

Elektrotechnika

Elektronická učebnice

Bc. Mgr. Roman Hodslavský

Tento materiál byl vytvořen v rámci projektu CZ.1.07/1.1.07/03.0027
Tvorba elektronických učebnic

OBSAH

Přehled fyzikálních veličin a symbolů	4
Úvod	8
1 Elektrický náboj a elektrické pole	9
1.1 Elektrický náboj a jeho vlastnosti	9
1.2 Silové působení a Coulombův zákon	11
1.3 Elektrické pole a jeho intenzita	14
1.4 Práce elektrické síly, elektrický potenciál a napětí	17
1.5 Kapacita vodiče, kondenzátor	20
1.6 Spojování kondenzátorů	23
2 Elektrický proud v kovech	26
2.1 Elektrický odpor kovového vodiče	26
2.2 Ohmův zákon pro uzavřený obvod	31
2.3 Kirchhoffovy zákony	34
2.4 Spojování rezistorů	38
2.5 Spojování zdrojů napětí	41
2.6 Práce a výkon elektrického proudu	42
3 Magnetické pole	46
3.1 Magnetické pole vodičů s proudem	47
3.2 Magnetická síla	48
3.3 Magnetické pole rovnoběžných vodičů s proudem	50
3.4 Magnetické pole cívky	53
3.5 Magnetické vlastnosti látek	55
3.6 Magnetické materiály	56
3.7 Elektromagnetická indukce	58
4 Střídavý proud	63
4.1 Obvody střídavého proudu	63
4.2 Obvod střídavého proudu s rezistorem	65
4.3 Obvod střídavého proudu s cívkou	68
4.4 Obvod střídavého proudu s kondenzátorem	71

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

OBSAH

4.5	Složený obvod střídavého proudu	73
4.6	Výkon střídavého proudu v obvodu s odporem.....	76
4.7	Generátor střídavého proudu	79
4.8	Trojfázová soustava	81
4.9	Transformátor	82
4.10	Výroba elektrické energie.....	86
4.11	Přenos elektrické energie.....	88
4.12	Rozvod elektrické energie v automobilu	88
5	Elektrické motory.....	90
5.1	Elektrické stroje pro výrobu elektrické energie.....	90
5.2	Elektromotory	92
5.3	Stejnoseměrné elektromotory	93
5.3.1	Sériové stejnosměrné elektromotory	93
5.3.2	Derivační stejnosměrné elektromotory	94
5.3.3	Startér automobilu	95
5.4	Střídavé elektromotory	97
5.4.1	Trojfázový synchronní motor	97
5.4.2	Trojfázový asynchronní (indukční) motor	98
5.4.3	Jednofázové motory	99
	Zdroje informací.....	101

PŘEHLED FYZIKÁLNÍCH VELIČIN A SYMBOLŮ

Přehled fyzikálních veličin a symbolů

značka	jednotka	název
B	T	vektor magnetické indukce
B	T	velikost magnetické indukce
C	F	kapacita vodiče (kondenzátoru)
C_1	F	kapacita kondenzátoru 1
C_2	F	kapacita kondenzátoru 2
C_3	F	kapacita kondenzátoru 3
C_4	F	kapacita kondenzátoru 4
d	m	dráha
		vzdálenost
		průměr vodiče
d_1	m	dráha
		vzdálenost
d_2	m	dráha
		vzdálenost
e	C	elementární náboj
E	J	energie
E	$V \cdot m^{-1}$, $N \cdot C^{-1}$	vektor intenzity elektrického pole
E	$V \cdot m^{-1}$, $N \cdot C^{-1}$	velikost intenzity elektrického pole
E_{pA}	J	potenciální energie v bodě A
E_{pB}	J	potenciální energie v bodě B
ΔE_p	J	změna potenciální energie
E_e	J	energie elektrického pole
f	Hz	frekvence
f_0	Hz	rezonanční frekvence
f_p	Hz	frekvence točivého magnetického pole
f_r	Hz	frekvence rotoru
F_e	N	vektor elektrické síly
F_e	N	velikost elektrické síly
F_m	N	vektor magnetické síly
F_m	N	velikost magnetické síly
G	S	elektrická vodivost
H	$A \cdot m^{-1}$	vektor intenzity magnetického pole
H	$A \cdot m^{-1}$	velikost intenzity magnetického pole
I	A	elektrický proud

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

PŘEHLED FYZIKÁLNÍCH VELIČIN A SYMBOLŮ

i	A	okamžitá hodnota střídavého proudu
I_1	A	elektrický proud ve větvi (vodiči) 1
I_2	A	elektrický proud ve větvi (vodiči) 2
I_3	A	elektrický proud ve větvi (vodiči) 3
I_i	A	indukovaný proud
I_m	A	amplituda střídavého proudu
I_z	A	zkratový proud
k	–	transformační poměr
L	H	indukčnost
l	m	délka vodiče
N	–	počet závitů cívky
N_1	–	počet závitů primární cívky
N_2	–	počet závitů sekundární cívky
P	W	výkon
p	W	okamžitá hodnota výkonu
P_0	W	příkon
P_1	W	výkon transformátoru primární cívky
P_2	W	výkon transformátoru sekundární cívky
P_m	W	amplituda výkonu
$\bar{P}$	W	střední hodnotu výkonu
Q	C	bodový elektrický náboj
q	C	zkušební bodový náboj
Q_1	C	bodový elektrický náboj
Q_2	C	bodový elektrický náboj
Q_J	J	Jouleovo teplo
r	m	vzdálenost bodových nábojů
R	Ω	elektrický odpor rezistoru
		odpor obvodu střídavého proudu – rezistance
R_1	Ω	elektrický odpor rezistoru 1
R_2	Ω	elektrický odpor rezistoru 2
R_3	Ω	elektrický odpor rezistoru 3
R_4	Ω	elektrický odpor rezistoru 4
R_i	Ω	vnitřní odpor zdroje
S	m^2	obsah účinné plochy desek kondenzátoru
		průřez vodiče
s	%	skluz
T	s	perioda střídavého napětí

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

PŘEHLED FYZIKÁLNÍCH VELIČIN A SYMBOLŮ

T_0	s	perioda rezonance
t	°C	teplota
Δt	°C, K ⁻¹	změna teploty
t	s	čas
Δt	s	časový interval
U	V	elektrické napětí
		svorkové napětí
u	V	okamžitá hodnot střídavého napětí
U_e	V	elektromotorické napětí
U_{e1}	V	elektromotorické napětí zdroje 1
U_{e2}	V	elektromotorické napětí zdroje 2
U_{e3}	V	elektromotorické napětí zdroje 3
U_1	V	elektrické napětí na rezistoru 1
U_2	V	elektrické napětí na rezistoru 2
U_3	V	elektrické napětí na rezistoru 3
U_i	V	indukované elektromotorické napětí
U_m	V	amplituda střídavého napětí
U_R	V	napětí na rezistoru
U_L	V	napětí na cívce
U_C	V	napětí na kondenzátoru
U_Z	V	zkratové napětí
u_1	V	okamžitá hodnot střídavého napětí
u_2	V	okamžitá hodnot střídavého napětí
u_3	V	okamžitá hodnot střídavého napětí
W	J	práce v elektrickém poli
X	Ω	reaktance
X_C	Ω	kapacitance
X_L	Ω	induktance
Z	Ω	impedance
α	K ⁻¹	teplotní součinitel elektrického odporu
	°	úhel mezi vodičem a magnetickou indukční čarou
ϵ	C ² · N ⁻¹ · m ⁻²	permitivita prostředí
ϵ_0	C ² · N ⁻¹ · m ⁻²	permitivita vakua
ϵ_r	—	relativní permitivita

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

PŘEHLED FYZIKÁLNÍCH VELIČIN A SYMBOLŮ

φ	rad	fázový rozdíl
	V	elektrický potenciál
φ_1	V	elektrický potenciál kladné desky
φ_2	V	elektrický potenciál záporné desky
Φ	Wb	magnetický indukční tok
$\Delta\Phi$	Wb	změna magnetického indukčního toku
η	%	účinnost
μ	$\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$	permeabilita prostředí
μ_0	$\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$	permeabilita vakua
μ_r	—	relativní permeabilita
ρ	$\Omega \cdot \text{m}$	měrný elektrický odpor
ρ_0	$\Omega \cdot \text{m}$	počáteční hodnota měrného elektrického odporu
ω	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	úhlová rychlost
ω_0	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	rezonanční úhlová rychlost

ÚVOD

Úvod

Tato učebnice Elektrotechnika je určena hlavně žákům středních odborných škol neelektrotechnických oborů se zaměřením na obor strojírenství, kde je výuka elektrotechniky vyučována s nižší hodinovou dotací.

Učivo je v učebnici rozděleno na tematické celky: 1. Elektrický náboj a elektrické pole, 2. Elektrický proud v kovech, 3. Magnetické pole, 4. Střídavý proud, 5. Elektrické motory.

Každý tematický celek se dále člení na jednotlivé kapitoly i podkapitoly. Obrázky, schémata a fyzikální vztahy jsou v učebnici číslovány. K upevnění a prohloubení učiva, jsou většinou na konci článků vzorově řešené příklady na probírané vztahy a následně navazují příklady na procvičení. K řešení příkladů je vhodné použití Matematicko-fyzikálních a chemických tabulek. Na začátku učebnice je zařazena tabulka přehledu fyzikálních veličin a symbolů, kde je uvedena valná většina použitých fyzikálních veličin.

Cílem této učebnice je poskytnout základní informace o elektrických a magnetických jevech. Využití těchto poznatků v průmyslových aplikacích a konstrukcích např. elektromotorů a užití při rozvodech elektrické energie v automobilu.

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

1 Elektrický náboj a elektrické pole

1.1 Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Ze zkušenosti víme, že při sundávání vlněného svetru dochází k jemnému praskání, kdy ve tmě můžeme vidět malé záblesky a po sundání svetru máme rozcuchané vlasy, které zpočátku nejdou učesat. Ke stejnému jevu dochází, utíráme-li prach nebo dotkneme-li se obrazovky (CRT) televize, která byla delší dobu v provozu. Na obrazovce se objevují drobné záblesky. Při česání suchých umytých vlasů, dochází k přitahování vlasů hřebenem, či u vytahování folie z balíku dochází k podobným jevům. Tyto běžné jevy pozorovali lidé už ve středověku, nejčastěji u jantaru (řecky elektron). Tyto jevy se nazývají elektrické a jejich původem je elektrický náboj.

Tedy, dochází-li k elektrovaní těles, získává těleso elektrický náboj. Elektrický náboj značíme Q a jeho jednotkou je $[Q] = C$ (coulomb).



Charles-Augustin de Coulomb¹

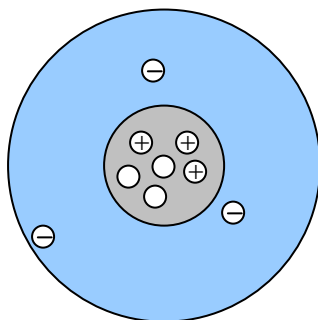
(14. června 1736, Paříž – 23. srpna 1806, Paříž) byl zakladatelem elektrostatiky a kvantitativních metod v ní. Je po něm pojmenována jednotka elektrického náboje Coulomb v soustavě SI. Byl potomkem zámožné šlechtické rodiny. Studoval přírodní vědy v Paříži a v letech 1767–1776 pracoval v armádě jako vedoucí opevňovacích prací na ostrově Martinik. Po návratu do Paříže se věnoval výzkumům elektřiny a magnetismu. Jeho práce byla vysoce ceněna, stal se členem francouzské Akademie věd. Roku 1789, po vypuknutí francouzské revoluce, se vzdal všech úřadů i hodností (byl podplukovníkem) a stáhl se na svůj statek v Blois. Roku 1800 byl Napoleonem povolán na pařížskou univerzitu. Na ní působil až do své smrti. Z Coulombových objevů patří mezi nejvýznamnější popis elektrického pole a objev zákona popisující sílu mezi náboji. Zabýval se také výzkumem vlečného tření a formuloval zákony, kterými se řídí. Na konci života začal zkoumat vnitřní tření kapalin.

Velikost náboje $1C$ je značně veliká, a proto budeme pracovat s podstatně menšími náboji, $1\mu C = 1 \cdot 10^{-6} C$, $1nC = 1 \cdot 10^{-9} C$.

¹ Charles-Augustin de Coulomb. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 30.9.2004, last modified on 8.11.2011 [cit. 2011-12-29]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_de_Coulomb>.

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

Z prováděných experimentů vyplývá existence dvou druhů elektrického náboje – kladného (+) a záporného (–). Kladný a záporný náboj nalezneme v atomu, kde nositelem kladného náboje je proton – jádro atomu, nositelem záporného náboje je elektron – obal atomu. Navenek je atom elektricky neutrální, což je dáno stejným počtem kladných a záporných elektrických nábojů obr. 1.



obr. 1: schéma atomu lithia

Velikost náboje protonu a elektronu je stejná, liší se však znaménkem. Tento náboj označujeme jako elementární elektrický náboj – e . Jeho hodnota je $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$. Každý větší elektrický náboj je dán násobkem velikosti tohoto elementárního elektrického náboje, můžeme psát

$$Q = n \cdot e, \quad (1.1)$$

kde n je počet elementárních nábojů.

Př. Určete, kolik elementárních nábojů tvoří 1C ?

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

$$Q = 1 \text{C}$$

$$n = ?$$

Ze vztahu (1.1) vyjádříme počet nábojů n

$$Q = n \cdot e \Rightarrow n = \frac{Q}{e}, \text{ poté číselně dosadíme}$$

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \doteq 6,24 \cdot 10^{18}$$

1C tvoří přibližně $6,24 \cdot 10^{18}$ elementárních nábojů.

Pokud dochází k elektrování těles, dochází k přechodu některých elektronů z jednoho tělesa na druhé. Jedno těleso má tudíž přebytek elektronů, druhé má nedostatek elektronů. Z těchto těles se stanou tělesa s kladným nábojem a záporným nábojem. Pokud bychom tuto situaci aplikovali na samotný atom, ze elektrováním by vznikl volný elektron (elektrony) se záporným nábojem a u zbytku atomu by převládal kladný náboj. Tento zbytek nazýváme kladný iont. Z experimentů s přemísťováním elektrického náboje vyplývá zákon zachování elektrického náboje.

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

Celkový elektrický náboj uvnitř izolované soustavy se vzájemným zeledrováním nemění.

Podle toho jak pevně jsou vázány v atomech elektrony, dělíme látky na

1) izolanty

elektrony jsou vázány velmi pevně a nedochází k samovolnému uvolňování elektronů z atomů
př.: dřevo, plast, sklo, porcelán

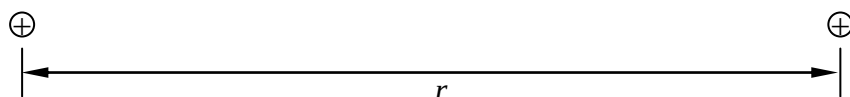
2) vodiče

elektrony nejvíce vzdálené od atomového jádra se po dodání velmi malé hodnoty energie odpoutávají, jsou volné uvnitř látky a spolu s dalšími elektrony tvoří tzv. elektronový plyn, který je příčinou jejich tepelné elektrické vodivosti.

1.2 Silové působení a Coulombův zákon

Víme, že existují dva druhy elektrického náboje: kladný a záporný. Pokud elektrizujeme tělesa, tato tělesa na sebe navzájem působí silami. Dvě souhlasně zeledrovaná tělesa se navzájem odpuzují, dvě nesouhlasně zeledrovaná tělesa se navzájem přitahují a taktéž dochází k přitahování zeledrovaného tělesa a tělesa elektricky neutrálního.

Abychom lépe pracovali s elektricky nabitými tělesy, zavádíme zjednodušení – bodový náboj. Bodovými náboji nazýváme elektricky aktivní tělesa, jejichž rozměry jsou zanedbatelné vzhledem k jejich vzdálenosti obr. 2.



obr. 2: schéma bodového náboje

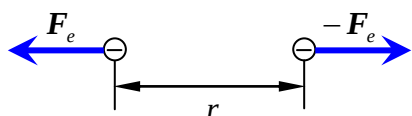
Pokusy s elektrickými nabitými tělesy prováděl CH. A. Coulomb. Své závěry formuloval do zákona, který je po něm pojmenován. Vzájemné silové působení mezi elektricky nabitými tělesy vyjadřuje Coulombův zákon (kde alespoň jeden z nábojů je v klidu).

Dva bodové elektrické náboje o velikostech Q_1 a Q_2 na sebe navzájem působí stejně velkými silami opačného směru. Velikost této síly je přímo úměrná absolutní hodnotě součinu velikostí jejich nábojů a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti r mezi nimi:

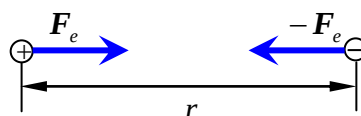
$$F_e = k \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2} . \quad (1.2)$$

Působí-li na sebe dva souhlasné náboje, výsledná síla je odpudivá, působí-li na sebe dva nesouhlasné náboje, výsledná síla je přitažlivá obr. 3 a, b.

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE



obr. 3 a: silové působení
nesouhlasné náboje



obr. 3 b: silové působení
souhlasné náboje

Konstanta úměrnosti k v Coulombově zákonu vyjadřuje vliv prostředí, ve kterém se náboje nachází.

Konstantu k můžeme vyjádřit vztahem

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}, \quad (1.3)$$

kde ϵ_0 je permitivita vakua, jejíž hodnota je $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, ϵ_r je relativní permitivita. Relativní permitivita je bezrozměrná veličina charakterizující konkrétní prostředí, v němž se elektrické náboje nacházejí.

Poté můžeme vyjádřit Coulombův zákon v tvaru:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}. \quad (1.4)$$

Pro vakuum

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}, \quad (1.5)$$

kde hodnota relativní permitivity je $\epsilon_r = 1$.

Pro látkové prostředí – dielektrikum

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}, \quad (1.6)$$

kde hodnota relativní permitivity je $\epsilon_r > 1$. Hodnoty relativní permitivity nalezneme v MFCHT např. pro petrolej $\epsilon_r = 2,1$; pro olej $\epsilon_r = 2,2$; pro sklo $\epsilon_r = (5 \div 10)$; pro líh $\epsilon_r = 24$; pro vodu $\epsilon_r = 81,6$.

Pokud umístíme dva bodové náboje do látkového prostředí do vzdálenosti r , bude jejich silové působení ϵ_r -krát menší, než jejich silové působení ve vakuu ve stejné vzdálenosti.

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

Řešený příklad

Jak velkou silou na sebe působí dva souhlasné náboje o velikostech $0,05\mu\text{C}$ a $0,22\mu\text{C}$, které jsou umístěny ve vakuu ve vzdálenosti 6 mm? Jaká bude výsledná hodnota síly, umístíme-li tyto náboje do lihu o relativní permitivitě $\varepsilon_r = 24$?

Řešení

$$Q_1 = 0,05\mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-8} \text{C}$$

$$Q_2 = 0,22\mu\text{C} = 22 \cdot 10^{-8} \text{C}$$

$$r = 6\text{mm} = 6 \cdot 10^{-3} \text{m}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\varepsilon_r = 24$$

$$F_e = ? \text{N}$$

Do vztahu (1.5) pro výpočet elektrické síly dosadíme hodnoty

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2},$$

$$F_e = \frac{1}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{|5 \cdot 10^{-8} \cdot 22 \cdot 10^{-8}|}{(6 \cdot 10^{-3})^2} \text{N} \doteq 2,75 \text{N}$$

Náboje na sebe působí odpudivou silou o velikosti přibližně 2,75N.

Pokud přemístíme náboje do hmotného prostředí, bude výsledná síla ε_r -krát menší, než jejich silové působení ve vakuu ve stejné vzdálenosti. Hodnoty dosadíme do vztahu (1.6)

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}, \text{ poté číselně dosadíme}$$

$$F_e = \frac{1}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 24} \cdot \frac{|5 \cdot 10^{-8} \cdot 22 \cdot 10^{-8}|}{(6 \cdot 10^{-3})^2} \text{N} \doteq 114,5 \cdot 10^{-3} \text{N} = 114,5 \text{mN}$$

Náboje umístěné v lihu na sebe působí odpudivou silou o velikosti přibližně 114,5mN.

Příklady

1) Jakou velkou silou na sebe působí dva nesouhlasné náboje o velikostech 350pC a 130nC, které jsou umístěny v oleji o relativní permitivitě $\varepsilon_r = 2,2$ ve vzdálenosti 200μm?

$$[F_e = 4,65 \text{N}]$$

2) V jaké vzdálenosti od sebe jsou umístěny dva nesouhlasné náboje o velikostech 78nC a 850pC, které na sebe působí ve vakuu silou o velikosti 23mN?

$$[d = 5,1 \text{mm}]$$

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

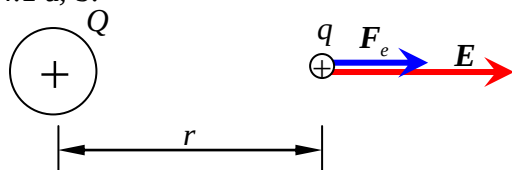
3) Jak velkou silou na sebe působí proton a elektron, které jsou umístěny ve vakuu ve vzdálenosti 250pm?

$$[F_e = 3,7\text{nN}]$$

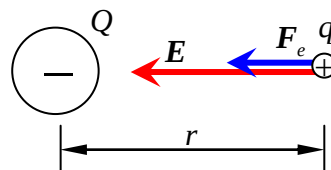
1.3 Elektrické pole a jeho intenzita

Působí-li silově na sebe elektrické náboje, uskutečňuje se toto silové působení prostřednictvím elektrických polí, která se nacházejí kolem každého elektrického náboje. Každé elektrické pole charakterizujeme pomocí fyzikální veličiny, kterou nazýváme intenzita elektrického pole E .

Chceme-li vyšetřit elektrické pole kolem bodového náboje Q , umístíme do tohoto elektrického pole zkušební náboj q a zjišťujeme, jak se chová elektrické pole bodového náboje vzhledem k tomuto zkušebnímu náboji. Na zkušební náboj q působí elektrická síla F_e obr. 4.1 a, b.



obr. 4 a: intenzita el. pole
souhlasné náboje



obr. 4 b: intenzita el. pole
nesouhlasné náboje

Intenzita elektrického pole E v daném místě elektrického pole je dána podílem elektrické síly F_e , která působí na zkušební bodový náboj, a velikosti tohoto náboje q :

$$E = \frac{F_e}{q} . \quad (1.7)$$

Intenzita elektrického pole E je vektorová fyzikální veličina (směr, velikost, působíště) a její směr je souhlasný se směrem elektrické síly F_e , která působí na kladný bodový náboj q .

Jednotkou intenzity elektrického pole E je newton na coulomb, $[E] = \text{N} \cdot \text{C}^{-1}$:

$$[E] = \frac{[F_e]}{[q]} = \text{N} \cdot \text{C}^{-1} .$$

Častěji používanou jednotkou intenzity elektrického pole E je volt na metr, $[E] = \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$.

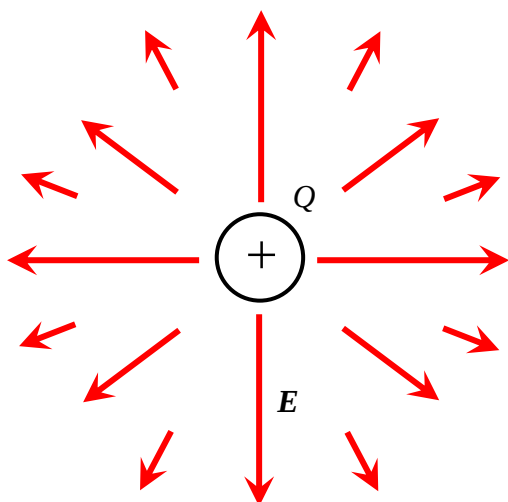
Velikost intenzity elektrického pole E ve vzdálenosti r od bodového náboje Q můžeme určit tak, že do vztahu pro intenzitu elektrického pole dosadíme velikost elektrické síly z Coulombova zákona, platí:

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

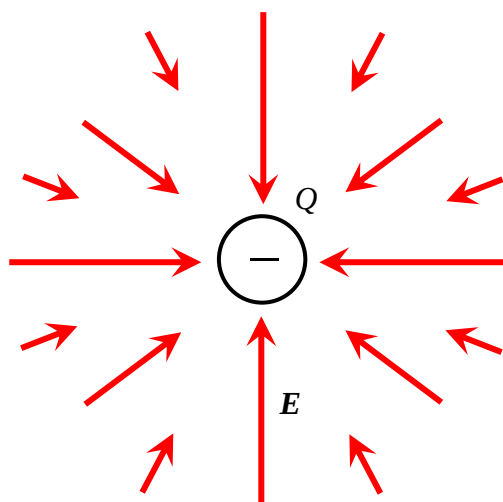
$$E = \frac{F_e}{|q|} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{|Q \cdot q|}{r^2} \cdot \frac{1}{|q|} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{|Q|}{r^2} \quad (1.8)$$

Z předchozího vztahu je vidět, že velikost intenzity elektrického pole E se zmenšuje s druhou mocninou vzdálenosti od bodového náboje, jehož pole vyšetřujeme.

Pomocí intenzity elektrického pole E můžeme vytvořit model elektrického pole bodového náboje. Takové pole nazýváme radiální, jelikož vektory intenzity vždy směřují jako paprsky k bodovému náboji, či od něho obr. 5 a, b.

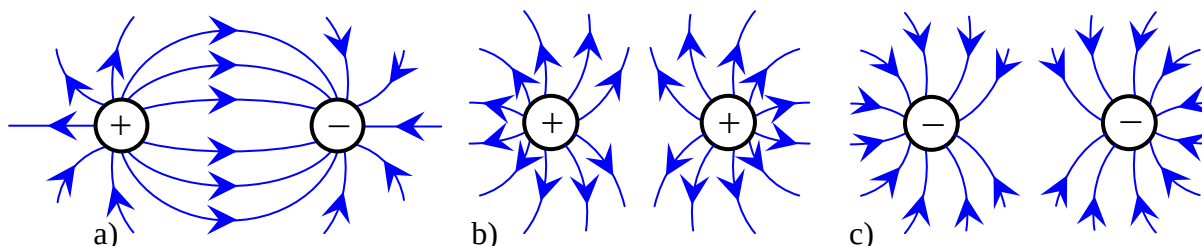


obr. 5a: intenzita el. pole
kolem kladného náboje



obr. 5b: intenzita el. pole
kolem záporného náboje

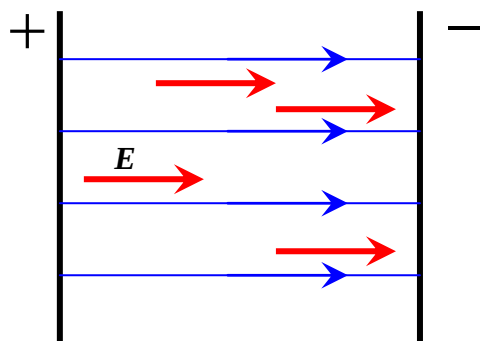
Ke zviditelnění elektrického pole zavádíme tzv. siločáry. Siločára je myšlená čára, jejíž tečna v daném bodě určuje směr intenzity elektrického pole E . Siločáry vždy vycházejí z kladného náboje a končí na náboji záporném. Tvary siločar elektrických polí dvou bodových nábojů jsou na obr. 6 a, b, c.



obr. 6: siločáry a) nesouhlasných nábojů, b) souhlasných kladných nábojů
c) souhlasných záporných nábojů

Pokud má vektor intenzity elektrického pole E ve všech místech pole stejnou velikost a směr, jsou siločáry elektrického pole rovnoběžné a dané pole nazýváme homogenní obr. 7. Toto elektrické pole se vyskytuje např. mezi dvěma rovnoběžnými deskami.

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE



obr. 7: homogenní elektrické pole

Homogenní elektrické pole najdeme mezi deskami kondenzátoru.

Řešený příklad

Ve vakuu ve vzdálenosti 25cm od bodového náboje působí na náboj 95nC síla o velikosti 0,28mN. Určete:

- velikost intenzity elektrického pole v dané vzdálenosti,
- velikost bodového náboje, který elektrické pole vytváří.

