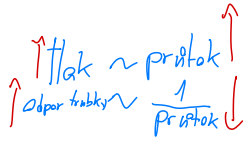


Energie

- nemizí, neda' se vytvorit
- + Schopnost konat práci

Ohmův zákon

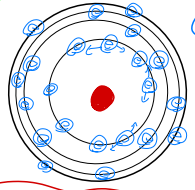
- Napětí: $U [V]$ ~ tlak
- Proud: $I [A]$ ~ průtok
- Odpor: $R [\Omega]$ ~ odpor trubky



- 1) $U = I \cdot R [V]$
- 2) $I = \frac{U}{R} [A]$
- 3) $R = \frac{U}{I} [\Omega]$



Atom

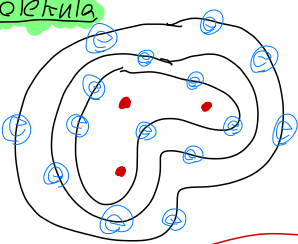


e... elektron - vázaný na vrstvu atomu

Valenční vrstva

- poslední vrstva atomu
- jádro je přitahuje tak málo, že jsou schopné přeskocit do jiné vrstvy

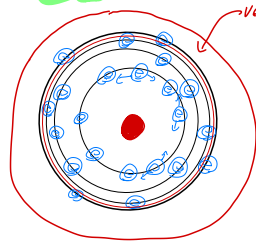
Molekula



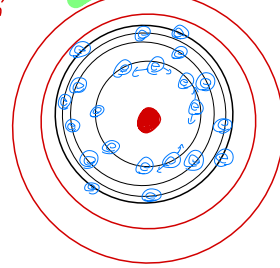
Vodivostní vrstva

- nad valenční vrstvou
- elektrony v ní nejsou vůbec vázaný

Vodič



Nevodiv



Proud - tok elektronů

... pohyb elektronů



El. odpor

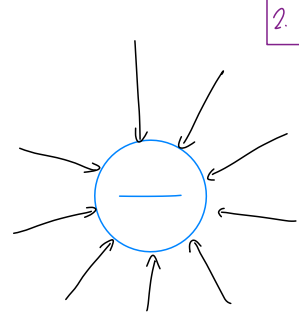
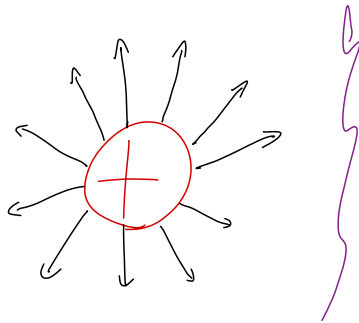
El. vodivost: $G = \frac{1}{R} [S]$

- přepneš vodivostní vrstvu
- elektrony do sebe naráží
- produkují teplo
- materiál není dokonalý



El. náboj - QIC

- vlastnost hmoty ~ elektron
- $\oplus$ a $\ominus$
- Proud = pohyb $\ominus$ od $-$ k $+$
 ↳ Amper: pohyb $\oplus$ od $+$ k $-$
- Vlastnosti: Protiklady se přitahují
 Vždy se vyrovná

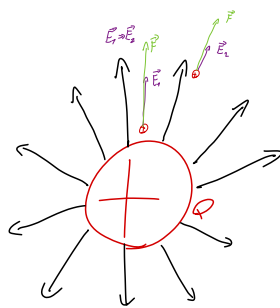


- Bodový náboj - neexistuje (0 hmotnost)
 - $Q^e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$

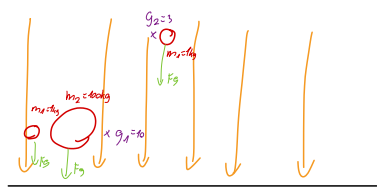
El. pole

- Analogie s gravitačním polem
- Schopnost působit na náboj, je zde pořád
- Zroutuje se siločarami
- Intenzita el. pole ~ gravitační intenzita

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot Q$$

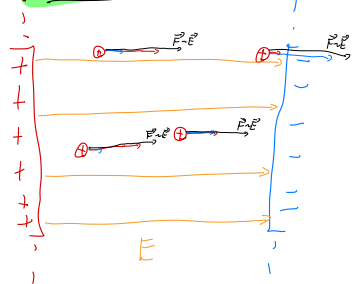


$$g_1 \Rightarrow g_2 \quad m_2 \Rightarrow m_1 \quad F_g = g \cdot m$$

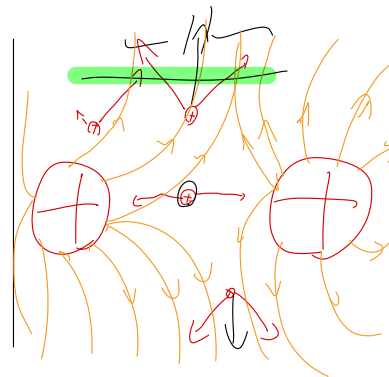
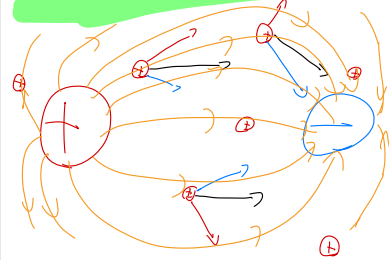


- má směr a velikost
- Popisuje el. pole v jednom bodě
- Coulombov zákon: $\vec{F} = \vec{E} \cdot Q \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} [V/m]$
 - síla i intenzita klesá s rostoucí vzdáleností

