvořený lineárními prvky) se řeší *n*-krát jako obvod vždy jen s jedním zdrojem. Ostatní zdroje se nahradí jejich vnitřními odpory (tj. napěťové zdroje se zkratují a proudové zdroje vyřadí). Výsledné veličiny na sledovaném prvku se algebraicky sečtou.

Postup: překreslíme obvod podle pravidla superpozice; vypočítáme vhodnou metodou napětí a proud na sledovaném odporu; pokračujeme v překreslování a výpočtech obvodu s dalšími zdroji, dokud je všechny nevyčerpáme; sečteme výsledné veličiny na sledovaném odporu algebraicky, tj. s ohledem na znaménka.

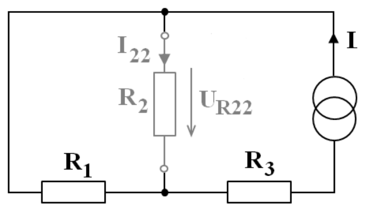
Příklad: v obvodu na obr. vlevo je třeba určit U_{R2} a I_2.



původní obvod



překreslený obvod se zdrojem U



překreslený obvod se zdrojem I

výpočet U_{R21} obvodu se zdrojem napětí (podle věty o napěťovém děliči): $U_{\mathrm{R21}} = \dfrac{R_2 U}{R_1 + R_2}$; proud $I_{21} = \dfrac{U}{R_1 + R_2}$

výpočet U_{R22} obvodu se zdrojem proudu: $U_{\mathrm{R22}} = \dfrac{R_1 R_2 I}{R_1 + R_2}$ (proud I teče paralelní kombinací R_1, R_2); proud $I_{22} = \dfrac{R_1 I}{R_1 + R_2}$

superponované výsledky: $U_{\mathrm{R2}} = U_{\mathrm{R21}} + U_{\mathrm{R22}} = \dfrac{R_2 U}{R_1 + R_2} + \dfrac{R_1 R_2 I}{R_1 + R_2}$; $\quad I_2 = I_{21} + I_{22} = \dfrac{U}{R_1 + R_2} + \dfrac{R_1 I}{R_1 + R_2}$

Elektrostatické pole

Elektrostatické pole vzniká v okolí nábojů. Lze ho znázornit siločarami – indukčními čarami. Siločáry vystupují z kladných nábojů a vstupují do záporných – elektrostatické pole je zřídlové.

VELIČINY ELEKTROSTATICKÉHO POLE

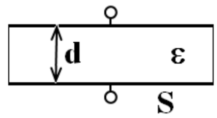
- elektrický indukční tok Ψ (C) – odpovídá celkovému množství siločar, číselně je roven náboji: $\Psi = Q$
- elektrická indukce D (C/m^2) – lze ji chápat jako plošnou hustotu siločar: $D = \dfrac{Q}{S}$
- intenzita elektrického pole E (V/m) – napětí připadající na jednotku délky (1 m) siločáry: $E = \dfrac{U}{l}$
- permitivita ε (F/m) – měrná vodivost prostředí pro elektrostatické pole, charakterizuje vodivost části prostředí o jednotkovém průřezu a jednotkové délce: $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_\mathrm{r}$

  $\varepsilon_0 = 8{,}854.10^{-12}\ \mathrm{F/m}$ je permitivita vakua, $\varepsilon_r(-)$ je relativní permitivita; uvádí, kolikrát vede prostředí elektrostatické pole lépe než vakuum
- vztah mezi veličinami elektrostatického pole: $D = \varepsilon E$

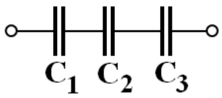
KAPACITA A KONDENZÁTORY

Kondenzátor je tvořen dvěma elektrodami, mezi nimiž je izolant – dielektrikum. Charakteristickou vlastností každého kondenzátoru je kapacita C (F – farad).