Řešení

$$q = 95\text{nC} = 95 \cdot 10^{-9}\text{C}$$

$$r = 25\text{cm} = 25 \cdot 10^{-2}\text{m}$$

$$F_e = 0,28\text{mN} = 28 \cdot 10^{-5}\text{N}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}\text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$E = ?\text{Vm}^{-1}$$

$$Q = ?\text{C}$$

ad a)

Do vztahu (1.7) pro výpočet intenzity elektrického pole dosadíme hodnoty

$$E = \frac{F_e}{q},$$

$$E = \frac{28 \cdot 10^{-5}}{95 \cdot 10^{-9}} \text{Vm}^{-1} = 2916,7\text{Vm}^{-1}.$$

Velikost intenzity elektrického pole ve vzdálenosti 25cm od bodového je $2916,7\text{Vm}^{-1}$.

ad b)

Ze vztahu (1.8) vyjádříme náboj Q

$$Q = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r E r^2, \text{ poté číselně dosadíme}$$

$$Q = 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 2916,7 \cdot 25 \cdot 10^{-2} \text{nC} \doteq 81,1\text{nC}.$$

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

Velikost bodového náboje, který elektrické pole vytváří, je $81,1\text{nC}$.

Příklady

1) Jak velkou silou působí elektrické pole na náboj o velikosti 6nC umístěný v homogenním elektrickém poli, je-li velikost intenzity elektrického pole 50kVm^{-1} ?

$$[F_e = 0,3\text{mN}]$$

2) Jaká je velikost intenzity elektrického pole ve vzdálenosti 15cm od bodového náboje o velikosti $0,04\text{mC}$, je-li bodový náboj umístěn v petroleji o relativní permitivitě $2,1$?

$$[E = 7,6\text{MVm}^{-1}]$$

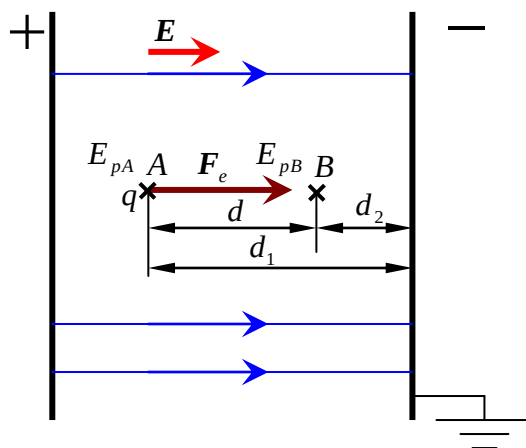
3) V jaké vzdálenosti od bodového náboje umístěného ve vakuu o velikosti $0,08\text{mC}$ je velikost intenzity elektrického pole 5MVm^{-1} ?

$$[d = 38\text{cm}]$$

1.4 Práce elektrické síly, elektrický potenciál a napětí

Víme, že kolem každého bodového náboje existuje elektrické pole, které charakterizuje intenzita elektrického pole E . Pokud do elektrického pole samostatného bodového náboje umístíme další bodový náboj, budou na sebe tyto náboje silově působit elektrickými silami. Jestliže dojde k tomu, že se jeden z nábojů začne v elektrickém poli druhého náboje přemísťovat, konají síly (elektrická či vnější) práci a mění se potenciální energie E_p náboje.

V každém bodě elektrického pole disponuje náboj určitou hodnotou potenciální energie E_p , jejíž hodnota závisí na poloze náboje v elektrickém poli. Nejčastěji volíme jako nulovou hladinu potenciální energie uzemněnou desku (vodič), nebo je-li náboj v nekonečnu. Nejlépe si tuto situaci ukažme u homogenního elektrického pole obr. 8.



obr. 8: síla působící na náboj u homogenního elektrického pole

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

Vložíme-li do homogenního elektrického pole do bodu A kladný náboj q , získá tento náboj potenciální energii E_{pA} . Náboj q se nachází ve vzdálenosti d_1 od nulové hladiny potenciální energie. Na tento náboj působí ve směru intenzity elektrického pole E elektrická síla F_e , která koná práci a přenesení tento náboj do bodu B po dráze d . V bodě B náboj nabude potenciální energii E_{pB} . Jelikož v bodě B se náboj nachází ve vzdálenosti d_2 od nulové hladiny potenciální energie, je jeho hodnota potenciální energie menší než v bodě A .

Elektrická síla F_e na dráze d vykoná práci:

$$W = F_e \cdot d, \quad (1.9)$$

kde dosadíme-li do vztahu za velikost síly $F_e = E \cdot q$, pak můžeme psát:

$$W = E \cdot q \cdot d = E \cdot q \cdot (d_1 - d_2). \quad (1.10)$$

Práce, kterou vykoná elektrická síla F_e na dráze d , je také rovna rozdílu potenciálních energií v místech A a B , tudíž

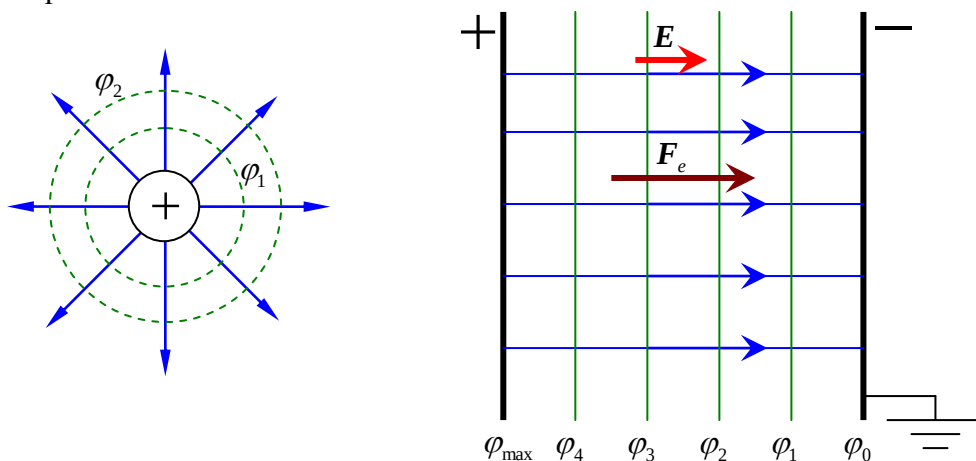
$$W = E_{pA} - E_{pB} = \Delta E_p. \quad (1.11)$$

Dělíme-li potenciální energii nábojem v kterémkoliv bodě elektrického pole, dostáváme veličinu, která se nazývá potenciál elektrického pole φ :

$$\varphi = \frac{E_p}{q}. \quad (1.12)$$

Jednotkou elektrického potenciálu je volt, $[\varphi] = V$.

Pokud přemísťujeme elektrický náboj kolmo k siločárám elektrického pole, nedochází ke konání práce, nemění se hodnota potenciální energie a ve všech místech, kterými elektrický náboj prošel, je stejná hodnota elektrického potenciálu. Takové místo, které vytváří plochu ve stejné vzdálenosti od záporné (uzemněné) desky, nazýváme hladina stejného potenciálu – ekvipotenciální plocha. Ekvipotenciální plochy jsou kolmé k siločárám elektrického pole obr. 9.



obr. 9: ekvipotenciální plochy radiálního a homogenního elektrického pole

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

Přemístíme-li elektrický náboj q z kladně nabitě desky na desku zápornou (uzemněnou), vykoná elektrická síla F_e na dráze d práci W a pro elektrický potenciál platí:

$$\varphi = \frac{\Delta E_p}{q} = \frac{W}{q} = \frac{F_e \cdot d}{q} = \frac{E \cdot q \cdot d}{q} = E \cdot d . \quad (1.13)$$

Rozdíl dvou hladin potenciálů nazýváme elektrické napětí U :

$$U = |\varphi_1 - \varphi_2| , \quad (1.14)$$

jehož jednotkou je volt $[U] = V$.

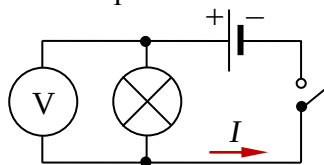
Pro napětí U homogenního elektrického pole o intenzitě E , kde vzdálenost ekvipotenciálních ploch je d , platí:

$$U = E \cdot d . \quad (1.15)$$

Je vidět, že napětí i potenciál mají stejnou fyzikální jednotku. K měření elektrického napětí v obvodu používáme přístroj – voltmetr.

Schematická značka voltmetru je: 

Voltmetr vždy zapojujeme paralelně ke spotřebiči obr. 10.



obr. 10: zapojení voltmetru v obvodu

Řešený příklad

1) Jakou práci vykoná elektrická síla na dráze 3cm, jestliže přenese náboj o velikosti 12nC v homogenním elektrickém poli ve směru siločar, je-li intenzita elektrického pole $16 \text{ MV} \cdot \text{m}^{-1}$?

Řešení

$$q = 12 \text{ nC} = 12 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$d = 3 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$E = 16 \text{ MV} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$W = ? \text{ J}$$

Do vztahu (1.10) pro výpočet práce elektrických sil dosadíme hodnoty

$$W = E \cdot q \cdot d ,$$

$$W = 16 \cdot 10^6 \cdot 12 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^{-2} \text{ J} = 5,76 \cdot 10^{-3} \text{ J} = 5,76 \text{ mJ} .$$

Elektrická síla na dráze 3cm vykoná práci 5,76mJ.

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

2) Náboj o velikosti 400nC přemístila elektrická síla o velikosti 8mN po dráze 2,5cm. Jaké je napětí mezi těmito dvěma body?

Řešení

$$q = 400\text{nC} = 4 \cdot 10^{-7} \text{C}$$

$$d = 2,5\text{cm} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{m}$$

$$F_e = 8 \text{ mN} = 8 \cdot 10^{-3} \text{N}$$

$$U = ? \text{V}$$

Vydeme ze vztahu (1.15)

$U = E \cdot d$, kde za intenzitu elektrického pole dosadíme ze vztahu (1.7) $E = \frac{F_e}{q}$ a poté

číselně dosadíme

$$U = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-7}} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \text{V} = 500 \text{V} .$$

Napětí mezi těmito dvěma body je 500V.

Příklady

1) Jakou práci vykoná elektrická síla, jestliže přemístí náboj o velikosti 900nC z místa o potenciálu 1250V do místa o potenciálu 350V?

$$W = 0,81\text{mJ}$$

2) Jaké je napětí mezi dvěma nabitými rovnoběžnými deskami, jejichž vzdálenost je 25cm, je-li velikost intenzity elektrického pole $6 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$?

$$[U = 1,5\text{kV}]$$

3) Bodový náboj o velikosti 320nC, který je umístěný v jistém bodě elektrického pole, má elektrickou potenciální energii 0,096mJ. Jaký je potenciál v tomto bodě?

$$[\varphi = 3\text{kV}]$$

1.5 Kapacita vodiče, kondenzátor

Pokud vodivé těleso zelektrujeme, na jeho povrchu se rozloží elektrický náboj Q , zvětšuje se potenciál tělesa φ . Hodnota náboje rozloženého na tělese (vodiči) je přímo úměrná potenciálu tělesa φ a platí:

$$Q = C \cdot \varphi , \text{ nebo } Q = C \cdot U , \quad (1.16)$$

kde C je konstanta úměrnosti.

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

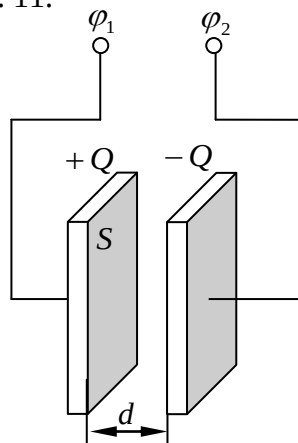
Tuto konstantu úměrnosti C nazýváme kapacita vodiče a platí:

$$C = \frac{Q}{\varphi}, \text{ nebo } C = \frac{Q}{U}. \quad (1.17)$$

Kapacita vodiče závisí na tvaru, velikosti vodiče a prostředí, které se kolem vodiče nachází. Jednotkou kapacity vodiče je coulomb na volt, což je farad, $[C] = C \cdot V^{-1} = F$:

$$[C] = \frac{[Q]}{[U]} = C \cdot V^{-1} = F.$$

Samotný vodič má velmi malou kapacitu, a proto dochází ke spojování vodičů. Takto spojené vodiče nazýváme kondenzátor. Nejjednodušším mezi kondenzátory je deskový kondenzátor, který tvoří dvě rovnoběžné desky o obsahu S ve vzdálenosti d odděleny od sebe vrstvou dielektrika a nabitý opačnými náboji obr. 11.



obr. 11: schéma deskového kondenzátoru

Mezi deskami kondenzátoru se vytvoří homogenní elektrické pole s intenzitou, pro jejíž velikost platí

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d}. \quad (1.18)$$

Pro výslednou kapacitu kondenzátoru platí

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d}, \quad (1.19)$$

kde S je obsah účinné plochy desek, d je vzdálenost mezi deskami a ε je permitivita prostředí mezi deskami kondenzátoru. Je-li prostor mezi deskami kondenzátoru vyplněn dielektrikem, kapacita kondenzátoru se zvětší ($\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$; $\varepsilon_r > 1$).

Nevětší použití kondenzátorů je v elektrotechnice, hlavně v konstrukci elektrických přístrojů. Je spousta druhů kondenzátorů, kde mezi nejznámější patří: svitkové kondenzátory, dále pak elektrolytické kondenzátory, keramické, kondenzátory s měnitelnou kapacitou. Nejdůle-

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

žitějším parametrem kondenzátorů je nejvyšší přípustné napětí, na které může být kondenzátor nabit. Při vyšší hodnotě napětí může dojít ke zničení kondenzátoru.

Řešený příklad

Jaká je kapacita deskového kondenzátoru, je-li obsah desek 14cm^2 a jejich vzdálenost 2mm ? Prostor mezi deskami kondenzátoru je vyplněn skleněnou deskou o relativní permitivitě 5.

Řešení

$$S = 14\text{cm}^2 = 14 \cdot 10^{-4}\text{cm}^2$$

$$d = 2\text{mm} = 2 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}\text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\varepsilon_r = 5$$

$$C = ?\text{F}$$

Do vztahu (1.19) pro výpočet kapacity kondenzátoru dosadíme hodnoty

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d},$$

$$C = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot \frac{14 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3}} \text{F} \doteq 31 \cdot 10^{-12}\text{F} = 31\text{pF}.$$

Kapacita deskového kondenzátoru je 31pF .

Příklady

1) Jaká je kapacita kondenzátoru, který se nabije elektrickým nábojem o hodnotě $300\text{ }\mu\text{F}$ na napětí 800V ?

$$[C = 375\text{nF}]$$

2) Jaká je intenzita elektrického pole mezi deskami kondenzátoru, jestliže obsah plochy desky je 20cm^2 a kondenzátor je nabit nábojem na hodnotu 300nC ? Prostor mezi deskami kondenzátoru je vyplněn dielektrikem o relativní permitivitě 20.

$$[E = 850\text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}]$$

3) Jaká je délka strany desek kondenzátoru, které mají tvar čtverce, jsou-li od sebe vzdáleny $0,05\text{ mm}$ a dielektrikum je vzduch o relativní permitivitě rovné jedna, jestliže je kondenzátor nabit nábojem o velikosti $0,32\text{nC}$?

$$[l = 4,3\text{cm}]$$

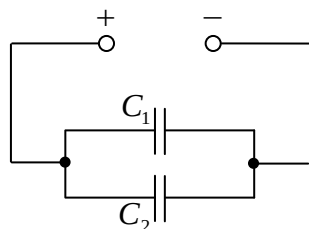
ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

1.6 Spojování kondenzátorů

Kondenzátory mají největší použití v elektrotechnice – přístrojová technika. Kondenzátory mají jen jisté hodnoty (jako máme mince jen jistých nominálních hodnot), a pokud potřebujeme v obvodu jinou hodnotu, musíme kondenzátory navzájem spojit.

Kondenzátory spojujeme dvěma způsoby:

a) paralelní zapojení obr. 12



obr. 12: schéma paralelního zapojení dvou kondenzátorů

Tímto zapojením vytváříme kondenzátor s vyšší kapacitou. Toto zapojení se chová tak, jakoby byl v obvodu zapojen jen jeden kondenzátor.

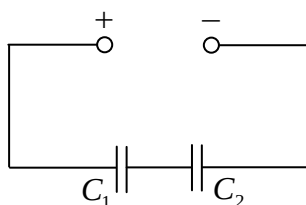
Pro výslednou kapacitu platí

$$C = C_1 + C_2 . \quad (1.20)$$

Pokud by v obvodu bylo zapojeno paralelně n -kondenzátorů, pro výslednou kapacitu platí

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n . \quad (1.21)$$

b) sériové zapojení obr. 13



obr. 13: schéma sériového zapojení dvou kondenzátorů

Tímto zapojením vytváříme kondenzátor s nižší kapacitou.

Pro výslednou kapacitu platí

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} . \quad (1.22)$$

Pokud by v obvodu bylo zapojeno sériově n -kondenzátorů, pro výslednou kapacitu platí

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} . \quad (1.23)$$

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

Kondenzátor v obvodu se pravidelně nabíjí a vybíjí. Elektrické síly konají práci při přesouvání elektrického náboje. Pro energii elektrického pole kondenzátoru platí

$$E_e = W = \frac{1}{2} UQ = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CU^2 . \quad (1.24)$$

Ze vztahu (1.24) je vidět, že energie elektrického pole závisí na kapacitě kondenzátoru a druhé mocnině napětí.

Řešený příklad

Určete výslednou kapacitu zapojení na schématu 1, kde $C_1 = 18 \mu\text{F}$, $C_2 = 8 \mu\text{F}$, $C_3 = 25 \mu\text{F}$, $C_4 = 16 \mu\text{F}$.

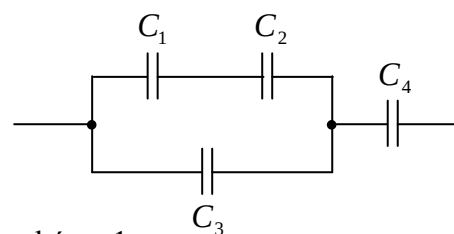


schéma 1

Řešení

$$C_1 = 18 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 8 \mu\text{F}$$

$$C_3 = 25 \mu\text{F}$$

$$C_4 = 16 \mu\text{F}$$

$$C = ? \text{F}$$

Nejprve se podíváme, jak je provedeno zapojení kondenzátorů, které jsou zapojeny paralelně, které sériově a dle toho budeme řešit. Kondenzátory C_1 a C_2 jsou zapojeny sériově a k nim je paralelně zapojen kondenzátor C_3 . Následně k těmto kondenzátorům je sériově zapojen kondenzátor C_4 .

Označme si výslednou kapacitu kondenzátorů C_1 a C_2 jako C_I . Pro C_I platí vztah (1.22)

$$\frac{1}{C_I} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}, \text{ nejprve upravíme}$$

$$C_I = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \text{ a poté číselně dosadíme}$$

$$C_I = \frac{18 \cdot 8}{18 + 8} \mu\text{F} = \frac{72}{13} \mu\text{F} \doteq 5,54 \mu\text{F} .$$

Označme si výslednou kapacitu kondenzátorů C_I a C_3 jako C_{II} . Pro C_{II} platí vztah (1.20)

$$C_{II} = C_I + C_3, \text{ poté číselně dosadíme}$$

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

$$C_{II} = \frac{72}{13} + 25\mu F = \frac{397}{13} \mu F \doteq 30,54\mu F .$$

Označme si výslednou kapacitu zapojených kondenzátorů C_{II} a C_4 jako C . Pro C platí vztah (1.22)

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{II}} + \frac{1}{C_4}, \text{ nejprve upravíme}$$

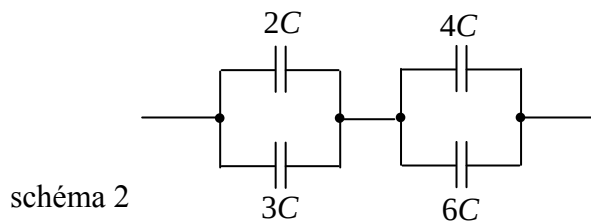
$$C = \frac{C_{II} \cdot C_4}{C_{II} + C_4} \text{ a poté číselně dosadíme}$$

$$C = \frac{\frac{397}{13} \cdot 16}{\frac{397}{13} + 16} \mu F \doteq 10,5\mu F .$$

Výsledná kapacita zapojení na schématu 1 je $10,5\mu F$.

Příklady

1) Určete výslednou kapacitu zapojení na schématu 2. Hodnota C je $12\mu F$.



$$[C = 43,2\mu F]$$

2) Jaká je energie kondenzátoru, jestliže kapacita kondenzátoru má hodnotu $300\mu F$ a je nabit nábojem $750mC$?

$$[W = 937,5J]$$

3) Jaká je kapacita kondenzátoru, který připojíme sériově ke kondenzátoru o kapacitě $720\mu F$, jestliže výsledná kapacita těchto zapojených kondenzátorů je $120\mu F$?

$$[C = 144\mu F]$$

4) Odvoďte vztah pro výpočet tří sériově zapojených kondenzátorů.

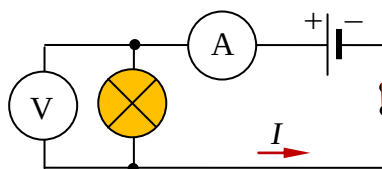
$$\left[C = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_1 \cdot C_3} \right]$$

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

2 Elektrický proud v kovech

2.1 Elektrický odpor kovového vodiče

V jednoduchém uzavřeném obvodu zapojme tyto členy: zdroj, žárovku, ampérmetr, voltmetr. Elektrickým obvodem bude procházet elektrický proud obr. 14.



obr. 14: schéma zapojení členů v jednoduchém obvodě

Na jednotlivých měřicích přístrojích naměříme hodnoty proudu a napětí. Při usměrněném pohybu elektronů je pohyb elektronů brzděn srážkami s ostatními elektrony a navíc elektrony narážejí do iontů atomů, které tvoří krystalovou mřížku kovového vodiče. Takto brání vodič průchodu elektrického proudu, neboli vodič klade odpor elektrickému proudu. Tuto vlastnost vodiče popisuje fyzikální veličina, kterou nazýváme elektrický odpor vodiče R .

Pokud má kovový vodič stálou teplotu, je elektrický proud procházející vodičem přímo úměrný elektrickému napětí mezi konci vodiče. Tento poznatek objevil v roce 1826 německý fyzik G. S. Ohm a po něm je tento zákon pojmenován.

Z Ohmova zákona pro elektrický odpor platí:

$$R = \frac{U}{I} . \quad (2.1)$$

Jednotkou elektrického odporu je ohm, $[R] = \Omega$.

Vodič má elektrický odpor 1Ω , jestliže při napětí $1V$ mezi konci vodiče prochází vodičem elektrický proud $1A$.

Převrácenou hodnotu elektrického odporu nazýváme elektrickou vodivost G a platí

$$G = \frac{1}{R} . \quad (2.2)$$

Jednotkou elektrické vodivosti je siemens, $[G] = S$.

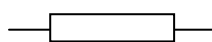
Ohmův zákon nejčastěji vyjadřujeme ve třech tvarech tabulka č. 1.

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

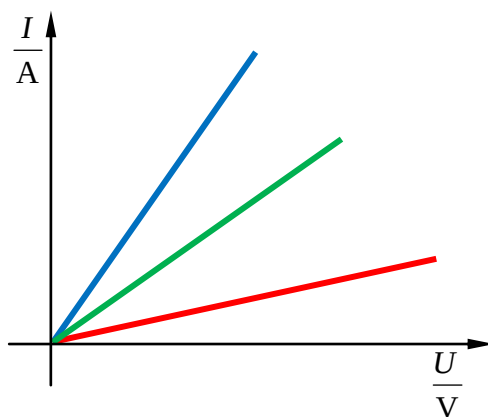
Tabulka č. 1: vyjádření Ohmova zákona ve třech tvarech

pro napětí	pro proud	pro odpor
$U = R \cdot I$	$I = \frac{U}{R}$	$R = \frac{U}{I}$

Do elektrického obvodu zapojujeme prvky, které mají konstantní hodnotu odporu. Tyto prvky nazýváme rezistory. Na povrchu rezistoru je domluvenými schematickými značkami vyznačena hodnota odporu.

Schematická značka rezistoru je: 

Při průchodu elektrického proudu vodičem dle Ohmova zákona platí, že procházející elektrický proud je přímo úměrný elektrickému napětí na konci vodiče. Tuto závislost můžeme vynést graficky a nazývá se voltampérová charakteristika vodiče obr. 15.



obr. 15: voltampérová charakteristika vodičů různých materiálů při stálé teplotě

Nejen, že různé kovové vodiče mají různou hodnotu elektrického odporu, ale je potřeba použít ten správný vodič do elektrického obvodu. U elektrických obvodů požadujeme, aby přívodní vodiče měly co nejnížší hodnotu odporu ovšem odporové dráty tepelných spotřebičů (rychlovarná konvice) mají vysokou hodnotu odporu.

Elektrický odpor daného vodiče závisí nejen na teplotě, ale také na materiálu vodiče, jeho délce a obsahu průřezu vodiče. Platí vztah:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.3)$$

kde ρ je měrný elektrický odpor vodiče (rezistivita). Jednotkou měrného elektrického odporu je ohm metr, $[\rho] = \Omega \cdot \text{m}$. Tato veličina popisuje vodivé schopnosti daných látek a její hodnoty pro různé látky nalezneme v MFCHT. Hodnoty měrných elektrických odporů některých látek při teplotě 20°C jsou uvedeny v tabulce č. 2.

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

Tabulka č. 2: hodnoty měrných elektrických odporů některých látek při teplotě 20°C

Látka	$\frac{\rho}{10^{-6} \Omega \cdot \text{m}}$
Měď	0,017
Hliník	0,027
Cín	0,17
Wolfram	0,053
Stříbro	0,016
Litina	0,6 – 1,5
Ocel	0,1 – 0,2
konstantan (54% Cu, 45% Ni, 1% Mn)	0,5
chromnikl (20% Cr, 80% Ni)	1,1

Nejčastěji používaným materiálem v elektrotechnice pro výrobu vodičů je měď. Materiál s vysokou hodnotou rezistivity může být použit pro výrobu např. žehliček, rychlovarných konvic či ohřívacích těles praček.

Elektrický odpor závisí také na teplotě t podle vztahu

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta t), \quad (2.4)$$

kde R_0 je počáteční hodnota elektrického odporu, Δt je rozdíl koncové a počáteční teploty a α je parametr popisující danou látku, tzv. teplotní součinitel elektrického odporu. Jednotkou teplotního součinitele elektrického odporu je kelvin na mínus první $[\alpha] = \text{K}^{-1}$.

Taktéž rezistivita závisí na teplotě t podle vztahu

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta t), \quad (2.5)$$

kde ρ_0 je počáteční hodnota rezistivity, Δt je rozdíl koncové a počáteční teploty a α je teplotní součinitel elektrického odporu.

Hodnoty teplotního součinitele elektrického odporu pro různé látky nalezneme v MFCHT a hodnoty některých látek jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3: hodnoty teplotního součinitele elektrického odporu některých látek

látka	$\frac{\alpha}{10^{-3} \text{K}^{-1}}$
měď	4
hliník	4

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

cín	4,7
wolfram	4,4
stříbro	3,8
litina	1,9
ocel	5
konstantan (54% Cu, 45% Ni, 1% Mn)	0,05
chromnikl (20% Cr, 80% Ni)	0,18

U většiny kovů je při běžných teplotách hodnota součinitele $\alpha > 0$, proto hodnota jejich odporu se zvyšující se teplotou roste.

Řešené příklady

1) Jaký je odpor kovového vodiče, jestliže jím prochází při napětí 3V elektrický proud 60mA? Jaké je napětí na jeho koncích vodiče, prochází-li jím elektrický proud o hodnotě 1,5A?

Řešení

$$U_1 = 3 \text{ V}$$

$$I_1 = 60 \text{ mA} = 60 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$R = ? \Omega$$

$$I_2 = 1,5 \text{ A}$$

$$U_2 = ? \text{ V}$$

Do vztahu (2.1) pro výpočet elektrického odporu vodiče dosadíme hodnoty

$$R = \frac{U_1}{I_1},$$

$$R = \frac{3}{60 \cdot 10^{-3}} \Omega = 50 \Omega.$$

Odpor kovového vodiče je 50Ω .

