

UNIVERZITA KONŠTANTÍNA FILOZOFA V NITRE

Pedagogická fakulta

Katedra techniky a informačných technológií

POHONY STROJOV – ELEKTROMOTORY

Recenzenti:

doc. PaedDr. Danka Lukáčová, PhD.

doc. Ing. Čestmír Serafín, Dr. Ing-Paed.

ISBN 978-80-558-0821-5

Obsah

1	ÚVOD	5
2	ZÁKONNÉ MERACIE JEDNOTKY	6
2.1	Odvozené jednotky SI	8
2.2	Násobky jednotiek SI.....	10
3	ZÁKLADY VEKTOROVÉHO POČTU A GONIOMETRIE.....	13
3.1	Skaláre a vektory	13
3.2	Základné vzťahy z goniometrie	16
4	FYZIKÁLNE PRINCÍPY ČINNOSTI ELEKTRICKÝCH POHONOV	20
4.1	Elektrický prúd	20
4.2	Elektrické napätie	22
4.3	Ohmov zákon.....	22
4.4	Magnetické pole priameho vodiča.....	23
4.5	Pôsobenie magnetického pola na vodič s prúdom – Ampérov zákon	27
4.6	Silové pôsobenie magnetického poľa na priami vodič s elektrickým prúdom.....	28
4.7	Silové pôsobenie magnetického poľa na obdĺžnikový závit s elektrickým prúdom .	28
4.8	Elektromagnetická indukcia	29
4.9	Striedavý prúd.....	31
5	POHONY STROJOV.....	34
5.1	Elektromotory	34
5.2	Jednosmerné elektromotory	36
5.2.1	Derivačné jednosmerné motory	39
5.2.2	Sériové jednosmerné motory	41
5.2.3	Ostatné jednosmerné elektromotory.....	43
5.3	Elektromotory na striedavý prúd	44
5.3.1	Elektromotory asynchrónne	44
5.3.2	Synchrónne motory	49

6	PREVÁDZKA ELEKTROMOTOROV	51
6.1	Zát'az elektromotora	51
6.2	Konštrukčná modifikácia.....	60
6.3	Chladenie elektromotorov	62
6.4	Krytie elektromotorov	62
7	ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV	65

1 ÚVOD

Učebné texty Pohony strojov – elektromotory sú jedným z výstupov riešenia projektu Inovácia študijných programov na Pedagogickej fakulte UKF v Nitre za účelom skvalitnenia vzdelávacieho procesu. Jedným z cieľov tohto projektu bolo inovovať študijné programy učiteľského zamerania a študijný program Bezpečnosť a hygiena práce, tak aby sa absolventi týchto študijných programov našli lepšie uplatnenia na trhu práce.

Učebné texty Pohony strojov – elektromotory sú určené jednak pre učiteľské študijné programy a rovnako aj pre neučiteľský študijný program Bezpečnosť a hygiena práce. V úvode má študent možnosť získať základný prehľad o používaní zákonných meracích jednotkách používaných v technickej praxi a matematické základy vektorového počtu, ktorý je nevyhnutný na zvládnutie základných fyzikálnych javov definovaných v nasledovnej kapitole. Tieto sú dôležité pre pochopenie princípov na základe ktorých elektromotory pracujú. Ide hlavne o definície základných elektrických veličín a vzájomné interakcie medzi eklektickým prúdom a magnetickým poľom. Základné konštrukčné prvky elektrických pohonov spolu s princípom ich činnosti sú opísané a definované potom v piatej kapitole.

Nakoľko sú učebné texty určené aj pre študentov neučiteľského študijného programu Bezpečnosť a hygiena práce, tak je osobitná pozornosť venovaná aj prevádzkam elektromotorov ako záťaž, konštrukčná modifikácia, chladenie a krytie elektromotorov.

Sme presvedčení, že predkladané učebné texty pomôžu pri štúdiu tých vybraných elektrických zariadení. Chceme vysloviť aj úprimné poďakovanie recenzentom učebných textov prof. PaedDr. Alene Haškovej a doc. Ing. Čestmírovi Serafinovi, Dr. Ing-Paed. za vypracovanie recenzných posudkov a ich pripomienky.

autor

2 ZÁKONNÉ MERACIE JEDNOTKY

Zákon č. 142 o metrológii z roku 2000 Z.z. v § 3 definuje zákonné meracie jednotky nasledovne:

Odsek jeden uvádza: Meracími jednotkami (ďalej len „jednotka“) podľa tohto zákona v Slovenskej republike sú:

a) základné jednotky Medzinárodnej sústavy jednotiek SI (ďalej len „SI“)

1. meter ako jednotka dĺžky, symbol m,
2. kilogram ako jednotka hmotnosti, symbol kg,
3. sekunda ako jednotka času, symbol s,
4. ampér ako jednotka elektrického prúdu, symbol A,
5. kelvin ako jednotka termodynamickej teploty, symbol K,
6. mól ako jednotka látkového množstva, symbol mol,
7. kandela ako jednotka svietivosti, symbol cd,

b) odvodené jednotky SI,

c) násobky základných jednotiek SI a násobky odvodených jednotiek SI,

d) jednotky povolené popri jednotkách SI.

