

Projekt Smart Akcelerator 3, registrační číslo: CZ.02.01.02/00/22_009/0004182

Klíčová aktivita Pilotní ověření, pilotní nástroj **Medikem na Cymplu**

16.

Metodický list – workshop č. 16 na téma

Magnetické pole, střídavý proud, elmg. kmitání a vlnění

Datum konání: 15. 2. 2025

Lektor: Mgr. Gabriela Zalubilová



**Spolufinancováno
Evropskou unií**



Ministerstvo
školství, mládeže
a tělovýchovy



Krajské inovační centrum
Karlovarského kraje

Fyzika

Bud' MEDIKEM NA GYMPLU

*„Přemýšlejte, jak těžká by byla fyzika,
kdyby částice uměly myslet.“*
Murray Gell-Mann

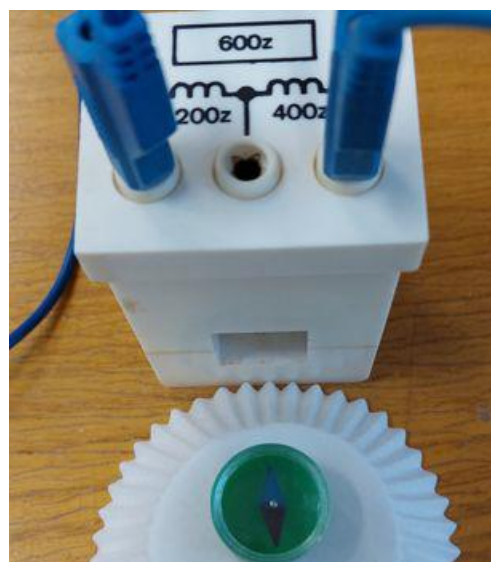
Stacionární magnetické pole

Vytváří ho:

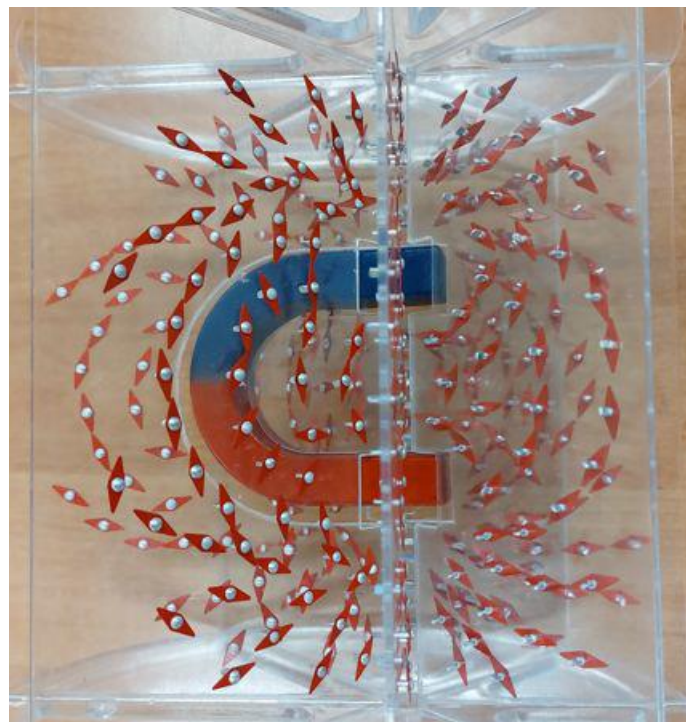
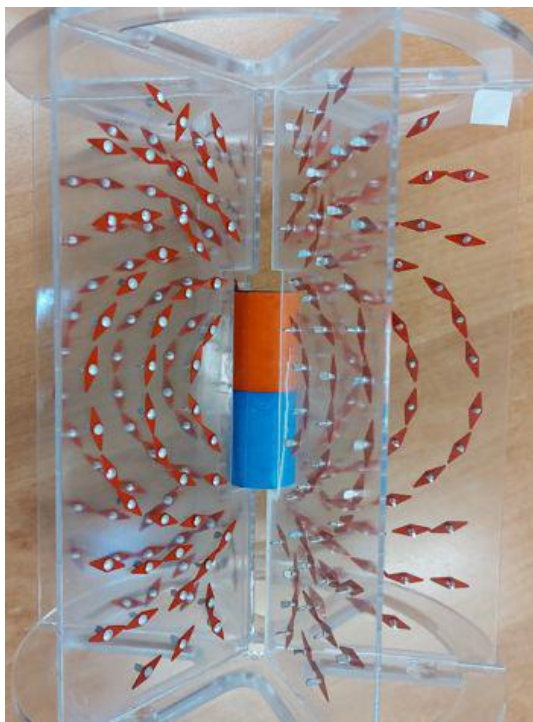
nepohyblivý magnet



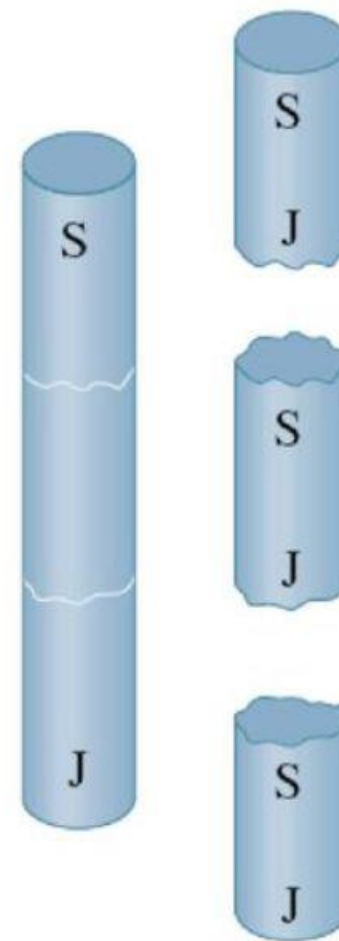
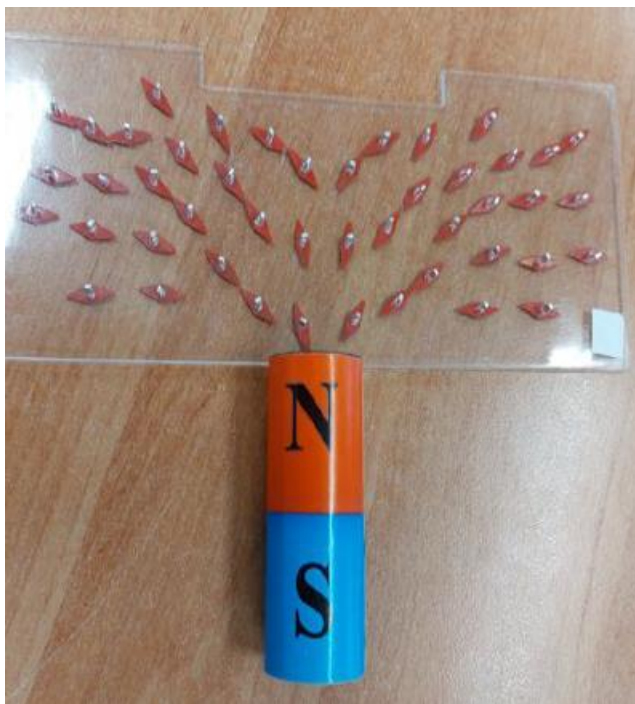
nepohyblivý vodič s
konstantním proudem



magnetické indukční čáry

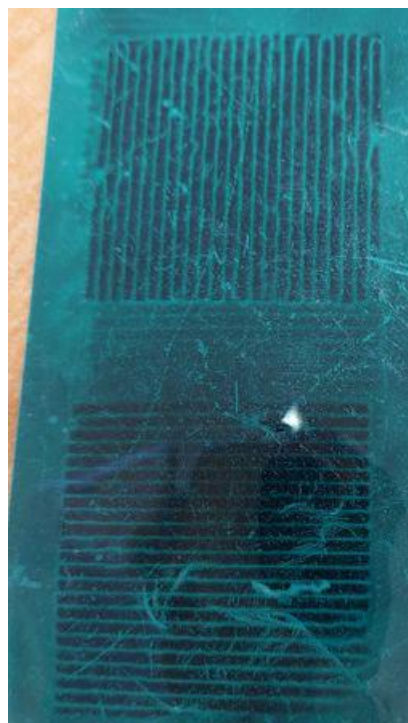


magnetické indukční čáry



pozn. magnetický monopol neexistuje

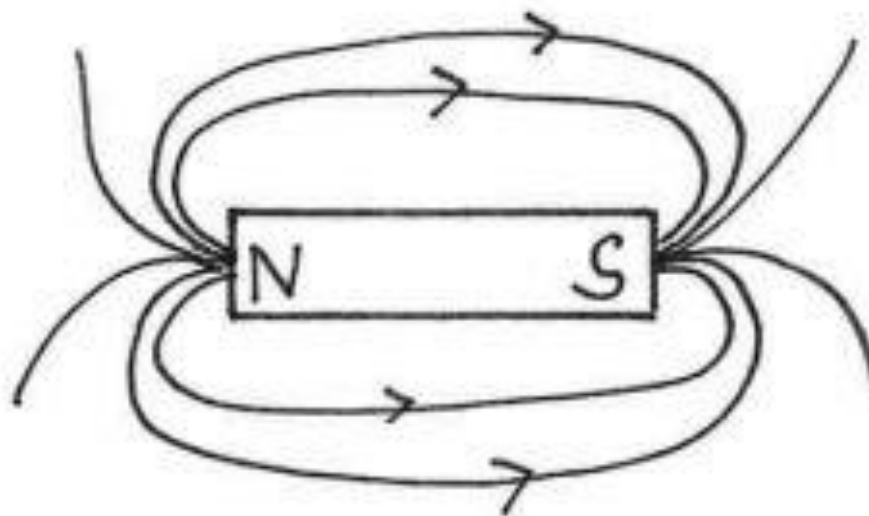
magnetické indukční čáry





magnetické indukční čáry

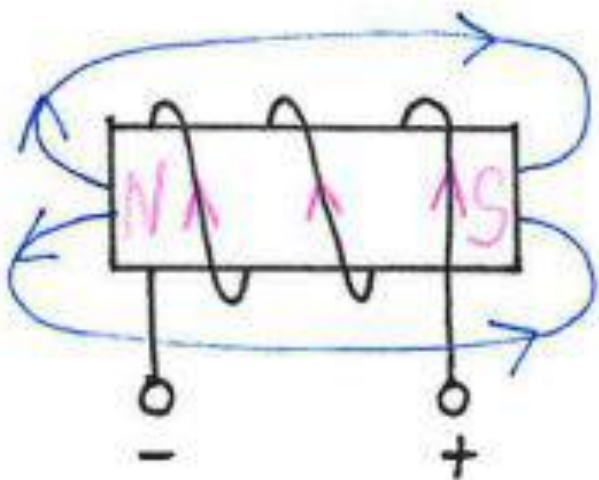
nehomogenní pole



*„Laskavý jazyk je magnet pro lidská srdce.
Je to chléb ducha, dává slovům smysl,
je pramenem moudrosti a pochopení.“
Bahá'u'lláh*

magnetické indukční čáry

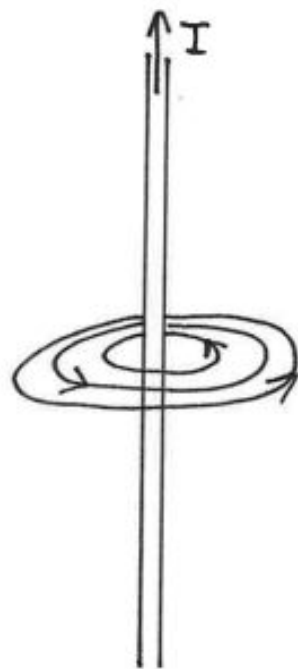
nehomogenní pole



Ampérovo pravidlo pravé ruky

magnetické indukční čáry

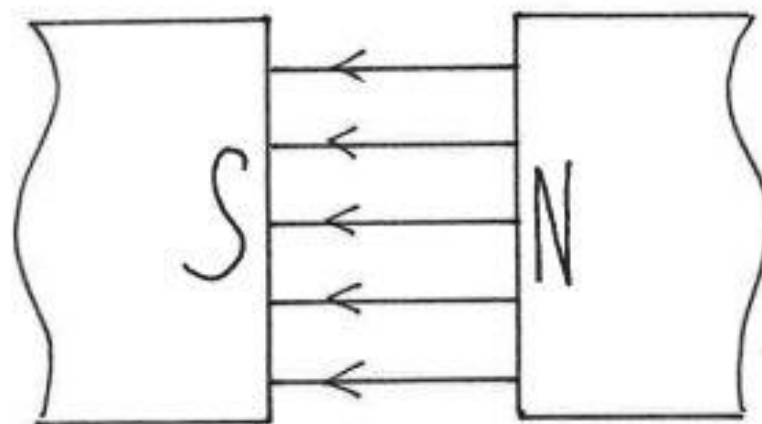
nehomogenní pole



Ampérovo pravidlo pravé ruky

magnetické indukční čáry

homogenní pole



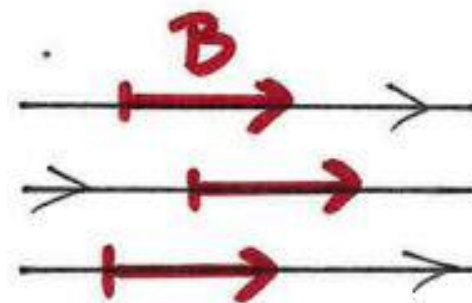
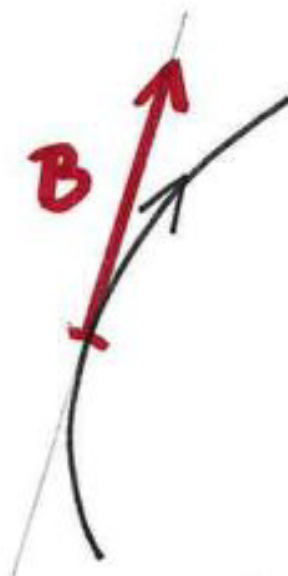
Indukční čáry v magnetickém poli jsou vždy uzavřené!

Magnetická indukce

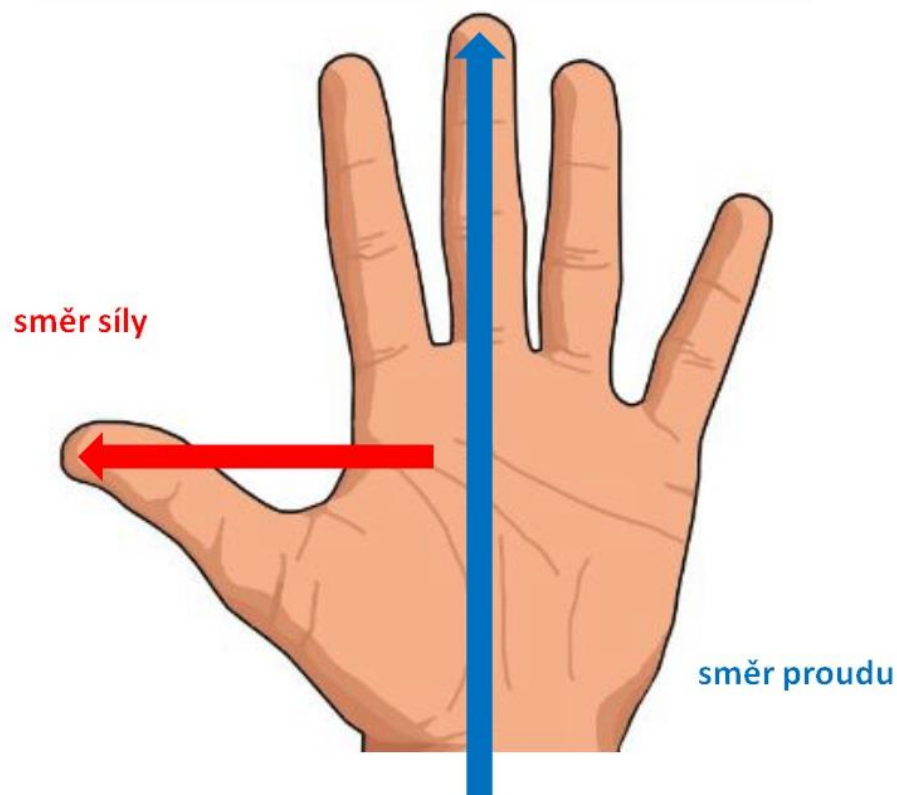
značka - B

jednotka - T tesla

vektorová veličina



Magnetická síla



$$F = B I l \sin\alpha$$

Představ si, že máš v ruce kompas, a teď se stáváš ty sám součástí jednoduchého fyzikálního experimentu.

Dlaň je otočená na severní pól magnetu

To znamená, že magnetické indukční čáry (ty, které si můžeš představit jako neviditelné šipky směřující od severu k jihu) vstupují přímo do tvé dlaně.

Takže když otevřeš dlaň a natočíš ji tak, aby koukala na severní pól magnetu, chovají se indukční čáry jako kdyby ti „vstupovaly“ dovnitř ruky.