Abychom určili napětí U_2 , nejdříve vyjádříme ze vztahu (2.1)

$$U_2 = R \cdot I_2, \text{ poté číselně dosadíme}$$

$$U_2 = 50 \cdot 1,5 \text{ V} = 75 \text{ V}.$$

Napětí na koncích vodiče, prochází-li jím elektrický proud o hodnotě 1,5A, je 75V.

2) Jaký je elektrický odpor měděného vodiče o průměru 3mm a délce 10m, je-li měrný elektrický odpor mědi $0,017 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$?

Řešení

$$d = 3 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

$$l = 10 \text{ m}$$

$$\rho = 0,017 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

$$R = ? \Omega$$

Hodnoty dosadíme do vztahu (2.3)

$R = \rho \frac{l}{S}$, kde ještě určíme obsah průřezu vodiče $S = \frac{\pi d^2}{4}$, odsud je výsledný vztah pro výpočet odporu vodiče v závislosti na jeho délce, průřezu a materiálu

$$R = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$$

$$R = 0,017 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 10}{\pi \cdot (3 \cdot 10^{-3})^2} \Omega = 0,096 \Omega = 96 \text{ m}\Omega$$

Odpor kovového vodiče je $96 \text{ m}\Omega$.

3) Zvýší-li se teplota wolframového vlákna žárovky o 2500°C , je výsledný odpor vlákna $0,42 \text{ k}\Omega$. Určete počáteční hodnotu odporu vlákna, je-li teplotní součinitel elektrického odporu $\alpha = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Řešení

$$\Delta t = 2500^\circ\text{C} = 2500 \text{ K}$$

$$\alpha = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$R = 0,42 \text{ k}\Omega = 0,42 \cdot 10^3 \Omega = 420 \Omega$$

$$R_0 = ? \Omega$$

Abychom určili počáteční hodnotu odporu R_0 , nejdříve vyjádříme ze vztahu (2.4)

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta t) \Rightarrow R_0 = \frac{R}{(1 + \alpha \Delta t)}, \text{ poté číselně dosadíme}$$

$$R_0 = \frac{420}{(1 + 4,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2500)} \Omega = 35 \Omega$$

Počáteční hodnota odporu vlákna je 35Ω .

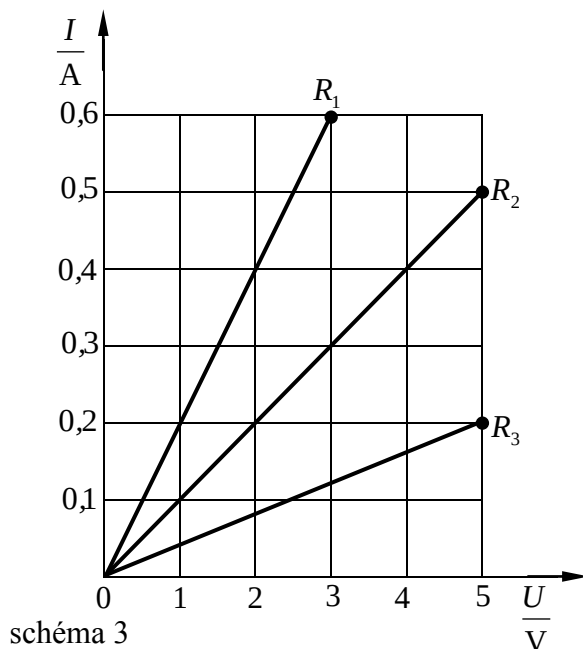
Příklady

1) Topná spirála vařiče, která je zhotovena z drátu dlouhého 230 cm o průměru $0,4 \text{ mm}$, má odpor $2740 \text{ m}\Omega$. Určete, z jakého materiálu je spirála zhotovena a její měrný elektrický odpor.
[ocel – $0,15 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$]

2) Při teplotě 30°C má ocelový drát odpor $16,5 \Omega$. Jaká je jeho výsledná teplota, jestliže se jeho odpor zvětšil na $21,45 \Omega$? Teplotní součinitel elektrického odporu oceli je $5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.
[$t = 90^\circ\text{C}$]

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

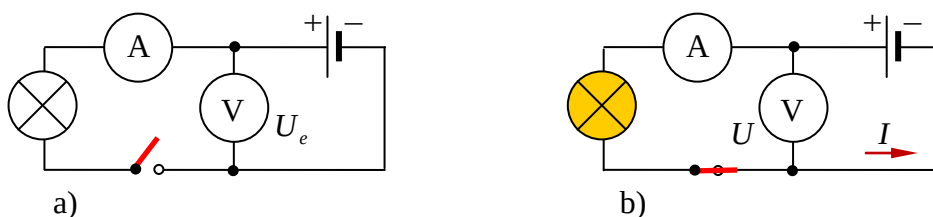
3) Jaké jsou odpory rezistorů na schématu 3, kde je znázorněna závislost proudu na napětí pro tyto rezistory?



$$[R_1 = 5\Omega; R_2 = 10\Omega; R_3 = 25\Omega]$$

2.2 Ohmův zákon pro uzavřený obvod

Opět sestavme jednoduchý obvod, do kterého zapojíme tyto členy: zdroj, žárovku, ampérmetr, voltmetr. Elektrickým obvodem bude procházet elektrický proud obr. 16.



obr. 16: schéma zapojení členů v jednoduchém obvodu

Při zapojení obr. 16 a) obvodem neprochází elektrický proud. Žárovka nesvítí, přesto se na voltmetru objeví výchylka. V tomto případě jsme změřili hodnotu napětí nezatíženého zdroje. Toto napětí se nazývá elektromotorické napětí U_e .

Při zapojení obr. 16 b) obvodem prochází elektrický proud. Žárovka svítí a na voltmetru naměříme napětí zatíženého zdroje. Toto napětí nazýváme svorkové napětí U . Při porovnání hodnot těchto napětí zjistíme, že hodnota elektromotorického napětí je větší než hodnota svorkového napětí $U_e > U$.

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

V uzavřeném obvodu protéká elektrický proud celým obvodem, tzn. jak vnější částí, kterou tvoří vodiče, spotřebiče – žárovka, měřicí přístroje; tak zdrojem napětí. Všechny části kladou elektrickému proudu odpor a taktéž klade odpor elektrickému proudu zdroj napětí. Tento odpor zdroje nazýváme vnitřní odpor zdroje R_i .

Označíme-li odpor vnější části obvodu R , pak celkový odpor obvodu je $R + R_i$.

Pro elektrický proud v uzavřeném elektrickém obvodu platí Ohmův zákon.

Celkový proud I v uzavřeném elektrickém obvodu je roven podílu elektromotorického napětí zdroje U_e a celkového odporu obvodu $R + R_i$, platí

$$I = \frac{U_e}{R + R_i} . \quad (2.6)$$

Tento vztah můžeme pomocí matematických úprav vyjádřit vztahem

$$U_e = I(R + R_i) = IR + IR_i . \quad (2.7)$$

Pokud je hodnota vnitřního odporu malá, může dojít v obvodu ke zkratu, kdy hodnota odporu vnější části obvodu klesne téměř na nulu ($R \rightarrow 0$). Obvodem protéká tzv. zkratový proud I_z , pro jehož hodnotu z Ohmova zákona platí:

$$I_z = \frac{U_e}{R_i} . \quad (2.8)$$

Jelikož hodnota vnitřního odporu je malá, může hodnota zkratového proudu nabývat vysoké hodnoty, což se projeví poškozením spotřebičů (samotného zdroje) zapojených v obvodě. Proto se do elektrických obvodů zapojují pojistky či jističe, které chrání spotřebiče před poškozením.

Řešené příklady

1) Jaký je vnitřní odpor zdroje, jestliže uzavřeným obvodem, v němž je zapojen zdroj o elektromotorickém napětí 4,5V a odpor o velikosti $1,2\Omega$, prochází elektrický proud o velikosti 2A?

Řešení

$$U_e = 4,5 \text{ V}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$R = 1,2\Omega$$

$$R_i = ?\Omega$$

Abychom určili hodnotu vnitřního odporu R_i , nejdříve vyjádříme ze vztahu (2.6)

$$I = \frac{U_e}{R + R_i} \Rightarrow R_i = \frac{U_e}{I} - R , \text{ poté číselně dosadíme}$$

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

$$R_i = \frac{4,5}{2} - 2,2\Omega = 0,05\Omega .$$

Vnitřní odpor zdroje je $0,05\Omega$.

2) Jaký elektrický proud protéká uzavřeným obvodem, jestliže velikost elektromotorického napětí zdroje je $4,4\text{V}$, vnitřní odpor zdroje $0,2\Omega$ a odpor vnější části obvodu $1,4\Omega$. Jakou velikost má svorkové napětí? Jaký proud by procházel obvodem při krátkém spojení?

Řešení

$$U_e = 4,4\text{V}$$

$$R = 1,4\Omega$$

$$R_i = 0,2\Omega$$

$$I = ?\text{A}$$

$$I_z = ?\text{A}$$

$$U = ?\text{V}$$

Hodnoty dosadíme do vztahu (2.6)

$$I = \frac{U_e}{R + R_i}$$

$$I = \frac{4,4}{1,4 + 0,2}\text{A} = 2,75\text{A} .$$

Elektrický proud protékající uzavřeným obvodem má velikost $2,75\text{A}$.

Pro výpočet svorkového napětí použijeme vyjádření Ohmova zákona pro napětí z tabulky č. 2

$$U = R \cdot I , \text{ číselně dosadíme}$$

$$U = 1,4 \cdot 2,75\text{V} = 3,85\text{V} .$$

Pro výpočet zkratového proudu v obvodu dosadíme hodnoty do vztahu (2.8)

$$I_z = \frac{U_e}{R_i}$$

$$I_z = \frac{4,4}{0,2}\text{A} = 22\text{A} .$$

Obvodem při krátkém spojení by procházel proud o hodnotě 22A .

Příklady

1) Jaký je vnitřní odpor automobilového akumulátoru (baterie), jestliže elektromotorické napětí je $12,4\text{V}$ a při odběru 40A se napětí zmenšilo na hodnotu $11,4\text{V}$?

$$[R_i \doteq 0,025\Omega]$$

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

2) Elektromotorické napětí baterie je $4,5\text{V}$ a její vnitřní odpor je $0,5\Omega$. Jaký elektrický proud prochází obvodem, je-li hodnota vnějšího odporu $2,5\Omega$. Jaké je svorkové napětí? Jaká je hodnota zkratového napětí?

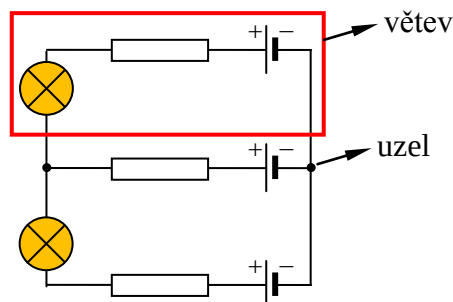
$$[I = 1,5\text{A} ; U = 3,75\text{V} ; U_z = 9\text{V}]$$

3) Určete elektromotorické napětí baterie, jestliže obvodem protéká elektrický proud o hodnotě $1,5\text{A}$, vnitřní odpor baterie je $0,4\Omega$ a svorkové napětí má hodnotu $4,8\text{V}$.

$$[U_e = 5,4\text{V}]$$

2.3 Kirchhoffovy zákony

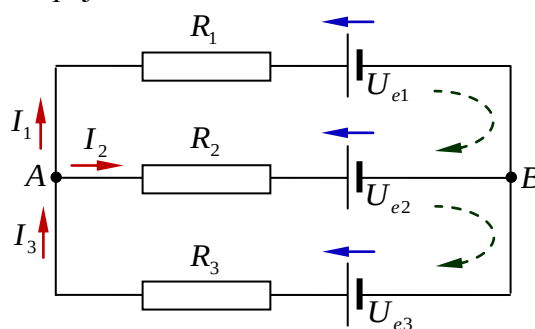
V praxi se jednoduché obvody vyskytují sporadicky. Nejčastěji se vyskytují elektrické obvody složité, ve kterých je zapojeno více spotřebičů a více zdrojů. Takové obvody nazýváme elektrickou sítí. Obvody mají několik větví. Větve se stýkají v bodě elektrického obvodu, který nazýváme uzel obr. 17.



obr. 17: popis rozvětveného elektrického obvodu

Abychom dokázali vyřešit parametry elektrické sítě, jsou obvykle známy hodnoty elektrických napětí zdrojů a zapojených rezistorů. Tento problém úspěšně vyřešil roku 1841 německý fyzik G. R. Kirchhoff a po něm jsou pojmenovány dva zákony.

Aplikujme tyto zákony na zapojení obr. 18.



obr. 18: schéma zapojení rozvětveného elektrického obvodu

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

První Kirchhoffův zákon – pro uzel elektrické sítě

Součet proudů vstupujících do uzlu je roven součtu proudů, které z něho vystupují. Pro uzel A, kde se stýkají tři větve, platí:

$$I_3 = I_1 + I_2 \Rightarrow I_1 + I_2 - I_3 = 0 . \quad (2.9)$$

Pokud se v uzlu stýká n větví, platí: algebraický součet proudů v uzlu je nulový, nebo-li

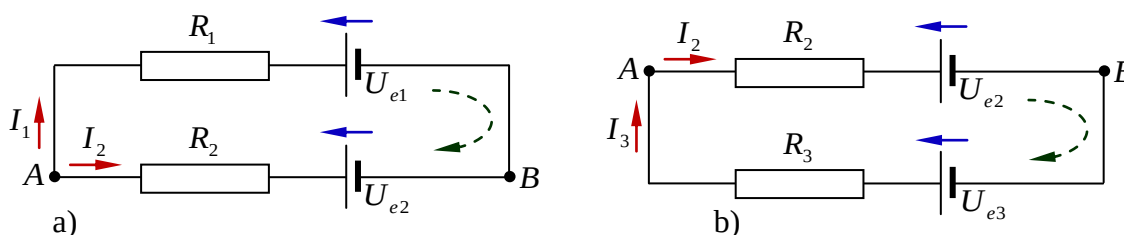
$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 . \quad (2.10)$$

Druhý Kirchhoffův zákon – pro jednoduchou smyčku elektrické sítě

Součet úbytků napětí na rezistorech je v uzavřené smyčce stejný jako součet elektromotorických napětí zdrojů, platí

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{j=1}^m U_{ej} . \quad (2.11)$$

Rozvětvený elektrický obvod na obr. 18 rozdělme na jednotlivé jednoduché obvody – smyčky obr. 19 a, b a použijeme Kirchhoffův zákon.



obr. 19: vytvořené smyčky z elektrického obvodu na obr. 18

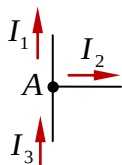
Platí:

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 = U_{e2} - U_{e1}$$

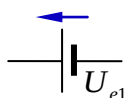
$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = U_{e3} - U_{e2}$$

Při řešení dodržujeme tato pravidla a do schématu vyznačíme:

1) směr proudů ve větvích (volíme libovolně)

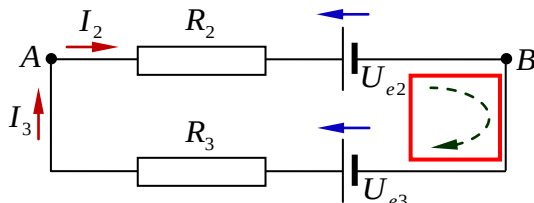


2) orientaci napětí zdrojů (od – k +)



ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

3) směry popisu (obíhání) při aplikaci Kirchhoffova zákona



Jestliže směr proudu (→) a orientace napětí zdroje (←) je shodný se směrem popisu, při matematickém vyjádření je znaménko úbytku napětí na rezistorech kladné (stejně jako znaménko elektromotorického napětí), v opačném případě záporné.

Řešený příklad

Jaké jsou hodnoty proudů v jednotlivých větvích obvodu na schématu 4, jestliže $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 1\Omega$, $R_3 = 3\Omega$ a hodnoty elektromotorických napětí jsou $U_{e1} = 5,5V$, $U_{e2} = 2,5V$, $U_{e3} = 0,5V$. Vnitřní odpor zdrojů neuvažujte.

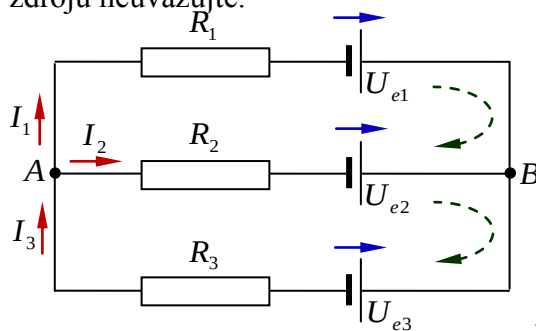


schéma 4

Pro výpočet prvků obvodu použijeme Kirchhoffovy zákony, a to první a druhý. Sestavíme příslušné rovnice, pro které využijeme dvou smyček ze tří.

Rovnice smyčky, v níž jsou zapojeny rezistory R_1 a R_2 :

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 = U_{e1} - U_{e2}.$$

Rovnice smyčky, v níž jsou zapojeny rezistory R_2 a R_3 :

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = U_{e2} - U_{e3}.$$

Rovnice pro proudy v uzlu A:

$$I_1 + I_2 = I_3.$$

Tyto tři rovnice napíšeme pod sebe a číselně do nich dosadíme:

$$\begin{array}{lll} 1) & R_1 I_1 - R_2 I_2 = U_{e1} - U_{e2} & 1 \cdot I_1 - 1 \cdot I_2 = 5,5 - 2,5 \\ 2) & R_2 I_2 + R_3 I_3 = U_{e2} - U_{e3} & 1 \cdot I_2 + 3 \cdot I_3 = 2,5 - 0,5 \\ 3) & I_1 + I_2 = I_3 & I_1 + I_2 = I_3 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} I_1 - I_2 = 3 \\ I_2 + 3I_3 = 2 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{array}$$

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

Z rovnice 1) $I_1 - I_2 = 3$ vyjádříme $I_2 = I_1 - 3$ a dosadíme do rovnice 3)

$$I_2 = I_1 - 3 \Rightarrow I_3 = I_1 + I_1 - 3 \Rightarrow I_3 = 2I_1 - 3.$$

Upravenou rovnici 3) dosadíme společně s upravenou rovnicí 1) do rovnice 2)

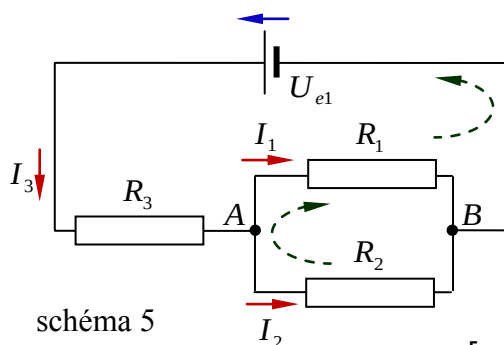
$$I_1 - 3 + 3(2I_1 - 3) = 2, \text{ upravíme na tvar } 7I_1 = 14, \text{ odtud } I_1 = 2\text{A}.$$

Poté dosadíme zpět do upravených rovnic: $I_2 = I_1 - 3 \Rightarrow I_2 = -1\text{A}$, $I_3 = 2I_1 - 3 \Rightarrow I_3 = 1\text{A}$.

Výsledné proudy v jednotlivých větvích jsou $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = -1\text{A}$, $I_3 = 1\text{A}$. Jelikož hodnota proudu I_2 je záporná, znamená to, že směr proudu je ve skutečnosti opačný než jsme si zaznačili při výpočtu.

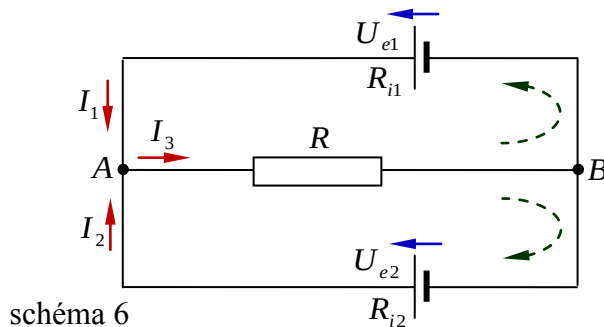
Příklady

1) Jaké jsou hodnoty proudů v jednotlivých větvích obvodu na schématu 5, jestliže $R_1 = 4,5\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 3\Omega$ a hodnoty elektromotorických napětí jsou $U_e = 12\text{V}$. Vnitřní odpor zdroje neuvažujte.



$$[I_1 = 1\text{A} ; I_2 = 1,5\text{A} ; I_3 = 2,5\text{A}]$$

2) Jaké jsou hodnoty proudů v jednotlivých větvích obvodu na schématu 6, jestliže $R_{i1} = 0,5\Omega$, $R_{i2} = 0,5\Omega$, $R = 2\Omega$ a hodnoty elektromotorických napětí jsou $U_{e1} = 2,5\text{V}$, $U_{e2} = 4,5\text{V}$.



$$[I_1 = -1\text{A} ; I_2 = 3\text{A} ; I_3 = 2\text{A}]$$

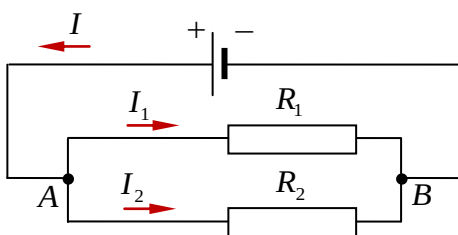
ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

2.4 Spojování rezistorů

Již u kondenzátorů jsme poznali, že kondenzátory mají jen jisté hodnoty, a pokud potřebujeme v obvodu jinou hodnotu, musíme kondenzátory navzájem spojit. Totéž platí o rezistorech. Abychom mohli do obvodu zapojit rezistor o námi požadované hodnotě, je třeba si tuto hodnotu vytvořit kombinací rezistorů.

Rezistory spojujeme dvěma způsoby:

a) paralelní zapojení obr. 20



obr. 20: schéma paralelního zapojení dvou rezistorů

Na všech rezistorech je stejné napětí U , ovšem v uzlu A dochází k rozdělení proudu a platí

$$I = I_1 + I_2 . \quad (2.12)$$

Dosadíme-li do Ohmova zákona pro část elektrického obvodu, pak pro proudy I_1 a I_2 procházející rezistory R_1 a R_2 platí

$$I_1 = \frac{U}{R_1} ; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad (2.13)$$

z čehož vyplývá

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} , \quad (2.14)$$

kde R je výsledný odpor obvodu.

Pak pro výslednou hodnotu odporu můžeme psát

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} . \quad (2.15)$$

Pokud by v obvodu bylo zapojeno paralelně n -rezistorů, pro výslednou hodnotu odporu platí

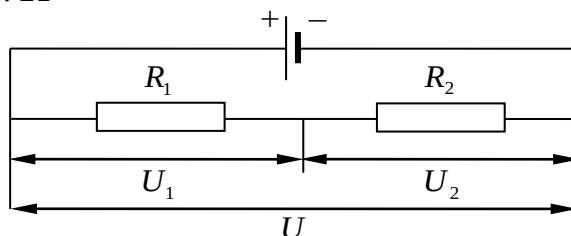
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} . \quad (2.16)$$

Převrácená hodnota celkového odporu je rovna součtu převrácených hodnot jednotlivých odporů.

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

Paralelně jsou zapojeny elektrické spotřebiče v domácnosti.

b) sériové zapojení obr. 21



obr. 21: schéma sériového zapojení dvou rezistorů

Tímto zapojením vytváříme rezistor s vyšší hodnotou.

Obvodem prochází elektrický proud I . Na rezistorech R_1 a R_2 naměříme napětí U_1 a U_2 a platí

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} . \quad (2.17)$$

Pro výslednou hodnotu odporu platí

$$R = R_1 + R_2 . \quad (2.18)$$

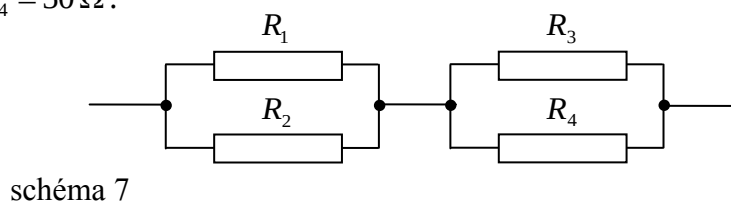
Pokud by v obvodu bylo zapojeno sériově n -rezistorů, pro výslednou hodnotu odporu platí

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n . \quad (2.19)$$

Sériově jsou zapojeny např. elektrické vánoční svíčky.

Řešený příklad

Určete výslednou hodnotu odporu zapojení na schématu 7, kde $R_1 = 20 \Omega$, $R_2 = 25 \Omega$, $R_3 = 40 \Omega$, $R_4 = 50 \Omega$.



Řešení

$$R_1 = 20 \Omega$$

$$R_2 = 25 \Omega$$

$$R_3 = 40 \Omega$$

$$R_4 = 60 \Omega$$

$$R = ? \Omega$$

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

Nejprve se podíváme, jak je provedeno zapojení rezistory, které jsou zapojeny paralelně, které sériově a dle toho budeme řešit. Rezistory R_1 a R_2 jsou zapojeny paralelně a taktéž rezistory R_3 a R_4 jsou zapojeny paralelně a následně jsou tyto rezistory zapojeny sériově.

Označme si výsledný odpor rezistorů R_1 a R_2 jako R_I a odpor rezistorů R_3 a R_4 jako R_{II} .

Pro R_I platí vztah (2.15)

$$\frac{1}{R_I} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \text{ nejprve upravíme}$$

$$R_I = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \text{ a poté číselně dosadíme}$$

$$R_I = \frac{20 \cdot 22}{20 + 22} \Omega \doteq 10,5 \Omega.$$

Pro R_{II} platí vztah (2.15)

$$\frac{1}{R_{II}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}, \text{ nejprve upravíme}$$

$$R_{II} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \text{ a poté číselně dosadíme}$$

$$R_{II} = \frac{40 \cdot 60}{40 + 60} \Omega = 24 \Omega.$$

Rezistory R_I a R_{II} jsou zapojeny sériově. Pro výsledný odpor R platí vztah (2.18)

$$R = R_I + R_{II}, \text{ číselně dosadíme}$$

$$R = 10,5 + 24 \Omega = 34,5 \Omega.$$

Výsledná hodnota odporu zapojení na schématu 4 je $34,5 \Omega$.

Příklady

- 1) Určete výslednou hodnotu odporu zapojení na schématu 8, kde $R_1 = 12 \Omega$, $R_2 = 16 \Omega$, $R_3 = 34 \Omega$, $R_4 = 15 \Omega$.

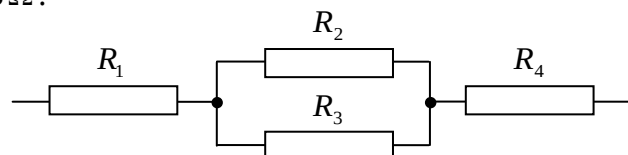


schéma 8

$$[R \doteq 37,9 \Omega]$$

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

2) Odvoďte vztah pro výpočet tří paralelně zapojených rezistorů.

$$\left[R = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3} \right]$$

3) Určete výslednou hodnotu odporu zapojení na schématu 9, kde $R_1 = 20 \Omega$, $R_2 = 16 \Omega$, $R_3 = 8 \Omega$.

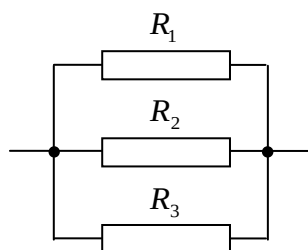


schéma 9

$$[R \doteq 4,2 \Omega]$$

4) Určete výsledné proudy v jednotlivých větvích elektrického odporu schéma 10, jestliže jsou v obvodu zapojeny rezistory o hodnotách $R_1 = 11,4 \Omega$, $R_2 = 16 \Omega$, $R_3 = 24 \Omega$, a připojeny k napětí $U = 16,8 \text{ V}$.