Homogenní pole



Ne homogenní



Sílové působení nábojů

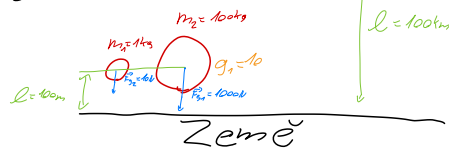
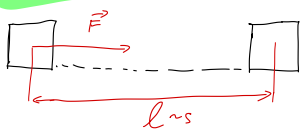
- 2 náboje na sebe působí:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

konst. $k \sim 10^9$

Práce - Síla působící po dráze

- Mechanika - $A = W = \vec{F} \cdot \vec{e} [J]$

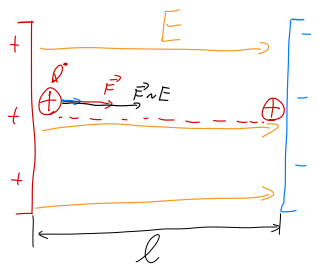


$\vec{F} = m \cdot g [N]$ $\vec{F}$
 $W = \vec{F} \cdot \vec{e} = m \cdot g \cdot e [J]$
 $25 = 5 \cdot 5 = (2+3) \cdot 5$

- Elektrická - v el. poli:

$\vec{F} \cdot \vec{e}$
 $m \cdot g \cdot e$

$A = W = Q \cdot E \cdot e = F \cdot e [J]$

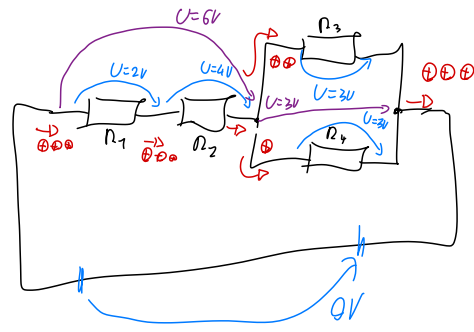


El. napětí... viz. Náčinná elektrotechnika (10)

- přesný údaj o el. poli
- rozdíl potenciálů... **NETEČE**
- (kolik práce by el. pole vykonalo, pokud bychom tam dali náboj (ale nemusíme to tam dávat))

Práce: $W = Q \cdot E \cdot e [V]$

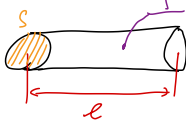
Napětí: $U = E \cdot e [V]$ perí tam to Q



Rezistivita = měrný odpor... ρ

- charakterizuje odpor materiálu (z tabulek)

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} [\Omega]$$



Závislost teploty na odporu

- větší teplota $\rightarrow$ atomy více kmitají $\rightarrow$ roztáhnou se = odpor

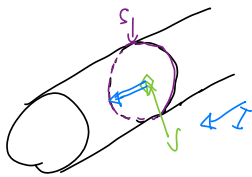
$$R_2 = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) [\Omega]$$

R_2 - odpor po zahřátí
 R_1 - počáteční odpor
 α - koeficient teploty
 Δt - změna teploty: $t_2 - t_1$

Proudová hustota

- proud v jednom bodě

$$I = j \cdot S \rightarrow j = \frac{I}{S} [A/m^2]$$



$$V_{\text{výkon}} - P = U \cdot I [W]$$

- příkon - to, co stroj dodáváme

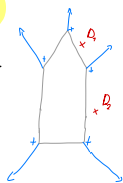
- výkon - to, co stroj reálně vykone (bez ztrát)

$$\text{Účinnost} = \frac{P_{\text{výkon}}}{P_{\text{příkon}}} \dots \eta = \frac{P_2}{P_1} (100) = \max 100\%$$

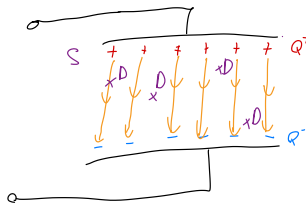
El. indukce (el. tok v bodě)

- plošná hustota indukčních čar

$$D = \frac{\Psi}{S} \dots \frac{Q}{S} [C/m^2]$$



$$D_1 \approx D_2$$



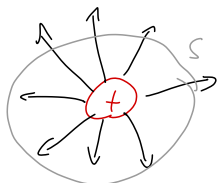
$$D = E \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r [C/m^2]$$

El. tok... $\Psi [C]$

- to samé jako náboj

- počet indukčních čar

$$\Psi = Q$$

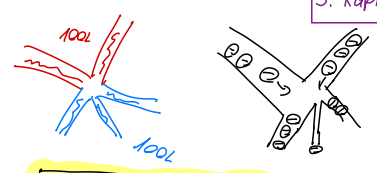
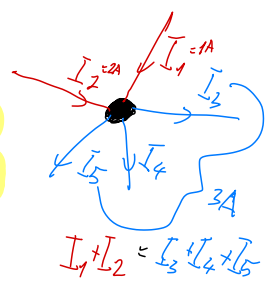