Magnetické pole přímého vodiče s proudem

$$B = \mu \frac{I}{2\pi d}$$

μ - permeabilita prostředí

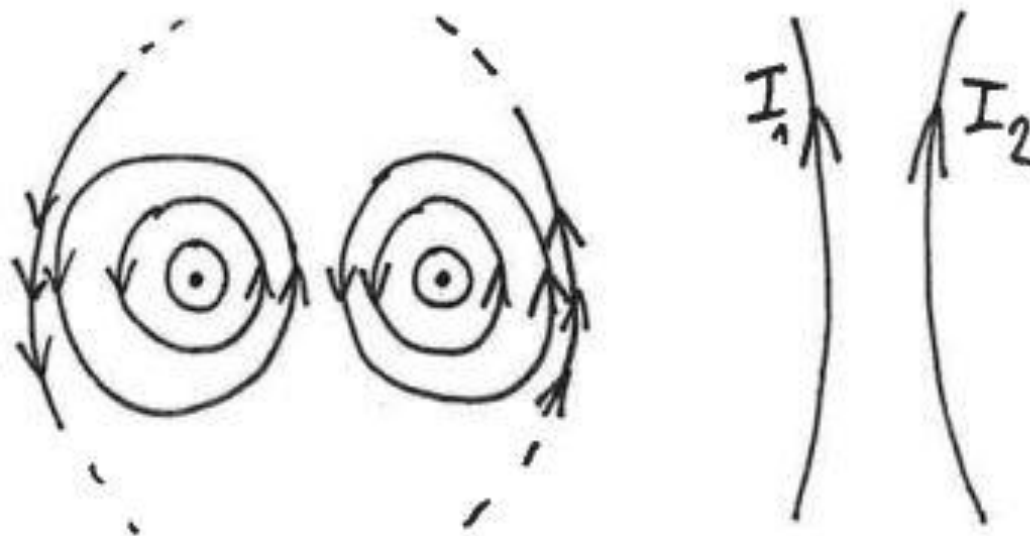
μ_0 - permeabilita vakua

μ_r - permeabilita relativní (poměrná)

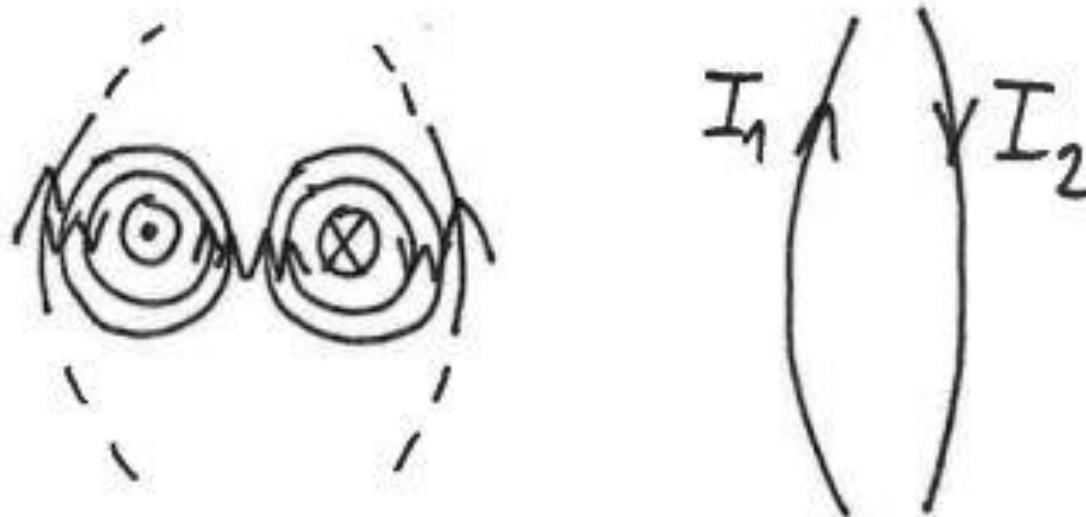
$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$$

Magnetické pole rovnoběžných vodičů s proudem



Magnetické pole rovnoběžných vodičů s proudem



Magnetické pole rovnoběžných vodičů s proudem

$$F = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l$$

Intenzita magnetického pole

Intenzita magnetického pole, někdy označovaná také jako magnetická intenzita, je důležitá fyzikální veličina, která popisuje „sílu“ magnetického pole v daném místě. Patří mezi vektorové veličiny, což znamená, že kromě velikosti má i směr, stejně jako například rychlost nebo síla.

Představme si magnetické pole jako prostor, ve kterém působí síly na částice, které mají magnetické vlastnosti (například na magnety nebo vodiče s proudem). Intenzita magnetického pole pak vyjadřuje, jak „napjaté“ toto pole je, tedy kolik magnetického napětí připadá na jednotku délky indukční čáry.

Je to podobné jako s elektrickým polem - tam máme elektrické napětí a elektrickou intenzitu, tady v magnetismu máme obdobně intenzitu magnetického pole.

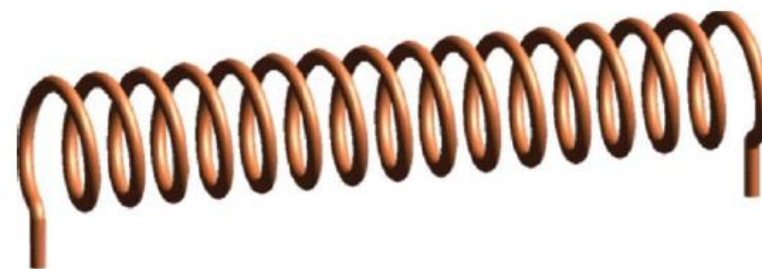
- **Značka:** H
- **Jednotka:** ampér na metr ($A \cdot m^{-1}$)

Magnetické pole cívky

$$B = \mu \frac{N \cdot I}{l}$$

$\frac{N}{l}$ – hustota závitů

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

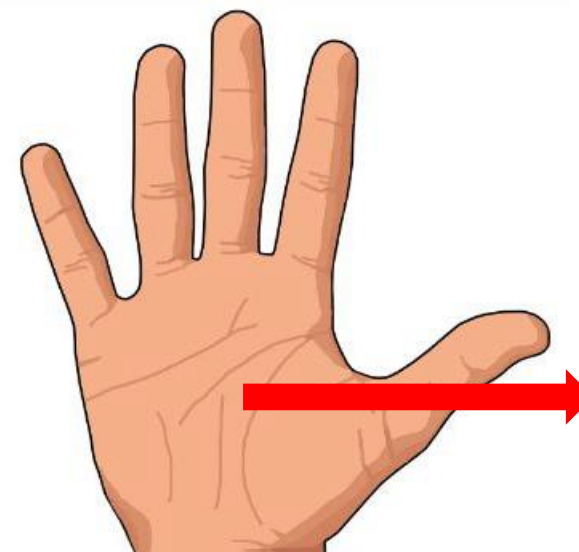
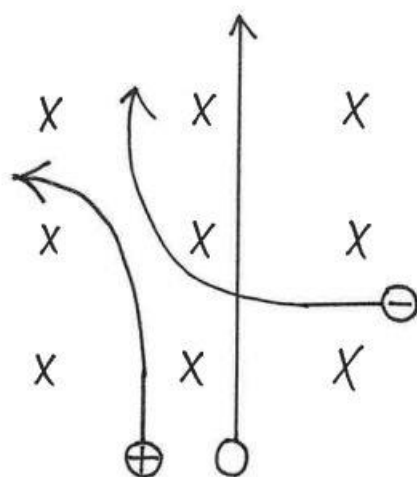
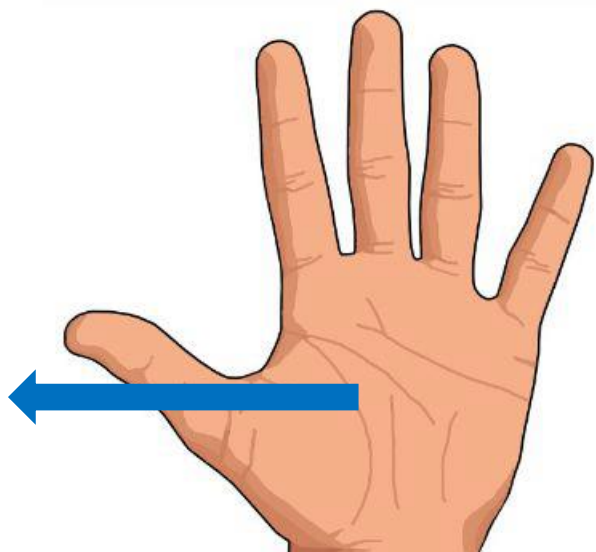


Velikost intenzity magnetického pole dlouhé cívky je určena

- a) pouze protékajícím proudem
- b) pouze počtem závitů
- c) délkou cívky
- d) součinem proudu a hustoty závitů

Částice s nábojem v magnetickém poli

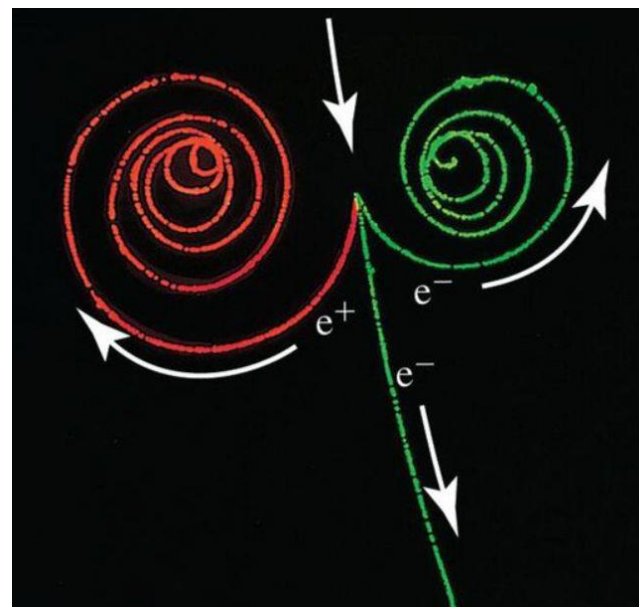
trajektorie – kružnice



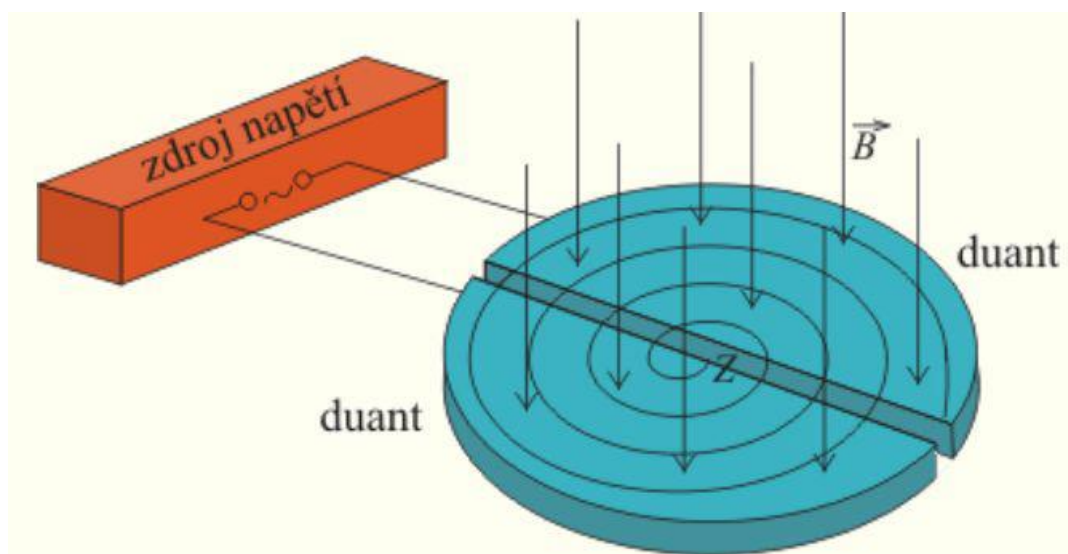
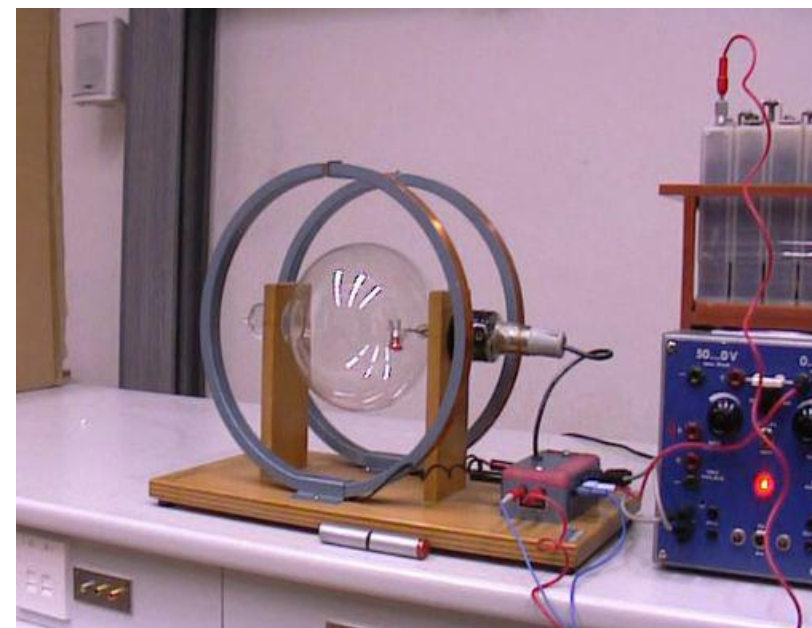
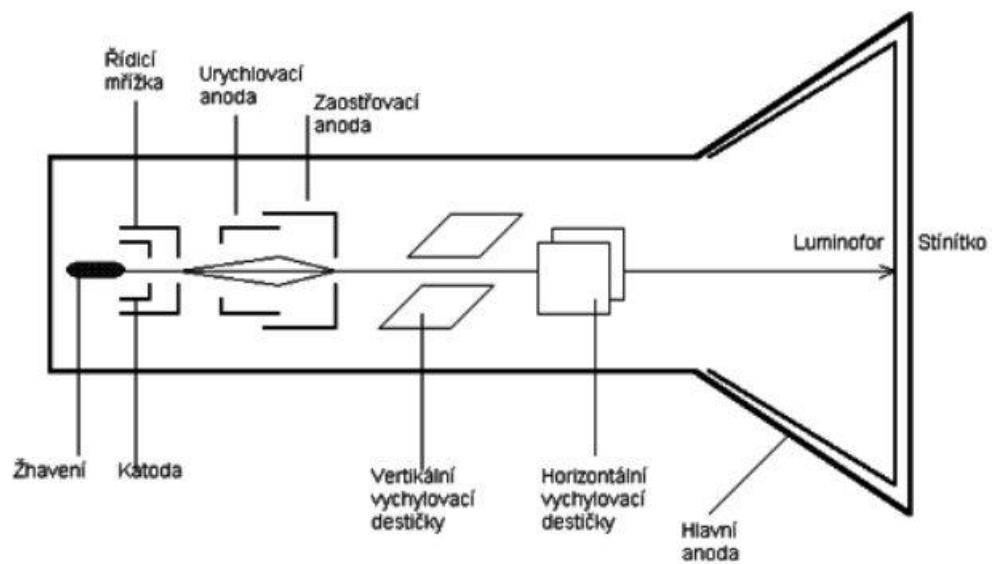
levá ruka - kladná částice

Částice s nábojem v magnetickém poli

$$Bev = m \frac{v^2}{r}$$



Když se nabitá částice (například elektron) pohybuje v magnetickém poli, síla magnetického pole ji vychyluje z přímého směru. Tato síla se nazývá **Lorentzova síla** a způsobuje, že se částice začne pohybovat po zakřivené dráze, často po kružnici nebo spirále.



Do homogenního magnetického pole o $B = 1,875 \times 10^{-2} \text{ T}$ vlétne částice α o hmotnosti 6.10^{-27} kg rychlostí $5 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$ kolmo k indukčním čarám. Určete poloměr její trajektorie.

- a) 15 cm
- b) 25 cm
- c) 50 cm
- d) 75 cm

Velikost momentu M dvojice sil působících na rovinný závit o ploše S s proudem I v homogenním magnetickém poli o indukci B (úhel mezi normálou k ploše závitu a magnetickou indukcí je α) je dána vztahem:

a) $M = BIS\sin\alpha$

b) $M = BI\sin\alpha/S$

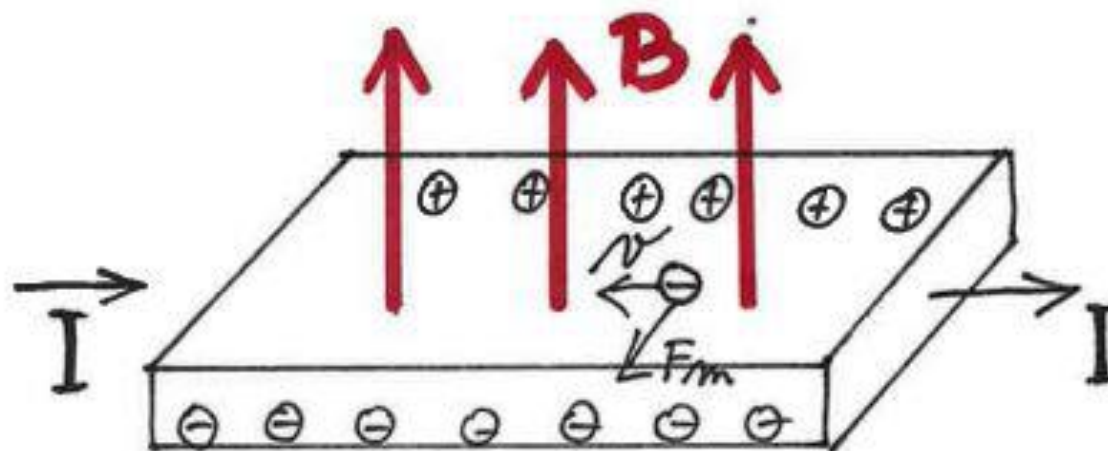
c) $M = BI^2S\sin\alpha$

d) $M = BIS^2\sin\alpha$

Rovinným závitem, jehož plocha o velikosti 4000 cm^2 je kolmá k čarám homogenního magnetického pole o indukci 200 mT , prochází proud 5 A . Jak velký je moment dvojice sil, který na závit působí?