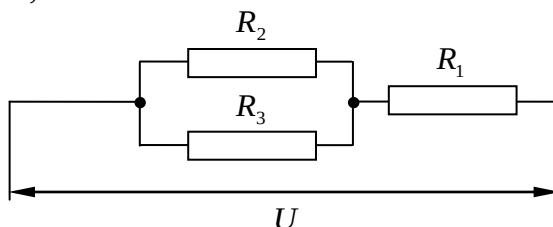


schéma 10

$$[I \doteq 0,8 \text{ A} ; I_2 \doteq 0,48 \text{ A} ; I_3 \doteq 0,32 \text{ A}]$$

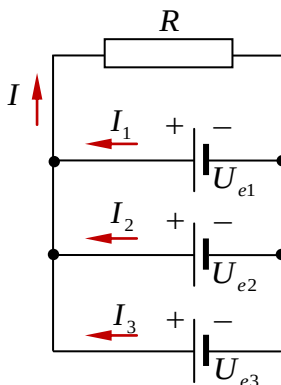
2.5 Spojování zdrojů napětí

V praxi mnohokrát potřebujeme, aby hodnoty elektrického napětí a proudu byly větší než hodnoty, které nám poskytuje jediný zdroj napětí. Proto zdroje napětí spolu spojujeme. Spojením nám vzniká nový zdroj – baterie. Zdroje spojujeme stejným způsobem jako u kondenzátorů nebo rezistorů.

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

Zdroje spojujeme dvěma způsoby:

a) paralelní zapojení obr. 22

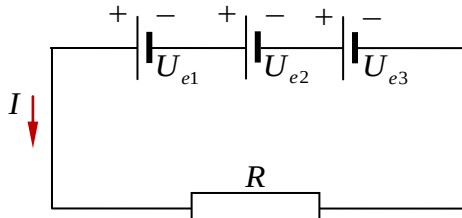


obr. 22: paralelní zapojení zdrojů napětí

Při tomto spojení zdrojů spojujeme jedním vždy kladné póly a druhým vodičem záporné póly zdrojů. Takto spojujeme zdroje o stejné hodnotě napětí. Výsledné napětí je rovno napětí jednoho zdroje, ale výsledný proud I je roven součtu proudů jednotlivých zdrojů, tedy

$$I = I_1 + I_2 + I_3 .$$

b) sériové zapojení obr. 23



obr. 23: sériové zapojení zdrojů napětí

Při tomto spojení zdrojů spojujeme vždy kladný pól jednoho zdroje se záporným pólem druhého zdroje. Takto spojujeme zdroje o stejné hodnotě napětí. Výsledné napětí U_e je rovno součtu napětí jednotlivých zdrojů, tedy

$$U_e = U_{e1} + U_{e2} + U_{e3} .$$

Sériovým zapojením získáváme zdroj o větším napětí, než jsou jednotlivé napětí zdrojů.

2.6 Práce a výkon elektrického proudu

Pokud obvodem protéká elektrický proud, dochází k usměrněnému pohybu volných částic s nábojem – v kovovém vodiči se pohybují elektrony. Aby se elektrony o náboji Q uvnitř vodiče pohybovaly, musí na ně působit elektrická síla F_e . Přemístí-li elektrická síla F_e

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

elektron o náboji Q uvnitř vodiče z místa A do místa B , kde mezi konci vodiče je napětí U , vykoná práci W , a platí

$$W = QU . \quad (2.20)$$

Prochází-li vodičem konstantní elektrický proud I po dobu t , je výsledná hodnota elektrického náboje, který projde průřezem vodiče o obsahu S , dána součinem elektrického proudu a času, platí

$$Q = I \cdot t . \quad (2.21)$$

Dosadíme-li do vztahu pro práci, dostaneme

$$W = U \cdot I \cdot t . \quad (2.22)$$

Práce elektrického proudu je rovna součinu napětí, proudu a doby, po kterou proud prochází vodičem.

Dosadíme-li za hodnotu elektrického proudu či napětí vyjádření z Ohmova zákona, můžeme práci elektrického proudu vyjádřit vztahy

$$W = R \cdot I^2 \cdot t , \quad W = \frac{U^2}{R} \cdot t . \quad (2.23)$$

Dodáváme-li elektrickému spotřebiči energii E , koná práci W během času t , kdy mu energii dodáváme a činnost spotřebiče můžeme posuzovat podle toho, jak rychle práci koná. Fyzikální veličinu, která popisuje činnost stroje, nazýváme výkon P a platí

$$P = \frac{W}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I . \quad (2.24)$$

Jednotkou výkonu je watt, $[P] = W$.

Jelikož spotřebiči, aby konal pro nás užitečnou práci, musíme dodávat energii, je důležité, kolik energie spotřebuje na vykonání práce. Fyzikální veličinu popisující množství energie E dodané stroji během doby t nazýváme příkon spotřebiče P_0 a platí

$$P_0 = \frac{E}{t} . \quad (2.25)$$

Jednotkou příkonu je také watt, $[P_0] = W$.

Podíl vykonané práce spotřebičem a energie dodané spotřebiči během času t , charakterizuje fyzikální veličina účinnost, pro niž platí

$$\eta = \frac{W}{E} = \frac{P \cdot t}{P_0 \cdot t} = \frac{P}{P_0} . \quad (2.26)$$

Účinnost spotřebiče udáváme v procentech a charakterizuje množství dodané energie, kterou spotřebič přemění pro nás v užitečnou práci. Pro účinnost vždy platí $\eta < 1$ ($\eta < 100\%$).

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

Pokud ze vztahu pro výkon vyjádříme práci $W = P \cdot t$, můžeme jednotku energie vyjádřit následovně $J = W \cdot s$. V praxi používáme jednotku větší $1\text{kW} \cdot \text{h}$ a platí $1\text{W} \cdot \text{h} = 3600\text{J}$, kde $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3600 \cdot 1000\text{J} = 3,6 \cdot 10^6\text{J} = 3,6\text{MJ}$. V kilowathodinách měříme spotřebovanou elektrickou energii domácností a přístroj, který používáme k měření spotřebované elektrické energie, se nazývá elektroměr.

V elektrických spotřebičích např. rychlovarná konvice dochází při průchodu elektrického proudu k zahřívání vodiče. Takto vzniklá tepelná energie může být dále předávána okolí, což se děje např. u těchto spotřebičů – žehlička, topné těleso pračky, fén, sendvičovač, toustovač. Vodičem, který je připojen ke zdroji napětí U , prochází elektrický proud I po dobu t . Průchodem elektrického proudu dochází k přeměně elektrické energie v teplo, pro jehož hodnotu platí

$$Q_J = U \cdot I \cdot t \quad (2.27)$$

Teplo Q_J nazýváme Jouleovým teplem a z Ohmova zákona můžeme vztah (2.27) upravit na tvary

$$Q_J = R \cdot I^2 \cdot t, \quad Q_J = \frac{U^2}{R} \cdot t, \quad (2.28)$$

kde R je odpor vodiče.

Využití spotřebičů na bázi přeměny elektrické energie v tepelnou je nejen v domácnosti, ale především v průmyslu.

Řešený příklad

Určete příkon a účinnost elektromotoru, který je připojen k napětí 24V a jímž prochází elektrický proud o hodnotě $1,8\text{A}$ a jeho výkon je $36,72\text{W}$. Jakou hodnotu má elektrická energie odebraná tímto elektromotorem za dvě a půl hodiny.

Řešení

$$U = 24\text{V}$$

$$I = 1,8\text{A}$$

$$P = 36,72\text{W}$$

$$t = 2,5\text{h}$$

$$P_0 = ?\text{W}$$

$$\eta = ?\%$$

$$E = ?\text{J}$$

Pro výpočet příkonu elektromotoru vyjdeme ze vztahu (2.25)

$$P_0 = \frac{E}{t}, \text{ kde } E = U \cdot I \cdot t \text{ a výsledný vztah je } P_0 = U \cdot I, \text{ poté dosadíme číselně}$$

$$P_0 = 24 \cdot 1,8\text{W} = 43,2\text{W}.$$

ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

Příkon elektromobilu je 43,2W.

Pro výpočet účinnosti elektromobilu vyjdeme ze vztahu (2.26)

$$\eta = \frac{P}{P_0}, \text{ poté dosadíme číselně}$$

$$\eta = \frac{36,72}{43,2} = 0,85.$$

Účinnost elektromobilu je 85%.

Elektrická energie odebraná tímto elektromotorem za dvě a půl hodiny je dána vztahem (2.25)

$$P_0 = \frac{E}{t}, \text{ který upravíme pro výpočet energie } E = P_0 \cdot t, \text{ poté číselně dosadíme}$$

$$E = 43,2 \cdot 2,5 \text{W} \cdot \text{h} = 108 \text{W} \cdot \text{h}.$$

Elektrická energie odebraná tímto elektromotorem za dvě a půl hodiny je 108W · h.

Příklady

1) Rychlovarná konvice je připojena k napětí 230V a má příkon 2,3kW. Jaký proud jím prochází? Jaký je její výkon, je-li účinnost konvice 94%? Jakou energii měsíčně spotřebuje, pracuje-li denně 5 minut?

$$[I = 10 \text{ A} ; P = 2162 \text{W} ; E = 5,75 \text{kW} \cdot \text{h}]$$

2) Jaká je účinnost elektromotoru, jsou-li na jeho výrobním štítku údaje 230V, 420W, je-li jeho výkon 320W? Jaký proud jím prochází?

$$[I = 1,83 \text{ A} ; \eta \doteq 76\%]$$

3) Elektrická spirála má příkon 351W. Jaké teplo odevzdá okolí za 20minut provozu?

$$[117 \text{W} \cdot \text{h}]$$

4) Elektrické topné těleso multifunkční trouby má příkon 0,95kW. Jaké množství energie odebere za dobu 2hodin? Jaký je její výkon při účinnosti 90%, jestliže je připojena k napětí 230V? Jaký proud tímto tělesem prochází?

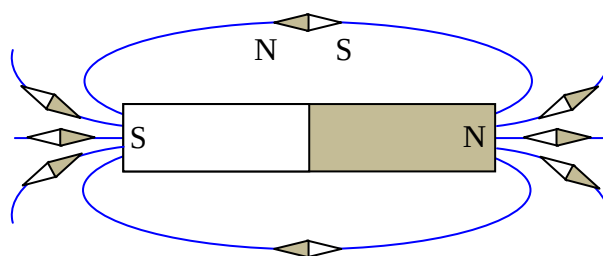
$$[I \doteq 3,72 \text{ A} ; P = 855 \text{W} ; E = 1,9 \text{kW} \cdot \text{h}]$$

MAGNETICKÉ POLE

3 Magnetické pole

Při výuce fyziky na základní škole jste se setkali s magnety. Tyto magnety jste nazvali tyčové magnety. Zjistili jste, že kolem magnetu existuje magnetické pole. Pokud jste do blízkosti magnetu umístili např. železný předmět, magnet si tento předmět „přitáhl“. Také jste se přesvědčili, že magnety mají dva póly: severní (N – north) a jižní (S – south). Dozvěděli jste se, že také kolem Země se vyskytuje magnetické pole a je velmi důležité pro život na Zemi.

Tak jak pole gravitační „není vidět“, můžeme pozorovat jen jeho projevy – volný pád těles v gravitačním poli, taktéž magnetické pole „není vidět“ a projevem magnetického pole je např. natočení magnetky v blízkosti magnetu obr. 24, natočení magnetky v magnetickém poli Země.



obr. 24: magnetické pole tyčového magnetu

Magnetické pole se nevyskytuje jen v okolí magnetů, ale také v okolí vodiče s proudem a lze ho vyvolat v jakémkoliv prostředí.

Vodič s proudem vytváří kolem sebe magnetické pole, které je buzeno usměrněným pohybem nabitých částic ve vodiči.

Magnetické pole je popsáno pomocí dvou vektorových veličin – intenzity magnetického pole $\mathbf{H}$ a magnetické indukce $\mathbf{B}$. Intenzita magnetického pole $\mathbf{H}$ je veličina nezávislá na prostředí, kdežto magnetická indukce $\mathbf{B}$ na prostředí závisí. Závislost mezi oběma veličinami je následující:

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} , \quad (3.1)$$

kde μ je permeabilita prostředí spojená s magnetickými vlastnostmi prostředí.

Jestliže se permanentní magnet nepohybuje, a vodičem protéká stálá hodnota elektrického proudu, můžeme v okolí zaznamenat magnetické pole. Toto pole se s časem nemění. V dané vzdálenosti od zdroje je velikost magnetické indukce konstantní. Mluvíme o stacionárním magnetickém poli.

MAGNETICKÉ POLE

Pokud se v dané vzdálenosti od zdroje mění magnetická indukce B , vzniká časově proměnné (nestacionární) magnetické pole.

Zdrojem nestacionárním magnetického pole je:

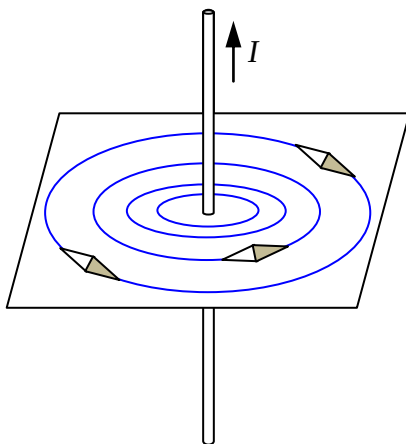
- nepohybující se vodič s časově proměnným proudem
- pohybující se vodič s proudem
- pohybující se permanentní magnet či elektromagnet.

V první části si rozebereme stacionární magnetické pole tj. magnetické pole magnetů a vodičů s konstantním proudem, v druhé části se podíváme na nestacionární magnetické pole tj. elektromagnetickou indukci, buzení a výrobu elektrického proudu.

3.1 Magnetické pole vodičů s proudem

Při přiblížení magnetky k vodiči, kterým prochází elektrický proud, dochází k vychýlení magnetky. V okolí vodiče s proudem se při průchodu elektrického proudu vytváří magnetické pole. Tohoto si všimnul na počátku 20. let 19. století dánský fyzik H. CH. Oersted. Na tento objev dále navázal francouzský fyzik A. M. Ampère. Zkoumáním těchto jevů Ampère zjistil, že na sebe vzájemně působí i vodiče s proudem. Výsledkem je, že silové působení vzniká nejen mezi magnety, ale také mezi magnety a vodiči s proudem a mezi vodiči s proudem. Příčinou vzniku magnetického pole kolem vodičů s proudem je pohyb částic s nábojem ve vodiči.

Pokud budeme magnetku vkládat do okolí vodiče s proudem a budeme-li zaznamenávat polohy magnetky, zobrazíme průběh magnetického pole obr. 25.



obr. 25: magnetické pole vodiče s proudem

Zaznamenáním všech poloh magnetky zobrazíme průběh magnetického pole v prostoru. Křivky, které vzniknou zaznamenáním poloh magnetky, nazýváme magnetické indukční čáry. Magnetická indukční čára je prostorově orientovaná křivka, jejíž tečna v daném bodě má směr osy velmi malé magnetky umístěné v tomto bodě. Směr magnetické indukční čáry určuje

MAGNETICKÉ POLE

orientace magnetky, a to od jižního k severnímu pólu. U vodiče s proudem jsou magnetickými indukčními čárami soustředné kružnice, jež jsou v rovině kolmé k vodiči se středem v ose vodiče. K orientaci magnetických indukčních čar přímého vodiče užíváme Ampèrovo pravidlo pravé ruky.

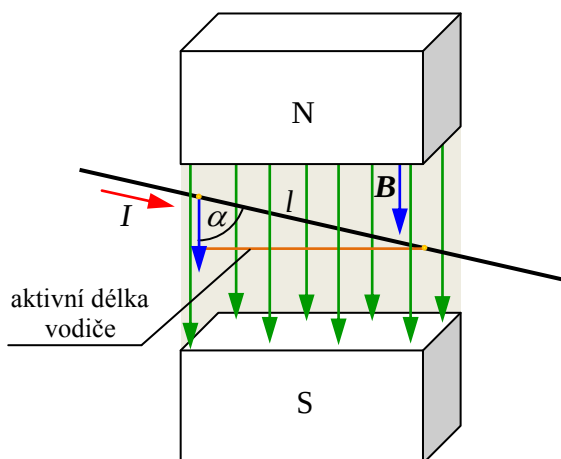
Naznačíme uchopení vodiče tak, aby vztyčený palec ukazoval dohodnutý směr proudu, pak prsty ukazují směr magnetických indukčních čar.

Směr magnetických indukčních čar závisí na směru proudu. Magnetické indukční čáry jsou uzavřené křivky, jejich směr je od severního k jižnímu pólu.

3.2 Magnetická síla

Pokud k sobě přiblížíme dva magnety, dochází k jejich vzájemnému působení. Podle toho, jakými póly je k sobě přiblížíme, se magnety přitahují nebo odpuzují. Projevem tohoto magnetického pole je magnetická síla F_m . Nejen že dochází k vzájemnému působení mezi magnety, ale také mezi magnetem a vodičem s proudem a vodiči s proudem.

Podívejme se na situaci, kdy umístíme vodič s proudem do homogenního magnetického pole obr. 26.



obr. 26: schéma k vysvětlení magnetické síly

Umístíme-li vodič s proudem do homogenního magnetického pole, působí navzájem na sebe vnější homogenní magnetické pole a magnetické pole vzniknuvší kolem vodiče, kterým prochází proud o velikosti I . Jak velká magnetická síla působí na vodič s proudem? Na čem bude magnetická síla záviset?

Velikost magnetické síly F_m závisí:

1) na velikosti elektrického proudu I procházejícího vodičem,

MAGNETICKÉ POLE

- 2) na vzájemné poloze vodiče a magnetických indukčních čar – úhel α ,
- 3) na délce vodiče umístěné v magnetickém poli
- 4) na vnějším magnetickém poli.

Pro velikost magnetické síly platí

$$F_m = BIl \sin \alpha, \quad (3.2)$$

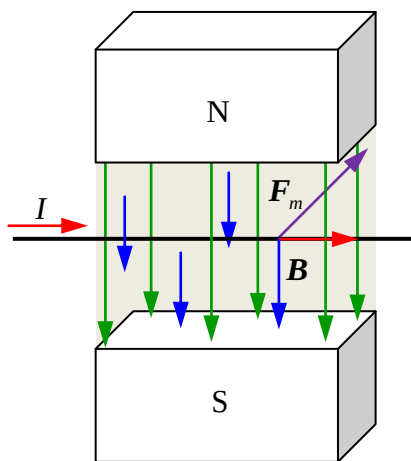
kde $l \sin \alpha$ je aktivní délka vodiče, úhel $\alpha \in \langle 0; \pi \rangle$ charakterizuje polohu vodiče vzhledem k magnetickým indukčním čarám, veličina B je magnetická indukce, která charakterizuje magnetické pole v daném prostředí.

Pokud vyjádříme magnetickou indukci, dostaneme

$$B = \frac{F_m}{Il \sin \alpha}. \quad (3.3)$$

Jednotkou magnetické indukce je tesla, $[B] = \text{T}$. Magnetická indukce je vektorová fyzikální veličina. Maximální velikost magnetické indukce je pro úhel $\alpha = \frac{1}{2}\pi$ a minimální velikost je pro úhel $\alpha = 0$.

Jaký je směr magnetické síly? Podívejme se na obr. 27.



obr. 27: schéma k určení magnetické síly působící na vodič v magnetickém poli

Magnetická síla je kolmá jak na vektor magnetické indukce, tak na vodič. K určení směru magnetické síly užíváme Flemingova pravidla levé ruky.

Položíme-li otevřenou levou ruku k přímému vodiči tak, aby prsty ukazovaly směr proudu a indukční čáry vstupovaly do dlaně, odtažený palec ukazuje směr síly, kterou působí magnetické pole na vodič.

MAGNETICKÉ POLE

Řešený příklad

Jak velká síla působí na vodič s proudem umístěný v homogenním magnetickém poli délky 65cm, jestliže vodičem prochází proud o hodnotě 2,5A a vodič svírá s magnetickými indukčními čarami úhel 30°? Velikost magnetické indukce homogenního magnetického pole je 60mT.

Řešení

$$I = 2,5 \text{ A}$$

$$l = 65 \text{ cm} = 0,65 \text{ m}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$B = 60 \text{ mT} = 0,06 \text{ T}$$

$$F_m = ? \text{ N}$$

Do vztahu (3.2) pro výpočet velikosti magnetické síly dosadíme hodnoty

$$F_m = BIl \sin \alpha ,$$

$$F_m = 0,06 \cdot 2,5 \cdot 0,65 \cdot \sin 30^\circ \text{ N} \doteq 49 \cdot 10^{-3} \text{ N} = 49 \text{ mN} .$$

Na vodič s proudem umístěný v homogenním magnetickém poli délky 65cm působí síla o velikosti 49mN.

Příklady

1) Jaký úhel svírá přímý vodič s magnetickými čarami homogenního magnetického pole o indukci 30mT, jestliže vodič má délku 50cm, protéká jím proud o velikosti 4A a působí na něj magnetická síla o velikosti 27mN?

$$[\alpha \doteq 26,75^\circ]$$

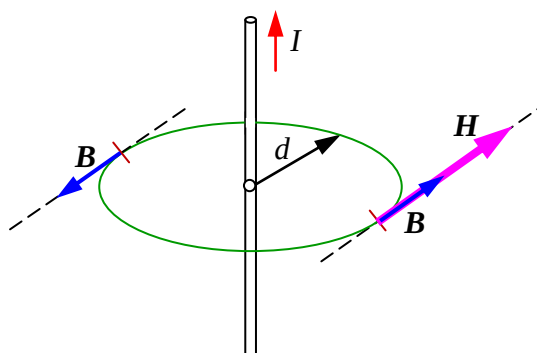
2) Jakou velikost magnetické indukce má homogenní magnetické pole, je-li do něj vložen přímý vodič o délce 25cm svírající s magnetickými čarami homogenního magnetického pole úhel 63°, jímž protéká proud o velikosti 6,5A a působí na něj magnetická síla o velikosti 47mN?

$$[B \doteq 32,5 \text{ mT}]$$

3.3 Magnetické pole rovnoběžných vodičů s proudem

Budeme-li vyšetřovat magnetické pole v okolí dlouhého, tenkého přímého vodiče, zajímá nás popis tohoto pole z hlediska magnetické indukce. U vodiče s proudem jsou magnetickými indukčními čarami soustředné kružnice, jež jsou v rovině kolmé k vodiči se středem v ose vodiče. Dle Ampèrova pravidla pravé ruky určíme orientaci magnetické indukční čáry. Zvolíme-li bod na magnetické indukční čáře, pak vektor magnetické indukce $\mathbf{B}$ má směr tečny k magnetické indukční čáře v tomto bodě obr. 28.

MAGNETICKÉ POLE



obr. 28: magnetická indukce pole vodiče s proudem

Pro velikost magnetické indukce B ve vzdálenosti d od vodiče s proudem platí

$$B = \mu \cdot \frac{I}{2\pi d} , \quad (3.4)$$

kde I je velikost elektrického proudu procházející vodičem. Jelikož určujeme hodnotu magnetické indukce ve vzdálenosti d od vodiče, je hodnota magnetické indukce stejná v kterémkoliv bodě na této indukční čáře a velikost indukční čáry je $2\pi d$. Dále se ve vztahu vyskytuje důležitá konstanta μ , která charakterizuje prostředí, v němž je vodič umístěn. Tuto konstantu nazýváme permeabilita prostředí a platí

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 . \quad (3.5)$$

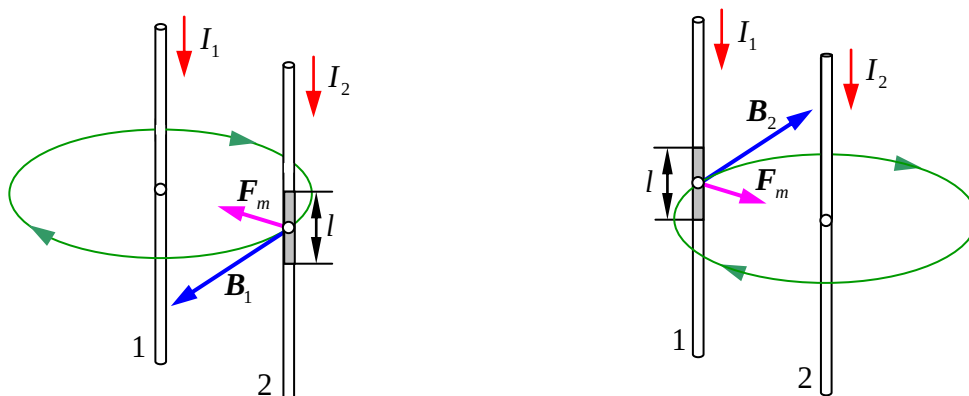
Veličina μ_0 charakterizuje magnetické pole ve vakuu, nazývá se permeabilita vakua a platí

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

Veličina μ_r charakterizuje magnetické pole látky, v němž pole vzniká. Pomocí této veličiny dělíme látky z hlediska magnetických vlastností.

Pokud do magnetického pole přímého dlouhého vodiče s proudem umístíme další vodič s proudem, budou na sebe vodiče působit magnetickou silou. Kdy budou na sebe vodiče působit přitažlivou a odpudivou silou? Vyšetřeme toto vzájemné silové působení. Pro zjištění výsledné magnetické síly použijeme Ampèrovo pravidlo pravé ruky, jímž určíme orientaci magnetické indukční čáry (směr magnetické indukce) v okolí vodiče 1. Následně do magnetického pole vodiče 1 umístíme vodič 2 a pomocí Flemingova pravidla levé ruky, které aplikujeme na vodič 2, určíme směr magnetické síly v daném bodě vodiče 2. Shodným způsobem postupujeme v případě, že do magnetického pole vodiče 2 vložíme vodič 1 obr. 29.

MAGNETICKÉ POLE



obr. 29: vzájemné silové působení vodičů s proudem

Směry magnetických sil, kterými na sebe působí rovnoběžné vodiče s proudem, závisí na směrech proudů. Při souhlasných směrech proudů se vodiče přitahují, při nesouhlasných směrech proudů se odpuzují.

Velikost magnetické síly, která působí mezi vodiči na část vodiče délky l ve vzdálenosti d od vodiče je dána

$$F_m = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{d} \cdot l, \quad (3.7)$$

kde I_1 a I_2 jsou velikosti proudů procházející vodiči. Odsud můžeme definovat jednotku elektrického proudu.

Ampér je stálý proud, který při průchodu dvěma rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného průřezu umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1m od sebe vyvolá mezi vodiči sílu o velikosti $2 \cdot 10^{-7}$ N na 1m délky vodiče.

Řešený příklad

Dvěma přímými rovnoběžnými vodiči umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 15cm od sebe prochází elektrický proud o velikostech 16A a 12A. Jakou velikost má magnetická síla působící na část vodiče o velikosti 0,7m, jestliže proudy jsou

- stejněho směru
- opačného směru?

Řešení

$$I_1 = 16 \text{ A}$$

$$I_2 = 12 \text{ A}$$

$$d = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$l = 0,7 \text{ m}$$

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

$$F_m = ? \text{ N}$$

MAGNETICKÉ POLE

Do vztahu (3.7) pro výpočet velikosti magnetické síly dosadíme hodnoty

$$F_m = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{d} \cdot l,$$

$$F_m = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{16 \cdot 12}{0,15} \cdot 0,9 \text{ N} \doteq 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ N} \doteq 0,23 \text{ mN}.$$

Magnetická síla působící na část vodiče o velikosti 0,7m má hodnotu 0,23mN. Při souhlasných proudech je tato síla přitažlivá, při opačných proudech je tato síla odpudivá.

Příklady

1) Jaká je velikost magnetické indukce v okolí přímého vodiče ve vzdálenosti 20cm, jímž protéká proud o velikosti 4,5A? Vodič je umístěn v oleji o relativní permeabilitě 5.

$$[B \doteq 22,5 \mu\text{T}]$$

2) V jaké vzdálenosti od sebe jsou umístěny dva přímé rovnoběžné vodiče umístěné ve vakuu, kterými prochází elektrický proud opačného směru o velikostech 9A a 6,5A, jestliže magnetická síla má velikost 0,012mN a působí na část vodiče o velikosti 45cm?

$$[l \doteq 44 \text{ cm}]$$

3) Jak velké proudy souhlasného směru prochází dvěma přímými vodiči umístěnými ve vakuu, jsou-li od sebe vzdáleny 2,5cm, které působí na část vodiče o velikosti 0,2m délky a působí mezi nimi síla o velikosti 0,5184mN?

$$[I \doteq 18 \text{ A}]$$

4) V jaké vzdálenosti od vodiče je velikost magnetické indukce 32,5μT, jímž protéká proud o velikosti 5,2A? Vodič je umístěn v oleji o relativní permeabilitě 5.