$$Q = 8C$$

$$\text{množička} \dots 1 \text{ IC} = 1C$$

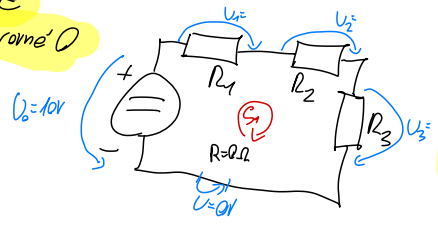
Kirchhoffovy zákony

I.KZ - zachování náboje
- co do nich vstane, to z něj musí vytect



$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

II.KZ - zachování energie
- napětí ve smyčce je rovné 0

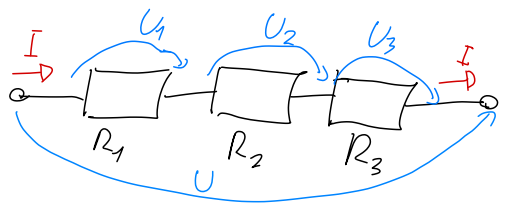


$$U_0 = U_1 + U_2 + U_3$$

$$U_0 - U_1 - U_2 - U_3 = 0$$

Spojování rezistorů

- Sériově



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

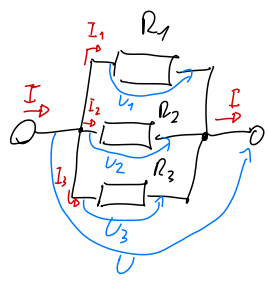
$$U = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I$$

$$U = I \cdot (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\frac{U}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

- Paralelně



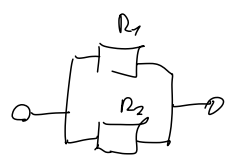
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

$$\frac{I}{R} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} + \frac{I}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

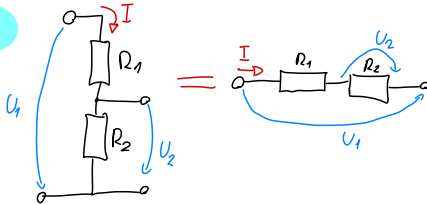
$$R = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1}$$



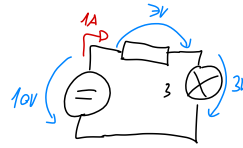
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Napětí dělič



$$R = \frac{U}{I} = \frac{7}{1} = 7\Omega$$



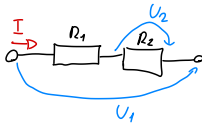
1. způsob

$$U_1 = 15V$$

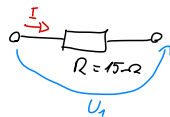
$$R_1 = 5\Omega$$

$$R_2 = 10\Omega$$

$$U_2 = ?$$



$$U_2 = R_2 \cdot I = 10 \cdot 1 = 10V$$



$$I = \frac{U_1}{R} = \frac{15}{15} = 1A$$

$$R = R_1 + R_2$$

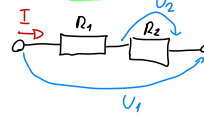
2. způsob

$$U_1 = 15V$$

$$R_1 = 5\Omega$$

$$R_2 = 10\Omega$$

$$U_2 = ?$$



$$I = \frac{U_1}{R}$$

$$I = \frac{U_2}{R_2}$$

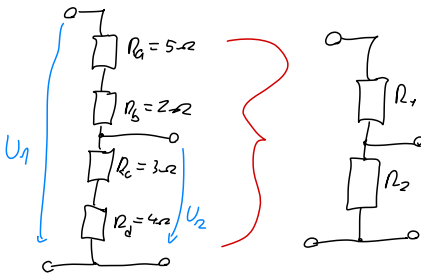
$$\frac{U_1}{R} = \frac{U_2}{R_2} \rightarrow \frac{U_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_2}{R_2} \rightarrow U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 15 \cdot \frac{10}{15} = 10V$$

Pr.

$$U_1 = 20V$$

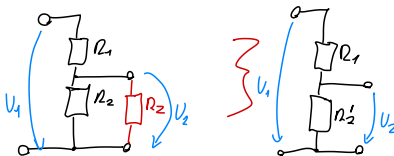
$$U_2 = ?$$



$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 20 \cdot \frac{3}{14} = 10V$$

Pr.

Mějme napětí dělič zatížený rezistorem $R_2 = 10\Omega$; $U_1 = 12V$; $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 3\Omega$

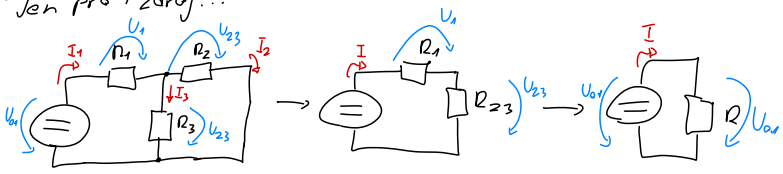


$$R_2' = \frac{R_2 \cdot R_2}{R_2 + R_2} = \frac{30}{13} = 2,3\Omega$$

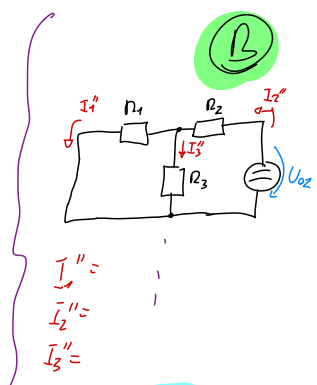
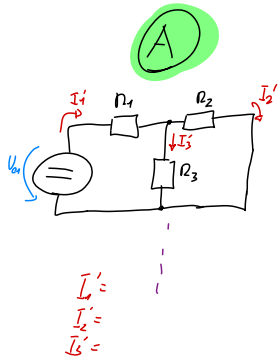
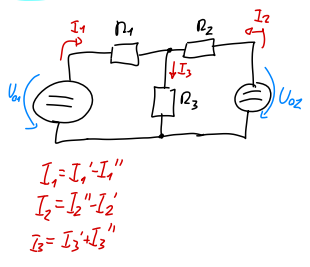
$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2'}{R_1 + R_2'} = 12 \cdot \frac{2,3}{7,3} = 3,8V$$

Postupné zjednodušenie

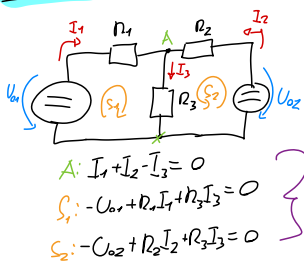
- Zjednodušenie na elementárni obvod
- len pro 1 zdroj!!!