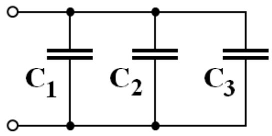
- kapacita C je tím větší, čím větší náboj se vejde do kondenzátoru při určitém napětí: $C = \dfrac{Q}{U}$
- výpočet C z rozměrů kondenzátoru a permitivity: $C = \varepsilon \dfrac{S}{d}$ (S je plocha elektrod, d jejich vzdálenost čili tloušťka dielektrika)



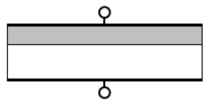
- sériově řazené C se sčítají podobně jako paralelní odpory: $\dfrac{1}{C} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \dfrac{1}{C_3} + ...$ (pro dvě C platí $C = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$); napětí na jednotlivých C se sčítají, náboje všech C jsou stejné



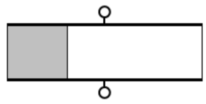
- paralelně řazené C se sčítají podobně jako sériové odpory: $C = C_1 + C_2 + C_3 + ...$; jejich náboje se sčítají, napětí na všech C je stejné



- kondenzátory s vrstveným dielelektrikem: D je v obou částech dielektrika stejná, E jsou různé



- kondenzátory s děleným dielelektrikem: D jsou různé, E je stejná



SÍLY V ELEKTROSTATICKÉM POLI

Coulombův zákon: mezi dvěma náboji Q_1, Q_2 vzdálenými r působí síla $F = \dfrac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}$.

- síla působící na náboj Q v elektrostatickém poli E: $F = QE$ (elektrická indukce D ve vzdálenosti r od náboje Q v bodě na kulové ploše je $D = \dfrac{Q}{S} = \dfrac{Q}{4\pi r^2}$. intenzita elektrického pole $E = \dfrac{D}{\varepsilon_0\varepsilon_\mathrm{r}} = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_\mathrm{r} r^2}$)

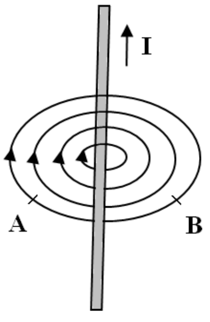
ENERGIE ELEKTROSTATICKÉHO POLE

- energie nahromaděná v elektrostatickém poli vytvořeném náboji Q, mezi nimiž je napětí U: $W = \dfrac{1}{2} QU$
- energie elektrostatického pole kapacity C nabité na napětí U: $W = \dfrac{1}{2} CU^2$

Magnetické pole – základní pojmy

Magnetické pole vzniká v okolí vodičů s proudem. Lze ho znázornit siločarami – indukčními čarami. Siločáry jsou uzavřené křivky – magnetické pole je vírové.
Je vhodné rozdělit magnetické veličiny do tří skupin:

ZDROJOVÉ VELIČINY



Jsou nezbytné k vytvoření magnetického pole – budí magnetické pole.

- elektrický proud I (A) – siločáry kolem přímého vodiče mají tvar soustředných kružnic (obr.)
- magnetomotorické napětí F_m (A) – součet všech proudů, které vyvolávají magnetické pole; pro více vodičů $F_m = \sum I$, pro cívku s N závity $F_m = NI$
- magnetické napětí U_m (A) – část magnetomotorického napětí připadající na úsek délky siločáry (mezi body A a B); součet magnetických napětí podél celé siločáry je roven F_m
- intenzita magnetického pole H (A/m) – magnetomotorické napětí připadající na jednotku délky (1 m) siločáry; $H = \frac{F_m}{l}$ nebo $H = \frac{U_m}{l}$; u siločáry okolo přímého vodiče ve tvaru kružnice je $H = \frac{I}{2\pi r}$

MATERIÁLOVÉ VELIČINY

Charakterizují, jak prostředí vede magnetické pole.

- magnetická vodivost Λ (H – henry)
- magnetický odpor R_m (1/H); $R_m = \frac{1}{\Lambda}$ (magnetický odpor je převrácená hodnota magnetické vodivosti)
- permeabilita μ (H/m) – měrná magnetická vodivost, charakterizuje vodivost části prostředí o jednotkovém průřezu a jednotkové délce

  $\mu = \mu_0 \mu_r$ ($\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ H/m je permeabilita vakua, $\mu_r(-)$ je relativní permeabilita; většina materiálů má $\mu_r \cong 1$, zatímco běžná feromagnetika (viz dále) v řádu desítek až tisíců
- výpočet magnetické vodivosti: $\Lambda = \mu \frac{S}{l}$; S je průřez magnetického obvodu, l je délka siločáry; u dlouhé cívky čili solenoidu je l délka cívky, u prstencové cívky neboli toroidu délka střední siločáry ($l = 2\pi r$)