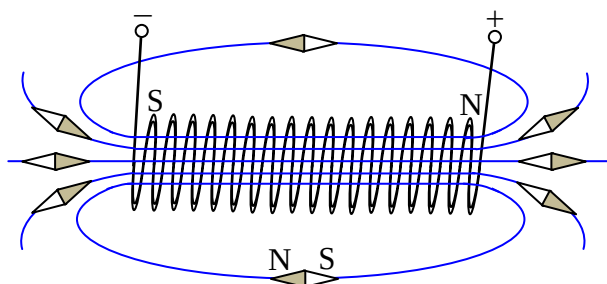
$$[l \doteq 16 \text{ cm}]$$

3.4 Magnetické pole cívky

Při přiblížení magnetky k vodiči, kterým prochází elektrický proud, dochází k vychýlení magnetky.

Pokud budeme magnetku vkládat do okolí cívky, kterou bude procházet elektrický proud, a budeme-li zaznamenávat polohy magnetky, zobrazíme průběh magnetického pole a navíc můžeme určit severní a jižní pól cívky obr. 30.

MAGNETICKÉ POLE



obr. 30: magnetické pole cívky s proudem

Z obr. 30 jsou vidět magnetické indukční čáry cívky. Je vidět, že uvnitř cívky vzniká magnetické pole, jehož magnetické indukční čáry jsou rovnoběžné. Takové pole označujeme jako homogenní.

K orientaci magnetických indukčních cívky vodiče užíváme opět Ampèrovo pravidlo pravé ruky.

Pravou ruku položíme na cívku tak, aby pokrčené prsty ukazovaly dohodnutý směr proudu v závitech cívky, pak palec ukazuje polohu severního pólu.

Dlouhou válcovou cívku s velkým počtem závitů, kde průměr závitů je malý vzhledem k délce cívky, nazýváme solenoid. Pro velikost magnetické indukce uvnitř takové cívky platí

$$B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l}, \quad (3.8)$$

kde N je počet závitů cívky, I je velikost procházejícího proudu vodičem, l je délka cívky a μ je permeabilita prostředí.

Řešený příklad

Jaká je velikost magnetické indukce uvnitř cívky o 250 závitech, délce 33cm, již prochází elektrický proud 1,5A a cívka je umístěná ve vakuu?

Řešení

$$I = 1,5 \text{ A}$$

$$l = 33 \text{ cm} = 0,33 \text{ m}$$

$$N = 250$$

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

$$B = ? \text{ T}$$

Do vztahu (3.8) pro výpočet velikosti magnetické indukce cívky dosadíme hodnoty

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

MAGNETICKÉ POLE

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{250 \cdot 1,5}{0,33} \text{ T} \doteq 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ T} = 1,43 \text{ mT} .$$

Velikost magnetické indukce uvnitř cívky je 1,43mT.

Příklady

1) Jaký je průměr vodiče, z něhož je zhotoveno vinutí cívky, jestliže u cívky tvaru dlouhého solenoidu se sousední závity dotýkají? Cívkou prochází proud 0,8A a uvnitř cívky je velikost magnetické indukce 5mT. Cívka je umístěná ve vakuu.

$$[d \doteq 0,2 \text{ mm}]$$

2) Jaká je velikost elektrického proudu, který prochází cívkou o 1500 závitěch, délce 27cm, jestliže uvnitř cívky, která je umístěná ve vakuu, je velikost magnetické indukce 4,5mT?

$$[I = 0,72 \text{ A}]$$

3.5 Magnetické vlastnosti látek

Ze zkušenosti víme, že některé látky po vložení do vnějšího magnetického pole na toto magnetické pole nijak nereagují. Jiné látky po vložení do vnějšího magnetického pole na toto magnetické pole reagují a stávají se z nich buďto látky dočasně magnetické, anebo trvale magnetické. Toto chování látek v magnetickém poli popisuje relativní permeabilita μ_r . Hodnota této veličiny je určena strukturou elektronového obalu atomů, ze kterých je látka složena. Elektrony v atomu jsou uspořádány tak, že se jejich magnetické účinky vzájemně částečně ruší – látky paramagnetické, či úplně ruší – látky diamagnetické. Magnetické vlastnosti látek nemají původ v počtu elektronů, nýbrž v jejich uspořádání v elektronovém obalu atomů.

Látky rozdělujeme do tří skupin.

1) Diamagnetické látky

relativní permeabilita má hodnotu nepatrně menší než jedna ($\mu_r < 1$), látky po vložení do magnetického pole toto pole nepatrně zeslabují; do této skupiny patří některé kovy: Bi, Au, Ag, Cu, Hg, nekovové materiály kapaliny, plyny a většina organických látek.

2) Paramagnetické látky

relativní permeabilita má hodnotu nepatrně větší než jedna ($\mu_r > 1$), látky po vložení do magnetického pole toto pole nepatrně zesilují; zde patří: většina kovů, Na, K, Pt, Al, Pa, plyny.

3) Feromagnetické látky

jsou to látky paramagnetické, kde vnitřní uspořádání elektronů v atomu je takové, že značně zesilují magnetické pole, relativní permeabilita má hodnotu $\mu_r = (10^2 \div 10^5)$, již slabým

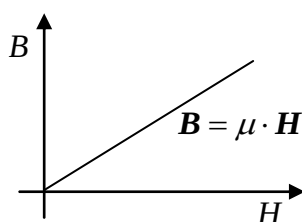
MAGNETICKÉ POLE

vnějším magnetickým polem lze dosáhnout nasyceného stavu – silného magnetu, do této skupiny patří některé kovy: Fe, Co, Ni a jejich slitiny; užití těchto látek je hlavně jako jádra cívek v elektromagnetech, transformátorech či elektrických strojích.

Feromagnetismus je vlastností struktury látky a projevuje se, má-li látka krystalickou strukturu. Pro každou feromagnetickou látku existuje určitá teplota, která je-li dosažena či překročena, způsobuje ztrátu magnetických vlastností látky. Tuto teplotu nazýváme Curieova teplota – pro železo je 770°C.

3.6 Magnetické materiály

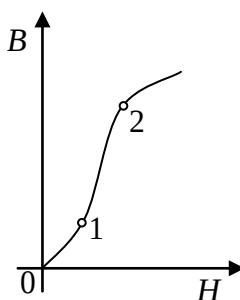
Pro popis magnetických materiálů je důležitá závislost magnetické indukce B na intenzitě magnetického pole H . Tuto závislost vyjadřuje magnetizační křivka. U látek diamagnetických a paramagnetických je tato závislost v podstatě lineární obr. 31.



obr. 31: magnetizační křivka nemagnetických materiálů

Největší využití magnetických materiálů v praxi jsou jádra cívek. Měděný drát navinutý na feromagnetickém jádře tvoří cívku s magnetem a toto seskupení nazýváme elektromagnetem. Pokud cívku neprochází elektrický proud, je jádro nemagnetické. Necháme-li cívku elektrický proud procházet, působí vzniknuvší magnetické pole cívky na jádro, které se magnetuje a stává se magnetem. Dochází ke značnému zvětšení vytvořeného magnetického pole. Zvětšuje se magnetická indukce jádra, která dosáhne při jisté hodnotě elektrického proudu maximální hodnoty. Jádro je magneticky nasyceno.

U feromagnetických látek je tato závislost nelineární a její průběh je na obr. 32.

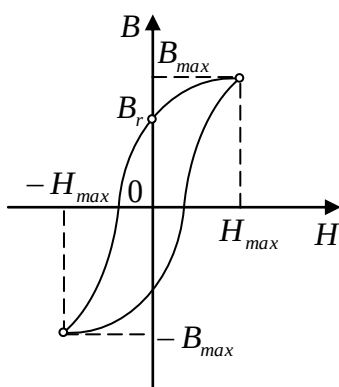


obr. 32: magnetizační křivka feromagnetických látek, které nebyly magnetovány

MAGNETICKÉ POLE

Průběh na obr. 32 platí jen v ideálním případě. Skutečné magnetické materiály zůstávají při zmenšování elektrického proudu částečně zmagnetovány, což můžeme popsat tzv. remanentní magnetickou indukcí B_r . Pro různé materiály je tato hodnota remanentní magnetické indukce různá. Zrušení magnetických vlastností jádra dosáhneme proudem opačného směru I' .

Průběh stavu feromagnetického materiálu na předešlých stavech magnetizace nazýváme magnetickou hysterezí. Křivku popisující průběh magnetování a odmagnetování feromagnetického materiálu nazýváme hysterezní smyčkou obr. 33.

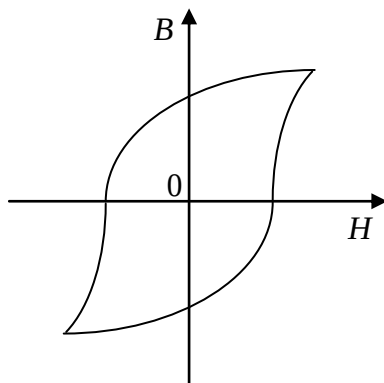


obr. 33: hysterezní smyčka feromagnetického materiálu

Pokud se materiál při změně proudu hodně magnetuje, je plocha ohraničená hysterezní křivkou větší, v opačném případě menší. Podle hysterezní smyčky rozdělujeme feromagnetické materiály do dvou skupin.

1) Látky magneticky tvrdé

při přerušení elektrického proudu v cívce látka zůstává nadále magneticky aktivní a chová se jako permanentní magnet; příkladem je ocel s velkým obsahem uhlíku; hysterezní křivka je na obr. 34.

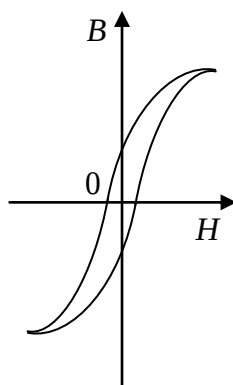


obr. 34: hysterezní smyčka magneticky tvrdého materiálu

2) Látky magneticky měkké

při přerušení elektrického proudu v cívce látka nezůstává nadále magneticky aktivní; využití je především při výrobě jader cívek (transformátory); hysterezní křivka je na obr. 35.

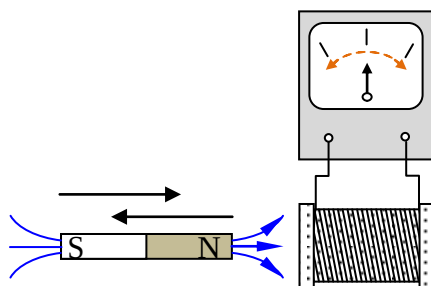
MAGNETICKÉ POLE



obr. 35: hysterezní smyčka magneticky měkkého materiálu

3.7 Elektromagnetická indukce

Z předchozího učiva víme, že u vodiče s proudem se nachází magnetické pole. Elektrony svým pohybem budí magnetické pole. Můžeme budit elektrické pole pomocí magnetu? Tento problém úspěšně vyřešil v roce 1831 M. Faraday po desíti letech zkoumání. Elektrické pole samozřejmě lze budit magnetickým polem, a to velmi jednoduše. K cívce, která je připojena k voltmetru, budeme přibližovat magnet a oddalovat ho od ní. Na toto vnější magnetické pole reagují částice s nábojem (elektrony) ve vodiči tak, že se začnou pohybovat. Na voltmetru zaznameneáme výchylku ručičky nejprve na jednu, poté na druhou stranu stupnice obr. 36.



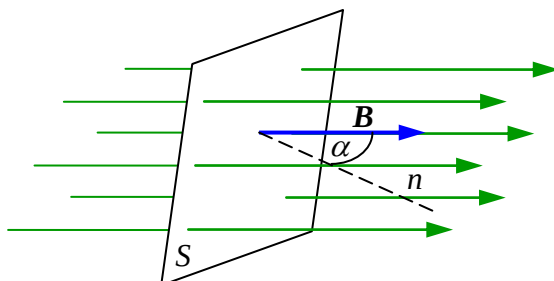
obr. 36: k elektromagnetické indukci

Nestacionární magnetické pole je příčinou vzniku nestacionárního elektrického pole, které vznikne ve vodiči. Toto nestacionární elektrické pole se projevuje na koncích cívky časově proměnným napětím. Takto můžeme budit proměnný elektrický proud a napětí.

Nestacionární magnetické pole je příčinou vzniku indukovaného elektrického pole. Tento jev nazýváme elektromagnetickou indukci. Na koncích cívky vzniká indukované elektromotorické napětí U_i a uzavřeným obvodem prochází indukovaný proud I_i .

MAGNETICKÉ POLE

Chceme-li jev elektromagnetické indukce popsat, zavádíme veličinu magnetický indukční tok Φ . Tato veličina popisuje, jaké množství vektoru magnetické indukce $\mathbf{B}$ danou plochou protéká obr. 37.



obr. 37: k magnetickému indukčnímu toku

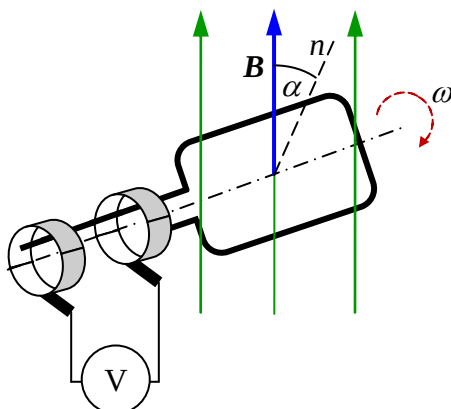
Vložíme-li plochu o obsahu S do magnetického pole o indukci $\mathbf{B}$, pak velikost magnetického indukčního toku závisí na velikosti plochy, magnetické indukci a natočení této plochy vzhledem k vektoru magnetické indukce, což označuje úhel α . Pro velikost magnetického indukčního toku platí

$$\Phi = BS \cos \alpha .$$

Magnetický indukční tok je skalární veličina a její jednotkou je $[\Phi] = \text{Wb}$ (weber).

Jelikož u nestacionárního magnetického pole se magnetické pole s časem mění, mění se v čase také magnetický indukční tok. Změna magnetického indukčního toku může být podmíněna změnou magnetické indukce, ale také natočením plochy – změnou jejího obsahu. Mění-li se jedna z těchto veličin, dochází k časové změně magnetického indukčního toku.

Nejdůležitějším případem je, je-li v homogenním magnetickém poli umístěn závit, který se otáčí s konstantní úhlovou rychlostí ω obr. 38.



obr. 38: otáčení rovinného závitu v magnetickém poli

Znamená to, že se rovnoměrně mění hodnota úhlu α s časem $\alpha = \omega t$. Pro magnetický indukční tok platí

$$\Phi = BS \cos(\omega t) . \quad (3.9)$$

MAGNETICKÉ POLE

Maximální hodnota magnetického indukčního toku je pro úhel $\alpha = 0^\circ$ (plocha je kolmá k magnetickým indukčním čarám). Minimální (nulová) hodnota magnetického indukčního toku je pro úhel $\alpha = 90^\circ$ (plocha je rovnoběžná s magnetickými indukčními čarami).

Časová změna magnetického indukčního toku plochou ohraničenou vodičem indukuje ve vodiči elektromotorické napětí, jehož střední hodnota je

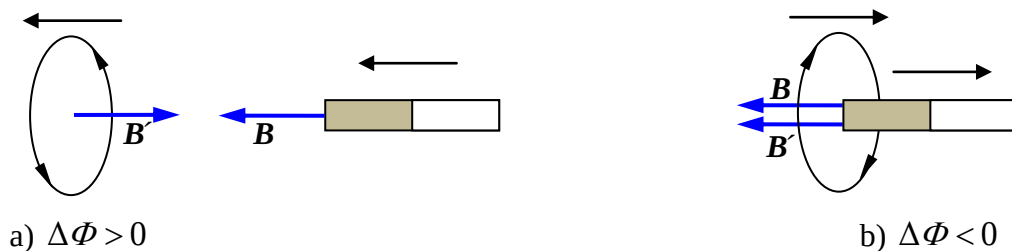
$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} . \quad (3.10)$$

Nejenže ve vodiči takto indukujeme elektrické napětí tím, že dochází k pohybu nabitých částic ve vodiči, ale díky pohybu těchto nabitých částic ve vodiči vzniká elektrický proud – indukovaný elektrický proud. Kolem vodiče vzniká nestacionární magnetické pole, které reaguje na vnější magnetické pole tím, že působí proti tomuto vnějšímu poli. Indukovaný proud působí proti změně magnetického indukčního toku. Vysvětlení tohoto jevu uvedl E. CH. Lenz v roce 1834. Po Lenzovi je také tento zákon pojmenován – Lenzův zákon.

Indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, která je jeho příčinou.

Pokud se při elektromagnetické indukci zvětšuje magnetický indukční tok ($\Delta \Phi > 0$), indukuje se ve vodiči napětí a indukovaný proud vytváří magnetické pole, které působí proti vnějšímu magnetickému poli, vytváří magnetické pole s opačným směrem indukčních čar.

Pokud se při elektromagnetické indukci zmenšuje magnetický indukční tok ($\Delta \Phi < 0$), indukuje se ve vodiči napětí a indukovaný proud vytváří magnetické pole se souhlasným směrem indukčních čar obr. 39.



obr. 39: k Lenzově zákonu

Indukované proudy vznikají v cívkách, v masivních vodičích a nazýváme je vířivé proudy. Jejich objevitelem je L. J. B. Foucault. V důsledku těchto proudů se vodiče zahřívají, zvláště cívky, a je nutné je chladit.

Řešený příklad

Závít o obsahu 75cm^2 je umístěný v homogenním magnetickém poli, kde indukční čáry magnetického pole svírají s rovinou úhel 40° . Velikost magnetické indukce magnetického pole se za dobu $0,05\text{s}$ rovnoměrně zmenšovala z počáteční hodnoty $0,6\text{T}$ na hodnotu $0,1\text{T}$.

MAGNETICKÉ POLE

Jaká je hodnota indukovaného napětí? Pozn. úhel mezi normálou a magnetickými indukčními čarami je $90^\circ - \beta$ schéma 11.

Řešení

$$S = 75\text{cm}^2 = 75 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\beta = 40^\circ$$

$$\alpha = 50^\circ$$

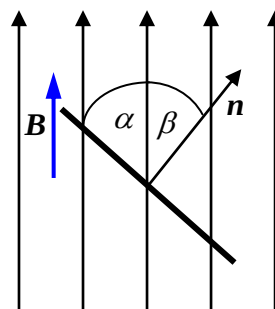
$$\Delta t = 0,05 \text{s}$$

$$B_2 = 0,6\text{T}$$

$$B_1 = 0,1\text{T}$$

$$U_i = ?\text{V}$$

schéma 11



Jelikož dochází ke změně magnetického indukčního toku v čase Δt , je jeho hodnota určena vztahem

$$\Delta \Phi = (B_2 - B_1)S \cos \alpha = \Delta BS \cos \alpha.$$

Následně vyjádření změny magnetického indukčního toku dosadíme do vztahu (3.10)

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta BS \cos \alpha}{\Delta t}, \text{ dosadíme hodnoty}$$

$$|U_i| = \frac{(0,6 - 0,1) \cdot 75 \cdot 10^{-4} \cdot \cos 50^\circ}{0,05} \text{V} \doteq 0,048\text{V} = 48\text{mV}.$$

Hodnota indukovaného napětí závitu je 48mV.

Příklady

1) Závít o obsahu 20cm^2 je umístěný v homogenním magnetickém poli kolmo na směr magnetických indukčních čar. Velikost magnetické indukce magnetického pole se za dobu 0,04s rovnoměrně zmenšovala z počáteční hodnoty 0,22T na hodnotu 0,1T. Jaká je hodnota indukovaného napětí?

$$[U \doteq 6\text{mV}]$$

2) Kolik musí mít závitů cívka navinutá na ocelovém jádře o obsahu příčného řezu 40cm^2 , aby se v ní indukovalo napětí 80V, jestliže se během 8ms rovnoměrně zvětšila magnetická indukce z 0,5T na 0,61T?

$$[N = 1000]$$

3) V rovině kolmé k indukčním čarám homogenního magnetického pole o indukci 100mT je umístěn drát o odporu 6Ω . Za 4s se obsah plochy závitu rovnoměrně zmenšil z 25cm^2 na 13cm^2 . Jakou velikost měl proud procházející závitem?

$$[I \doteq 5\mu\text{A}]$$

MAGNETICKÉ POLE

4) Jak velký náboj projde závitem o obsahu 25dm^2 umístěným v homogenním magnetickém poli kolmo na směr magnetických indukčních čar, jestliže odpor závitu je $0,5\Omega$ a velikost magnetické indukce se rovnoměrně zmenšovala z hodnoty $0,9\text{T}$ na hodnotu $0,3\text{T}$?

$$[Q \doteq 0,3\text{C}]$$

5) Na schématu 12 je graf znázorňující závislost magnetického indukčního toku uzavřeným vodičem na čase. Jaká hodnota napětí se indukuje ve vodiči v časových intervalech I, II, III?

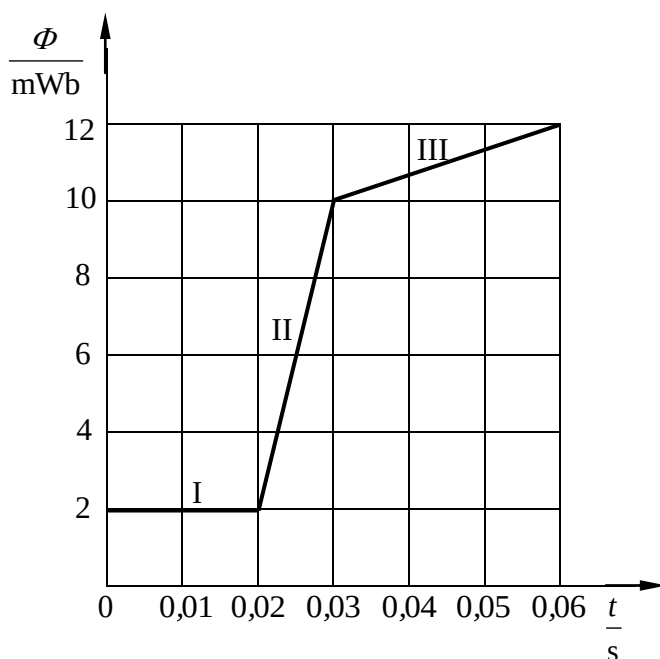


schéma 12

$$[U_{i1} = 0\text{V} ; U_{i2} = 800\text{mV} ; U_{i3} = 67\text{mV}]$$

STŘÍDAVÝ PROUD

4 Střídavý proud

Mnoho přístrojů, se kterými se setkáváme, potřebuje ke svému provozu zdroj elektrického napětí. Mobilní telefony, fotoaparáty, kamery, AKU vrtačky jsou vybaveny ke svému provozu zdrojem, který těmto přístrojům dodává stejnosměrný proud.

V domácnosti používáme elektrické přístroje, k jejichž provozu potřebujeme zdroj elektrického napětí. Zdrojem napětí v domácnosti je zásuvka elektrické sítě, ze které při připojení přístroje získáváme střídavý elektrický proud.

Velmi důležitým je střídavý proud pro průmysl, který spotřebovává velkou část vyprodukované elektrické energie. Pomocí střídavého proudu přenášíme elektrickou energii na velké vzdálenosti. Dále se střídavý proud uplatňuje při přenosu informací a v dalších lidských činnostech.

4.1 Obvody střídavého proudu

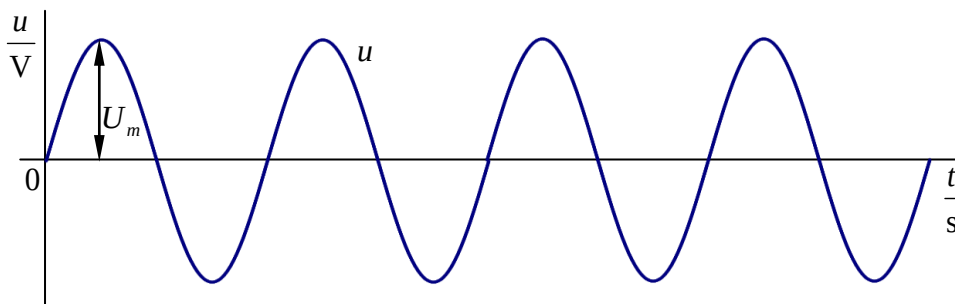
Střídavý proud v elektrickém obvodu vzniká tehdy, připojíme-li obvod ke zdroji střídavého napětí. Pro běžného uživatele je zdrojem střídavého napětí zásuvka elektrické sítě, kde bychom naměřili hodnotu 230V a frekvenci $f = (50 \div 60)\text{Hz}$. Pro okamžitou hodnotu u střídavého napětí platí

$$u = U_m \sin(\omega t), \quad (4.1)$$

kde U_m je amplituda střídavého napětí a ω je úhlová frekvence.

Jelikož se okamžitá hodnota napětí mění s časem, můžeme tuto skutečnost graficky znázornit. Ze vztahu (4.1) je vidět, že tuto změnu okamžité hodnoty napětí popisuje funkce sinus.

Časový průběh střídavého napětí je na obr. 39.



obr. 39: závislost okamžité hodnoty napětí na čase

STŘÍDAVÝ PROUD

Ve vztahu (4.1) vystupuje úhlová frekvence ω pro niž platí

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \quad (4.2)$$

kde T je perioda střídavého napětí a f je frekvence.

Střídavé elektrické napětí se vyrábí v elektrárnách pomocí generátoru střídavého napětí.

Řešený příklad

Jaká je frekvence střídavého elektrického napětí o amplitudě 60V, jestliže vzroste z nulové hodnoty na hodnotu $30\sqrt{3}$ V za $\frac{1}{360}$ s? Napište rovnici okamžité hodnoty napětí. Předpokládáme, že v čase $t = 0$ s je okamžitá hodnota napětí nulová.

Řešení

$$U_m = 60\text{V}$$

$$u = 30\sqrt{3}\text{ V}$$

$$t = \frac{1}{360}\text{ s}$$

$$f = ?\text{Hz}$$

rovnice okamžitého napětí?

Abychom určili frekvenci střídavého napětí, vyjdeme ze vztahu (4.1)

$$u = U_m \sin(\omega t), \text{ který dále upravíme dosazením vztahu (4.2),}$$

$$u = U_m \sin(\omega t) = U_m \sin(2\pi f \cdot t), \text{ následně dosadíme číselně a vyjádříme frekvenci}$$

$$30\sqrt{3} = 60 \sin(2\pi \{f\} \cdot \frac{1}{360}), \text{ odkud}$$

$$\sin \frac{2\pi \{f\}}{360} = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \sin \frac{\pi}{3} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\sin \frac{2\pi \{f\}}{360} = \sin \frac{\pi}{3}$$

$$\frac{2\pi \{f\}}{360} = \frac{\pi}{3}$$

$$\{f\} = 60$$

$$f = 60\text{Hz}.$$

Hodnota frekvence střídavého napětí je 60Hz.

Pro okamžitou hodnotu střídavého napětí platí $u = U_m \sin(\omega t) = U_m \sin(2\pi f \cdot t)$.

Dosadíme-li za příslušné fyzikální veličiny, dostaneme rovnici, která popisuje okamžité napětí

$$u = 60 \sin(2\pi \cdot 60 \cdot t)\text{V}$$

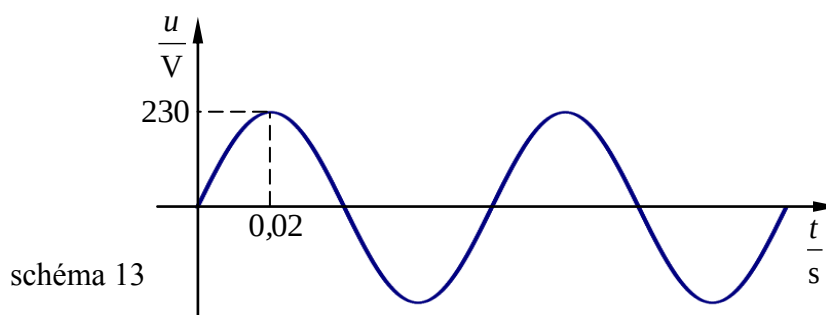
STŘÍDAVÝ PROUD

$$u = 60 \sin(120\pi \cdot t) \text{ V}.$$

Rovnice popisující okamžitou hodnotu střídavého napětí je $u = 60 \sin(120\pi \cdot t) \text{ V}$.