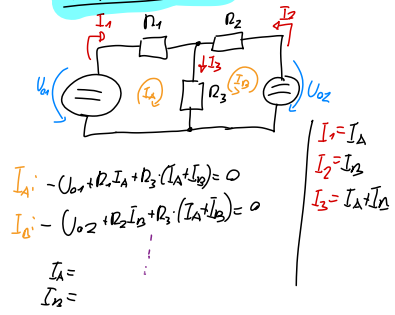
Superpozice



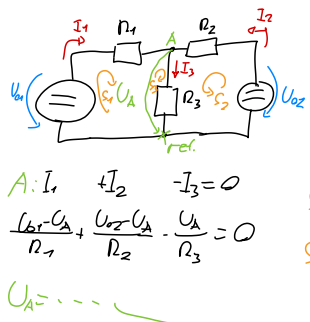
Metoda Kirchhoffových zákonů



Soustava rovnic



Uklad rovnice



Kondenzátor

- Konstrukce - 2 elektrody oddělené izolačním (dielektrikem)

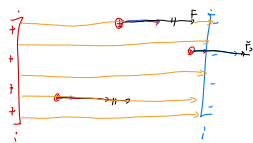
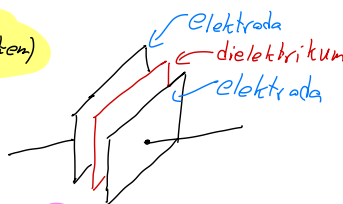
- Vlastnosti - Uchovává el. náboj Q ... *baterie*

$$Q = C \cdot U \cdot I \cdot t$$

- Kapacita - kolik místa v kondenzátoru je

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d} [F]$$

parametr *plocha elektrody* *vzdálenost elektrod*

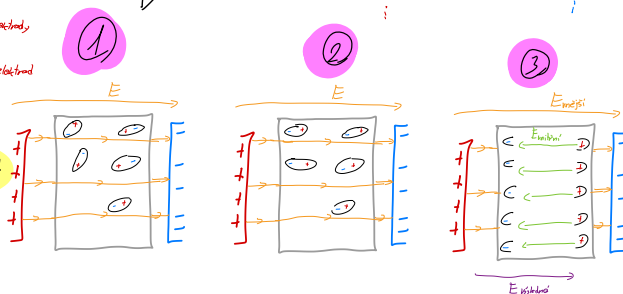


- Permitivita - Schopnost materiálu

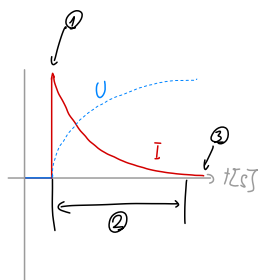
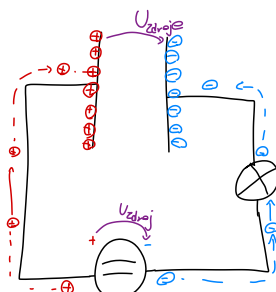
- Jak dobře se umí dielektrikum polarizovat

- Permitivita vakua $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} [F/m]$

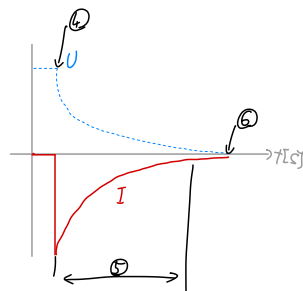
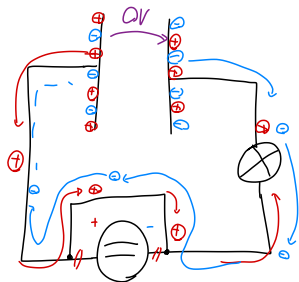
- relativní permitivita - konkrétní materiál

PrincipNabíjení

- ① Zapnutí zdroje
- ② od + tečou $\oplus$ a tlačí se do elektrody
od - tečou $\ominus$ a tlačí se do elektrody } *žárovka svítí*
- ③ Kondenzátor se nabití $\rightarrow$ další $\oplus$ a $\ominus$ netečou (navíc jich už není)
 $\hookrightarrow$ neteče proud... $I = 0 \rightarrow$ *žárovka nesvítí*
 $\hookrightarrow$ napětí je max... $U = \max$

Vybíjení

- ④ Vytřáskáme zdroj
- ⑤ $\oplus$ a $\ominus$ „vystřelily“ z elektrod a šli se „vyrovnat“
 $\hookrightarrow I = -\max$
 $U = \max$ a klesalo } *žárovka svítí*
- ⑥ Kondenzátor se vybil $\rightarrow I = 0$
 $U = 0$ } *žárovka nesvítí*

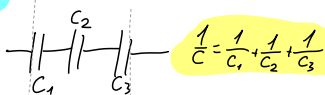


- Pokud bychom zdroj nevytřáskovali, ale jen odpojili $\rightarrow$ Kondenzátor by zůstal nabitý