Odsek dva uvádza: definície základných jednotiek SI, spôsob tvorby odvodených jednotiek SI, násobkov základných jednotiek SI a násobkov odvodených jednotiek SI, ako aj jednotky povolené popri jednotkách SI a symboly všetkých jednotiek. Tieto boli ustanovené všeobecne záväznými právnymi predpismi a síce Vyhláškou č. 206 o Zákonných meraciach jednotkách zo dňa 16. júna 2000 a Vyhláškou č. 537 z 11. decembra 2009 Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky.

Definície základných jednotiek Medzinárodnej sústavy jednotiek SI sú definované v zmysle citovaných vyhlášok nasledovne (tabuľke 1).

Tabuľka 1 Zákonné meracie jednotky a ich definície (Vyhláška č. 537, 2009)

jednotka	názov	symbol	definícia
dĺžka	meter	m	Meter je dĺžka dráhy, ktorú prejde svetlo vo vákuu za $1/299\,792\,458$ sekundy.
hmotnosť	kilogram	kg	Kilogram je hmotnosť, ktorá sa rovná hmotnosti medzinárodného prototypu kilogramu uloženého v Medzinárodnom úrade pre váhy a miery.
čas	sekunda	s	Sekunda je čas rovnajúci sa $9\,192\,631\,770$ periódam žiarenia, ktoré zodpovedá prechodu medzi dvoma hladinami veľmi jemnej štruktúry základného stavu atómu cézia ^{133}Cs
elektrický prúd	ampér	A	Ampér je stály elektrický prúd, ktorý pri prietoku dvoma priamymi rovnobežnými a nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu umiestnenými vo vákuu vo vzájomnej vzdialenosti 1 m, vyvolá medzi nimi silu $2 \cdot 10^{-7}$ newtonu na jeden meter dĺžky vodičov.
termodynamická teplota	kelvin	K	Je $1/273,16$ časť termodynamickej teploty trojného bodu vody.
látkové množstvo	mól	mol	Mol je látkové množstvo sústavy, ktorá obsahuje práve toľko elementárnych jedincov (entít), koľko je atómov v 0,012 kilogramu uhlíka ^{12}C ; pri používaní jednotky mol sa musia špecifikovať elementárne jedince (entity), ktorými môžu byť atómy, molekuly, ióny, elektróny, iné častice alebo špecifikované skupiny týchto častíc.
svietivosť	kandela	cd	Svietivosť je svietivosť zdroja, ktorý v danom smere vysiela monochromatické žiarenie frekvencie $540 \cdot 10^{12}$ hertzov a ktorého žiarivosť v tomto smere je $1/683$ watt na steradián.

Odsek 2 vyhlášky definuje zároveň okrem termodynamickej teploty T aj teplotu podľa Celzia t . Jednotkou teploty podľa Celzia je stupeň Celzia, symbol $^{\circ}\text{C}$. Teplota podľa Celzia t je

rozdiel $t = T - T_0$ medzi dvoma termodynamickými teplotami T a T_0 , kde $T_0 = 273,15$ K je teplota absolútnej nuly 0 K.

Medzinárodný prototyp metra je uložený v Medzinárodnom ústave pre miery a váhy so sídlom v Sévres pri Paríži. Pôvodne bol definovaný ako desaťmilióna časť kvadrantu zemského poludníka (úsek poludníka medzi pólom a rovníkom). Je vyrobený zo zliatiny tvorenej 90 % platiny a 10 % irídia. Má prierez tvaru „X“ rozmerov 20 x 20 mm. Tvar prierezu medzinárodného prototypu metra používa vo svojom logu aj Slovenská legálna metrológia.



Obrázok 1 Medzinárodný prototyp metra (Jednotky, 2008)

Medzinárodný prototyp kilogramu je vyrobený zo zliatiny tvorenej 90 % platiny a 10 % irídia a je ako aj prototyp metra uložený v Sévres pri Paríži.



Obrázok 2 medzinárodný prototyp kilogramu (The NIST, 2000)

2.1 Odvođené jednotky SI

Definícia odvođených jednotiek podľa vyhlášky č. 537/2009 je nasledovná: Odvođené jednotky SI sú jednotky koherentne odvođené od základných jednotiek SI algebrickým vyjadrením násobkov mocnín základných jednotiek SI s číselným koeficientom 1.