Příklady

- 1) Z časového diagramu na schématu 13 určete
 - a) amplitudu, periodu, úhlovou frekvenci a frekvenci napětí,
 - b) rovnici pro okamžitou hodnotu napětí.



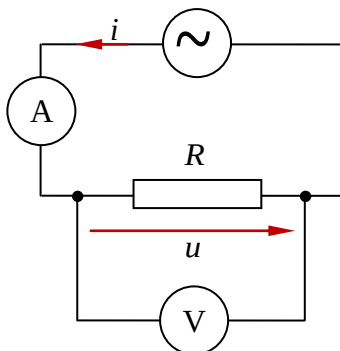
$$[U_m = 230 \text{ V}; T = 0,08 \text{ s}; f = 12,5 \text{ Hz}; \omega = 25\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}; u = 230 \sin(25\pi) \text{ V}]$$

- 2) Střídavé napětí má frekvenci 60 Hz a amplitudu 150 V. Jaké jsou okamžité hodnoty střídavého napětí v časech 1,1 ms, 2 ms, 3,2 ms, 10 ms? Předpokládáme, že v čase $t = 0 \text{ s}$ je okamžitá hodnota napětí nulová.

$$[u_1 = 60,5 \text{ V}; u_2 = 102,7 \text{ V}; u_3 = 140,2 \text{ V}; u_4 = -88,2 \text{ V}]$$

4.2 Obvod střídavého proudu s rezistorem

Nejjednodušším obvodem střídavého proudu je obvod, v němž je zapojen rezistor o odporu R obr. 40. Připojíme-li obvod ke zdroji střídavého napětí, prochází jím střídavý elektrický proud.



obr. 40: obvod střídavého proudu s rezistorem

STŘÍDAVÝ PROUD

Pro okamžitou hodnotu střídavého platí $u = U_m \sin(\omega t)$. Okamžitá hodnota střídavého proudu i je určena

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin(\omega t) = I_m \sin(\omega t) , \quad (4.3)$$

kde veličina

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (4.4)$$

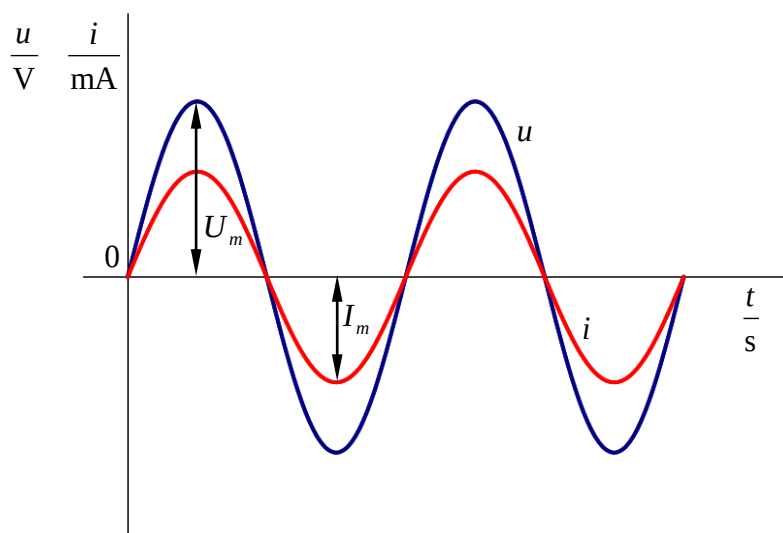
je amplituda střídavého proudu.

Pro obvod střídavého proudu s rezistorem platí Ohmův zákon stejně jako pro obvod se stejnosměrným proudem. Rezistor o odporu R má v obvodu střídavého proudu odpor, který nazýváme rezistancí R , pro kterou platí

$$R = \frac{U_m}{I_m} . \quad (4.5)$$

Jelikož rezistance je odporem rezistoru, jednotkou je $[R] = \Omega$.

V obvodech střídavého proudu můžeme sledovat časové průběhy elektrického proudu a napětí pomocí elektrických přístrojů např. na osciloskopu. Okamžité hodnoty proudu a napětí jsou funkcemi času. Vzájemná poloha časových diagramů proudu a napětí nám umožňuje určit tzv. fázový rozdíl φ (fázový posun). Tento fázový rozdíl můžeme odečíst z grafu obr. 41. Jelikož časové průběhy proudu a napětí začínají současně, u tohoto obvodu k fázovému posunu nedochází.



obr. 41: časový průběh proudu a napětí – fázový rozdíl

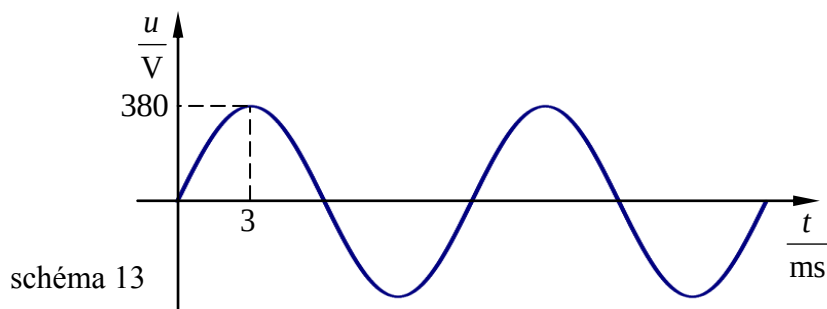
Rezistance střídavého obvodu nemá vliv na fázový rozdíl střídavého napětí a proudu. V jednoduchém obvodu mají tyto veličiny stejnou fázi a jejich fázový rozdíl je nulový $\varphi = 0$.

STŘÍDAVÝ PROUD

Řešený příklad

V obvodu střídavého proudu je zapojen rezistor o odporu 120Ω a zdroj střídavého napětí, jehož charakteristika je na schématu 15. Určete:

- amplitudu, periodu a frekvenci proudu,
- rovnici pro okamžitou hodnotu proudu,
- okamžitou hodnotu proudu v čase $10,5\text{ms}$
- fázový rozdíl proudu a napětí.



Řešení

$$U_m = 380\text{V}$$

$$R = 120\Omega$$

$$u = 30\sqrt{3}\text{ V}$$

$$t = 10,5\text{ ms}$$

$$I_m = ?\text{A}$$

$$T = ?\text{s}$$

$$f = ?\text{Hz}$$

$$i = ?\text{A}$$

$$i(0,0105) = ?\text{A}$$

$$\varphi = ?^\circ$$

a)

Do vztahu (4.4) pro výpočet velikosti amplitudy střídavého proudu dosadíme hodnoty

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

$$I_m = \frac{390}{120}\text{ A} = 3,25\text{A}.$$

Z časového průběhu schématu 13 určíme periodu střídavého napětí, a tímto i proudu $T = 12\text{ms}$.

Pro frekvenci platí

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{12 \cdot 10^{-3}}\text{ Hz} = 83,4\text{Hz}.$$

STŘÍDAVÝ PROUD

b)

Abychom určili rovnici okamžité hodnoty elektrického proudu, vyjdeme ze vztahu (4.3)
 $i = I_m \sin(\omega t) = I_m \sin(2\pi f t)$, kde dosadíme číselné hodnoty známých fyzikálních veličin

$$i = 3,25 \sin\left(2\pi \frac{1}{12 \cdot 10^{-3}} \cdot t\right) \text{ A} = 3,25 \sin(167\pi \cdot t) \text{ A}$$

c)

Do rovnice okamžité hodnoty elektrického proudu dosadíme číselně $t = 9,6 \text{ ms}$

$$i = 3,25 \sin(167\pi \cdot t) \text{ A} = 3,25 \sin(167\pi \cdot 9,6 \cdot 10^{-3}) \text{ A} = 3,25 \sin(1,75\pi) \text{ A} \doteq -2,3 \text{ A}$$

d)

Jelikož se jedná o obvod střídavého proudu, zapojení rezistoru v tomto obvodu nemá vliv na fázový rozdíl střídavého napětí a proudu. Fázový rozdíl těchto veličin je nulový $\varphi = 0$.

Příklady

1) Jaký je odpor rezistoru v obvodu střídavého proudu, jestliže amplituda střídavého napětí má hodnotu 189V a amplituda střídavého proudu má hodnotu 4,5A?

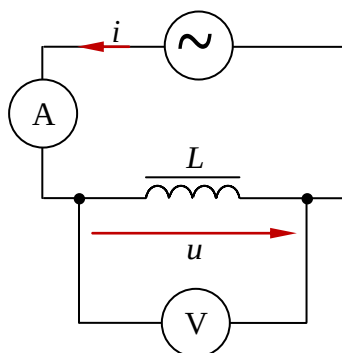
$$[R = 42\Omega]$$

2) Jaká je hodnota amplitudy střídavého proudu, je-li v obvodě zapojen rezistor o odporu 15Ω a velikost amplitudy střídavého napětí je 54V? Jaká je rovnice střídavého proudu, je-li frekvence 50Hz?

$$[I_m = 3,6 \text{ A} ; i = 3,6 \sin(100\pi) \text{ A}]$$

4.3 Obvod střídavého proudu s cívkou

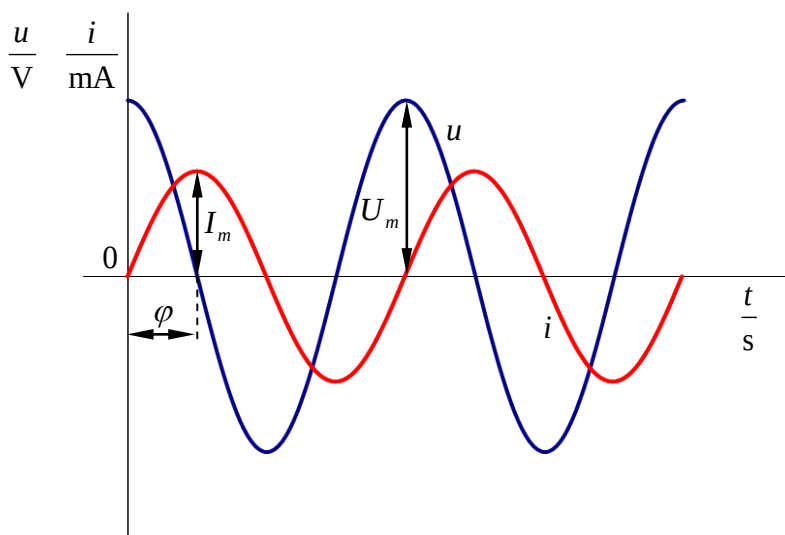
Pokud do jednoduchého obvodu střídavého proudu obr. 42 zapojíme cívku o indukčnosti L , střídavý elektrický proud procházející cívkou vytváří měnící se magnetické pole.



obr. 42: obvod střídavého proudu s cívkou

STŘÍDAVÝ PROUD

Toto nestacionární magnetické pole způsobuje, že se v cívce indukuje napětí, které má opačnou polaritu než je polarita zdroje napětí. Důsledkem je, že proud v obvodu nabývá největší hodnoty později než napětí, neboli napětí předbíhá proud obr. 43.



obr. 43: časový průběh proudu a napětí – fázový rozdíl

Z časového průběhu je vidět, že křivka napětí je posunuta před křivkou proudu o hodnotu $\varphi = \frac{1}{2}\pi$ (90°).

Pro okamžitou hodnotu napětí a proudu platí

$$u = U_m \cos(\omega t) , \quad (4.6)$$

$$i = I_m \sin(\omega t) . \quad (4.7)$$

Odpor cívky v obvodu má zcela jiné účinky než odpor rezistoru. Odpor cívky nazýváme indukance.

Cívka o indukčnosti L má v obvodu střídavého proudu odpor – induktanci X_L , pro kterou platí

$$X_L = 2\pi fL \text{ nebo } X_L = \omega L . \quad (4.7)$$

Jelikož indukance je odporem cívky, jednotkou indukance je $[X_L] = \Omega$.

Řešený příklad

Jakou induktanci má cívka o indukčnosti 80mH zapojená do obvodu střídavého proudu, jestliže zdroj má napětí 180V a frekvenci 40Hz? Jaký proud prochází obvodem?

STŘÍDAVÝ PROUD

Řešení

$$L = 80\text{mH} = 80 \cdot 10^{-3}\text{H}$$

$$U = 180\text{V}$$

$$f = 40\text{Hz}$$

$$X_L = ?\Omega$$

$$I = ?\text{A}$$

Do vztahu (4.7) pro výpočet velikosti indukčnosti cívky

$$X_L = 2\pi fL, \text{ dosadíme číselné hodnoty}$$

$$X_L = 2\pi \cdot 40 \cdot 800 \cdot 10^{-3}\Omega \doteq 201,1\Omega \doteq 201\Omega.$$

Cívka má indukčnost 201Ω .

Pro proud procházející obvodem, v němž je zapojena cívka, platí vztah

$$I = \frac{U}{X_L}, \text{ do něhož číselně dosadíme}$$

$$I = \frac{180}{201}\text{A} \doteq 0,9\text{A}.$$

Obvodem prochází proud o velikosti $0,9\text{A}$.

Příklady

1) Jakou indukčnost má cívka zapojená v obvodu střídavého proudu o frekvenci 60Hz , je-li indukčnost cívky 480mH a cívkou prochází elektrický proud $2,5\text{A}$?

$$[X_L \doteq 181\Omega]$$

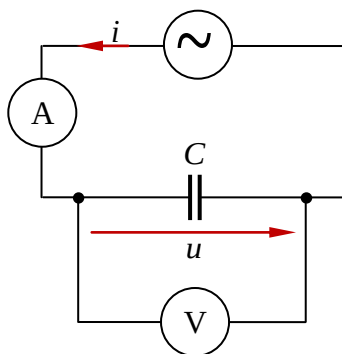
2) Cívka a rezistor jsou zapojeny v obvodu střídavého proudu o frekvenci 60Hz . Jaká je indukčnost a indukčnost cívky, má-li rezistor odpor 300Ω a impedance obvodu je 360Ω ?

$$[X_L \doteq 199\Omega; L \doteq 0,53\text{H}]$$

STŘÍDAVÝ PROUD

4.4 Obvod střídavého proudu s kondenzátorem

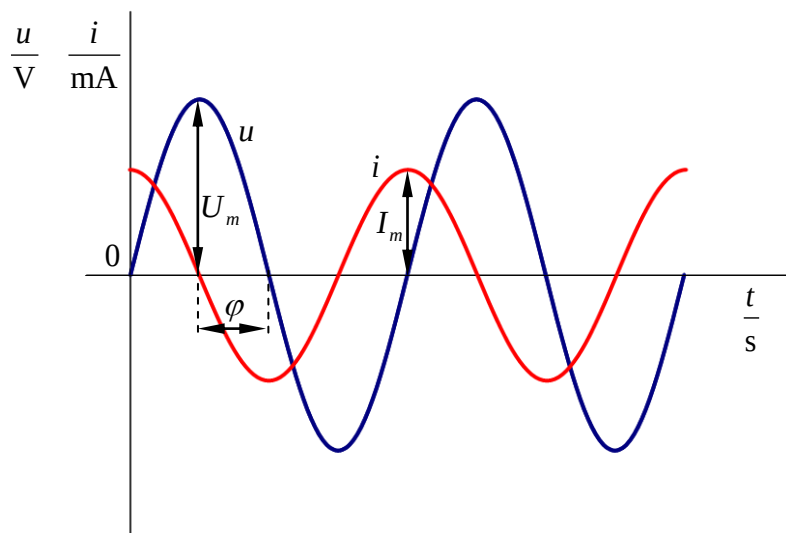
Opačným způsobem než cívka ovlivňuje střídavý proud kondenzátor o kapacitě C , kde schéma zapojení kondenzátoru v obvodě je na obr. 44.



obr. 44: obvod střídavého proudu s kondenzátorem

Kondenzátor se periodicky nabíjí a vybíjí. Proud je největší v okamžiku, kdy je napětí mezi deskami kondenzátoru nulové. Nejdříve tedy kondenzátor propustí elektrický proud. V okamžiku, kdy je kondenzátor nabitý, je proud v obvodu nulový a kondenzátor následně propustí napětí.

Důsledkem je, že proud v obvodu nabývá největší hodnoty dříve než napětí, neboli proud předbíhá napětí obr. 45.



obr. 45: časový průběh proudu a napětí – fázový rozdíl

Z časového průběhu je vidět, že křivka proudu je posunuta před křivkou napětí o hodnotu $\varphi = -\frac{1}{2}\pi$ (-90°).

STŘÍDAVÝ PROUD

Pro okamžitou hodnotu napětí a proudu platí

$$u = U_m \sin(\omega t), \quad (4.8)$$

$$i = I_m \cos(\omega t). \quad (4.9)$$

Kondenzátor o kapacitě C má v obvodu střídavého proudu odpor – kapacitanci X_C , pro kterou platí

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \text{ nebo } X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (4.10)$$

Jelikož kapacitance je odporem kondenzátoru, jednotkou kapacitance je $[X_C] = \Omega$.

Řešený příklad

V obvodu střídavého proudu, kde zdroj má napětí 250V a frekvenci 60Hz, jsou spojeny do série rezistor o odporu 2600Ω a kondenzátor o kapacitě $12,65 \mu F$. Jaká je kapacitance kondenzátoru a jaký je proud procházející obvodem?

Řešení

$$U = 250V$$

$$f = 60Hz$$

$$R = 2600\Omega$$

$$C = 12,65 \mu F = 12,65 \cdot 10^{-6} F$$

$$X_C = ?\Omega$$

$$I = ?A$$

Do vztahu (4.10) pro výpočet velikosti kapacitance kondenzátoru

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}, \text{ dosadíme číselně}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 60 \cdot 12,65 \cdot 10^{-6}} \Omega \doteq 209,7\Omega \doteq 210\Omega.$$

Kapacitance kondenzátoru je 210Ω .

Pro proud procházející obvodem, v němž je zapojen kondenzátor, platí vztah

$$I = \frac{U}{X_C}, \text{ do něhož číselně dosadíme}$$

$$I = \frac{250}{210} A \doteq 1,19A \doteq 1,2A.$$

Obvodem prochází proud o velikosti 1,2A.

STŘÍDAVÝ PROUD

Příklady

1) Jaká je kapacitance v obvodu střídavého proudu, je-li v obvodu zapojen kondenzátor o kapacitě $65\mu\text{F}$ a perioda střídavého proudu v obvodu je $0,4\text{ms}$?

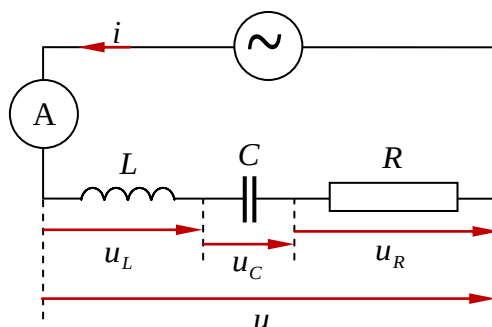
$$[X_C \doteq 12\Omega]$$

2) Jaká je kapacita kondenzátoru zapojeného do obvodu střídavého proudu o frekvenci 60Hz , je-li impedance obvodu 1100Ω , jestliže je kondenzátor zapojen v sérii s rezistorem o odporu 650Ω ? Určete fázový rozdíl mezi proudem a napětím v obvodu.

$$[C = 3\mu\text{F}; \varphi = -53,68^\circ]$$

4.5 Složený obvod střídavého proudu

V předchozích článcích jsme si rozebrali jednoduché obvody střídavého proudu, v nichž byly postupně zapojeny prvky: rezistor, cívka, kondenzátor. V obvodech můžeme tyto prvky kombinovat, a vznikají tak složené obvody střídavého proudu. Jednou z možností je sériové zapojení všech tří prvků v obvodu obr. 46.



obr. 46: složený obvod střídavého proudu

Při sériovém zapojení prochází prvky stejný proud i . Napětí na jednotlivých prvcích je však různé a liší se také vzájemnou fází. Na cívce předbíhá napětí proud, na kondenzátoru se napětí zpožďuje za proudem. Pro výsledné napětí platí

$$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2, \quad (4.11)$$

kde $U_R = RI$, $U_L = \omega LI$, $U_C = \frac{1}{\omega C} I$.

Po dosazení a úpravě dostáváme

$$U = I \cdot \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \quad (4.12)$$

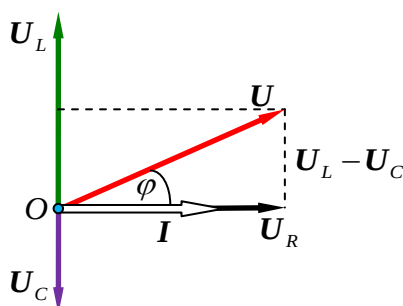
STŘÍDAVÝ PROUD

Odpor obvodu při zapojení všech tří prvků nazýváme impedance Z . Pro impedanci z Ohmova zákona platí

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} . \quad (4.13)$$

Impedance je celkový odpor obvodu, jednotkou impedance je $[Z] = \Omega$.

Abychom zjistili fázový posun mezi elektrickým proudem a napětím v obvodu, odvodíme si ho pomocí fázorového diagramu obr. 47.



obr. 47: fázorový diagram k určení fázového posunu

Fázor je orientovaná úsečka, která je umístěná v soustavě souřadnic v bodě $O[0; 0]$ a svírá s osou x úhel rovný počáteční fázi, jejíž velikost je rovna délce amplitudy veličiny.

Z fázorového diagramu můžeme určit fázový rozdíl proudu a napětí v obvodu a platí

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} , \quad (4.14)$$

kde úhel $\varphi \in \left(-\frac{1}{2}\pi; \frac{1}{2}\pi\right)$.

Rozdíl indukce a kapacity nazýváme reaktanci a platí

$$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C} . \quad (4.15)$$

Následně pro impedanci obvodu můžeme psát $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$.

Zvláštním případem v obvodu RLC je, je-li v obvodu při dané frekvenci indukce rovna kapacitanci. Poté pro impedanci obvodu platí $Z = R$. Fázový rozdíl mezi proudem a napětím je nulový. Dochází k rezonanci obvodu střídavého proudu a můžeme určit frekvenci, při níž k rezonanci dochází. Frekvenci určíme z rovnosti indukce a kapacity, platí

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} . \quad (4.16)$$

STŘÍDAVÝ PROUD

Odtud vyjádříme úhlovou rychlost ω_0

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} , \quad (4.17)$$

dosadíme-li $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{T_0}$,

dostaneme vyjádření pro rezonanční frekvenci a periodu, platí

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} , \quad T_0 = 2\pi\sqrt{LC} . \quad (4.18)$$

Z vyjádření úhlové rychlosti je vidět, že frekvence závisí jen na parametrech cívky a kondenzátoru – indukčnosti L a kapacitě C .

Řešený příklad

Jakou hodnotu má impedance obvodu střídavého proudu, kde jsou sériově zapojeny rezistor o odporu 350Ω , cívka o indukčnosti $0,32\text{H}$ a kondenzátor o kapacitě $50\mu\text{F}$, které jsou připojeny ke zdroji o hodnotě 230V a frekvenci 60Hz ? Jakou hodnotu má elektrický proud v obvodu? Jaký je fázový rozdíl mezi proudem a napětím?

Řešení

$$R = 350\Omega$$

$$L = 0,32\text{H}$$

$$C = 50\mu\text{F} = 50 \cdot 10^{-6}\text{F}$$

$$U = 230\text{V}$$

$$f = 60\text{Hz}$$

$$Z = ?\Omega$$

$$I = ?\text{A}$$

$$\varphi = ?^\circ$$

Do vztahu (4.13) pro výpočet velikosti impedance obvodu

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} , \text{ kde } \omega = 2\pi f \text{ dosadíme číselné hodnoty}$$

$$Z = \sqrt{350^2 + \left(2\pi \cdot 60 \cdot 0,32 - \frac{1}{2\pi \cdot 60 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}\right)^2} \Omega \doteq 346,1 \Omega .$$

Impedance obvodu střídavého proudu má hodnotu $346,1 \Omega$.

Ze vztahu (4.13) pro výpočet velikosti impedance obvodu vyjádříme proud

$$Z = \frac{U}{I} \Rightarrow I = \frac{U}{Z} , \text{ číselně dosadíme}$$

STŘÍDAVÝ PROUD

$$I = \frac{230}{346,1} \text{ A} \doteq 0,66 \text{ A} .$$

Elektrický proud v obvodu má hodnotu 0,66A.

Do vztahu (4.14) pro výpočet fázového rozdílu proudu a napětí v obvodu

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{1}{R} \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right), \text{ dosadíme číselné hodnoty}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{350} \left(2\pi \cdot 60 \cdot 0,32 - \frac{1}{2\pi \cdot 60 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} \right) = 0,1931$$

$$\varphi = \arctg(0,1931) \doteq 11^\circ$$

Fázový rozdíl mezi proudem a napětím je přibližně 11° .

Příklady

1) V obvodu střídavého proudu jsou spojeny do série rezistor o odporu 550Ω , cívka o indukčnosti $0,21\text{H}$ a kondenzátor o kapacitě $65\mu\text{F}$. Jaká je výsledná hodnota odporu obvodu při frekvenci $0,9\text{kHz}$? Jaký je fázový rozdíl mezi proudem a napětím?

$$[Z \doteq 1306\Omega ; \varphi \doteq 48^\circ 39']$$

2) Jaká je vlastní frekvence v obvodu střídavého proudu, kde je sériově zapojena cívka o indukčnosti 40mH a kondenzátor o kapacitě $80\mu\text{F}$? Jaká je výsledná hodnota odporu obvodu?

$$[f_0 \doteq 89\text{Hz} ; Z = 0\Omega]$$

4.6 Výkon střídavého proudu v obvodu s odporem

Elektrické spotřebiče, které máme v domácnosti, pracují s napětím střídavým. Jejich důležitým parametrem je elektrický výkon, který nalezneme na štítku na každém spotřebiči, kde jsou uvedeny další důležité parametry.

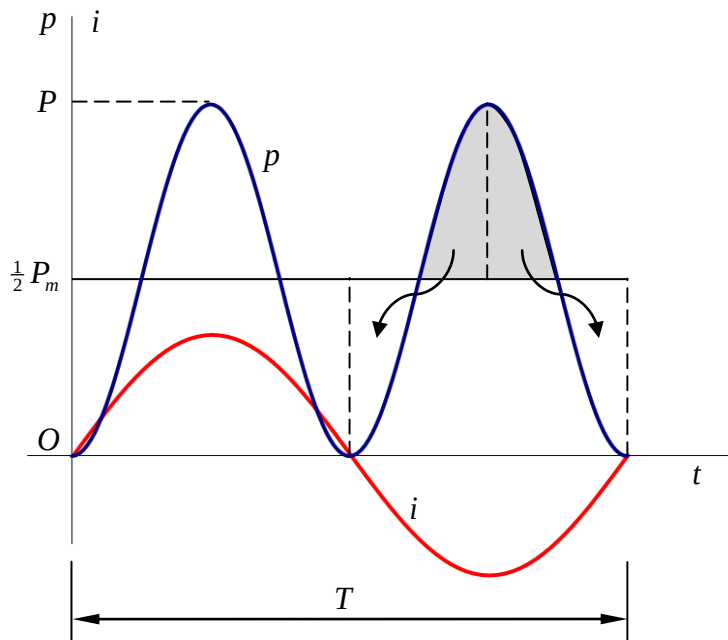
Pokud popisujeme výkon stejnosměrného proudu v obvodu, platí $P = UI = RI^2$. Jelikož v obvodu střídavého proudu se veličiny proud a napětí s časem mění, mění se také výkon a jeho okamžitá hodnota je dána vztahem $p = ui$.