- Pokud bychom pořád měnili polaritu zdroje $\rightarrow$ neustále nabíjení a vybíjení $\rightarrow$ *žárovka svítí „neustále“* = *Střídavý zdroj*

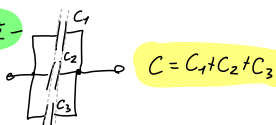
Spojování C

- Sériově



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

- Paralelně



$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Magnetostatika

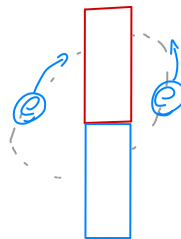
- Magnet - má magnet. pole

- Spin - vlastnost hmoty

- e^- má okolo sebe mini magnet. pole

- v každé orbitale jsou 2 opačné $\rightarrow$ vyruší se

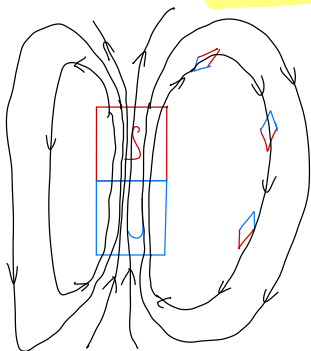
$\hookrightarrow$ Magnet je mají nabitěné stejno $\rightarrow$ generují magnet. pole



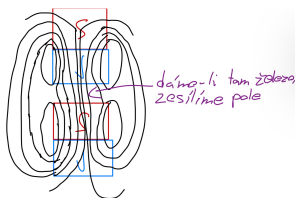
- Magnet. pole - Projevuje se silou na magnetické materiály a na vodiče pod proudem (pohybující se e^-)... Stejným směrem

- Zrůžnění - Pomocí siločar

- Orientace od S k J



- Protiklady se přitahují

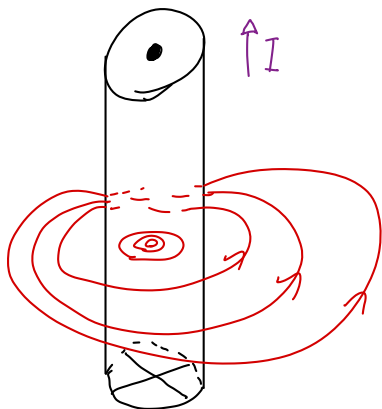


- Magnet. pole vodiče pod proudem

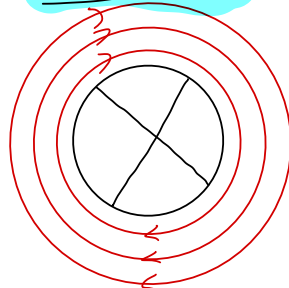
- Orientace dle Ampérova pravidla pravé ruky

- palec - směr proudu

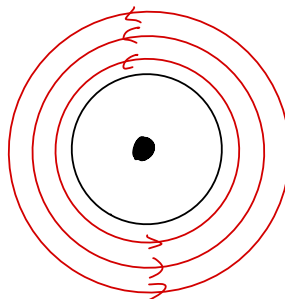
- prsty - směr siločar



Proud od nás



Proud k nám

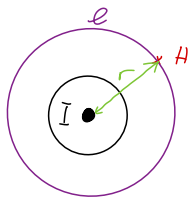


- Intenzita magnetického pole

- Popisuje mag. pole v 1 bodě

$$H = \frac{I}{\ell} = \frac{I}{2\pi r} [\text{A/m}] \quad \ell \neq r$$

→ délka sílačny !!!

- Magnetická indukce ~ Hs toba mag. toku

- Popisuje mag. pole v 1 bodě

- Bere v potaz i prostředí

$$B = H \cdot \mu_0 \cdot \mu_r [\text{T}]$$

→ Permeabilita - Schopnost materiálu zesilovat / zeslabovat mag. pole oproti vakuu

- Permeabilita vakua: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [\text{H/m}]$

- relativní permeabilita: daný materiál (viz. tabulka)

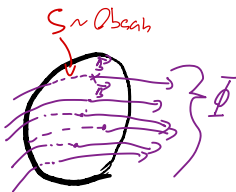
→ dělení: Diamagnetika - lehce zeslabují mag. pole
 $\mu_r < 1$ Paramagnetika - lehce zesilují mag. pole
 $\mu_r > 1$ Feromagnetika - velmi zesilují mag. pole
 $\mu_r \gg 1$ - Magnetický tok

- popisuje kompletní mag. pole

- B je magnet. tok v jednom bodě

→ součet těchto bodů = celk. magnet. tok

$$\Phi = B \cdot S [\text{Wb}]$$

- Speciální teorie relativity

- Magnetické a elektrické pole působí stejně

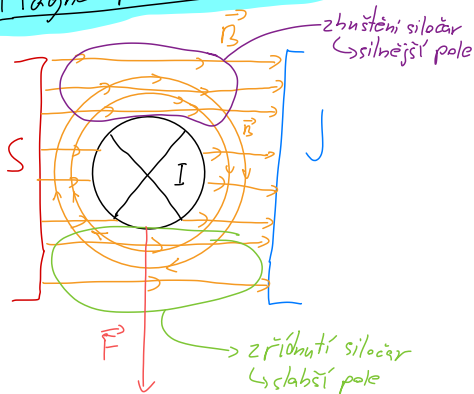
Elektrické - působí na jakýkoliv $\ominus$ Magnetické - působí jen na pohybující se $\ominus$