- a) 0 N.m
- b) $0,4 \text{ N.m}$
- c) $0,8 \text{ N.m}$
- d) 4 N.m

Hallův jev



Ampérův magnetický moment

Ampérův magnetický moment je fyzikální veličina, která popisuje, jak silně se daný objekt chová jako magnetický dipól.

Magnetický dipól si lze představit jako malou smyčku z vodiče, kterou protéká elektrický proud. Taková smyčka může mít libovolný tvar (kruh, čtverec, nebo klidně něco nepravidelného), ale důležité je, že musí být uzavřená a že ji protéká stálý proud I . Tato proudová smyčka ohraničuje nějakou plochu S , a k této ploše přiřazujeme tzv. vektor normály n , což je jednoduše řečeno vektor kolmý na plochu smyčky (směr určuje pravidlo pravé ruky, tedy směr, kterým by ukazoval palec, když ostatní prsty ukazují směr proudu).

$$\mathbf{m} = I \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{n}$$

$$\mathbf{m} = I \mathbf{S}$$

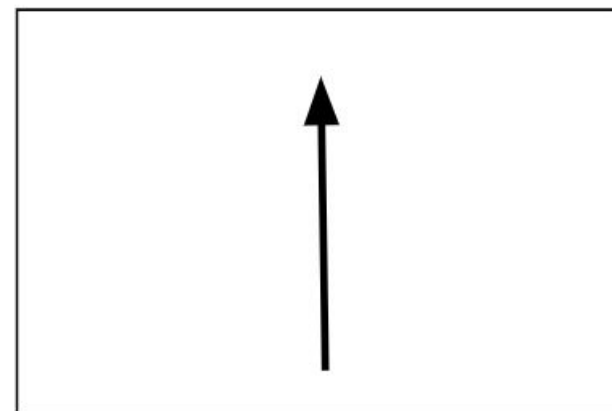
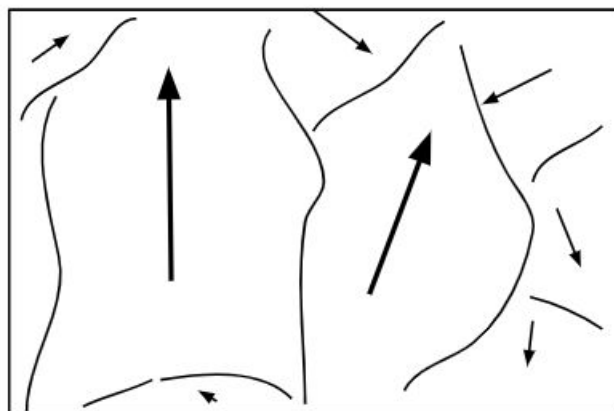
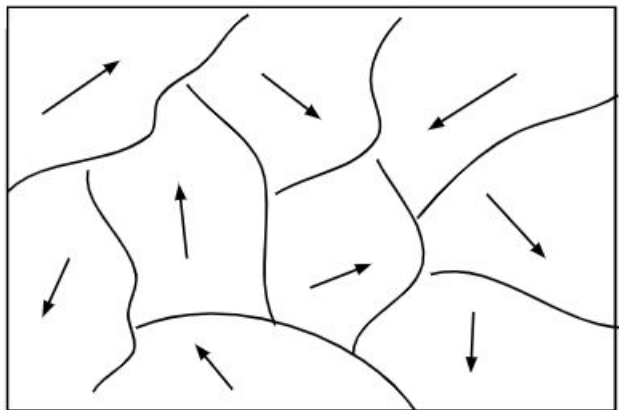
Magnetický moment lze vyjádřit v jednotkách

- a) A.m^2
- b) A.m^{-2}
- c) A.m
- d) J.T^{-1}

*„Život obsahuje tolik pozitivního,
že pesimisté by mohli úplně
vyklidit pole.“*

Laurence Sterne

Magnetické vlastnosti látek



Magnetické vlastnosti látek

Podle hodnoty relativní permeability (μ_r) dělíme látky do tří skupin:

1. Diamagnetické látky – μ_r je menší než 1

Tyto látky mají velmi slabou a trochu zvláštní reakci na magnetické pole. Místo toho, aby se v magnetickém poli „přidaly do party“, spíše ho jemně odpuzují. **Příklady diamagnetických látek:** zlato, měď, rtuť.

I když tyto prvky známe jako dobré vodiče elektřiny (třeba měď v kabelech), magnetismus je pro ně skoro cizí jazyk.

2. Paramagnetické látky – μ_r je o něco větší než 1

Paramagnetické látky na magnetické pole reagují, ale nijak dramaticky. Mají tendenci se magnetickým polem nechat lehce přitáhnout, ale jen tehdy, když tam to pole opravdu je. **Příklady paramagnetických látek:** sodík, draslík, platina, hliník.

V běžném životě si této slabé reakce ani nevšimneme, ale v laboratorních podmínkách už ji naměříme.

3. Feromagnetické látky – μ_r je mnohonásobně větší než 1

Feromagnetické látky mají schopnost se v magnetickém poli silně zmagnetovat, a co víc, svůj magnetismus si často udrží i po jeho vypnutí. **Příklady feromagnetických látek:** železo, kobalt, nikl a jejich slitiny.

Bez těchto materiálů by neexistovaly magnety, transformátory ani paměťová média.

Feromagnetismus je zvláštní forma magnetického chování, která se projevuje pouze tehdy, když je látka ve skupenství pevném, konkrétně v krystalickém stavu. Pokud se taková látka dostane do kapalného nebo plynného skupenství, ztrácí své typické feromagnetické vlastnosti a začne se chovat podobně jako paramagnetická látka, tedy její magnetismus je slabý a dočasný.

Každá feromagnetická látka má určitou kritickou teplotu, při které dochází ke změně jejího magnetického chování. Pokud se tato teplota překročí, látka ztrácí schopnost projevovat feromagnetické vlastnosti, magnetické uspořádání se rozpadne a látka se začne chovat jako paramagnetikum.

Této kritické teplotě se říká Curieova teplota (podle fyzika Pierra Curieho, který tento jev popsal). Pro každou feromagnetickou látku je tato teplota jiná, například pro železo je to přibližně 770 °C.

Ferimagnetické látky (ferity)

Ferity jsou speciální sloučeniny tvořené oxidem železa, které jsou zároveň spojeny s oxidy jiných kovů. Právě tato kombinace jim dává jejich zvláštní magnetické vlastnosti.

$$\mu_r = 10^2 \text{ až } 10^3$$

Oproti běžným feromagnetickým látkám mají ferity výrazně vyšší elektrický odpor.

Ferity najdeme v jádrech cívek (například v transformátorech), kde pomáhají zesílit magnetické pole bez zbytečných ztrát. Jsou také důležitou součástí některých druhů permanentních magnetů.

Volné makroskopické objekty zaujímají ve vnějším magnetickém poli takovou stálou rovnovážnou polohu, v níž má jejich magnetický moment směr:

- a) kolmý k vektoru magnetické indukce
- b) stejný jako směr vektoru magnetické indukce
- c) opačný než je směr vektoru magnetické indukce
- d) libovolný

Relativní permeabilita feromagnetických látek:

- a) je konstantní
- b) nezávisí na velikosti intenzity magnetického pole v látce
- c) je zhruba stejná jako permeabilita vakua
- d) závisí na velikosti intenzity magnetického pole v látce

Nestacionární magnetické pole

Nestacionární magnetické pole je druh magnetického pole, které se v čase mění. Na rozdíl od „statického“ pole, které zůstává neměnné, toto pole se mění – například zesiluje, slábne, nebo mění směr. Takové pole nevzniká jen tak samo od sebe, ale má své konkrétní příčiny. Nejčastěji ho vytváří tyto tři situace:

Pohybující se permanentní magnet nebo elektromagnet

Když se například pohybuje magnet okolo cívky, nebo se hýbe elektromagnet (tedy cívka s proudem), vzniká v jeho okolí měnící se magnetické pole. To je přesně ten princip, na kterém funguje třeba dynamo u jízdních kol nebo generátory elektřiny.

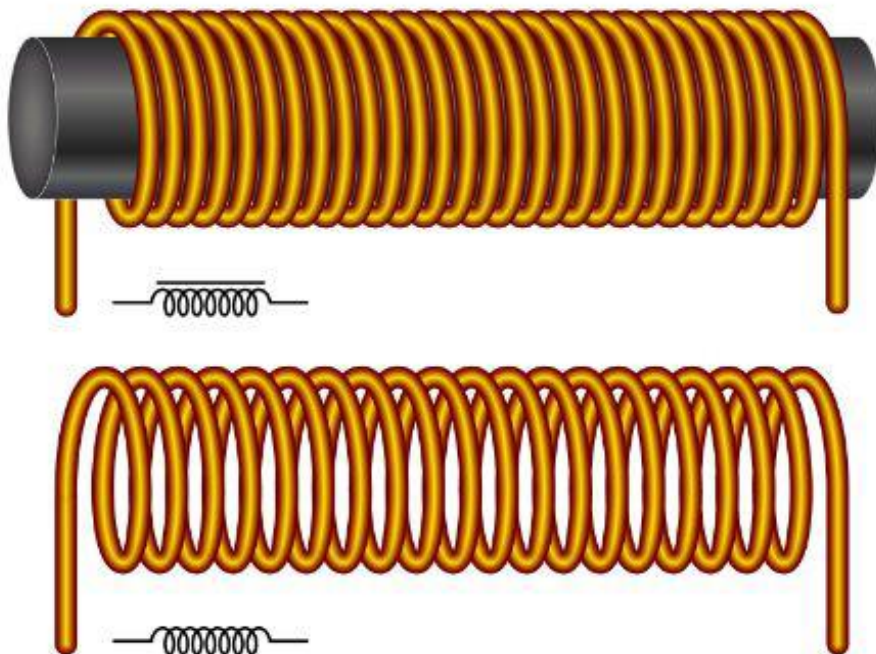
Pohybující se vodič, kterým protéká elektrický proud

Pokud vodič, ve kterém teče elektrický proud, začneme pohybovat (například ho posuneme vzhledem k okolnímu prostředí), začne se měnit i magnetické pole, které tento proud vytváří. Jinými slovy, i samotný pohyb vodiče „rozčeří“ původní pole a vytvoří nové, nestálé pole.

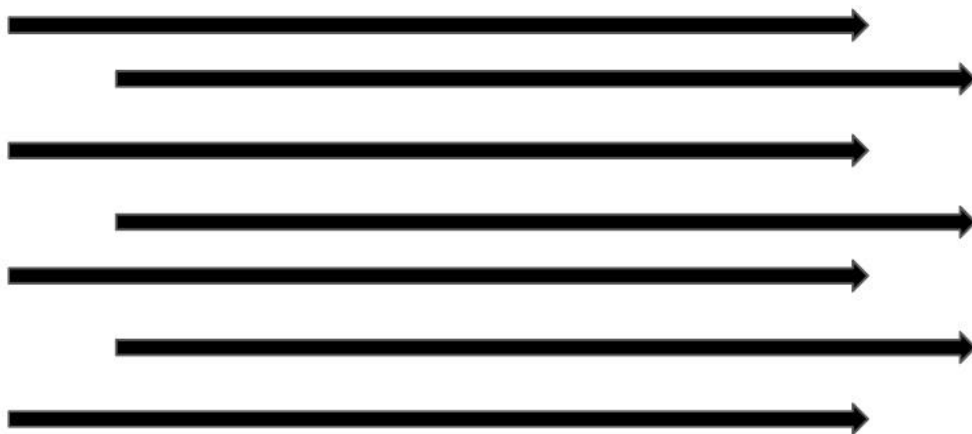
Nepohyblivý vodič, kterým protéká proměnlivý proud

Ani vodič nemusí cestovat pro to, aby vzniklo nestacionární pole. Stačí, že proud, který jím prochází, není stálý, mění se jeho velikost nebo směr. Například v elektrických obvodech střídavého proudu se právě tímto způsobem vytvářejí dynamická magnetická pole.

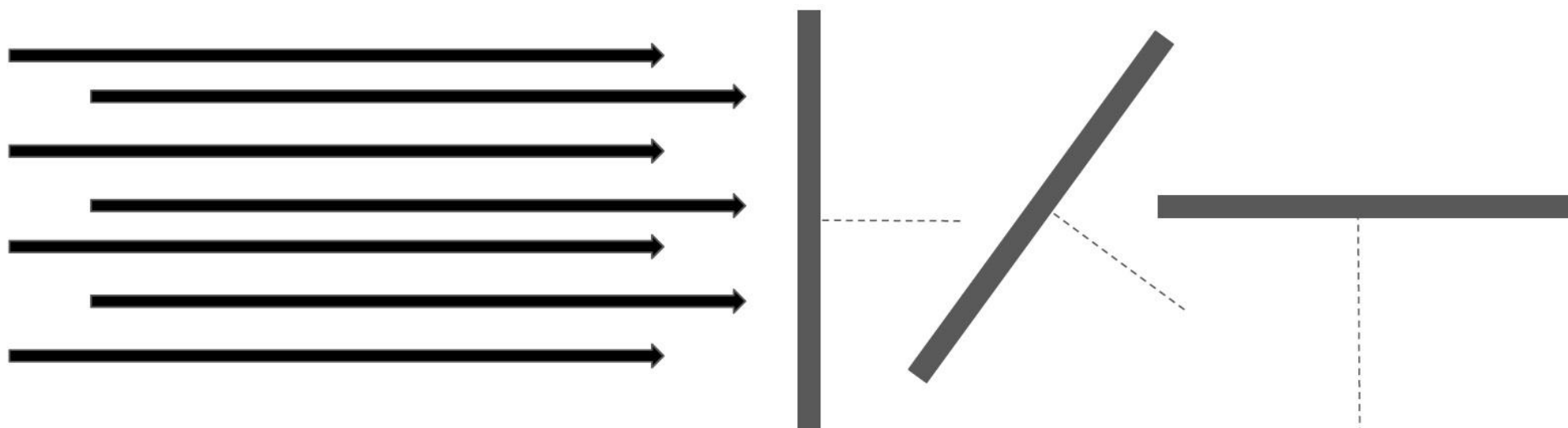
Elektromagnetická indukce



Magnetický indukční tok



Magnetický indukční tok



Magnetický indukční tok

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

$$[\Phi] = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Wb}$$

Faradayův zákon elektromagnetické indukce

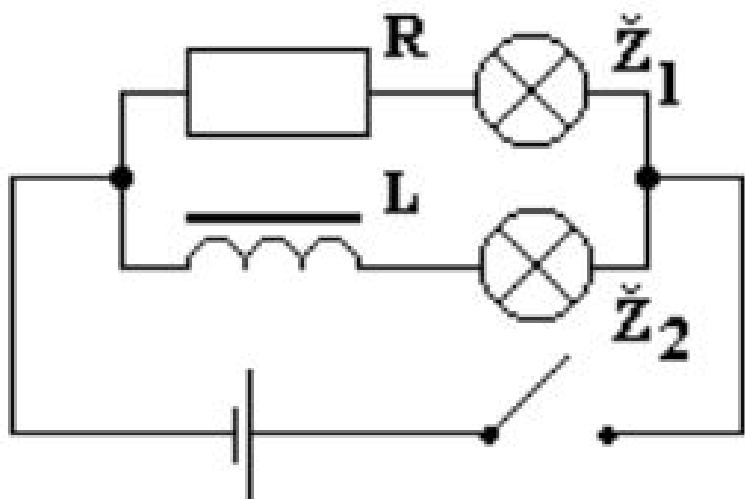
$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Indukovaný proud - Lenzův zákon

Když v uzavřeném elektrickém obvodu vznikne elektrický proud v důsledku změny magnetického pole, neudělá to „jen tak“. Tento indukovaný proud má totiž vždy takový směr, že svým vlastním magnetickým polem působí proti změně, která ho způsobila. Jinými slovy: proud se „brání“ tomu, co ho vyvolalo.

Tento zákon je vlastně důležitým doplňkem Faradayova zákona elektromagnetické indukce. A i když to Faraday výslovně nenapsal slovy, Lenzovo pravidlo se skrývá ve znaménku mínus ($-$), které ve Faradayově rovnici najdeme. To mínus přesně říká: směr indukovaného proudu bude takový, aby změně odporoval.

Vlastní indukce; indukčnost



Indukované elektrické pole vzniká ve vodiči tehdy, když se mění magnetické pole v jeho okolí. Taková změna může nastat například tehdy, když vodičem protéká proměnný elektrický proud, ten totiž vytváří proměnné magnetické pole.

Zajímavé je, že vodič může být zdrojem změny magnetického pole sám o sobě, právě díky proudu, který jím prochází. A když se toto magnetické pole mění, vzniká zpětně v tomtéž vodiči elektrické pole.

Indukčnost cívky

mg. indukční tok cívky

$$\Phi = L \cdot I$$

$$[L] = \text{Wb} \cdot \text{A}^{-1} = \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} = \text{H}$$

indukované napětí

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Na cívce o indukčnosti 200 mH bylo po dobu 0,1 s stálé indukované napětí 100 mV. Jaká byla velikost změny proudů cívce?