VELIČINY MAGNETICKÉHO POLE

- magnetický tok Φ (Wb – weber) – charakterizuje magnetické pole celkově (odpovídá celkovému množství siločar)
- magnetická indukce B (T – tesla) – charakterizuje magnetické pole místně, lze ji chápat jako plošnou hustotu siločar: $B = \frac{\Phi}{S}$

VZTAHY MEZI ZDROJOVÝMI VELIČINAMI A VELIČINAMI POLE

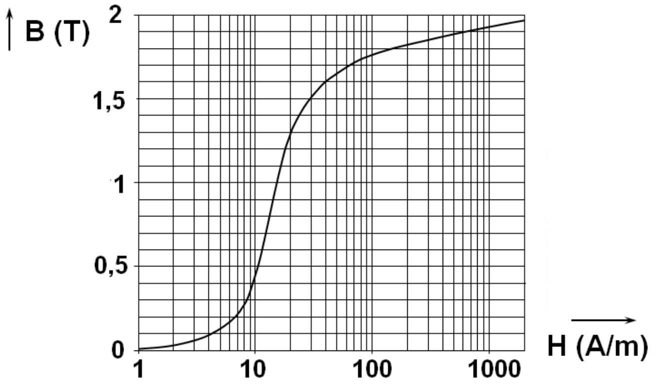
$\Phi = \Lambda F_m$ – Hopkinsonův zákon, obdoba Ohmova zákona pro magnetické pole

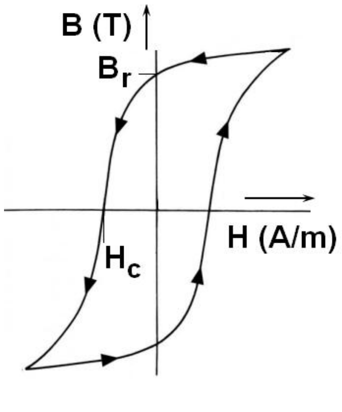
$B = \mu H$ – podobný vztah pro „měrné“ veličiny; vznikne z Hopkinsonova zákona dosazením: $BS = \mu \frac{S}{l} Hl$

FEROMAGNETICKÉ LÁTKY

Nejdůležitější feromagnetické látky (též feromagnetika) jsou železo a ferity.

- magnetizační křivka feromagnetik, též křivka prvotní magnetizace – závislost B = f (H), je nelineární (obr. vlevo), při vyšších hodnotách H se projevuje sycení (B roste pomaleji); μ_r není konstantní
- hysterezní křivka – u feromagnetik se při střídavém magnetování mění B v závislosti na H různě podle směru magnetizace (obr. vpravo); závislost B = f (H) se nazývá hysterezní křivka; remanentní (zbytková) indukce B_r je hodnota B, kterou si feromagnetikum udrží po vypnutí zdroje magnetování, koercitivní intenzita H_c je potřebná hodnota H pro odmagnetování

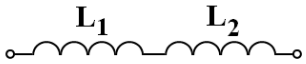




VLASTNÍ INDUKČNOST

Vlastní indukčnost L (H) je charakteristickou vlastností každé cívky.

- výpočet L z vodivosti magnetického obvodu a počtu závitů cívky: $L = \Lambda N^2$
- statická definice vlastní indukčnosti: $L = \dfrac{N\Phi}{I}$
- dynamická definice vlastní indukčnosti: $u_i = L\dfrac{\Delta i}{\Delta t}$ (indukční zákon pro L – viz dále)
- sériově řazené L se sčítají podobně jako odpory: $L = L_1 + L_2$



ENERGIE MAGNETICKÉHO POLE

- energie nahromaděná v části magnetického pole vybuzené magnetickým napětím U_m: $W = \dfrac{1}{2}\Phi U_\mathrm{m}$
- energie magnetického pole vlastní indukčnosti L protékané proudem i: $W = \dfrac{1}{2}Li^2$

Jevy v magnetickém poli

Elektromagnetická indukce

INDUKČNÍ ZÁKON

Indukční Faradayův zákon: při časové změně magnetického toku se ve vodiči indukuje napětí $u_\mathrm{i} = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, v cívce s N závity pak $u_\mathrm{i} = N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Časová změna magnetického toku $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ je změna magnetického toku o $\Delta\Phi$ za časový okamžik Δt.