Materiál	μ_r [2][3]
Argon	0,999 999 989
Dusík	0,999 999 993
Měď	0,999 991
Rtut	0,999 969
Stříbro	0,999 974
Voda	0,999 991
Zlato	0,999 963
Hliník	1,000 023
Chrom	1,000 32
Kyslík plyný	1,000 001 86
Kyslík kapalný	1,003 620
Platina	1,000 27
Vzduch	1,000 000 35
Kobalt	80 až 200
Nikl	až 1 120
Železo	300 – 10 000
Permalloy	50 000 – 140 000

Sílové působení

- Hustější siločáry = silnější pole
- Elektrická síla - působí na jakýkoliv náboj
 - $F_e = Q \cdot E$
- Magnetická síla - působí na pohybující se náboj
 - $F_m = Q \cdot v \times B$
- Lorentzova síla - celková síla působící na náboj $\rightarrow F = F_e + F_m$

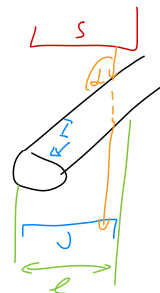
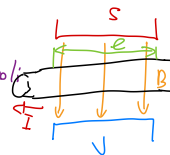
Magnet. pole a vodič s proudem



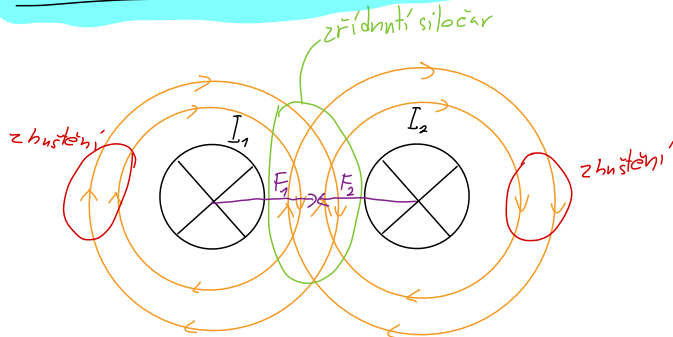
F ... výsledná síla působící na vodič
... od zhuštění ke zřídnutí siločar

$$F = B \cdot I \cdot l$$

l ... délka vodiče v magnet. poli



Sílové působení dvou vodičů pod proudem



$\Rightarrow$ Vodiče se přitahují pokud proud v nich teče STEJNÝM směrem

Zákon elektromagnetické indukce ~ Faradayův indukční zákon ~ Lenzův zákon

11. kapitola

- Jak pomocí magnet. pole vznikne el. pole a opačně

① Hýbal jsem s vodičem v magnet. poli... začalo na něj působit
↳ síla F_m je tlačí dolů → vznikl rozdíl potenciálů

② Kvůli rozdílu potenciálů vzniklo E ... E v opačném směru
↳ E tlačí elektrony zpět

③ Kvůli zákonu o zachování energie musí být $F_m = F_E$

④ $F_m = F_E$
 $q \cdot v \cdot B = q \cdot E$
 $v \cdot B = E$... vznik el. pole pomocí magnetického

⑤ Upravím si vzoreček na napětí ($U = E \cdot l$)

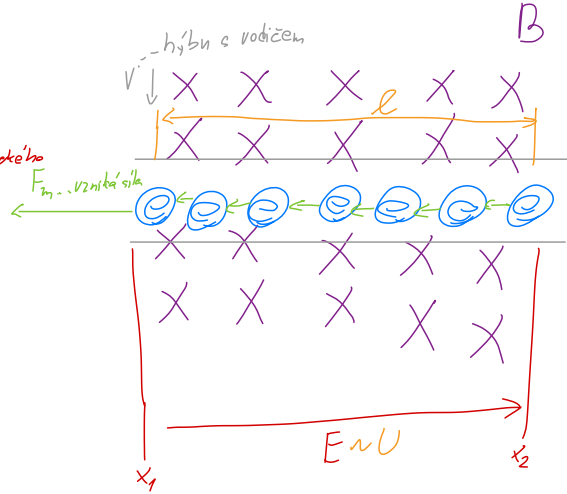
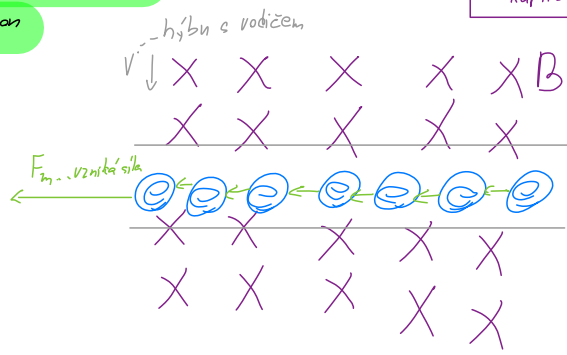
$$v \cdot B \cdot l = E \cdot l$$

$$v \cdot B \cdot l = U_i \dots \text{elektromotorické napětí}$$

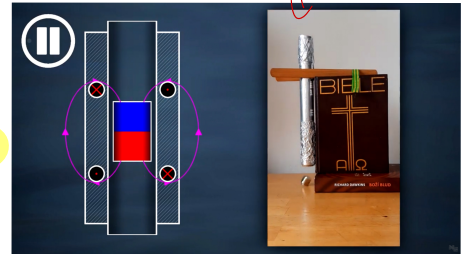
⑥ Matematické úpravy... $U_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$
změna magnet. toku
změna času
působí proti