- a) 20 mA
- b) 50 mA
- c) 60 mA
- d) 80 mA

*„Expert je člověk, který udělal všechny chyby,
jichž se lze vůbec dopustit, na velmi úzkém poli.“*

Niels Bohr

V cívce je při poklesu intenzity proudu o 300 mA za sekundu generováno elektromotorické napětí 60 mV. Jakou má cívka

indukčnost?

a) 100 mH

b) 200 mH

c) 300 mH

d) 400 mH

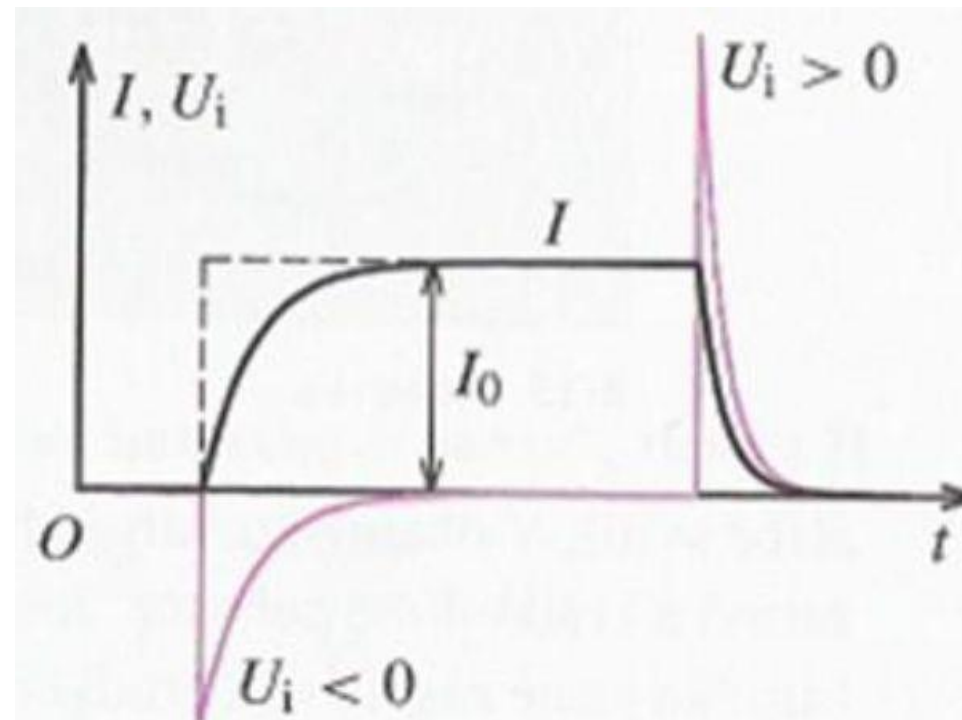
Přechodný děj

Když elektrický proud začne procházet obvodem, elektrické síly uvádějí do pohybu elektrony. Při tom konají práci, a právě tato vykonaná práce se projeví jako elektrická energie.

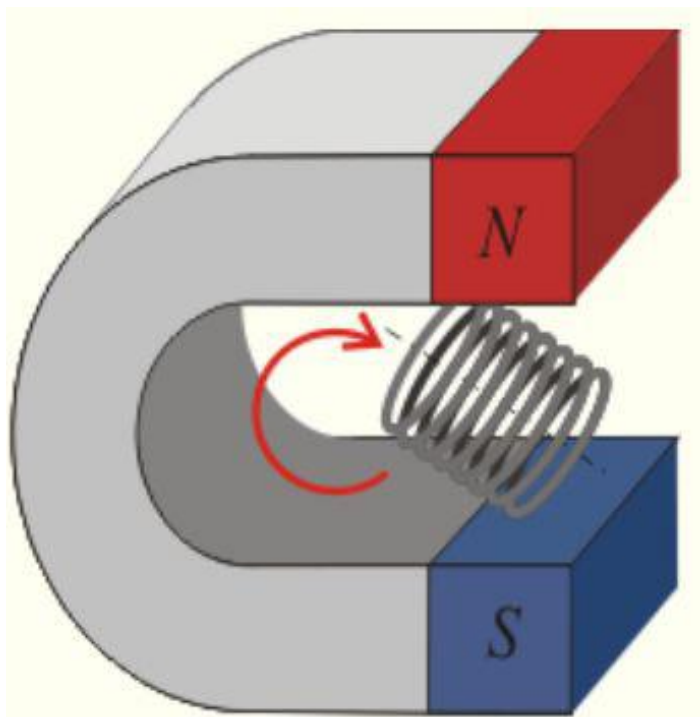
Indukčnost ovlivňuje rychlost vzniku magnetického pole. Cívky se od sebe mohou lišit tzv. indukčností (značí se H). Čím větší je indukčnost cívky, tím pomaleji narůstá proud a tím déle trvá, než se kolem cívky vytvoří magnetické pole.

Stejně jako napnutá pružina nebo roztočené kolo, i magnetické pole ukládá energii. Tuto energii lze později využít.

$$E_m = \frac{1}{2}LI^2$$



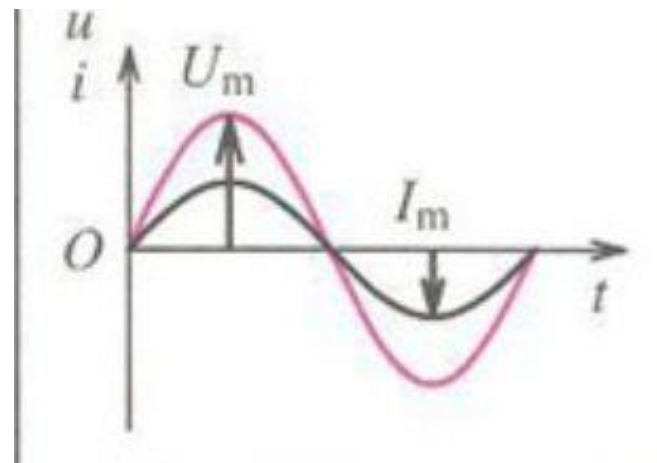
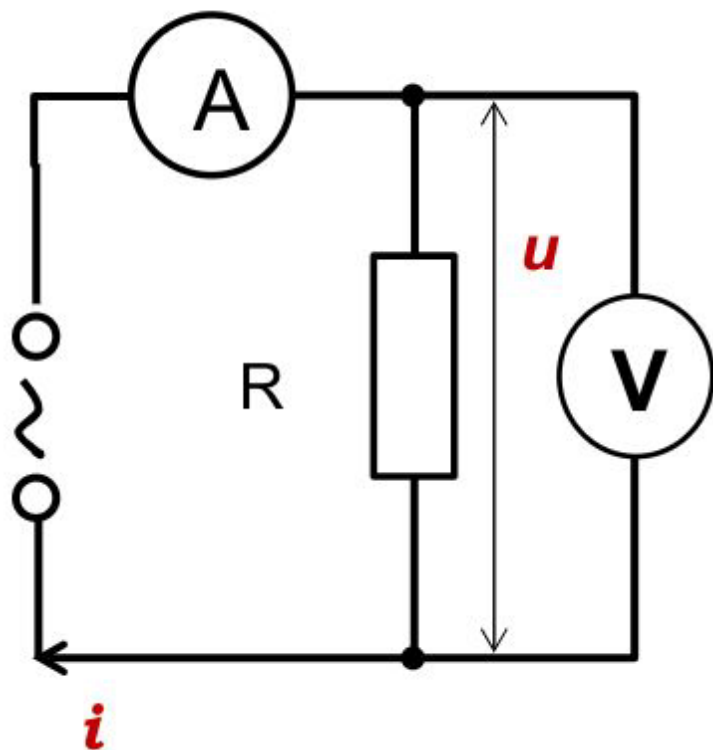
Střídavý proud



$$u_i = U_m \sin \omega t$$

$$i_i = I_m \sin \omega t$$

Obvod střídavého proudu s odporem



$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = U_m \sin \omega t$$

V rezistoru platí Ohmův zákon bez výjimek. To znamená, že elektrické napětí U na koncích rezistoru je přímo úměrné procházejícímu proudu I . Jinak řečeno: čím větší napětí, tím větší proud, pokud se tedy nezmění odpor. Velikost proudu **nezávisí** na frekvenci.

Rezistance je technický výraz pro elektrický odpor, který klade rezistor proudu. Značíme ho písmenem R .

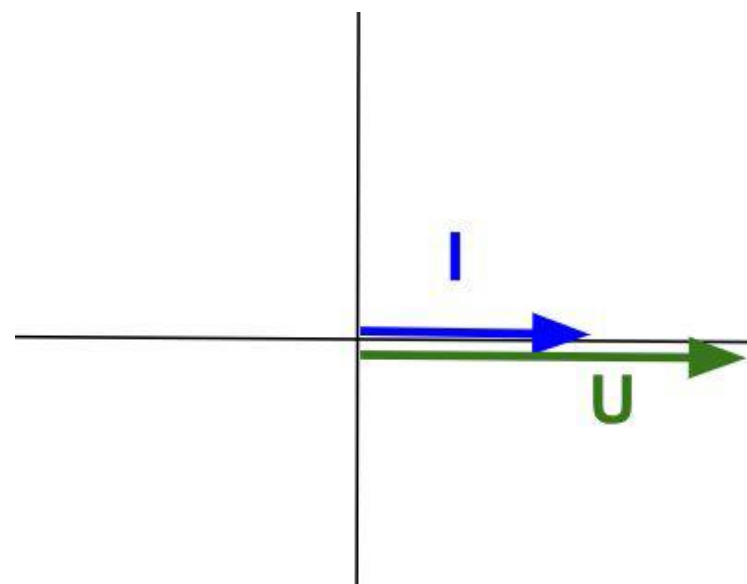
$$\frac{U_m}{I_m} = R$$

Mezi napětím a proudem není žádný fázový rozdíl. Obě veličiny mění svůj směr i velikost současně, jsou tedy "ve fázi". To je na rozdíl třeba od kondenzátoru nebo cívky, kde bývá mezi nimi určitý fázový posun.

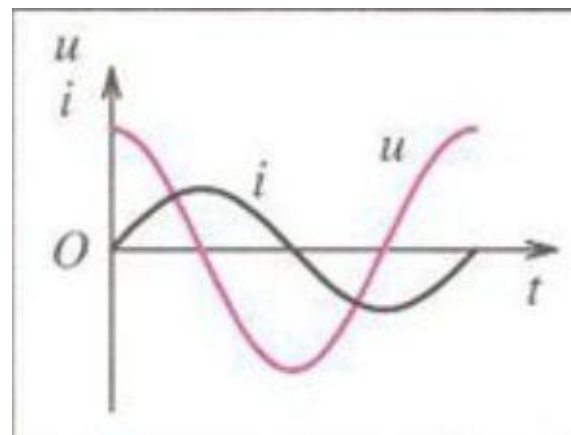
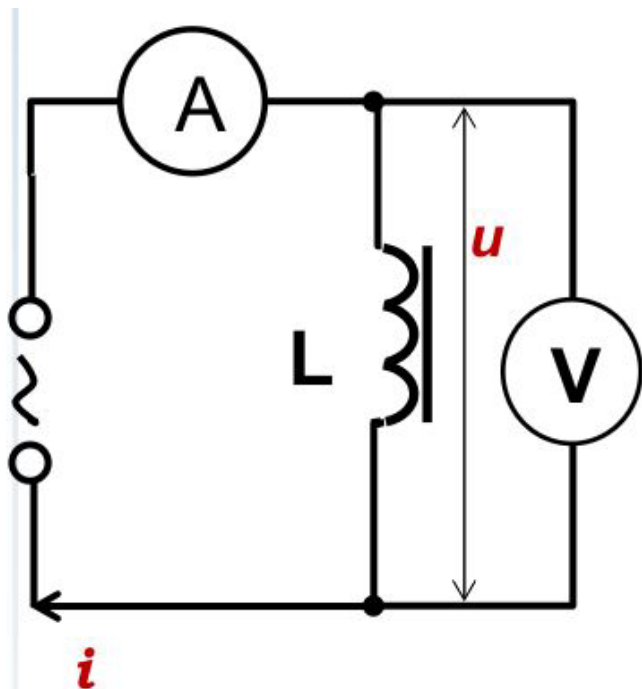
Energie elektrického proudu se přeměňuje na teplo

Když proud prochází rezistorem, naráží na odpor. Jde o efekt, který dobře známe třeba z topných spirál nebo žárovek.

Fázorový diagram - vektorové šipky jsou pro proud i napětí rovnoběžné a míří stejným směrem. To právě potvrzuje, že proud a napětí jsou ve fázi.



Obvod střídavého proudu s indukčností



$$i_i = I_m \sin \omega t$$

$$u_i = U_m \cos \omega t$$

I když máme v obvodu cívku, můžeme stále použít Ohmův zákon, jen s drobnou úpravou, odpor R nahradíme tzv. indukčním odporem.

$$\frac{U_m}{I_m} = X_L$$

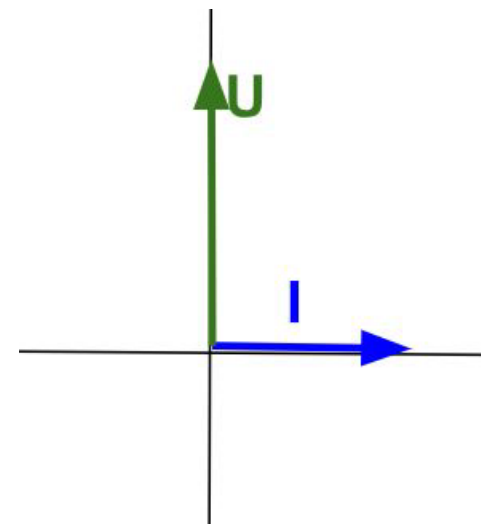
„Odpor“ cívky vůči střídavému proudu se nazývá induktance, někdy také induktivní reaktance. Značíme ji X_L a její velikost závisí na frekvenci střídavého proudu a na vlastnostech cívky. Čím rychleji se proud mění (vyšší frekvence), tím víc cívka „brzdí“ proud.

$$X_L = \omega L \quad [X_L] = \Omega$$

Mezi napětím a proudem je fázový rozdíl, jsou posunuté o 90 stupňů. ($\pi/2$ radiánů).

Napětí je napřed, proud se opozdí. Říkáme, že napětí předbíhá proud. Na grafech to vypadá, jako by si proud dával na čas.

Cívka nemění elektrickou energii na teplo jako odpor. Místo toho se energie elektrického proudu mění na energii magnetického pole, které se kolem cívky vytváří.



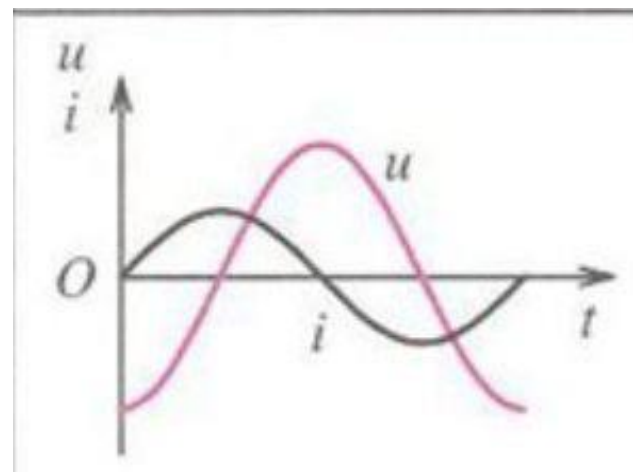
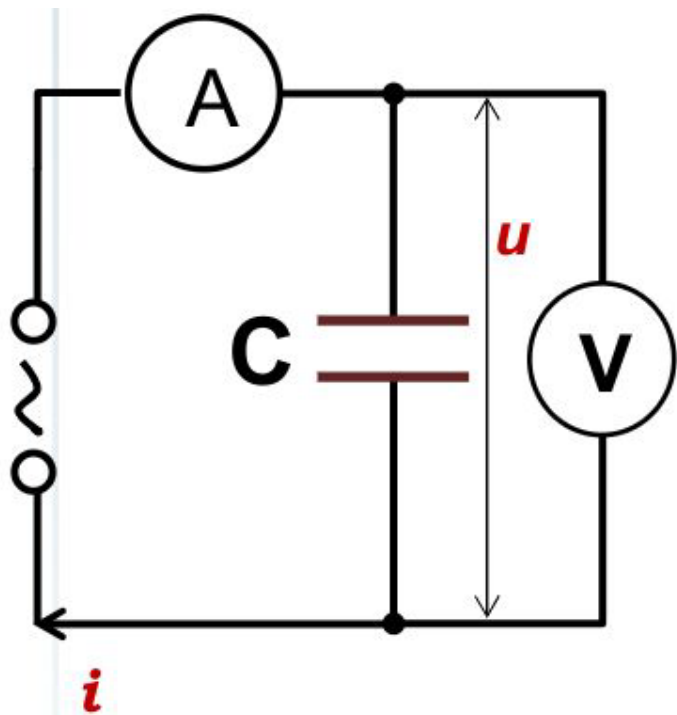
V obvodu střídavého proudu je cívka s indukčností 50 mH. Při jaké frekvenci bude její induktivní reaktance 31,4 Ω ?