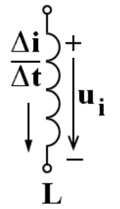
Indukované napětí může být

- transformační - závit se nepohybuje, magnetický tok procházející plochou závitu se mění v čase;
- pohybové – vzniká při pohybu vodiče ve statickém magnetickém poli; lze vyjádřit i vztahem $U_\mathrm{i} = Blv$ (pokud se vodič délky l v magnetickém poli B pohybuje kolmo na siločáry rychlostí v).

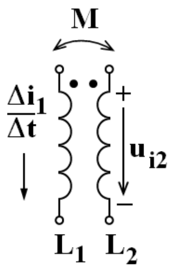
Lenzovo pravidlo: indukované napětí či jím vyvolaný proud působí vždy proti změně, která ho vyvolala.

Pravidlo pravé ruky: lze jím určit směr proudu, který vznikne po uzavření obvodu ve vodiči, do nějž se indukuje pohybové napětí (siločáry magnetického pole vstupují do dlaně, palec ukazuje směr pohybu vodiče, prsty směr proudu).

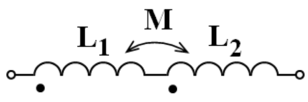
VLASTNÍ A VZÁJEMNÁ INDUKČNOST



- dynamická definice L vychází z napětí indukovaného na L při časové změně proudu (samoindukce): $u_\mathrm{i} = L\dfrac{\Delta i}{\Delta t}$
- podle Lenzova pravidla působí toto napětí proti změně (při nárůstu proudu působí jako protinapětí, při poklesu proudu se snaží zachovat původní směr proudu); na obr. je naznačena polarita u_i při nárůstu proudu i v čase



- vzájemná indukčnost M – charakterizuje magnetickou vazbu dvou cívek: časovou změnou proudu v první cívce se indukuje napětí ve druhé cívce $u_{\mathrm{i}2} = M\dfrac{\Delta i_1}{\Delta t}$; platí též obráceně $u_{\mathrm{i}1} = M\dfrac{\Delta i_2}{\Delta t}$ (dynamická definice M); na obr. je naznačena polarita $u_{\mathrm{i}2}$ při nárůstu proudu i_1; tečky naznačují začátky vinutí cívek
- mezi vlastními indukčnostmi obou cívek L_1 a L_2 a vzájemnou indukčností M platí vztah $M = \kappa\sqrt{L_1L_2}$ ($\kappa \le 1$ je činitel vazby; u těsné vazby, kdy téměř celý magnetický tok prochází oběma cívkami, se blíží 1)
- výpočet M z vodivosti magnetického obvodu a počtu závitů cívek: $M = \Lambda N_1N_2$
- výpočet M dvou sériově řazených cívek: $L = L_1 + L_2 \pm 2M$; znaménko + nebo – závisí na tom, jestli se magnetické toky obou cívek podporují (na obr.) nebo působí proti sobě



Síly v magnetickém poli

Ampérův zákon síly: na vodič délky l s proudem I umístěný v magnetickém poli B kolmo na siločáry působí síla $F = BIl$.

Pravidlo levé ruky: lze jím určit směr síly působící podle Ampérova zákona (siločáry magnetického pole vstupují do dlaně, prsty ukazují směr proudu, palec směr síly).

Z Ampérova zákona síly lze odvodit sílu působící ve vakuu mezi dvěma rovnoběžnými vodiči délky l protékanými proudy I_1, I_2 a vzdálenými od sebe a: $F = BIl = \mu_0 HI_1l = 4\pi.10^{-7}\dfrac{I_2}{2\pi a}I_1l = \dfrac{2.10^{-7}I_1I_2l}{a}$; při souhlasném směru proudů se vodiče přitahují a naopak.