- Změna Φ indukuje proud $I_i \sim U_i \rightarrow$ Proud působí proti změně, která ho vyvolala

↳ kroužek vytváří pole vždy tak, aby se bránil poli magnetu



- Potud nahradím magnet cívkou a budu v cívce hýbat magnetem → změna Φ
↳ v závitcích se indukují proudy = vířivé proudy... vytváří teplo



Příklad do učebnice: technický kufřík magnet
kufřík produkuje proudy
- indukce vřet. proudy, v obvodu to působí proti
tím, čím flux mění magnet

Cívka

- vodič navinutý na jadro - magnetické jadro - železo

- nemagnetické jadro - vzduch

- Pri príchodu proudu vytvári cívka magnet. pole $\rightarrow$ zmena Φ v čase

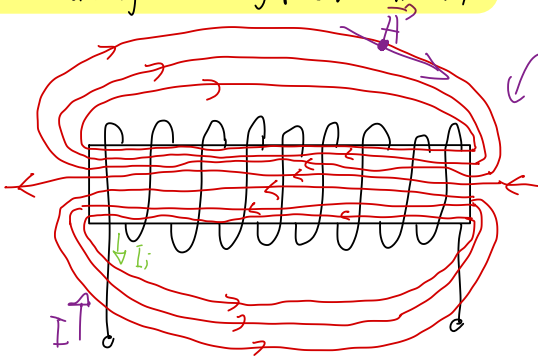
$\hookrightarrow$ zmena Φ indukuje prúd pôsobiaci proti (Lenzov zákon)

Cívka sa bráni zmenám
... snaží sa setrvať v pôvodnom stave

- Orientácia siločiar dle Ampérovho pravidla pravej ruky

- prsty ukazujú smer proudu v závitoch

- palec ukazuje smer mag. pole v dutine cívky



$\hookrightarrow$ pripomína magnet

$I_i \dots$ indukované = vŕtivé prúdy pri zmene magnet. pole

- vonku nehomogenné, vnútri homogenné mag. pole

- Indukčnosť ... L [H] (Henry)

- schopnosť tvoriť magnet. pole

- udáva „setrvačnosť“ cívky (jak moc se umí bránit změně Φ)

$$I \sim \Phi$$

$$\text{setrvačnosť} \cdot I \sim \Phi$$

$$L \cdot I \sim \Phi \Rightarrow L = \frac{\Phi}{I} \cdot N$$

mínus brát v pohľad i závitů

$$S = \pi r^2$$

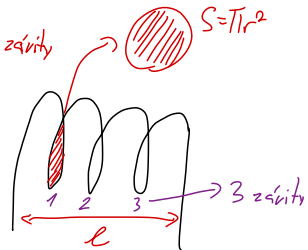
- výpočet z parametrami

$$L = \boxed{\mu_0 \cdot N^2} \cdot \frac{S}{l} \cdot N^2 \text{ [H]}$$

delta cívky

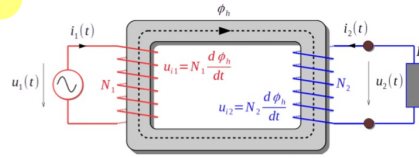
průřez cívky

závitů



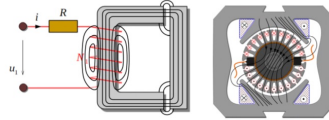
Lineární magnet. obvod - Hopkinsonův zákon

- uzavřená dráha magnet. sílačár
- Prochází jím většina Φ (rozptylový Φ je malý)
- Zhotovujeme ho z feromagnetik (železo)
- Zdroj: elektromagnet/permanentní



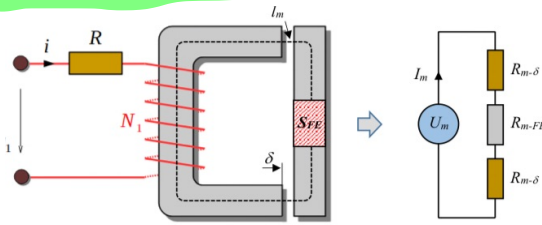
Obr. 1 Příklad uzavřeného magnetického obvodu.

- Otevřený magnet. obvod
- přerušen vzduchová mezera



Obr. 2 Příklad otevřeného magnetického obvodu.

Počítání s těmito obvody



Obr. 3 Otevřený magnetický obvod se zanedbáním rozptylového magnetického toku a jeho analogie s elektrickým obvodem.

- Magnetické napětí: $U_m = N_1 \cdot I \text{ [A/m]}$
 „Amper závity“

- Magnetický tok: $I_m = \Phi = B \cdot S_{FE} \text{ [Wb]}$
 „Magnet. proud“

- Magnet. odpor: $R_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \cdot \frac{l}{S} \text{ [H]}^{-1}$

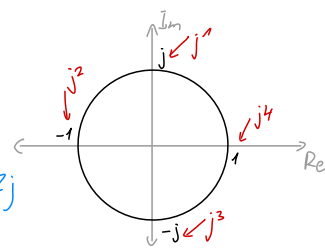
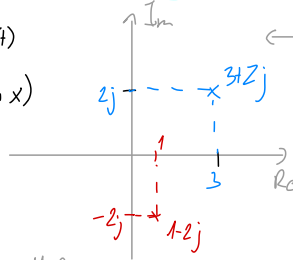
- Hopkinsonův zákon: $U_m = \Phi \cdot R_m$
 „Ohmův zákon“