- a) 50 Hz
- b) 100 Hz
- c) 150 Hz
- d) 200 Hz

Velikost induktivní reaktance obvodu střídavého proudu s frekvencí 50 Hz a indukčností 50 H je přibližně:

- a) 6,3 Ω
- b) 15,7 k Ω
- c) 41,2 Ω
- d) 98,6 Ω

Obvod střídavého proudu s kapacitou



$$i_i = I_m \sin \omega t$$

$$u_i = -U_m \cos \omega t$$

Také v obvodu střídavého proudu, který obsahuje kapacitu (například kondenzátor), platí Ohmův zákon.

Jen se nepočítá s obyčejným odporem, ale s tzv. kapacitní reaktancí (kapacitance) X_C .

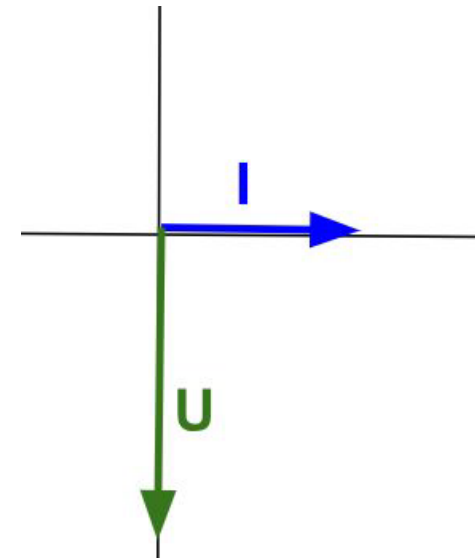
$$\frac{U_m}{I_m} = X_C$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad [X_C] = \Omega$$

Mezi napětím a proudem v kapacitním obvodu není úplná shoda. Dochází tu k fázovému rozdílu $\pi/2$.

Prakticky to znamená, že proud předbíhá napětí. Jinými slovy: kondenzátor se začne nabíjet ještě dřív, než napětí dosáhne svého maxima.

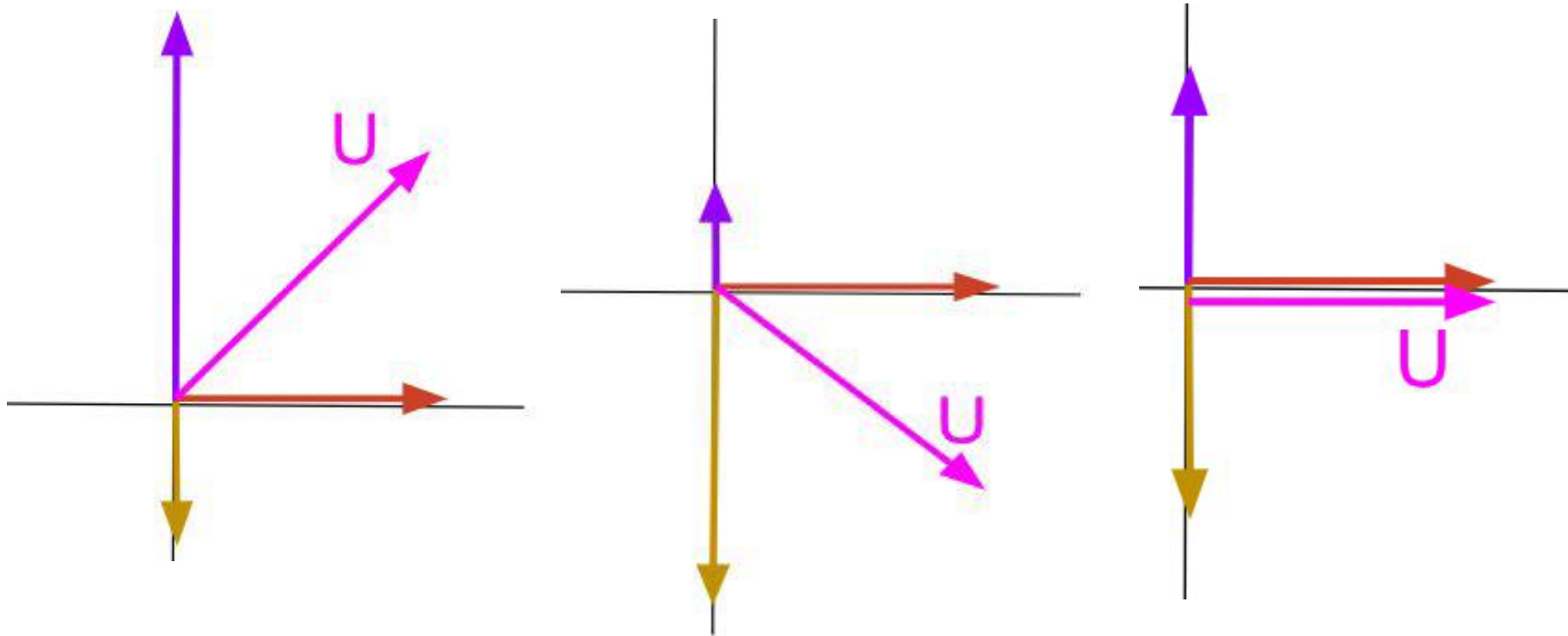
Energie elektrického proudu se v tomto obvodu nevyužívá na vytváření tepla jako v odporu, ale mění se na energii elektrického pole uvnitř kondenzátoru. Kondenzátor tuto energii dočasně uchovává a pak ji opět vrací zpět do obvodu.



Amplituda nabíjecího a vybíjecího proudu kondenzátoru v obvodu střídavého proudu:

- a) je přímo úměrná frekvenci a kapacitě
- b) nezávisí na frekvenci
- c) nezávisí na kapacitě
- d) je nepřímo úměrná frekvenci a kapacitě

Obvod střídavého proudu s R, L a C v sérii



Z – impedance

Kombinovaný odpor – bere v potaz nejen velikost odporu, ale i to, jak obvod reaguje na změny napětí a proudu v čase. Udává se v ohmech (Ω).

$$\frac{U_m}{I_m} = Z \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

X – reaktance

Dynamický odpor - vzniká v obvodech s cívkami nebo kondenzátory, kde dochází ke zpoždění mezi napětím a proudem. Reaktance neodvádí energii jako klasický odpor, ale pouze ji přehazuje sem a tam. Může být indukční (od cívek) nebo kapacitní (od kondenzátorů). Udává se rovněž v ohmech (Ω).

$$X = X_L - X_C$$

Zvláštní případ: Rezonance

Rezonance nastane, když se účinky cívky a kondenzátoru navzájem vyruší. To se stane tehdy, když platí:

$$X_L = X_C \text{ potom } Z = R$$

V tu chvíli se obvod chová, jako by v něm byl jen rezistor. Proud a napětí jsou sladěné, jejich fázový rozdíl je nulový. Proud tak dosáhne nejvyšší možné hodnoty.

Tento stav nazýváme rezonance.

Frekvenci, při které rezonance nastává, nazýváme rezonanční frekvence:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

V obvodu střídavého proudu s frekvencí 60 Hz je v sérii s rezistorem $4\ \Omega$ zařazena cívka. Celková impedance je $5\ \Omega$. Jaká je přibližná indukčnost cívky?

- a) 2 mH
- b) 4 mH
- c) 6 mH
- d) 8 mH

V obvodu střídavého proudu je v sérii s rezistorem $90\ \Omega$ zapojena cívka o induktivní reaktanci $X_L = 1256\ \Omega$ a kondenzátor o kapacitní reaktanci $X_C = 1656\ \Omega$. Jaká je celková impedance?

- a) $290\ \Omega$
- b) $360\ \Omega$
- c) $410\ \Omega$
- d) $520\ \Omega$

Výkon střídavého proudu v obvodu s odporem

velikost proudu a napětí se mění $\Rightarrow$

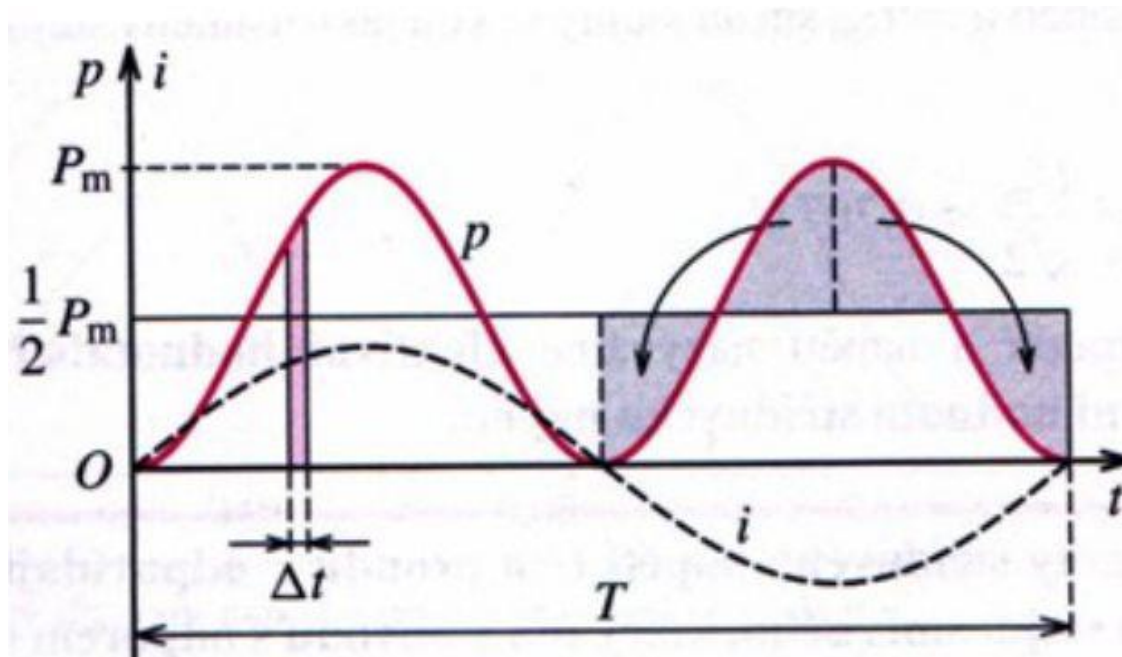
okamžitý výkon

$$p = u \cdot i$$

$$p = Ri^2 = RI_m^2 \sin^2 \omega t$$

$$P_m = RI_m^2$$

Okamžitá hodnota výkonu se mění s dvojnásobnou frekvencí než proud



Efektivní hodnoty střídavého napětí U a proudu I odpovídají hodnotám proudu stejnosměrného, který má v obvodu s odporem stejný výkon jako daný výkon střídavý.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 U_m$$

$$P = UI$$

Činný výkon střídavého proudu

Pokud se ve střídavém elektrickém obvodu nachází pouze cívka nebo kondenzátor, žádná užitečná práce se ve skutečnosti nevykonává.

Dochází pouze k opakovaným přeměnám energie – elektrická energie se mění na energii magnetického pole cívky nebo elektrického pole kondenzátoru, a pak se zase vrací zpět.

Výsledkem je, že činný (užitečný) výkon je nulový.

Ve skutečnosti ale obvody obvykle obsahují víc prvků – například odpor, cívku i kondenzátor najednou. A navíc je dobré vědět, že i cívka a kondenzátor mohou samy o sobě vykazovat určitý odpor.

Když mluvíme o činném výkonu, máme na mysli tu část elektrické energie, kterou zdroj (např. generátor nebo zásuvka) dodá obvodu a která se nevrátí zpět, ale přemění se na něco užitečného.

Typickým příkladem je přeměna na teplo (např. ve varné konvici) nebo na mechanickou práci (např. v elektromotoru).

$$P = UI \cos \varphi$$

φ - fázový rozdíl napětí a proudu

účinník – $\cos \varphi$

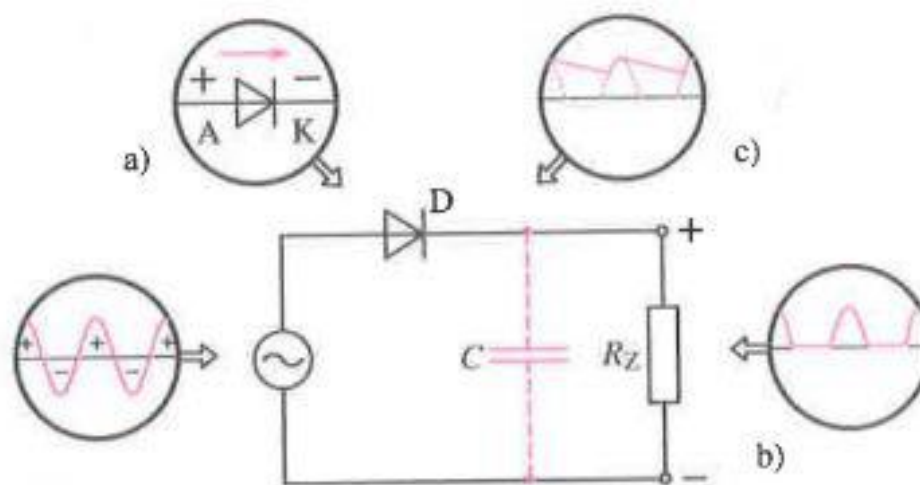
*Co děláš s radostí, to tě neunaví.
Čínské přísloví*

Elektromotorem připojeném na střídavé napětí 220 V prochází proud 10 A. Jaký je výkon motoru, je-li účinník 0,5?