V obvodu střídavého proudu, kde je zapojen jeden rezistor, platí

$$p = ui = Ri^2 = RI_m^2 \sin^2(\omega t) . \quad (4.19)$$

STŘÍDAVÝ PROUD

Časový průběh funkce výkonu je na obr. 48.



obr. 48: časový průběh funkce výkonu v obvodu střídavého proudu

Z časového průběhu je patrné, že okamžitá hodnota výkonu se mění s dvojnásobnou frekvencí a její amplituda má velikost

$$P_m = RI_m^2 . \quad (4.20)$$

Práci, kterou vykoná elektrický spotřebič za čas T , je dána plochou pod křivkou výkonu. Z časového průběhu je také vidět, že pokud přemístíme šedě vybarvené plochy na místa, jak ukazují šipky, je celková vykonaná práce W za čas T rovna obsahu obdélníku o stranách T a $\frac{1}{2} P_m$, neboli

$$W = \frac{1}{2} P_m \cdot T = \frac{1}{2} RI_m^2 \cdot T . \quad (4.21)$$

Pro střední hodnotu výkonu následně platí

$$\bar{P} = \frac{W}{T} = \frac{\frac{1}{2} P_m \cdot T}{T} = \frac{1}{2} P_m = \frac{1}{2} RI_m^2 . \quad (4.22)$$

Z fyzikálního hlediska je výsledek takový, že střídavý elektrický proud má střední výkon jako stejnosměrný proud velikosti I , že platí

$$RI^2 = \frac{1}{2} RI_m^2 , \quad (4.23)$$

neboli

$$I^2 = \frac{1}{2} I_m^2 \Rightarrow I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} I_m . \quad (4.24)$$

STŘÍDAVÝ PROUD

Velmi podobnou úvahou dojdeme k výsledku pro napětí, platí

$$U^2 = \frac{1}{2} U_m^2 \Rightarrow U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} U_m . \quad (4.25)$$

Hodnoty proudu a napětí, ke kterým jsme došli, nazýváme efektivní hodnota střídavého proudu a efektivní hodnota střídavého napětí a mají stejný výkon v obvodu střídavého proudu s odporem jako elektrický proud v obvodu stejnosměrného proudu.

Efektivní hodnoty proudu a napětí ukazují obvykle měřicí přístroje, což znamená, jestliže v obvodu střídavého proudu naměříme napětí $U = 400\text{V}$, pak maximální hodnota napětí je $U_m = 400 \cdot \sqrt{2} \text{ V} \doteq 556\text{V}$.

Pokud jsou v obvodu střídavého proudu zapojeny prvky cívka a kondenzátor, vzniká fázový posun mezi napětím a proudem, z čehož vyplývá, že jistá část energie se nepřeměňuje pro nás v užitečný výkon – dochází ke ztrátám energie. Výkon střídavého proudu označujeme jako činný výkon a platí

$$P = UI \cos \varphi , \quad (4.26)$$

kde úhel φ značí fázový posun mezi napětím a proudem, $\cos \varphi$ označujeme jako účinník a nabývá hodnot $\langle 0 ; 1 \rangle$. Ze vztahu pro činný výkon vyplývá, aby výkon byl největší, je nutné, aby fázový rozdíl napětí a proudu byl co možná nejmenší.

Řešený příklad

Jaký proud prochází jednofázovým elektrickým spotřebičem na střídavý proud, má-li výkon 4,2kW a je připojen k elektrické síti o napětí 230V? Účinník spotřebiče je 0,9 a jeho účinnost 85%. Jaký je fázový posun mezi napětím a proudem?

Řešení:

$$U = 230\text{V}$$

$$P = 4,2\text{kW} = 4,2 \cdot 10^3 \text{W}$$

$$\eta = 85\%$$

$$\cos \varphi = 0,9$$

$$I = ?\text{A}$$

Vydeme ze vztahu (2.26) pro výpočet účinnosti spotřebiče

$$\eta = \frac{P}{P_0} , \text{ kde } P_0 = UI \cos \varphi \text{ je příkon spotřebiče.}$$

Do vztahu (2.26) dosadíme za příkon spotřebiče

$$\eta = \frac{P}{UI \cos \varphi} \text{ a ze vztahu vyjádříme elektrický proud}$$

STŘÍDAVÝ PROUD

$$I = \frac{P}{\eta U \cos \varphi} \text{ a dosadíme číselné hodnoty}$$

$$I = \frac{4200}{0,85 \cdot 230 \cdot 0,9} \text{ A} \doteq 23,87 \text{ A} \doteq 24 \text{ A}$$

Jednofázovým elektrickým spotřebičem na střídavý proud prochází elektrický proud přibližně 24A.

Fázový posun mezi napětím a proudem určíme z účinníku $\cos \varphi = 0,9$
 $\varphi = \arccos 0,9 \Rightarrow \varphi \doteq 25,84^\circ$.

Fázový posun mezi napětím a proudem je $25,84^\circ$.

Příklady

1) Jaký je účinník elektromotoru a fázový posun mezi napětím a proudem, který je připojen ke zdroji střídavého napětí 400V, prochází jím elektrický proud 12A a výkon elektromotoru je 4224W?

$$[\cos \varphi \doteq 0,88; \varphi \doteq 28,36^\circ]$$

2) Jaký je činný výkon elektromotoru, jestliže na jeho štítku jsou uvedeny tyto údaje: 230V, 6A, $\cos \varphi = 0,75$?

$$[P = 1035 \text{ W}]$$

3) Jaký je činný výkon střídavého proudu, je-li amplituda napětí 150V, amplituda proudu 5A a fázový rozdíl mezi proudem a napětím je 30° ?

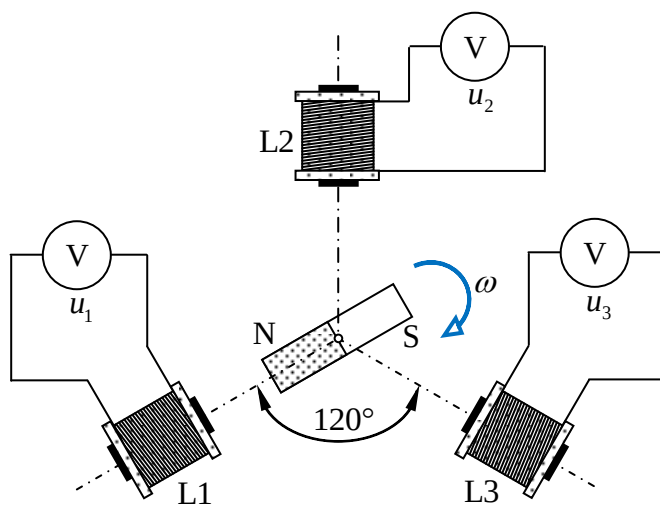
$$[P \doteq 325 \text{ W}]$$

4.7 Generátor střídavého proudu

Výroba střídavého proudu je zajišťována v elektrárnách. Principem výroby elektrického proudu je otáčení závitu, kterým prochází elektrický proud v magnetickém poli cívky, jehož podstatou je jev elektromagnetické indukce objevený M. Faradayem.

V elektrárnách je výrobní jednotkou tzv. alternátor. Technicky je vše řešeno tak, že otáčivý pohyb koná elektromagnet (budič), jenž tvoří pohyblivou část alternátoru tzv. rotor. Střídavé napětí je indukováno v cívkách tzv. statoru. V elektrárnách tvoří stator tři cívky a takto získáváme tři výstupy elektrického proudu a napětí. Tento alternátor nazýváme trojfázovým alternátorem. Jeho schéma je na obr. 49.

STŘÍDAVÝ PROUD

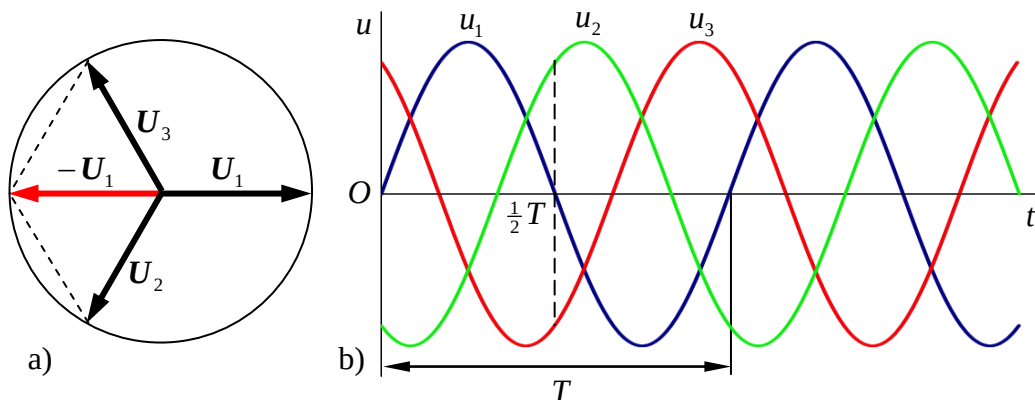


obr. 49: schéma trojfázového alternátoru

Stator alternátoru tvoří tři cívky, jejichž osy svírají úhel 120° . Uprostřed se otáčí magnet (elektromagnet) – budič a v cívkách je indukováno střídavé napětí. Tato napětí mají stejnou amplitudu U_m a průběhy napětí jsou navzájem posunuty o $\frac{1}{3}$ periody. Pro indukovaná napětí platí:

$$u_1 = U_m \sin(\omega t) ; u_2 = U_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) ; u_3 = U_m \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) . \quad (4.27)$$

Časový a fázorový průběh napětí je na obr. 50.



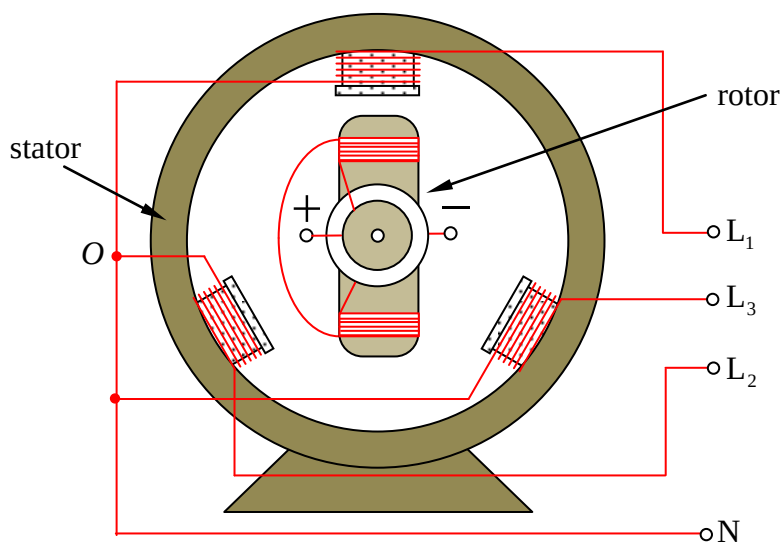
obr. 50: trojfázové napětí: a) fázorový diagram; b) časový průběh napětí

Jelikož alternátory produkují velký výkon, je celková konstrukce velmi mohutná. Rotory alternátorů jsou konstruovány na frekvenci $(3000 \div 3600)$ otáček za minutu. Výsledná frekvence střídavého napětí je $(50 \div 60)$ Hz. Obvykle je alternátor spojen s hřídelí hnací turbíny a celé soustrojí nazýváme turboalternátorem.

STŘÍDAVÝ PROUD

4.8 Trojfázová soustava

Výstupem z každé cívky alternátoru jsou dva vodiče, což znamená, že napětí z alternátoru bychom mohli rozvádět vodiči šesti. Technické řešení nám poskytuje úsporu v tom, že každou cívku můžeme připojit k jednomu stejnému nulovému vodiči, čímž jsou celkovým výstupem jen vodiče čtyři obr. 51.



obr. 51: schéma spojení cívek statoru alternátoru

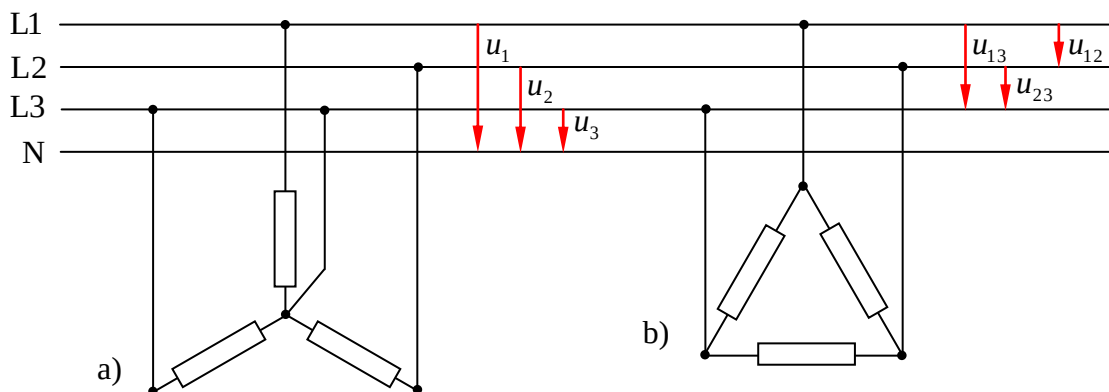
Trojfázová soustava střídavých napětí pracuje na poznatku, že součet všech okamžitých hodnot střídavých napětí je roven nule, platí $u_1 + u_2 + u_3 = 0$.

Můžeme spojit jeden výstup cívek statoru do společného uzlu O , což je připojeno k nulovému vodiči N . Druhý výstup cívek jsou fázové vodiče ($L_1; L_2; L_3$). Mezi fázovým vodičem a nulovým vodičem jsou fázová napětí $u_1; u_2; u_3$. Mezi libovolnými fázovými vodiči je napětí $u_{12}; u_{13}; u_{23}$, což označujeme jako napětí sdružené.

V domácnosti připojujeme spotřebiče k síti, v níž je fázové napětí 230V. V zásuvce je jedna zdířka připojena k fázovému napětí a druhá k nulovému vodiči. Spotřebiče, které mají větší výkon, připojujeme k sdruženému napětí $230 \cdot \sqrt{3}V = 400V$. Tyto spotřebiče připojujeme ke všem fázovým vodičům.

STŘÍDAVÝ PROUD

Zapojení spotřebičů v obvodu je buď do hvězdy – fázové napětí 230V, nebo do trojúhelníku sružené napětí 400V obr. 52.

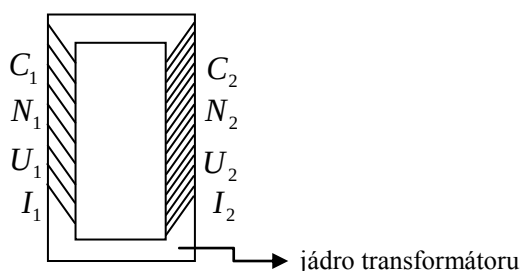


obr. 52: zapojení do a) hvězdy; b) trojúhelníku

4.9 Transformátor

V alternátoru se vyrábí třífázové střídavé napětí a následně musíme střídavé napětí přivést ke spotřebiteli. Tento přenos elektrické energie je složitější a je potřeba během přenosu měnit velikost elektrického napětí. Tento proces se uskutečňuje v zařízení zvaném transformátor. Aniž bychom si uvědomovali, každý z nás nějaký transformátor vlastní např. nabíječka mobilního telefonu, zdroj napětí počítače.

Jeho princip je založen na elektromagnetické indukci. Vysvětleme si jeho funkci na zjednodušeném schématu jednofázového transformátoru obr. 53.



obr. 53: zjednodušené schéma transformátoru

Transformátor tvoří dvě cívky: primární cívka C_1 o počtu závitů N_1 a sekundární cívka C_2 o počtu závitů N_2 , které jsou umístěny na společném jádře. Pokud primární cívka C_1 je připojena ke zdroji střídavého napětí U_1 , prochází jí elektrický proud I_1 , v jádře

STŘÍDAVÝ PROUD

transformátoru se vytváří proměnné magnetické pole a v každém závitu primární i sekundární cívky se indukují napětí $u_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Celkové napětí na primární cívce s N_1 závity je

$$u_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (4.28)$$

a na sekundární cívce s N_2 závity je

$$u_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (4.29)$$

Pro poměr efektivních hodnot napětí dostáváme rovnici transformátoru

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k, \quad (4.30)$$

kde k se nazývá transformační poměr. Jeho hodnota závisí na počtech závitů na primární a sekundární cívce, je-li

- a) $N_2 > N_1$, je $k > 1$ a sekundární napětí má vyšší hodnotu než napětí primární
- b) $N_2 < N_1$, je $k < 1$ a sekundární napětí má nižší hodnotu než napětí primární.

Při provozu transformátorů vznikají ztráty energie zahříváním vodičů, vířivými proudy a magnetováním jádra. Účinnost malých transformátorů je kolem (90 – 95)%, u velkých transformátorů až 98%.

Při předpokladu zákona zachování energie musí platit, že výkon P_1 transformátoru primární cívky musí být stejný jako výkon P_2 transformátoru sekundární cívky. Pro činné výkony platí $P_1 = P_2$, neboli

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}. \quad (4.31)$$

Proudy se transformují v opačném poměru k počtu závitů. Ze vztahu je vidět, že transformaci dolů můžeme získávat značné proudy, což se využívá při výrobě karoserií automobilů ke spojování plechových dílů.

K transformaci trojfázového napětí používáme trojfázové transformátory, kde jádro transformátoru má tři větve a každá fáze má svoje primární a sekundární vinutí.

Transformátory se při své činnosti velmi zahřívají a je nutné je chladit. Transformátory bývají ponořeny do oleje jako chladicí kapaliny, který odvádí teplo a je chlazen přes stěny nádoby vzduchem obr. 54.

STŘÍDAVÝ PROUD



obr. 54: lokální transformační stanice

Řešený příklad

Transformátor, jehož primární cívka má 450 závitů a sekundární 1800 závitů, je připojen k napětí 230V. Jaký je transformační poměr? Jaké je napětí na sekundární cívce? Jaký proud prochází sekundární cívkou? Jaký je příkon primární cívky, prochází-li jí proud 2A a účinnost přeměny je 92%?

Řešení:

$$N_1 = 450$$

$$N_2 = 1800$$

$$U_1 = 230\text{V}$$

$$I_1 = 2\text{A}$$

$$\eta = 0,92$$

$$k = ?$$

$$U_2 = ?\text{V}$$

$$I_2 = ?\text{A}$$

$$P_0 = ?\text{W}$$

STŘÍDAVÝ PROUD

Vyjdeme ze vztahu (4.30) pro výpočet transformačního poměru z rovnice transformátoru

$$k = \frac{N_2}{N_1}, \text{ do které číselně dosadíme}$$

$$k = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1800}{450} = 5.$$

Transformační poměr transformátoru je 5 a dochází ke zvýšení výstupního napětí.

Vyjdeme ze vztahu (4.30) z rovnice transformátoru

$$k = \frac{U_2}{U_1} \Rightarrow U_2 = k \cdot U_1, \text{ do které číselně dosadíme}$$

$$U_2 = 5 \cdot 230 = 1150 \text{ V}.$$

Napětí na sekundární cívce je 1150V.

Pro stanovení hodnoty proudu na sekundární cívce vyjdeme ze vztahu (4.31)

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{U_1 I_1}{U_2}, \text{ do které číselně dosadíme}$$

$$I_2 = \frac{230 \cdot 2}{1150} \text{ A} = 0,4 \text{ A}.$$

Sekundární cívkou prochází elektrický proud o hodnotě 0,4A.

Příkon primární cívky vyjádříme ze vztahu (2.26)

$$\eta = \frac{P}{P_0} \Rightarrow P_0 = \frac{P}{\eta}, \text{ kde } P = U_1 I_1 \text{ je výkon.}$$

Do vztahu (2.26) dosadíme číselné hodnoty

$$P_0 = \frac{230 \cdot 2}{0,92} \text{ W} = 500 \text{ W}.$$

Příkon primární cívky je 500W.

Příklady

1) Transformátor pro nabíječku mobilního telefonu na napětí 12V má na štítku uvedeny údaje 120W; 230/12V. Určete transformační poměr a proud v primární a sekundární cívce transformátoru. Předpokládejme, že transformátor má účinnost 100%.

$$[I_1 \doteq 0,52 \text{ A} ; I_2 = 10 \text{ A}]$$

2) Jaká je účinnost transformátoru, jestliže primární cívkou při napětí 230V prochází elektrický proud 0,9A a sekundární cívkou při napětí 27V prochází elektrický proud 8,5A?

$$[\eta = 90\%]$$

STŘÍDAVÝ PROUD

3) Jaký proud prochází sekundární cívkou transformátoru, jestliže napětí sekundární cívky je 85V, příkon transformátoru 650W a účinnost je 92%?

$$[I_2 \doteq 7\text{A}]$$

4.10 Výroba elektrické energie

Elektrická energie se vyrábí v elektrárně pomocí alternátoru, kde budič je napájen stejnosměrným proudem a jeho otáčivý pohyb indukuje střídavé elektrické napětí v cívkách. Alternátor je spojen s hnací turbínou a tento celek nazýváme turboalternátorem.

Každá elektrárna přeměňuje nějaký druh energie na energii elektrickou. Rozlišujeme tři základní typy elektráren – vodní, tepelná, jaderná.

Vodní elektrárna

Tato elektrárna využívá energii vodního toku k výrobě elektrické energie. Voda dopadá na lopatky turbíny, které se otáčejí rotorem turbíny. K rotoru turbíny je připojena hnací hřídel, k ní je připojen budič alternátoru, který se otáčí, a v cívkách vzniká elektrická energie.

Stejného principu se užívalo u vodního mlýna, kde voda poháněla mlýnské kolo, k němuž byla připojena hřídel, a převody pomocí ozubených kol následně docházelo k semletí obilí na mouku.

Vodní elektrárny: Lipno, Orlik, Slapy, Dalešice, Mohelno.

Tepelná elektrárna

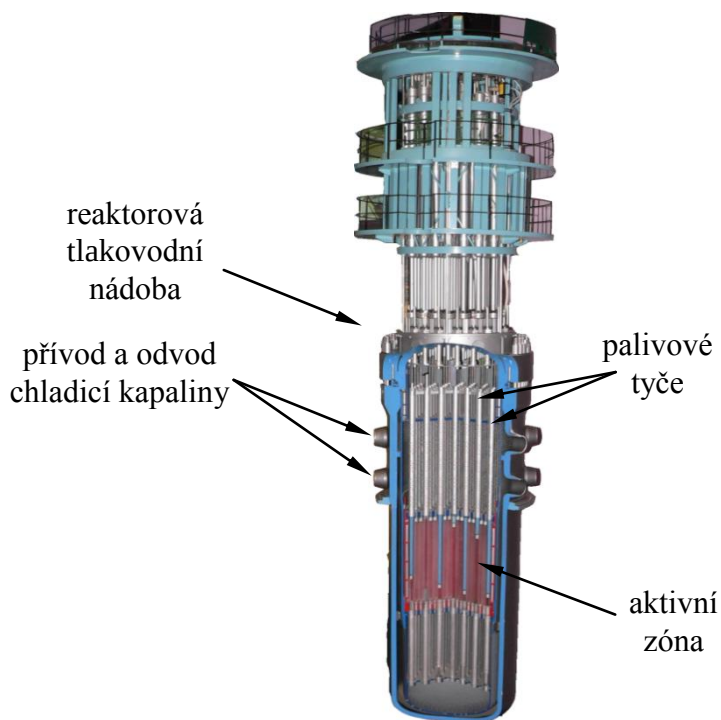
Tato elektrárna využívá energii páry k výrobě elektrické energie. Zde dochází ke spalování uhlí v kotli se spoustou trubek, kterými proudí voda. Voda se v trubkách, které procházejí kotlem, přeměňuje v páru, která pohání rotor turbíny, k níž je připojena hnací hřídel alternátoru a v cívkách vzniká elektrická energie.

Tepelné elektrárny: Dětmarovice, Tušimice, Prunéřov, Chvaletice, Mělník.

Jaderná elektrárna

Tato elektrárna využívá energii páry k výrobě elektrické energie. V primárním jaderném okruhu, v němž se nachází reaktor obr. 55, dochází ke štěpné reakci a uvolňuje se velké množství tepelné energie. Tato uvolněná energie v reaktoru ohřívá vodu, která proudí kolem jaderných tyčí a zároveň slouží jako chladicí kapalina. Ohřátá voda předává tuto energii dále do sekundárního nejaderného okruhu chladnější vodě. Ta se ohřívá, mění se v páru a ta pohání rotor turbíny. Dále pak stejným způsobem jak u tepelné elektrárny dochází ke vzniku elektrické energie.

STŘÍDAVÝ PROUD



obr. 55: schéma jaderného reaktoru

Jaderné elektrárny v České republice: Temelín, Dukovany obr. 56.



obr. 56: pohled na Jadernou elektrárnu Dukovany

STŘÍDAVÝ PROUD

4.11 Přenos elektrické energie

Elektrická energie se vyrábí v elektrárnách. Abychom doma mohli pracovat na počítači, je nutné dovést vyrobenou elektrickou energii ke spotřebiteli. Tohle zajišťuje přenosová soustava, v níž je vyrobené střídavé napětí pomocí transformátorů upravováno na různou hodnotu dle potřeby. Pomocí přenosové soustavy uskutečňujeme přenos energie na velké či malé vzdálenosti.

Při dálkovém přenosu je elektrická energie dodávána často mimo hranice ČR. Uskutečňuje se při napětích 110kV, 220kV nebo 440kV, kdy ztráty přenášené elektrické energie jsou nejmenší, jelikož vodičem prochází menší hodnota elektrického proudu. K tomuto přenosu slouží stožáry vysokého napětí.

Při blízkém přenosu na menší vzdálenosti je elektrická energie přenášena napětím 22kV. V rozvodnách je dále hodnota upravována a soustavu ukončují transformační stanice, jejichž výstupem je námi požadované napětí 230V či 400V.

4.12 Rozvod elektrické energie v automobilu

Základním zdrojem napětí v automobilu je akumulátor (baterie) obr. 57.



obr. 57: zapojení akumulátoru v automobilu

STŘÍDAVÝ PROUD

Akumulátor je nejdůležitější při startování automobilu, kdy dodává elektrický proud k tomu, aby motor začal pracovat. Následně při jízdě je akumulátor dobíjen pomocí rotoru startéru.

V automobilu je mnoho spotřebičů, které pro svoji funkci potřebují elektrický proud. Popíšme si jen některé okruhy:

jednoduchá soustava zážehového motoru (minimum pro motor)

- okruh startéru
- okruh dobíjení (alternátor, dynamo)
- okruh zapalování
- okruh mazání (mazání, tlak)
- okruh chlazení

- okruh světel
parkovací, tlumené, dálkové, směrové, brzdové, zpětné, mlhové (pro jednotlivé strany zvlášť)

- okruh stěračů
- okruh ostřikovačů
- klakson
- rádio
- okruh elektronického stahování oken

Samozřejmě elektrických okruhů v automobilu je daleko více, navíc každý okruh je jištěn svoji pojistkou, jež se nachází v pojistkové skříni u dveří řidiče.

Elektrickým proudem je napájena taktéž palubní deska u řidiče obr. 58, kde se nachází přístroj měření rychlosti, otáčkoměr, ukazatel množství pohonných hmot, ukazatel teploty chladicí kapaliny motoru, další kontrolní světla stavu automobilu (světla, vyhřívání zadního okna, stav akumulátoru atd.)



obr. 58: základní palubní deska automobilu

ELEKTRICKÉ MOTORY

5 Elektrické motory

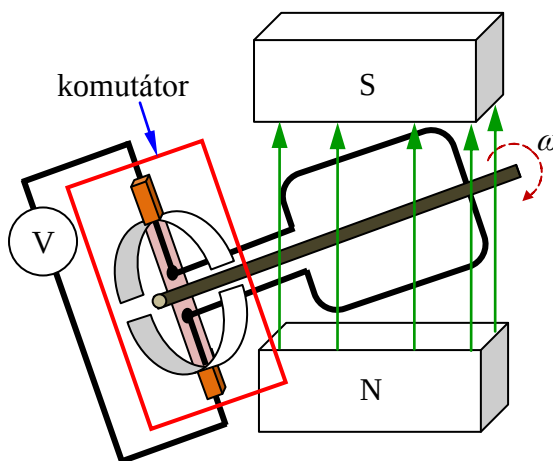
Elektrické motory mají široké využití v mnoha oborech lidské činnosti. Jednak slouží k pohonu nejrůznějších strojů a zařízení, ale také slouží k výrobě elektrického proudu. Principem elektrických motorů je v působení vnějšího magnetického pole na vodič umístěný v tomto poli.

5.1 Elektrické stroje pro výrobu elektrické energie

Stroje na výrobu elektrické energie nazýváme generátory elektrického proudu, které vyrábějí střídavý či stejnosměrný proud.

Generátory vyrábějící stejnosměrný proud nazýváme dynama a generátory vyrábějící střídavý proud nazýváme alternátory.