Střídavý proud

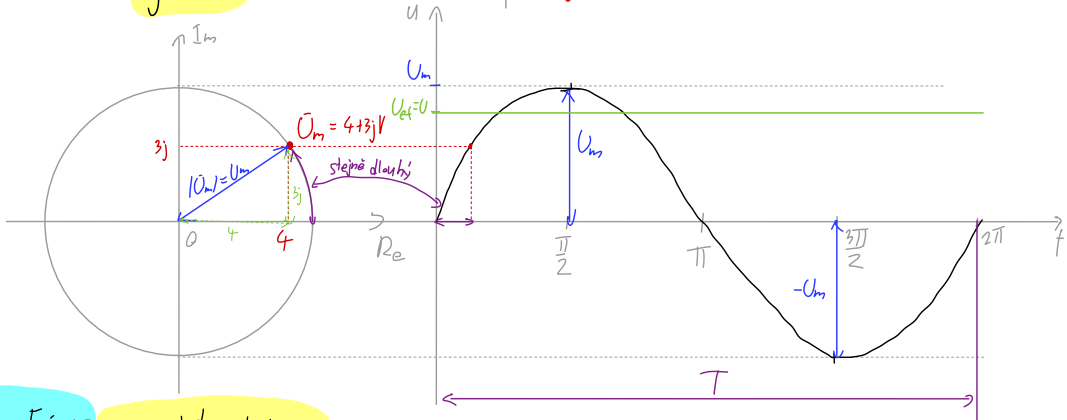
- hodnota se mění v čas
- značíme malými písmeny: u, i / $u(t), i(t)$
- Střídavý = zdroj mění polaritu (jde pod osu x)
- ... elektroný jen kmitají

- Komplexní čísla - "2D rovina"

$$j^2 = -1$$



$$\begin{aligned} j^1 &= j \\ j^2 &= -1 \\ j^3 &= j^2 \cdot j = -j \\ j^4 &= 1 \end{aligned}$$



U_m - Faizor - max. hodnota v daném čase
- komplexní číslo ($\bar{U}_m = 4 + 3j$ V)

$|\bar{U}_m| = U_m$ - Max. hodnota = Amplituda

- velikost faizoru
- reálné číslo... $|\bar{U}_m| = U_m = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$ V

T - Perioda - čas oběhu kružnice $[s]$ $\rightarrow T = \frac{1}{f} [s]$

f - frekvence - kolik obětů za 1s $\rightarrow f = \frac{1}{T} [Hz]$

ω - úhlová frekvence - rychlost otáčení $\rightarrow \omega = 2\pi f$; $\omega = 2\pi \cdot \frac{1}{T}$

$u/u(t)$ - Okamžitá hodnota - hodnota v jednom čase
- $u = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$
- čas $\omega = 2\pi f$

$U_{ef} = U$ - Efektivní hodnota - měří ji Voltmetr a Ampermeter

- konst. SS hodnota
- taková SS hodnota, která za dobu 1T způsobí stejné uvažované teplo na R , jako stříd. průběh... tzn. $W_{SS} = W_{stříd}$
- $U_{ef} = U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx U_m \cdot 0,707$; $U_m = \sqrt{2} \cdot U$



- Fázový posun - posun signálu od počátku ($\varphi [^\circ]$)

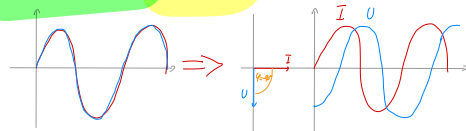
SončáštkaStejnoseměrný zdrojmá odpor R Stručný zdrojmá odpor R

Chová se jako rozptýlený obvod

$$R \rightarrow \infty \Omega$$

- S rostoucí frekvencí mu klesá „odpor“

$$\hookrightarrow \text{Reaktance: } X_C = \frac{1}{2\pi f C} [\Omega]$$

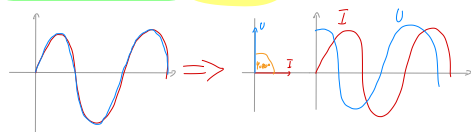
- fázový posun: $\varphi = -90^\circ$ 

- Chová se jako vodič

$$R \rightarrow 0 \Omega$$

- S rostoucí frekvencí roste „odpor“

$$\hookrightarrow \text{Reaktance: } X_L = 2\pi f \cdot L [\Omega]$$

- fázový posun: $\varphi = 90^\circ$ Impedance: $Z [\Omega]$

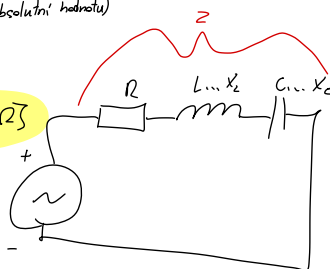
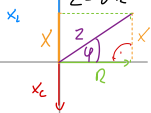
- Celkový komplexní odpor

- Zatím umíme počítat jen velikost (absolutní hodnotu)

 $\hookrightarrow$ shledáme v poloz φ

$$Z^2 = R^2 + X^2 [\Omega^2]$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} [\Omega]$$

Admittance ... $Y [S]$

- Komplexní vodivost

- Zatím umíme počítat jen velikost (absolutní hodnotu)

 $\hookrightarrow$ shledáme v poloz φ

$$Y = \frac{1}{Z} [S], \quad Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2} \Rightarrow B_L = \frac{1}{X_L}$$

 $\hookrightarrow G = \frac{1}{R}$
 $\uparrow$ vodivost

$$B_C = \frac{1}{X_C}$$

Susceptance