- a) 0,8 kW
- b) 0,9 kW
- c) 1 kW
- d) 1,1 kW

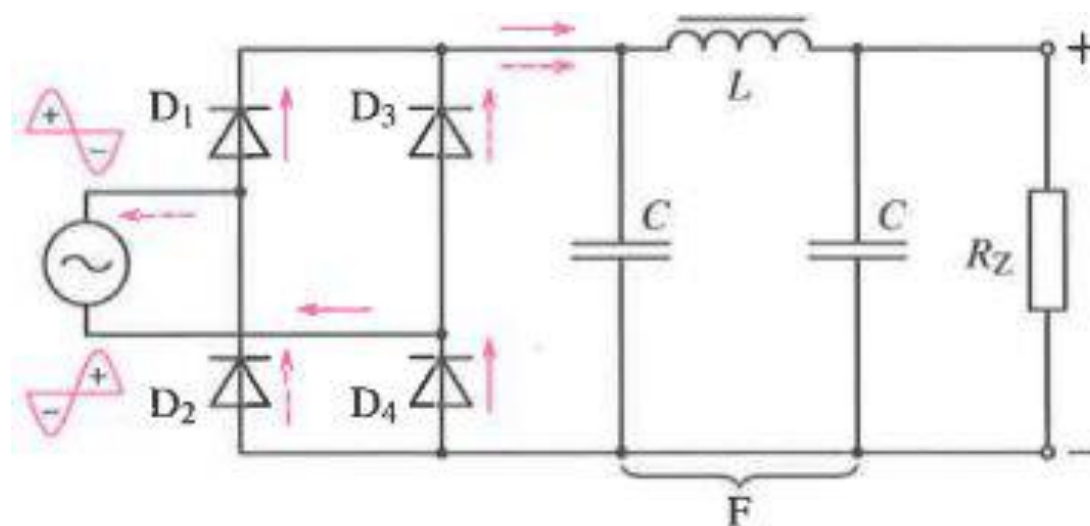
Usměrňovač

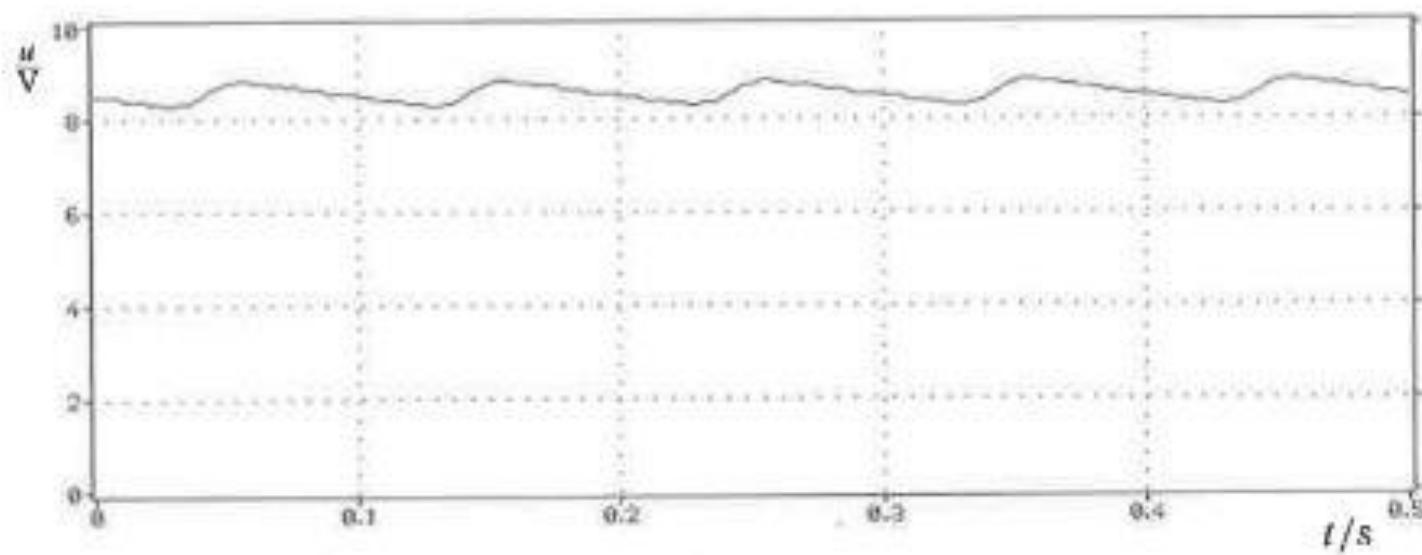
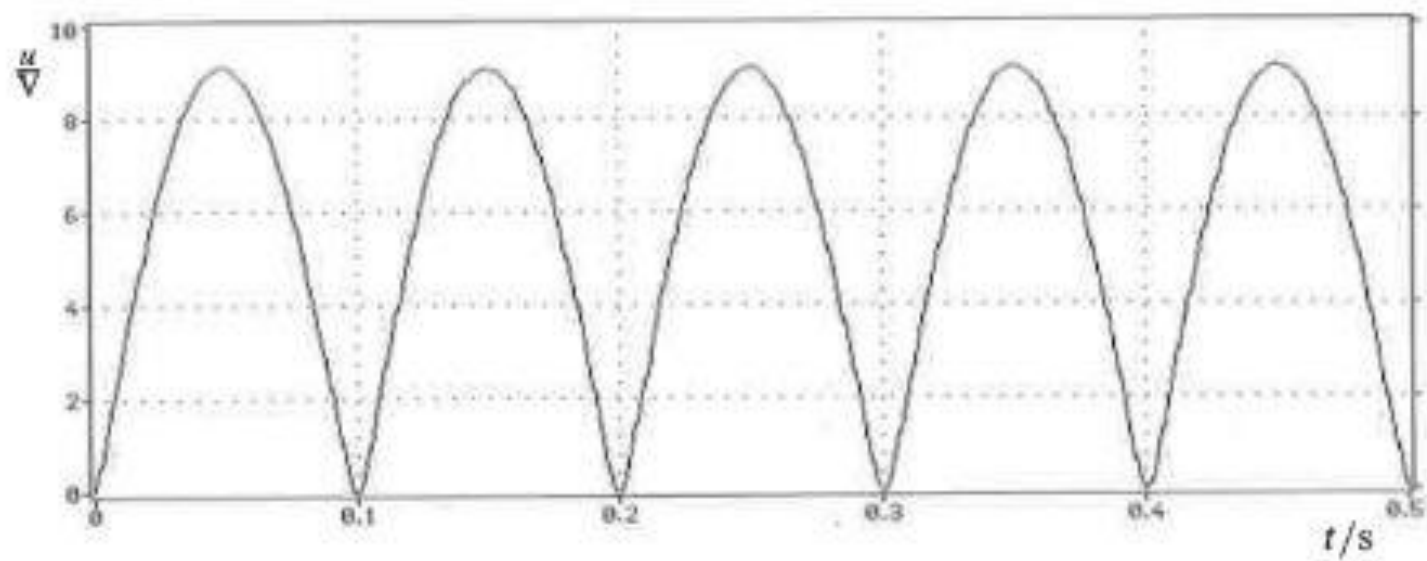
jednocestný usměrňovač



Usměrňovač

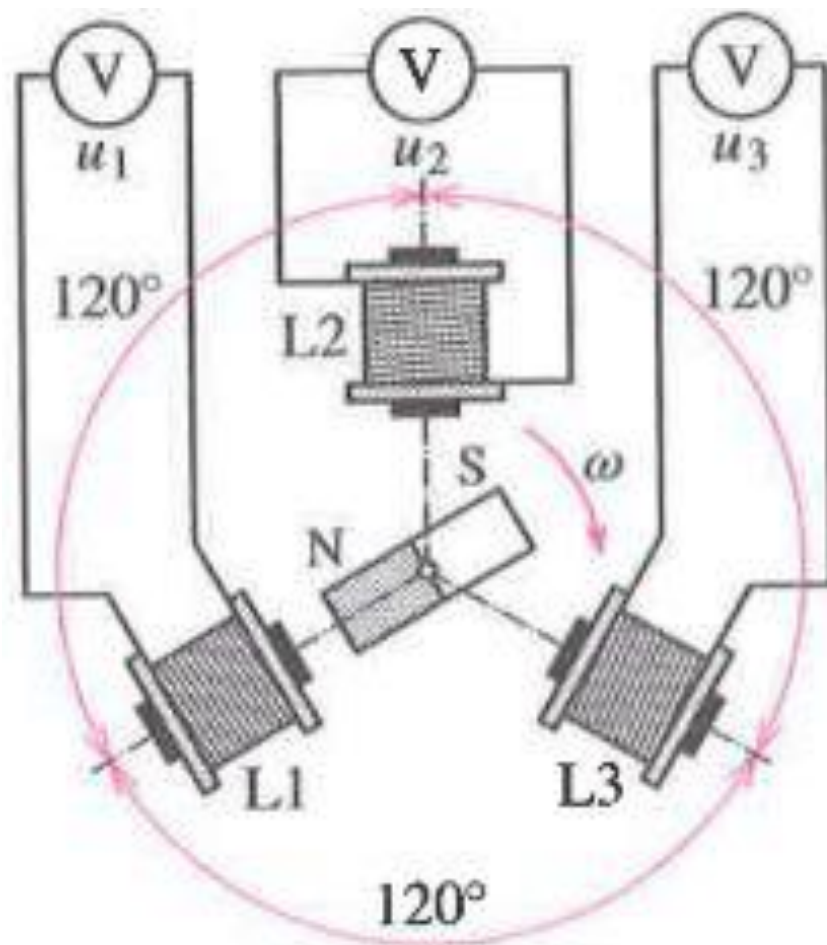
dvoucestný usměrňovač

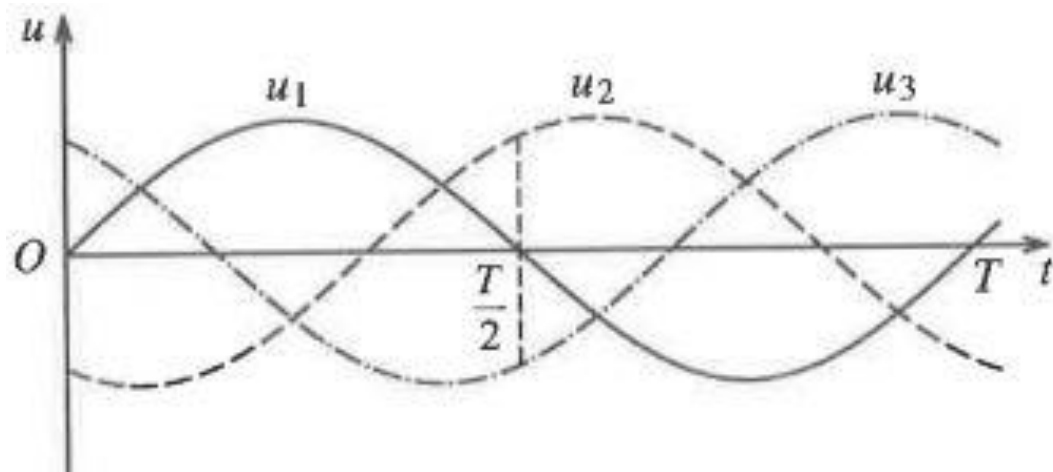




Střídavý proud v energetice

Trojfázový alternátor





$$u_1 = U_m \sin \omega t$$

$$u_2 = U_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

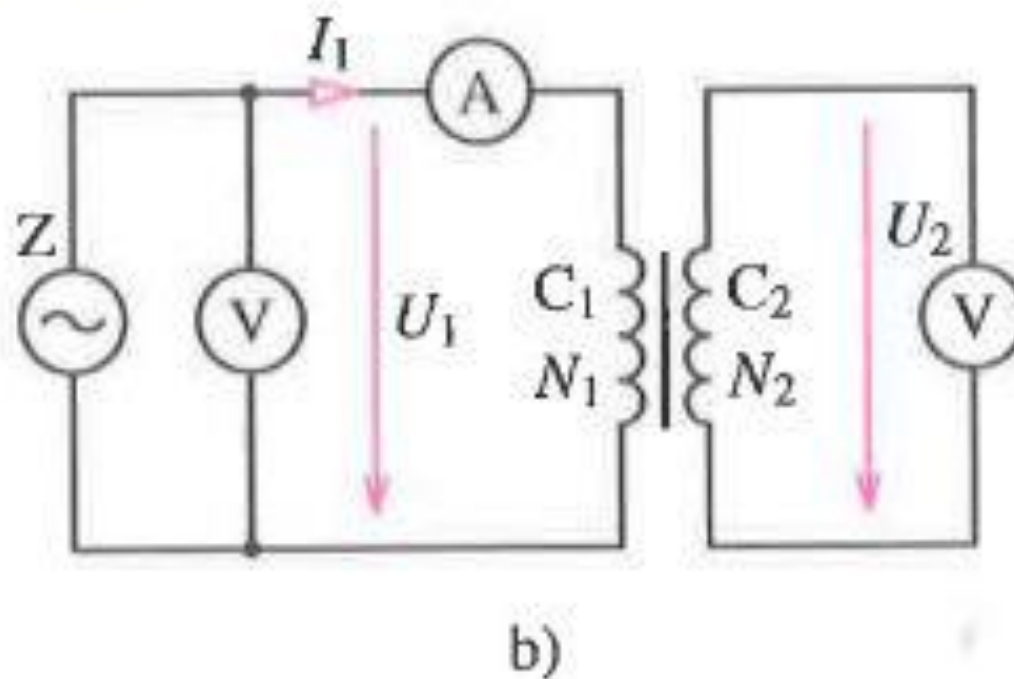
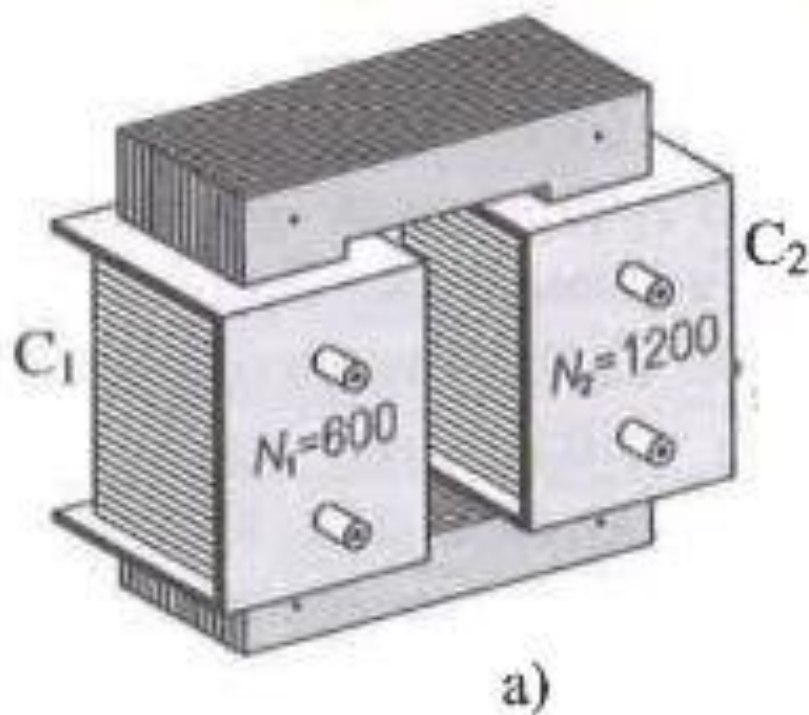
$$u_3 = U_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

Při výrobě střídavého proudu je U_m indukované ve smyčce rotující v magnetickém poli o indukci B závislé:

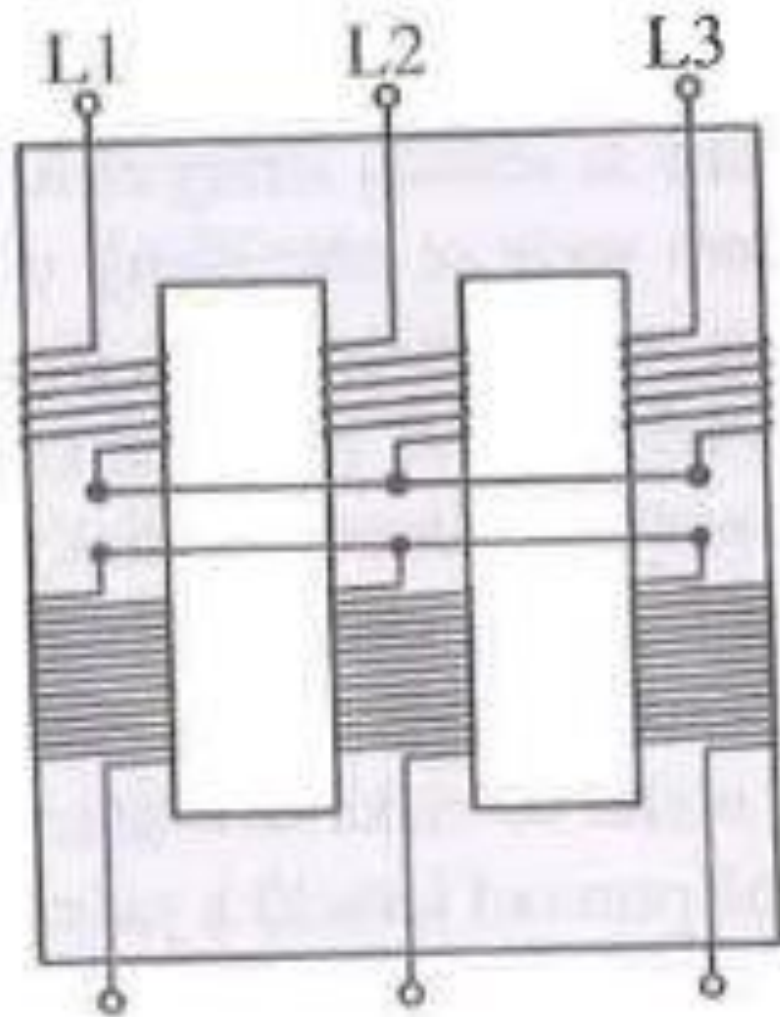
- a) pouze na velikosti indukce
- b) pouze na ploše smyčky S
- c) pouze na součinu BS
- d) také na úhlové frekvenci otáčení

*„Většina lidí ztrácí čas a energii
mluvením o problémech,
než aby je zkusili vyřešit.“*
Henry Ford

Jednofázový transformátor



Trojfázový transformátor



U jednofázového transformátoru stejnosměrné napětí:

- a) je možné transformovat pouze v přirozených násobcích transformačního poměru
- b) je možné transformovat pouze v transformačním poměru z vyššího napětí na nižší
- c) je možné transformovat pouze v transformačním poměru z nižšího napětí na vyšší
- d) nelze transformovat

Značí-li U napětí a N počet závitů, pak pro transformátor platí rovnice:

a) $U_2/U_1 = N_1/N_2$

b) $U_2N_2 = U_1N_1$

c) $U_1/U_2 = N_2/N_1$

d) $U_1N_2 = U_2N_1$

Výkon transformátoru připojeného na síťové napětí 230 V je 4,6 kW. Jak velký proud prochází sekundární cívkou při transformačním poměru $k = 0,4$ a účinnosti transformátoru 1?

- a) 10 A
- b) 20 A
- c) 30 A
- d) 50 A

Příkon transformátoru je 1 kW, účinnost 95%. Jaký proud prochází sekundárním vinutím, ke kterému je připojen rezistor, jestliže sekundární napětí je 50V?