Principem dynama – generátoru elektrického proudu obr. 59, je výroba stejnosměrného proudu.



obr. 59: princip dynama

V magnetickém poli necháme otáčet rovinný závit, kde konce závitu jsou připojeny ke dvěma izolovaným sběrným polokroužkům, na nichž se indukuje střídavé napětí. Toto napětí díky těmto polokroužkům je stejnosměrné, i když okamžitá hodnota elektrického proudu se s časem mění. Toto zařízení se nazývá komutátor.

ELEKTRICKÉ MOTORY

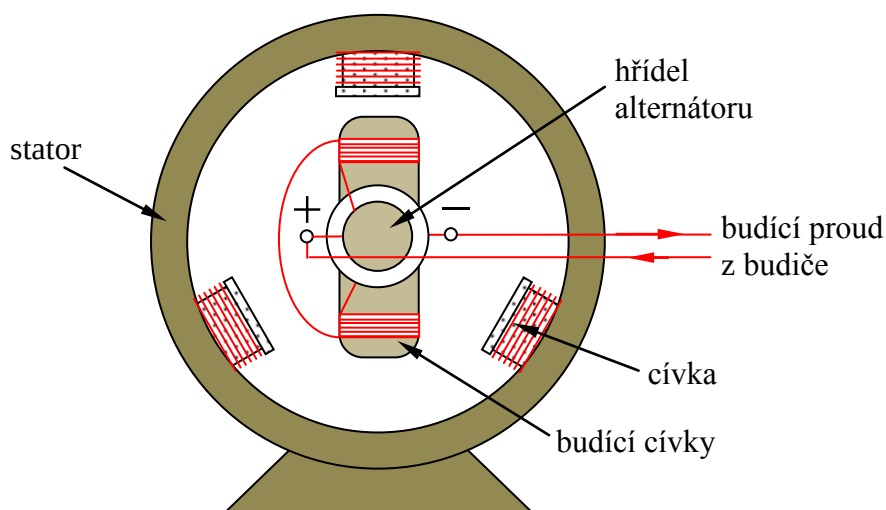
Na obr. 60 vidíme rotor neboli kotvu, který je součástí startéru.



obr. 60: rotor neboli kotva

Při otáčení rotoru ve statoru, v indukčních cívkách, které jsou vzájemně izolované a jsou spojeny s lamelami komutátoru, vzniká elektrický proud a díky komutátoru z něj odebíráme stejnosměrný elektrický proud.

Generátorem střídavého proudu je alternátor, jehož složení je na obr. 61. Alternátor se skládá:
a) z nepohyblivé části – statoru, kde jsou umístěny cívky, v nichž se indukuje střídavé napětí,
b) z pohyblivé části – rotoru, který je zdrojem magnetického pole tvořený nejčastěji silným elektromagnetem.



obr. 61: třífázový alternátor

Rotor alternátoru je umístěn na hřídeli, kterou otáčíme, a celý rotor se pak otáčí ve statoru. Budicí cívky jsou napájeny stejnosměrným proudem, který je dodáván z budiče, jenž je umístěn na ose stejně jako rotor. Proud je přiváděn k cívkám systémem kartáčků a kroužků na hřídeli.

V alternátoru se indukuje třífázové střídavé napětí. Tyto alternátory se používají k výrobě elektrického proudu v elektrárnách.

ELEKTRICKÉ MOTORY

5.2 Elektromotory

Elektromotory nalezneme snad ve všech odvětvích lidské činnosti. Podíváme-li se do domácnosti, používáme mnoho přístrojů, jejichž pohonnou jednotku tvoří elektromotor např. lednička, pračka, vysavač, holicí strojek, fén, mixér atd.

Elektromotory jsou stroje, které přeměňují elektrickou energii na energii mechanickou, tzn. výstupem elektromotoru je nejčastěji rotační pohyb hřídele.

Každý elektromotor se skládá ze dvou částí – z nepohyblivého statoru a pohyblivého rotoru (kotvy).

Elektromotory můžeme rozdělit dle mnoha parametrů, jedno dělení je uvedeno v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4: rozdělení elektromotorů²

dělení	ELEKTROMOTORY			
dle druhu proudu	stejnosměrné		střídavé	
dle zapojení vinutí statoru a rotoru	sériové	derivační	_____	
dle druhu napájecího proudu	_____		jednofázové	třífázové
dle vzájemného působení magnetických polí	_____		synchronní	asynchronní

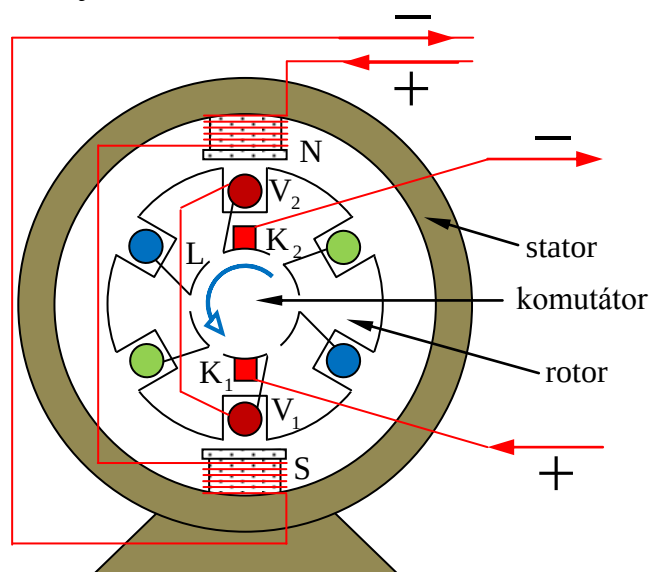
Základní rozdělení elektromotorů je podle druhu proudu: stejnosměrné a střídavé. Každý elektromotor má své výhody (nevýhody) a užití dle námi požadovaného výstupu.

² OPAVA, Zdeněk. *Elektřina kolem nás*. Praha: Albatros, 1985. Druhy elektromotorů, s. 99.

ELEKTRICKÉ MOTORY

5.3 Stejnosměrné elektromotory

Tyto elektromotory pracují opačně než generátory stejnosměrného proudu – dynama. Jakékoliv dynamo může být motorem na stejnosměrný proud a také každý elektromotor může vyrábět stejnosměrný elektrický proud, tudíž může být zapojen jako dynamo. Schéma stejnosměrného elektromotoru je uvedeno na obr. 62.



obr. 62: schéma stejnosměrného elektromotoru

Stator tvoří dva protilehlé elektromagnety, kde na jednom vzniká severní a na druhém jižní magnetický pól. Oba elektromagnety jsou připojeny ke zdroji, kde obvodem prochází stejnosměrný elektrický proud. Rotor motoru je stejný jako u dynama obr. 60. Aby docházelo k otáčení rotoru, je nutné přivádět do indukčních cívek rotoru V_1 a V_2 elektrický proud. Přívod elektrického proudu se uskutečňuje přes kartáčky K_1 a K_2 , které se dotýkají lamely komutátoru a lamely jsou dále propojeny s vinutím. Při pootočení rotoru se kartáčky dotknou sousedních lamel, proud začne protékat dalším vinutím, což se při otáčení rotoru neustále opakuje.

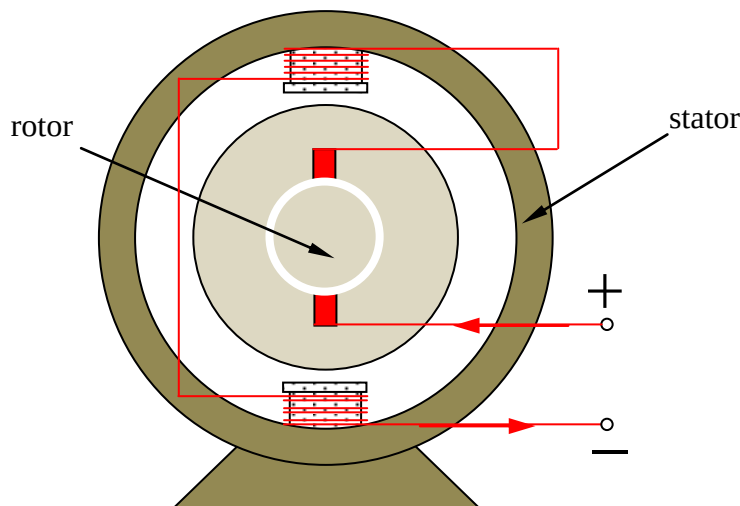
Podle způsobu zapojení vinutí statoru a rotoru rozeznáváme dva druhy stejnosměrných motorů: sériový a derivační.

5.3.1 Sériové stejnosměrné elektromotory

Tyto motory se běžně používají u zařízení, kde vyžadujeme velkou tažnou sílu v počátku zatížení (při rozběhu), navíc tyto stroje pracují s často se měnícím zatížením. Vinutí statoru

ELEKTRICKÉ MOTORY

a rotoru je zapojeno v sérii a oběma částmi prochází stejný proud. Schéma stejnosměrného sériového elektromotoru je na obr. 63.



obr. 63: schéma stejnosměrného sériového elektromotoru

Pokud tento motor zapojíme, v počátcích zatížení v obou částech protéká vinutím značný elektrický proud. Tento proud vytváří silné magnetické pole a motor má velkou tažnou sílu. Poté co se začne otáčet rotor, začne – z hlediska magnetických jevů – motor pracovat jako dynamo a ve vinutí rotoru se indukují elektrické napětí. Toto vzniknuvší elektrické napětí interaguje s napětím zdroje, jehož výsledkem je, že vinutím v obou částech bude protékat podstatně nižší proud. Velikost proudu závisí na rozdílu těchto napětí.

Pokud rozběhnutý motor zatížíme, snížíme otáčky motoru a tímto zvýšíme proud protékající vinutím a následně vzroste tažná síla motoru. Jestliže odlehčíme motoru, snížíme hodnotu proudu a snížíme zatížení.

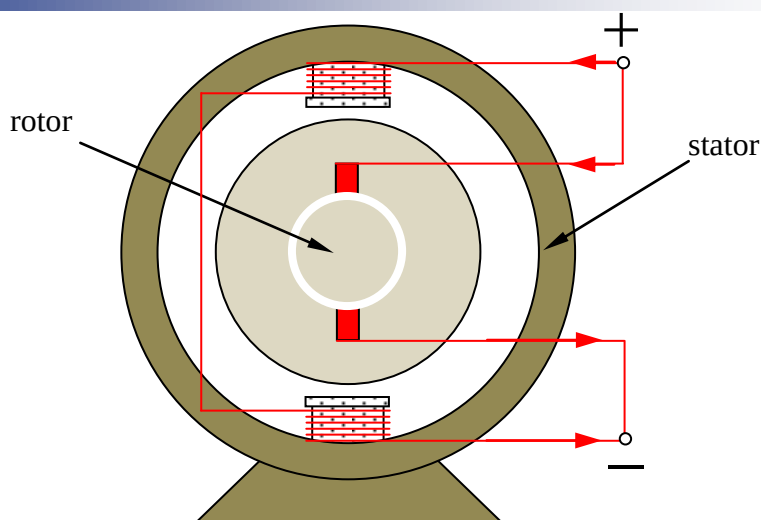
Sériový motor mění své otáčky dle zatížení, kde menší otáčky znamenají větší výkon motoru.

Využití těchto motorů je u tramvají, elektrických lokomotiv, výtahů atd.

5.3.2 Derivační stejnosměrné elektromotory

Tyto motory se běžně používají u zařízení, kde požadujeme stálou rychlost otáček při určité změně zatížení. Vinutí statoru a rotoru je zapojeno paralelně, neboli v derivaci, kde statorem prochází prakticky stejný proud mnohonásobně nižší než proud procházející rotorem. Schéma stejnosměrného derivačního elektromotoru je na obr. 64.

ELEKTRICKÉ MOTORY



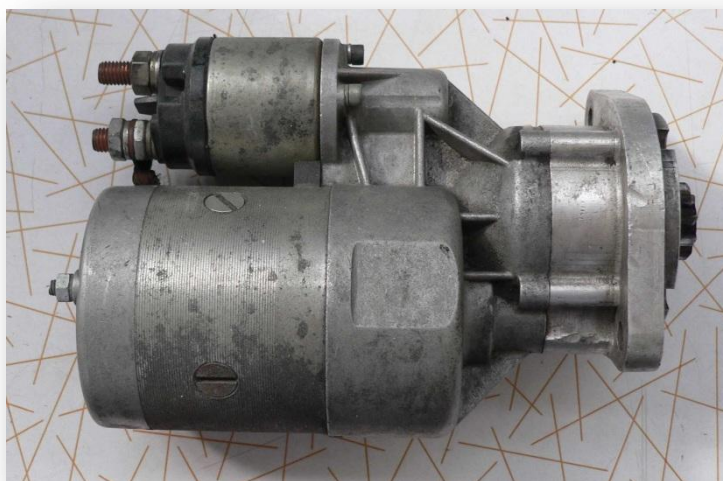
obr. 64: schéma stejnosměrného derivačního elektromotoru

Výstupem derivačního motoru je, že se otáčky rotoru nemění ani v případě, kdy tento motor zatížíme.

Využití těchto motorů je u obráběcích strojů, čerpadel, textilních strojů atd.

5.3.3 Startér automobilu

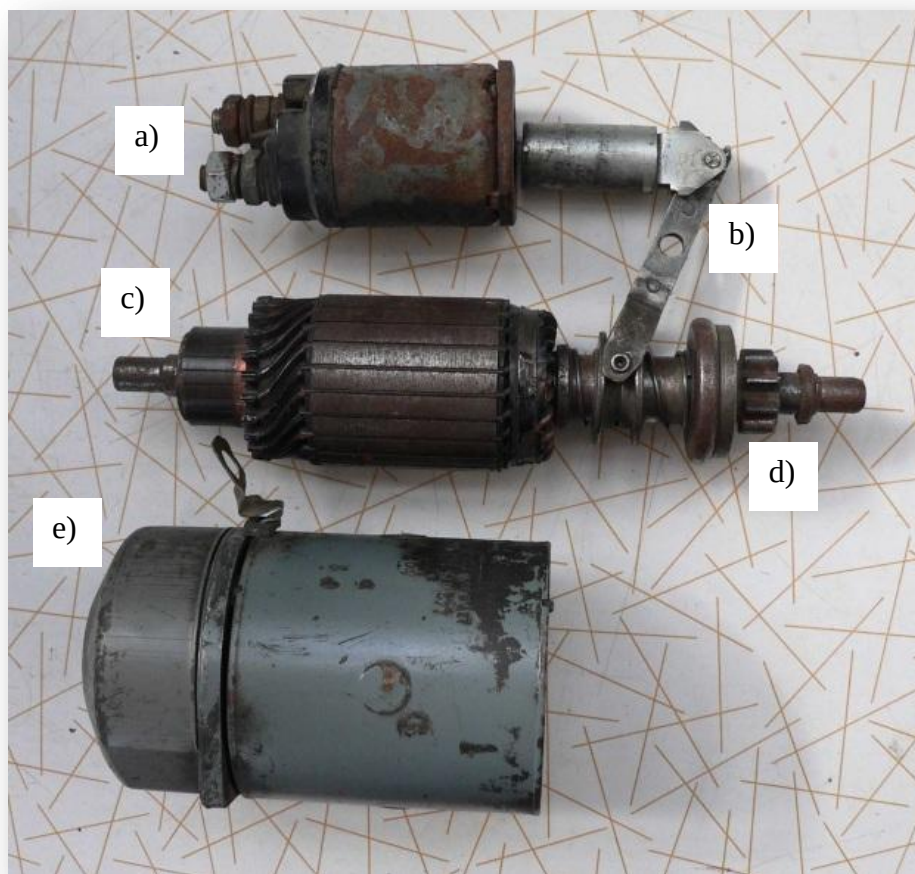
Každý automobil je vybaven přístrojem, pomocí něhož uvedeme do pohybu písty motoru, tzv. nastartujeme. Tento přístroj nazýváme startér automobilu obr. 65.



obr. 65: startér automobilu

ELEKTRICKÉ MOTORY

Podívejme se na konstrukci startéru obr. 66 a vysvětleme si jeho funkci.



obr. 66: jednotlivé části startéru automobilu
a) část se spínací cívkou; b) vysunovací vidlice
c) rotor; d) pastorek; e) stator

Při otočení klíče v zapalování automobilu dojde k vysunutí spínací cívky. Cívka propojí pomocí dvou kontaktů výkonný okruh, který je připojen k akumulátoru vozidla, kde dojde k připojení rotoru startéru ke zdroji napětí, a tímto se začne rotor otáčet. Současně však cívka aktivuje vysunovací vidlici, která vysune tzv. pastorek, a dochází k rozpohybování celé soustavy motoru. Výkonným okruhem prochází proud $(100 \div 700)A$.

Při jízdě automobilu vyrábí elektrickou energii alternátor a ta je rozváděna do celé soustavy automobilu. Navíc nespotřebovaná elektrická energie dobíjí akumulátor automobilu. Elektrická energie akumulátoru vložená do nastartování automobilu je zpět vrácena asi po $(13 \div 20)km$ jízdy automobilu, kde také záleží na tom, jaké elektrické okruhy automobilu jsou zapojeny.

ELEKTRICKÉ MOTORY

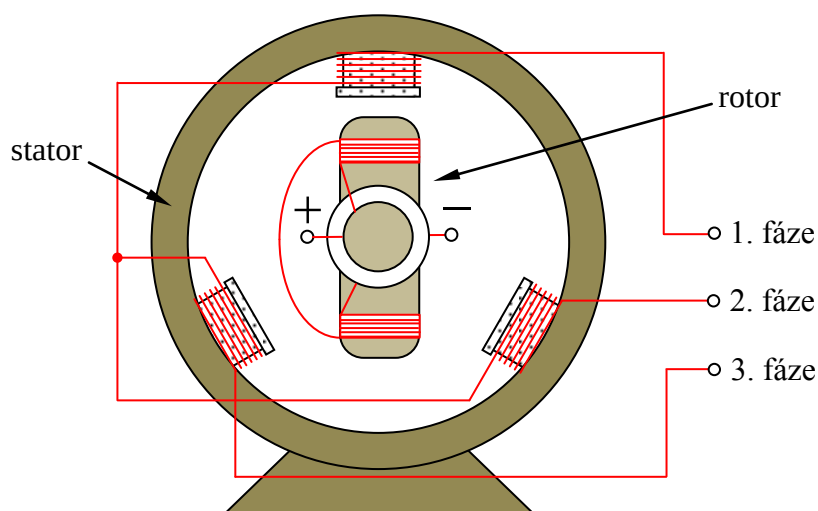
5.4 Střídavé elektromotory

Tyto elektromotory pracují se střídavým napětím. Jsou nejrozšířenější, konstrukčně jednodušší a také cena těchto elektromotorů je nižší. Uvnitř motorů vzniká točivé magnetické pole, které působí na vodič otáčející se v tomto magnetickém poli.

Podle počtu fází rozeznáváme jednofázové a třífázové střídavé motory a třífázové střídavé motory dle vzájemného působení magnetických polí rozdělujeme na motory synchronní a asynchronní.

5.4.1 Trojfázový synchronní motor

Do každé cívky statoru přivádíme střídavý elektrický proud stejné frekvence a amplitudy. Rotor je napájen proudem stejnosměrným obr. 67.



obr. 67: schéma trojfázového synchronního motoru

Rotor reaguje na vzniknuvší točivé magnetické pole statoru a otáčí se se stejnou frekvencí jako toto točivé magnetické pole. Jelikož otáčky statoru a rotoru jsou shodné, nazýváme tento motor synchronním trojfázovým motorem.

Nevýhodou těchto motorů je, že při velkém zatížení rotoru může dojít ke značnému poklesu otáček, a tímto k zastavení motoru.

Výhodou je, že udržují stále stejné otáčky.

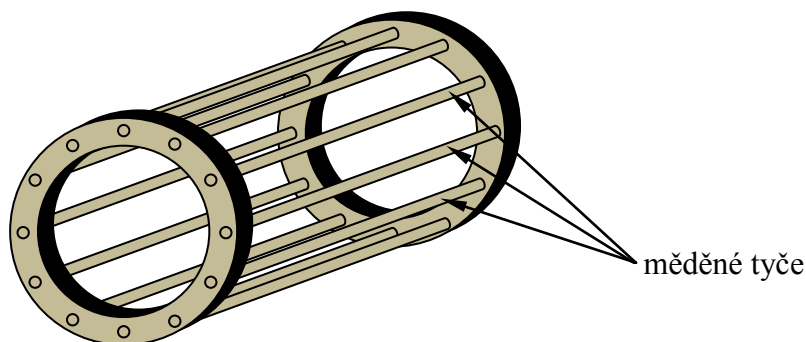
ELEKTRICKÉ MOTORY

Využití těchto motorů je u čerpadel, kompresorů, brusek, drtičů atd.

Uplatňují se také u přečerpávacích elektráren, kde pracují jako synchronní motory nebo jako alternátory k výrobě střídavého trojfázového proudu.

5.4.2 Trojfázový asynchronní (indukční) motor

Tyto elektromotory jsou nejrozšířenější a nejvíce se používají. Trojfázový elektrický proud prochází vinutím statoru, ale rotorem motoru elektrický proud neprochází. Rotor motoru má tvar válce, na jehož povrchu jsou drážky. Do těchto drážek se vkládá buď trojfázové vinutí, kde tento motor nazýváme asynchronní (indukční) kroužkový motor, nebo se do drážek vkládají neizolované měděné tyče spojené na obou koncích měděnými kruhy obr. 68. Tento motor nazýváme asynchronní (indukční) motor s kotvou nakrátko.



obr. 68: kotva nakrátko

Pokud začne vinutím statoru procházet trojfázový elektrický proud, v měděných tyčích vznikne indukované napětí a rotor s kotvou se začne otáčet ve směru vzniknuvšího točivého magnetického pole. Otáčky rotoru neustále vzrůstají, ovšem nikdy nedosáhnou počtu otáček točivého magnetického pole (otáčky rotoru jsou vždy menší než otáčky točivého magnetického pole). Rotor není ve shodě s točivým magnetickým polem a vzhledem k této skutečnosti nazýváme tyto motory asynchronní. Budeme-li motor více zatěžovat, tím pomaleji se bude rotor otáčet.

Rozdíl frekvence f_p točivého magnetického pole a frekvence f_r rotoru nazýváme skluz s . Jeho velikost určíme ze vztahu

$$s = \frac{f_p - f_r}{f_p} \cdot 100\% . \quad (5.1)$$

Při plném zatížení motoru dosahuje skluz hodnot $(2 \div 5)\%$, ale při spuštění motoru je skluz 100%, což se projeví velkým proudovým nárazem v síti.

Využití těchto motorů je u čerpadel, k pohonu strojů atd.

ELEKTRICKÉ MOTORY

Každý elektromotor by měl být označen štítkem, který obsahuje informace o motoru pro spotřebitele tabulka č. 5.

Tabulka č. 5: údaje na štítku elektromotoru

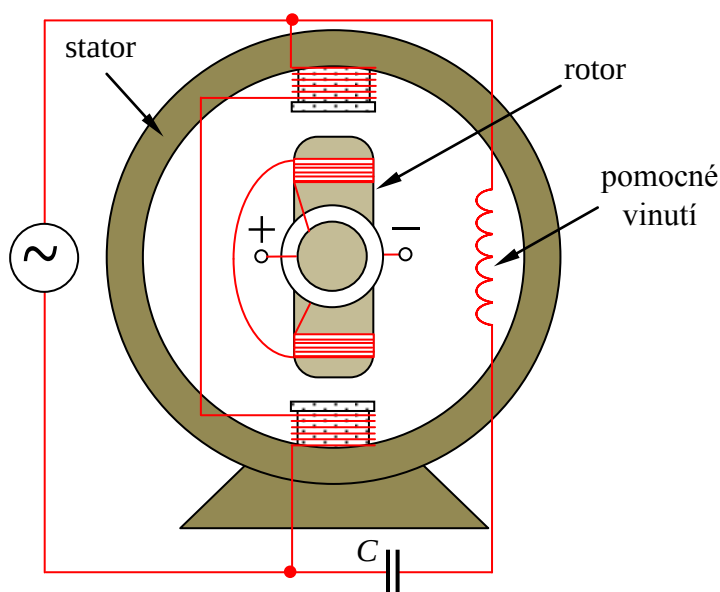
Výrobce		
Motor: 3 fáze	výrobní číslo:	
TYP	TVAR	
3kW	MIN. ∞	1500 ot/min
$\text{Y} = 400\text{V}$	7A	$(50 \div 60)\text{Hz}$
$\Delta = 230\text{V}$	12,5A	rok výroby:

Ze štítku vyčteme:

3 fázový motor; výkon 3kW; může být trvale zatížen (∞); vykoná 1500 otáček za minutu; pracuje při frekvenci napětí $(50 \div 60)\text{Hz}$; při zapojení do hvězdy (napětí 400V) odebírá proud 7A; při zapojení do trojúhelníku (napětí 230V) odebírá proud 12,5A.

5.4.3 Jednofázové motory

Tyto elektromotory využíváme nejvíce tam, kde není zaveden trojfázový proud, což je v domácnostech, kancelářích. Jednofázové motory pracují se střídavým napětím 230V obr. 69.



obr. 69: schéma jednofázového indukčního motoru

ELEKTRICKÉ MOTORY

Stator motoru tvoří jedno vinutí napájené jednofázovým proudem, které vytváří kmitavé magnetické pole, ale rotor motoru se díky tomuto poli neroztočí. Abychom docílili otáčení rotoru, vkládáme do statoru tzv. pomocné vinutí (pomocná fáze). Kolem tohoto pomocného vinutí vzniká nestacionární magnetické pole, na které reaguje rotor motoru, a tímto dochází k jeho otáčení. Tímto zapojením vzniká dvojfázový proud, který vytváří točivé magnetické pole. Tento motor nazýváme jednofázový indukční motor.

Využití těchto motorů je u ledniček, praček atd.

U spotřebičů o malém výkonu používáme indukční motor s na krátko spojeným indukčním závitem.

Využití těchto motorů je např. u ventilátorů, klimatizace.

Dalším typem motoru, které mají taktéž široké použití, je univerzální komutátorový motor. Tento motor pracuje na stejnosměrný i na jednofázový střídavý proud. Princip tohoto motoru je stejný jak u motoru stejnosměrného sériového.

Využití těchto motorů je u vysavačů, fénů, šicích strojů, elektrických vrtaček atd.

ZDROJE INFORMACÍ

Zdroje informací

Literatura:

OPAVA, Zdeněk. *Elektřina kolem nás*. 1. vydání. Praha: Albatros, 1985.

SVOBODA, Emanuel; BARTÁK, František; ŠIROKÁ, Miroslava. *Fyzika pro technické obory středních škol*. 4. vydání. Praha: SPN, 1991. ISBN 80-04-25532-9.

LEPIL, Oldřich; BEDNAŘÍK, Milan; HÝBLOVÁ, Radmila. *Fyzika II pro střední školy*. 3. vydání. Praha: Prometheus, 2005. ISBN 80-7196-185-X.

LEPIL, Oldřich; ŠEDIVÝ, Přemysl. *Fyzika II pro gymnázia, Elektřina a magnetismus*. 5. vydání. Praha: Prometheus, 2005. ISBN 80-7196-202-3.

KROHA, Petr; TOLAR, Jiří; ŠUSTR, Karel. *Elektrotechnika pro 2. ročník SPŠ neelektrotechnických*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1985.

BEDNAŘÍK, Milan; LEPILO, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. 2. vydání. Praha: Prometheus, 1990. ISBN 80-04-24955-8.

VLČEK, Jiří. *Základy elektrotechniky*. 1. vydání. Praha: BEN, 2003.

BLAHOVEC, Antonín. *Elektrotechnika I*. 3. vydání. Praha: Informatorium, spol. s r.o., 1999. ISBN 80-860-73-49-1

BARTUŠKA, Karel. *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy III*. 2. vydání. Praha: Prometheus, 2002. ISBN 80-7196-235-X.

www stránky:

www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_de_Coulomb>.

Obrázky:

obrázky č. 1 až č. 68 a veškeré schémata jsou vytvořena autorem v prostředí kreslení MS WORD 2010

obrázky č. 54 až č. 58, č. 60, č. 65 a č. 66 jsou vytvořeny autorem, 2012