- a) 12 A
- b) 16 A
- c) 19 A
- d) 24 A

Přenosová soustava



přenášený výkon se snižuje o hodnotu $P = I^2 R$

I - proud ve vodičích vedení

R - odpor vodičů

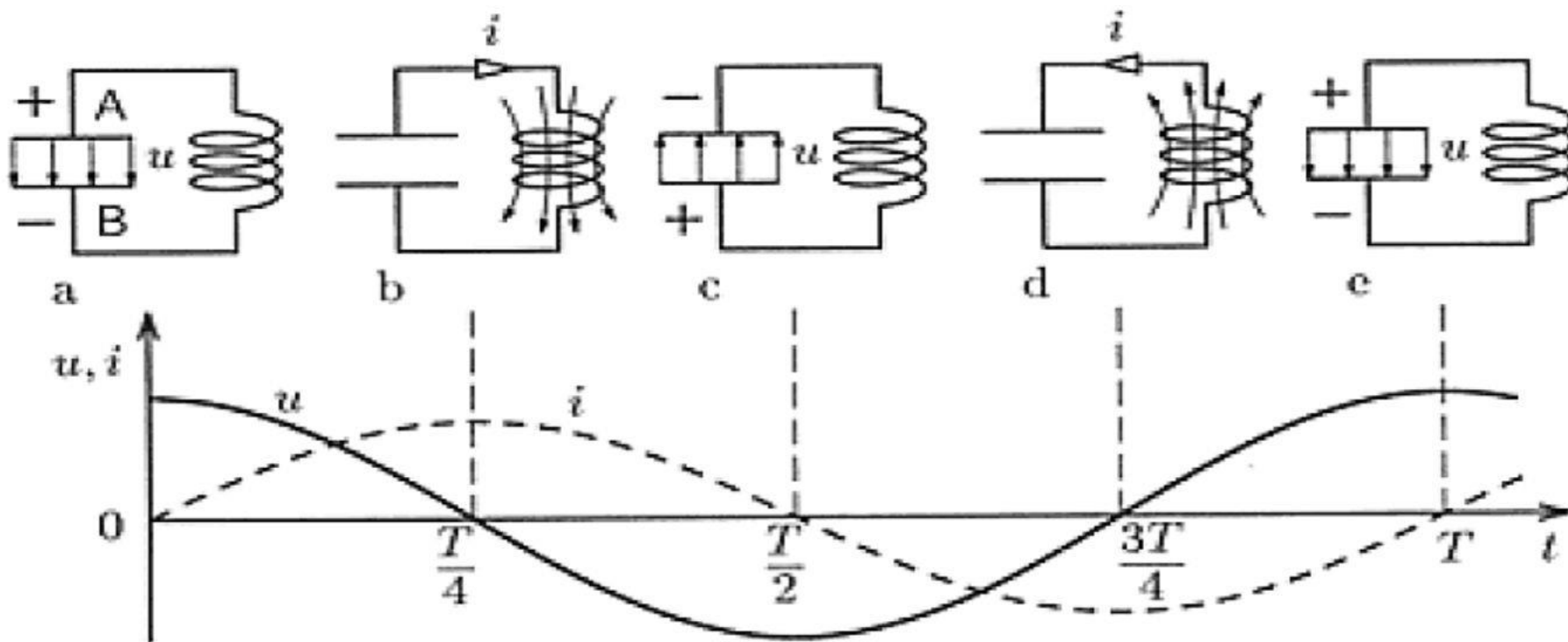
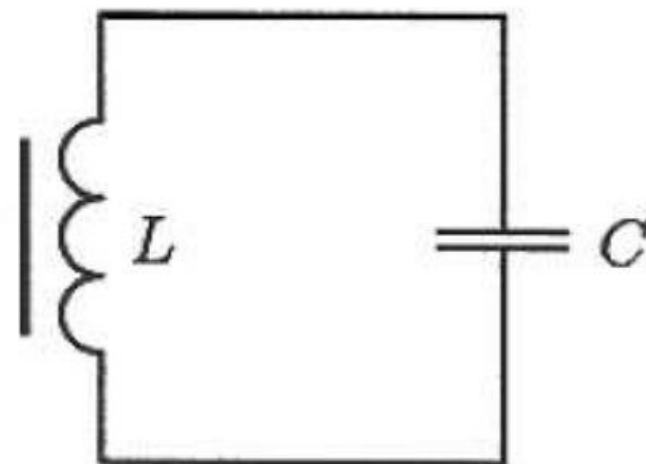
Vedením přenosové soustavy jednofázového střídavého proudu je přenášen výkon 33 MW. Určete ztráty výkonu ve vedení při napětí 22 kV, má-li vedení odpor 0,12 Ω .

- a) 0,14 MW
- b) 0,27 MW
- c) 0,42 MW
- d) 0,56 MW

Časový průběh napětí v elektrorozvodné síti nelze zjistit:

- a) potenciometrem
- b) osciloskopem
- c) voltmetrem
- d) ampérmetrem

Elektromagnetické kmitání



energie el. pole cívky

$$E = \frac{1}{2}LI^2$$

energie mg. pole kondenzátoru

$$E = \frac{1}{2}CU^2$$

Značí-li Q náboj, U napětí a C kapacitu, je energie oscilačního (LC) obvodu dána vztahem:

a) $E = QU^2/2$

b) $E = Q/2C$

c) $E = QU/2$

d) $E = CU/2$

Vlastní úhlová frekvence, frekvence a perioda

$$\omega_0 = \frac{1}{LC} \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Thomsonův vztah

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

Vlastní frekvence (perioda) závisí pouze na parametrech (tedy L a C).

Které tvrzení je nesprávné? Frekvence oscilačního obvodu, do jehož cívky vsuneme jádro z měkké oceli, se:

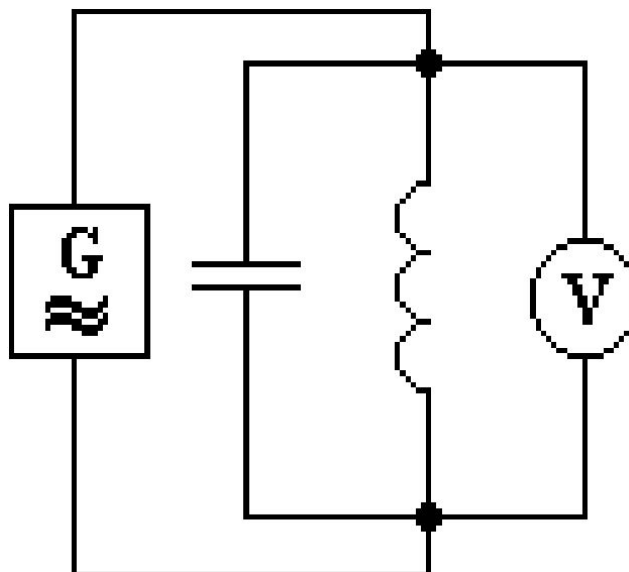
- a) silně zvětší
- b) nepatrně zvětší
- c) zmenší
- d) nezmění

Perioda vlastních kmitů oscilačního obvodu tvořeného cívkou o indukčnosti 10 mH a kondenzátorem o kapacitě 900 μF se zanedbatelným tlumením je přibližně:

- a) 4,9 ms
- b) 9,8 ms
- c) 18,8 ms
- d) 37,2 ms

*„Energii nelze vytvořit ani zničit,
lze ji změnit pouze
z jedné formy do jiné.“
Albert Einstein*

Nucené kmitání, rezonance



Oscilátor kmitá s frekvencí připojeného zdroje, nikoliv s frekvencí vlastního kmitání.

Pokud se tato frekvence “trefí” do vlastní frekvence, nastává rezonance, v obvodu dosáhneme největší amplitudy.

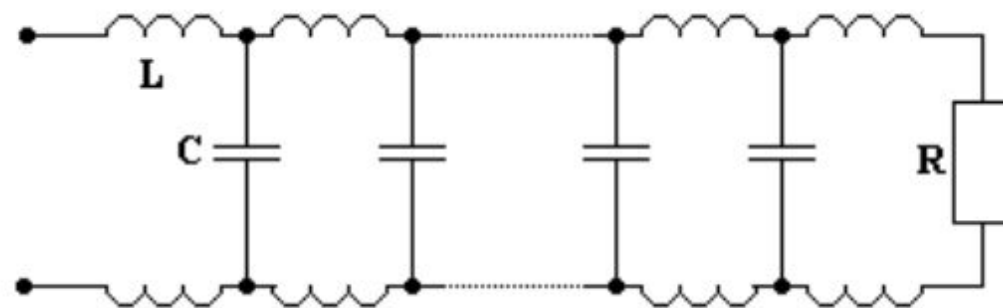
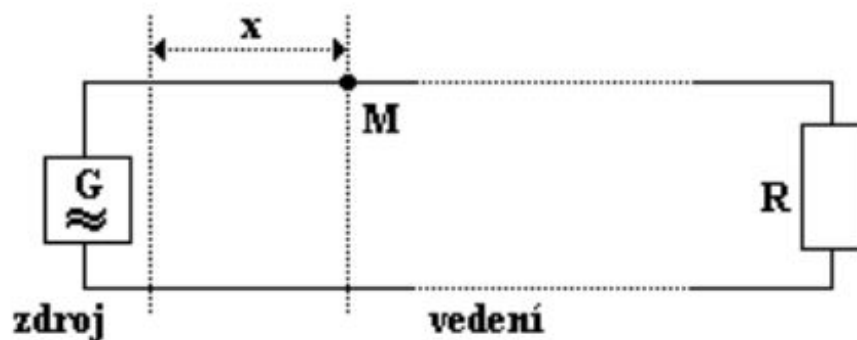
V obvodu s RLC v sérii platí, že při frekvenci 50 Hz je $9 X_L = X_C$. Jaká musí být frekvence, aby nastala rezonance?

- a) 50 Hz
- b) 100 Hz
- c) 150 Hz
- d) 200 Hz

Oscilační obvod je tvořen cívku o indukčnosti 10 mH a kondenzátorem o kapacitě 2 μ F. O kolik procent se změní frekvence, jestliže do obvodu sériově zapojíme další cívku o indukčnosti 30 mH?

- a) vzroste o 25%
- b) vzroste o 50%
- c) zmenší se o 25%
- d) zmenší se o 50%

Elektromagnetické vlnění



$$s = v \cdot t$$

$$\lambda = c \cdot T \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

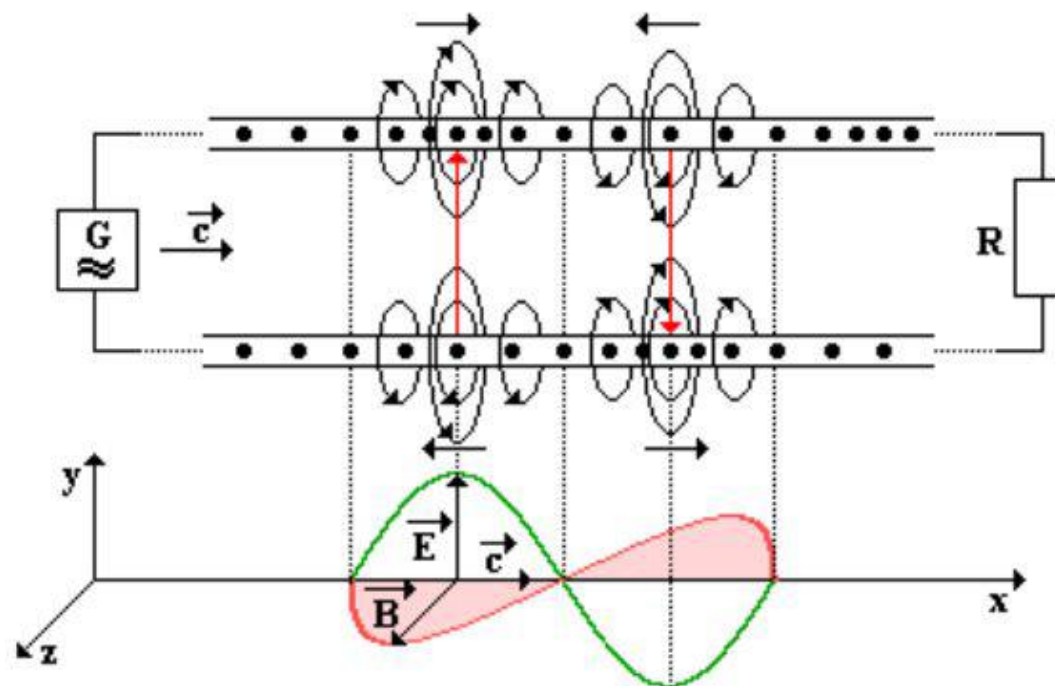
Vlnová délka elektromagnetické vlny ve vakuu při frekvenci 50 Hz je přibližně:

- a) 60 km
- b) 600 km
- c) 6000 km
- d) 60000 km

*„Přitahujete energii, kterou vydáváte.
Šiřte dobré pocity. Myslete pozitivně.
Radujte se ze života.“*

Ralph Smart

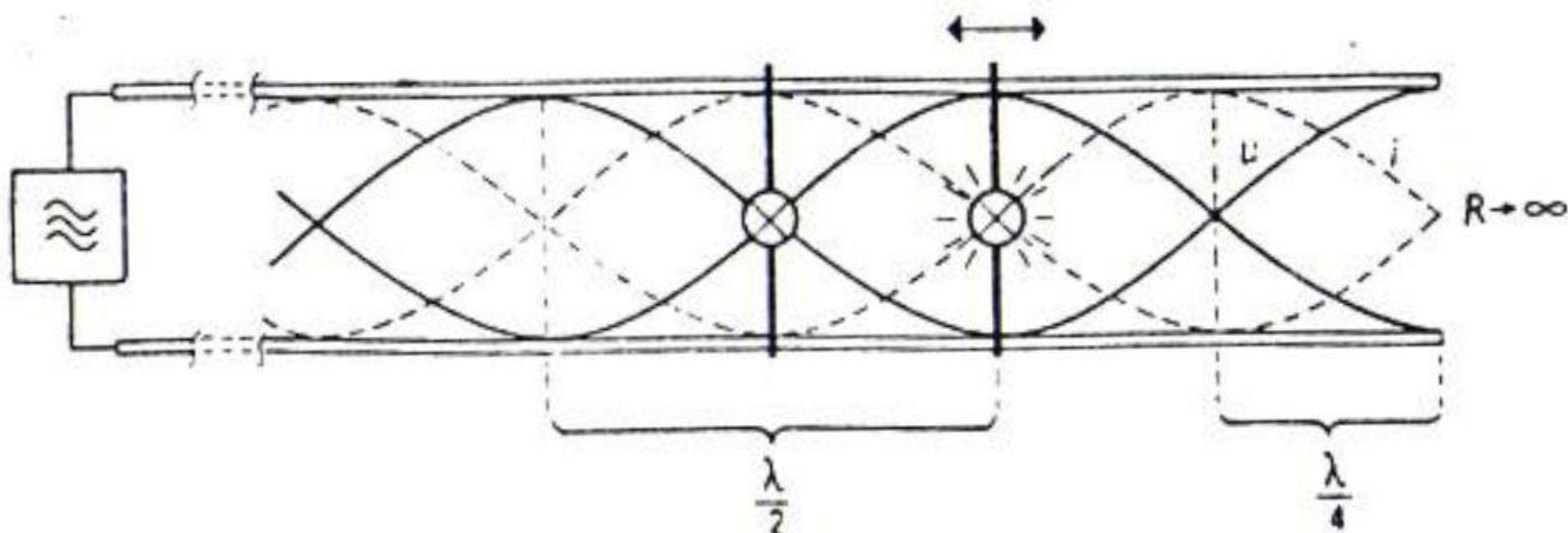
Elektromagnetická vlna



V prostoru mezi vodiči vzniká časově proměnné silové pole – pole elektromagnetické.

Má složku elektrickou a magnetickou (charakterizují je **E** a **B**).

Stojaté elektromagnetické vlnění



Pracovní list

Magnetické pole, střídavý proud, elmg. kmitání a vlnění

Elektromagnetická indukce - kouzlo magnetu a cívky

Pomůcky: měřicí zařízení LabQuest, dvě cívky s různým počtem závitů, dva různé magnety, čtyři vodiče

V tomto pokusu se podíváme na jeden z klíčových jevů elektromagnetismu – elektromagnetickou indukci. Budeme zjišťovat, jak se při pohybu magnetu v blízkosti cívky vytváří elektrický proud. Vyzkoušíme si, jak velikost vzniklého proudu závisí na různých faktorech – konkrétně na rychlosti pohybu magnetu, na počtu závitů cívky a na síle samotného magnetu.

1. Příprava měření

Zapni zařízení LabQuest a připoj k němu ampérmetr (měřič proudu).

2. Nastavení přístroje

V menu pro sběr dat nastav měření na 100 vzorků za sekundu a délku měření nastav na 10 sekund. To bude stačit, měření můžeš kdykoli zastavit ručně. Ampérmetr vynuluj.

Než začneš měřit, vynuluj ampérmetr a nastav si zobrazení dat v podobě grafu, aby bylo možné lépe sledovat průběh proudu.

3. Výběr cívky

Vyber si jednu z cívek (například tu s menším počtem závitů) a připoj ji k ampérmetru.

4. Rychlost pohybu magnetu

Spusť měření. Poté vezmi jeden magnet a nejdříve ho pomalu vlož do cívky a zase pomalu vytáhni.

Zopakuj tentýž pohyb, ale tentokrát rychleji.

Zastav měření a porovnej, jak se změnila velikost indukovaného proudu.

5. Vliv typu magnetu

Opět spusť měření. Tentokrát použij dva různé magnety: nejdříve jeden, potom druhý a pokaždé je stejnou rychlostí vkládej a vytahuj z cívky.

Po zastavení měření vyhodnoť, jak se proud lišil v závislosti na magnetu.

6. Vliv počtu závitů

Připoj k ampérmetru paralelně i druhou cívku (tj. obě cívky měří zároveň).

Spusť měření a do každé cívky postupně vlož a opět vyjmi magnet. Snaž se u obou zachovat stejnou rychlost pohybu.

Nakonec měření zastav a porovnej, jak se změnila velikost proudu v závislosti na počtu závitů jednotlivých cívek.

Elektromagnetická indukce

pomůcky: LabQuest, 2 cívky s různým počtem závitů, 2 různé magnety, 4 vodiče

Při vzájemném pohybu magnetu a cívky se indukuje napětí, vodičem protéká proud. Ověřte, jak závisí velikost indukovaného proudu na rychlosti pohybu magnetu, na počtu závitů cívky, na “síle” magnetu.

1. zapněte LabQuest; připojte ampérmetr
2. ve sběru dat nastavte 100 vzorků za sekundu, délka trvání stačí 10 s (zastavovat měření můžete ručně); ampérmetr vynulujte; nastavte zobrazení grafu
3. vyberte jednu cívku, připojte ji k ampérmetru
4. spusťte měření - magnet vložte a vyjměte z cívky nejdřív pomalu, pak rychle; měření zastavte; vyhodnoťte velikost indukovaného proudu
5. spusťte měření - vložte a vyjměte z cívky nejdřív jeden magnet, pak jiný (snažte se dodržet rychlost pohybu); měření zastavte; vyhodnoťte velikost indukovaného proudu
6. k ampérmetru zapojte paralelně druhou cívku; spusťte měření - vložte a vyjměte z jedné cívky magnet, totéž proveďte u druhé cívky (snažte se zachovat rychlost pohybu); měření zastavte a vyhodnoťte velikost indukovaného proudu

Elektromagnetická indukce

závěr:

závislost indukovaného proudu na rychlosti pohybu magnetu

závislost indukovaného proudu na **B** magnetu

závislost indukovaného proudu na počtu závitů cívky

Jak si vyrobit malý elektromotor

Pomůcky: zvonkový drát (tedy tenký měděný vodič s izolací), kleště, plochou baterii (např. 4,5 V), silný magnet (nejlépe neodymový) a nůž.

Cílem je sestavit jednoduchý model elektromotoru – tedy zařízení, které se dokáže otáčet díky elektrickému proudu a magnetickému poli. Ačkoliv si takový model můžete vyrobit za pár minut, skrývá se v něm spousta fyziky, kterou využívají i skutečné elektromotory.

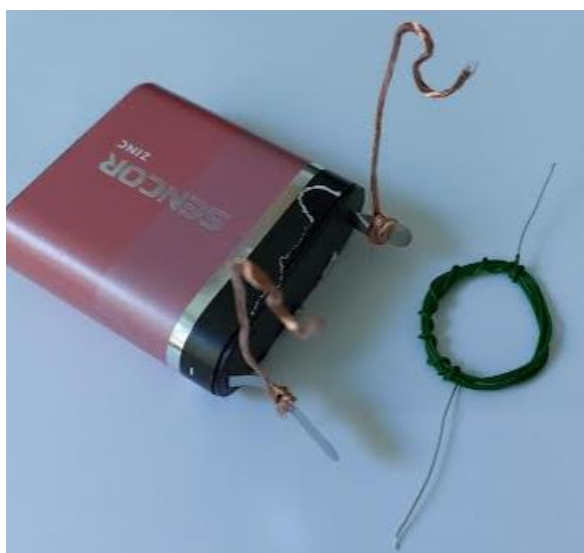
1. Připrav si dva pevnější kousky drátu, každý asi 10 cm dlouhý

Pomocí nože opatrně odstraň izolaci z obou konců těchto drátů. Budou sloužit jako podpěry pro cívku.

2. Z tenčího vodiče dlouhého přibližně 50 cm vytvoř cívku

Drát ponechej v izolaci, ale oba jeho konce je potřeba na několika milimetrech odizolovat, právě tyto části se budou dotýkat držáků.

3. Zavěs cívku na připravené držáky a z boku přilož magnet

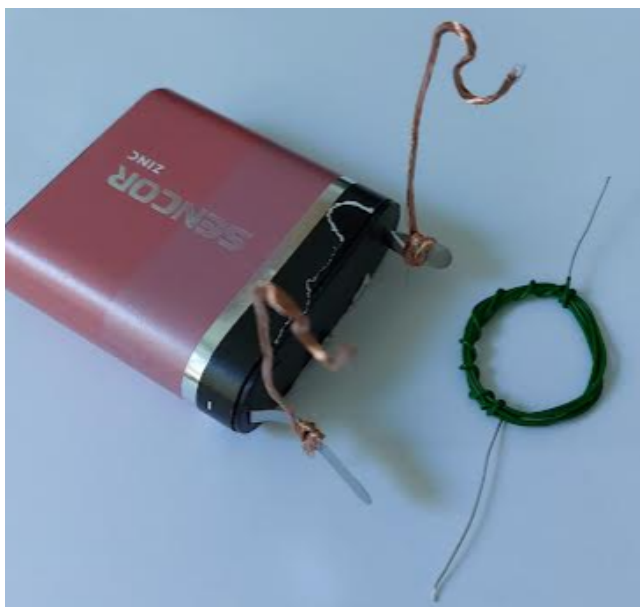


Jednoduchý elektromotor

pomůcky: zvonkový drát, kleště, plochá baterie, magnet, nůž

Podle vzoru vyrobte elektromotor

1. dva kousky silnějšího drátu cca 10 cm dlouhé zbavte izolace; budou sloužit k zavěšení cívky k ploché baterii
2. z vodiče o délce cca 50 cm vytvarujte cívku; drát ponechte v izolaci, pouze konce, které se budou dotýkat závěsů obnažte
3. cívku uložte na závěsy a z boku přiložte magnet



Magnetické pole přímého vodiče se střídavým proudem

pomůcky: LabQuest, rychlovarná konvice, teslametr Vernier

Při průchodu proudu přívodním vodičem rychlovarné konvice vzniká v jeho blízkosti proměnné magnetické pole. Jeho vlastnosti zjistíme teslametrem.

1. zapněte LabQuest; teslametr nastavte na rozsah 0,3 mT a připojte ho k LabQuestu
2. nastavte parametry sběru dat - 10 000 vzorků; délku měření 0,1 s
3. teslametr umístěte těsně k vodiči; senzor vynulujte
4. zvolte zobrazení grafu; zapněte konvici a pak spusťte měření
5. v grafu závislosti magnetické indukce na čase vyhledejte odpovědi na následující otázky

Magnetické pole přímého vodiče se střídavým proudem

1) kolik period se vešlo do času 0,1 s?

2) jaká je perioda, jaká je frekvence?

$T =$

$f =$

3) porovnej frekvenci s frekvencí proudu ve spotřebitelské síti

4) jaká je amplituda magnetické indukce

$B_m =$

Účinnost rychlovarné konvice

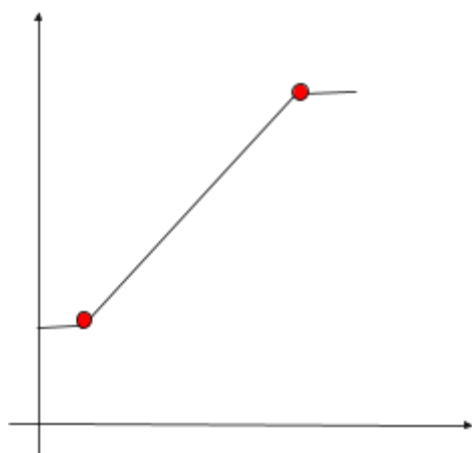
pomůcky: LabQuest, rychlovarná konvice, odměrný válec, teploměr

Při ohřevu dodává konvice vodě teplo $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$. Známe-li dobu ohřevu a teplotní rozdíl, můžeme vypočítat dodanou energii a výkon konvice. Z údaje na štítku konvice můžeme zjistit příkon a určit tak účinnost.

1. konvici naplňte vodou o známém objemu (pomocí odměrného válce); hladina musí být tak vysoko, aby byl konec teploměru po vložení do otvoru konvice ponořený
2. zapněte LabQuest, připojte teploměr
3. nastavte parametry měření - frekvence 2 vzorky za sekundu, délku měření odhadněte podle množství vody (na 1 l vody cca 600 s); zvolte zobrazení grafu
4. spusťte záznam dat; zapněte konvici

V grafu pozorujeme růst teploty. Pokud po vypnutí konvice zbývá do ukončení experimentu ještě hodně času, můžete měření ukončit sami.

Graf by měl mít podobný průběh, jaký je na následujícím obrázku. Zajímají nás dva body.



5. odečtěte z grafu teplotu a čas, kdy konvice začala vodu zahřívat (spodní bod)
6. odečtěte z grafu teplotu a čas, kdy se konvice vypnula (horní bod)
7. vypočítejte dodané teplo
8. vypočítejte výkon konvice
9. vypočítejte účinnost (příkon najdete na štítku na spodní části konvice)

Účinnost rychlovarné konvice

naměřené a vypočítané hodnoty

m (kg)	
t_1 (°C)	
t_2 (°C)	
Δt (°C)	
t_1 (s)	
t_2 (s)	
Δ (s)	

dodané teplo Q	
výkon P	
příkon P_0	
účinnost η	

Magnetické pole vodiče se střídavým proudem - když proud mění směr, mění se i magnetismus

Pomůcky: LabQuest, rychlovarná konvice, teslametr Vernier

Když vodičem proudí elektrický proud, vzniká kolem něj magnetické pole. Pokud jde o střídavý proud, tedy takový, který neustále mění směr, pak i toto magnetické pole je proměnné. V tomto pokusu se podíváme, jak takové pole vypadá v praxi, k čemuž nám pomůže teslametr.

1. Příprav techniku k měření

Zapni zařízení LabQuest a připoj k němu teslametr Vernier. Na teslametru nastav měřicí rozsah na 0,3 militesla (mT).

2. Nastav parametry sběru dat

V LabQuestu zadej počet vzorků na 10 000 a délku měření nastav na 0,1 sekundy. Tím získáš velmi podrobný záznam změn magnetického pole v čase.

3. Příprav měření

Přilož senzor teslametru těsně k přívodnímu vodiči rychlovarné konvice. Než začneš měřit, vynuluj senzor, tím odstraníš případné rušivé vlivy okolí.

4. Spust měření

V LabQuestu si vyber možnost zobrazení grafu. Zapni konvici a hned poté spust měření.

5. Vyhodnocení výsledků

V grafu, který ukazuje závislost magnetické indukce na čase, se nyní pokus najít odpovědi na tyto otázky:

Magnetické pole vodiče se střídavým proudem

1. Kolik period se vešlo do 0,1 sekundy?

2. Jaká je perioda a jaká je frekvence?

$T =$

$f =$

3. Odpovídá naměřená frekvence běžné frekvenci střídavého proudu v elektrické síti (50 Hz)?

4. Jaká je amplituda magnetické indukce?

Měření multimetrem

pomůcky: multimetr, rezistory, kondenzátory

- A) Porovnejte hodnotu výsledného odporu při sériovém a paralelním řazení rezistorů získanou výpočtem a změřenou multimetrem .
- B) Porovnejte hodnotu výsledné kapacity při sériovém a paralelním řazení kondenzátorů získanou výpočtem a změřenou multimetrem .

- změřte multimetrem odpor určených rezistorů

	rezistor 1	rezistor 2	rezistor 7	rezistor 8
R [Ω]				

- vypočítejte z těchto naměřených hodnot výsledný odpor při sériovém a paralelním řazení obou dvojic rezistorů

	rezistory 1 a 2	rezistory 7 a 8
sériové řazení		
R [Ω]		
paralelní zařazení		
R [Ω]		

- změřte multimetrem výsledný odpor při daném řazení a výsledky porovnejte

	rezistory 1 a 2	rezistory 7 a 8
sériové řazení		
R [Ω]		
paralelní zařazení		
R [Ω]		

- změřte multimetrem kapacitu určených kondenzátorů

	kondenzátor 2	kondenzátor 3	kondenzátor 4	kondenzátor 5
C [nF]				

- vypočítejte z těchto naměřených hodnot výslednou kapacitu při sériovém a paralelním řazení obou dvojic kondenzátorů

	kondenzátory 2 a 3	kondenzátory 4 a 5
sériové řazení		
C [nF]		
paralelní zařazení		
C [nF]		

- změřte multimetrem výslednou kapacitu při daném řazení a výsledky porovnejte

	kondenzátory 2 a 3	kondenzátory 4 a 5
sériové řazení		
C [nF]		
paralelní zařazení		
C [nF]		

Nastavení multimetru při měření odporu



rozsah pro rezistory 1 a 2 - 2 k Ω
rozsah pro rezistory 7 a 8 - 200 k Ω

Nastavení multimetru při měření kapacity



rozsah pro kondenzátory 2, 3 a 4 - 20 nF
rozsah pro kondenzátor 5 - 200 nF

Výkon pod pokličkou aneb co umí rychlovarka

Pomůcky: LabQuest, rychlovarná konvice, odměrný válec, teploměr

Když ohříváme vodu v konvici, dodáváme jí teplo. Množství dodaného tepla se dá spočítat podle známého vzorce $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$. Pokud zároveň změříme, jak dlouho ohřev trval, můžeme vypočítat, kolik energie konvice vodě skutečně předala a jaký byl její výkon. Porovnáním s hodnotou příkonu uvedenou na štítku konvice pak zjistíme její účinnost.

1. Naplň konvici vodou o přesně známém objemu.

Použij odměrný válec, aby bylo množství vody opravdu přesné. Dbej na to, aby po vložení teploměru sahala hladina vody dostatečně vysoko a konec čidla byl ponořen.

2. Zapni přístroj LabQuest a připoj k němu teploměr.

Přístroj začne měřit teplotu vody v reálném čase.

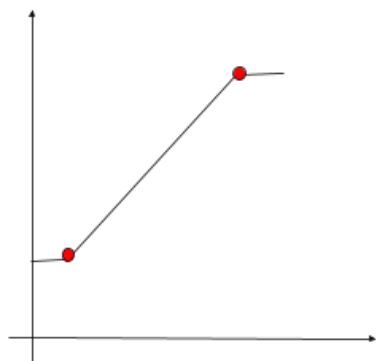
3. Nastav parametry měření.

Zvol frekvenci měření 2 vzorky za sekundu. Délku měření odhadni podle objemu vody: například 1 litr vody potřebuje přibližně 600 sekund. Aktivuj zobrazení výsledků do grafu.

4. Spusť záznam dat a zapni konvici.

Sleduj graf. Teplota vody bude postupně růst. Pokud konvice vodu ohřeje dřív, než experiment automaticky skončí, klidně měření ukončí.

V grafu by měl být viditelný plynulý nárůst teploty. Zajímá nás začátek a konec ohřevu.



5. Z grafu odečti teplotu a čas na začátku ohřevu vody.

To je bod, kdy se voda začala zahřívat, tedy spodní bod grafu.

6. Odečti teplotu a čas v okamžiku, kdy se konvice automaticky vypnula.

To je horní bod v grafu, voda dosáhla varu nebo nastavené teploty.

7. Vypočítej množství dodaného tepla (Q).

8. Vypočítej výkon konvice (P).

9. Nakonec vypočítej účinnost konvice.

Na spodní straně konvice najdi štítek s údajem o příkonu (ve wattech).

Výkon pod pokličkou aneb co umí rychlovarka

naměřené a vypočítané hodnoty

m (kg)	
t_1 (°C)	
t_2 (°C)	
Δt (°C)	
t_1 (s)	
t_2 (s)	
Δ (s)	

dodané teplo Q	
výkon P	
příkon P_0	
účinnost η	

16.

Test

Magnetické pole, střídavý proud, elmg. kmitání a vlnění

Orientaci magnetických indukčních čar určuje:

- a) Lenzovo pravidlo
- b) Ampérovo pravidlo pravé ruky
- c) Ampérovo pravidlo levé ruky
- d) Flemingovo pravidlo levé ruky

Velikost magnetické indukce pole přímého vodiče s proudem je

- a) nepřímo úměrná permeabilitě prostředí
- b) přímo úměrná permeabilitě prostředí
- c) přímo úměrná kvadrátu proudu
- d) nepřímo úměrná proudu

Poloměr kruhové trajektorie nabitě částice v homogenním magnetickém poli je

- a) přímo úměrný náboji
- b) přímo úměrný magnetické indukci
- c) přímo úměrný rychlosti částice
- d) závislý na hmotnosti částice

Na elektron s nábojem $1,6 \times 10^{-19}$ C, který se pohybuje rychlostí 10^6 m/s v magnetickém poli kolmo ke směru indukčních čar, působí magnetická síla 8×10^{-15} N. Jaká je magnetická indukce tohoto pole?

- a) 5 mT
- b) 25 mT
- c) 50 mT
- d) 500 mT

Které z následujících tvrzení je správné? Indukované elektromotorické napětí vzniká

- a) ve vodiči, který se pohybuje v časově neproměnném magnetickém poli
- b) v nepohybujícím se vodiči, který je v časově proměnném magnetickém poli
- c) ve vodiči, který se pohybuje v časově proměnném magnetickém poli
- d) v nepohybujícím se vodiči, který je v časově neproměnném magnetickém poli

Energie magnetického pole cívky, kterou prochází proud 200 mA je 5 mJ. Jakou má cívka indukčnost?

- a) 25 mH
- b) 250 mH
- c) 10 mH
- d) 100 mH

Značí-li U napětí a I intenzitu proudu, pak pro transformátor platí rovnice

- a) $U_2/U_1 = I_2/I_1$
- b) $U_2 I_1 = U_1 I_2$
- c) $U_2/I_1 = U_1/I_2$
- d) $U_1/U_2 = I_1/I_2$

Jako usměrňovače střídavého proudu lze použít

- a) transformátoru
- b) kondenzátoru
- c) diody
- d) solenoidu

Jednotkou impedance je

- a) siemens
- b) farad
- c) ohm
- d) henry

Činný výkon střídavého proudu v obvodu s impedancí má jednotku

- a) $\text{watt} \cdot \text{s}^{-1}$
- b) $\text{watt} \cdot \text{s}$
- c) watt
- d) watt^{-1}

Je-li φ fázový posun střídavého napětí a proudu, pak účinníkem nazýváme výraz

- a) $\sin \varphi$
- b) $\cos \varphi$
- c) $\text{tg } \varphi$
- d) $\text{cotg } \varphi$

Při výrobě trojfázového proudu jsou indukovaná napětí fázově posunuta o

- a) $\frac{1}{3} T$
- b) $\frac{1}{2} T$
- c) $\frac{1}{4} T$
- d) $\frac{1}{8} T$

Rotor alternátoru pro výrobu síťového trojfázového proudu rotuje s rychlostí

- a) 50 otáček/min
- b) 300 otáček/min
- c) 1500 otáček/min
- d) 3000 otáček/min

Mezi libovolnými fázovými vodiči naší rozvodné sítě je sdružené napětí o velikosti

- a) 220 V
- b) 380 V
- c) 220/3 V
- d) 0 V

Výkon transformátoru s transformačním poměrem k je při zanedbatelných ztrátách

- a) k -krát nižší než příkon
- b) k -krát vyšší než příkon
- c) stejný jako příkon
- d) závislý pouze na velikosti proudu