Odvođené jednotky SI môžu byť vyjadrené osobitnými názvami a symbolmi. Odvođené jednotky SI, pri ktorých možno používať osobitný názov a symbol, sú uvedené v tabuľke 2.

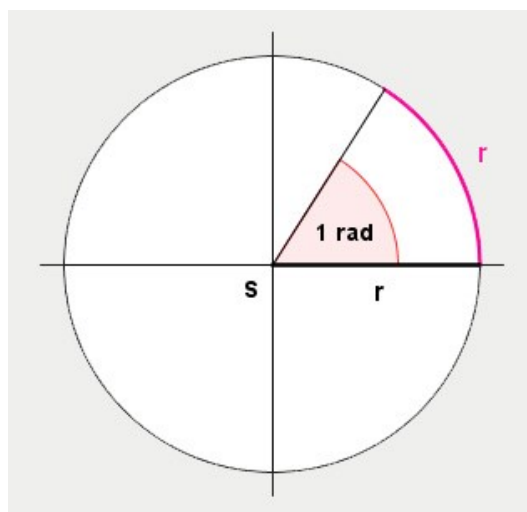
Tabuľka 2 Odvođené jednotky, kde je možné používať osobitný názov a symbol (Vyhláška č. 537/2009)

Veličina	Odvođená jednotka		Vyjadrenie	
	Názov	Symbol	v iných jednotkách SI	v základných jednotkách SI
Rovinný uhol	radián	rad		m.m^{-1}
Priestorový uhol	steradián	sr		$\text{m}^2.\text{m}^{-2}$
Frekvencia	hertz	Hz		s^{-1}
Sila	newton	N		m.kg.s^{-2}
Tlak, mechanické napätie	pascal	Pa	N.m^{-2}	$\text{m}^{-1}.\text{kg.s}^{-2}$
Energia, práca, množstvo tepla	joule	J	N.m^{-2}	$\text{m}^{-1}.\text{kg.s}^{-2}$
Výkon, žiarivý tok	watt	W	J.s^{-1}	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-3}$
Elektrický náboj	coulomb	C		A.s
Elektrický potenciál, rozdiel potenciálov, napätie elektromotorické napätie	volt	V	W.A^{-1}	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-3}.\text{A}^{-1}$
Elektrická kapacita	farad	F	C.V^{-1}	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-4}.\text{A}^2$
Elektrický odpor	ohm	Ω	V.A^{-1}	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-3}.\text{A}^{-2}$
Elektrická vodivosť	siemens	S	Ω^{-1}	$\text{m}^{-2}.\text{kg}^{-1}.\text{s}^3.\text{A}^2$
Magnetický tok	weber	Wb	V.s	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-2}.\text{A}^{-1}$
Magnetická indukcia	tesla	T	Wb.m^{-2}	$\text{m}^{-2}.\text{kg.s}^{-2}.\text{A}^{-1}$
Indukčnosť	henry	H	Wb.A^{-1}	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-2}.\text{A}^{-2}$
Svetelný tok	lúmen	lm	cd.sr	cd
Osvietenosť, intenzita osvetlenia	lux	lx	lm.m^{-2}	$\text{m}^{-2}.\text{s}^{-2}$
Aktivita (rádionuklidu)	becquerel	Bq		s^{-1}
Absorbovaná dávka, merná dodaná energia, kerma, index absorbovanej látky	gray	Gy	J.kg^{-1}	$\text{m}^2.\text{s}^{-2}$
Dávkový ekvivalent	sievert	Sv	J.kg^{-1}	$\text{m}^2.\text{s}^{-2}$
Katalytická aktivita	katal	kat		mol.s^{-1}

Tieto názvy a symboly možno používať aj pri tvorbe ďalších odvođených jednotiek.

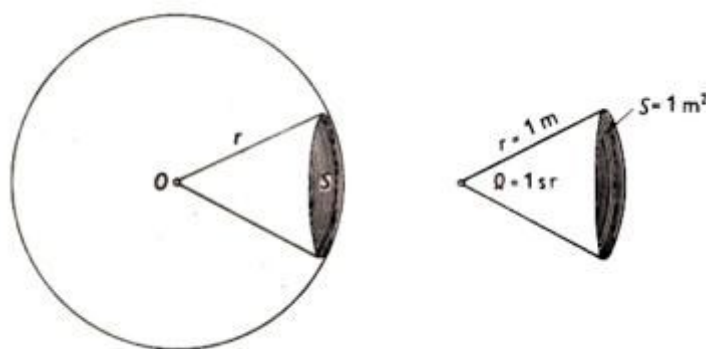
Jednotky radián a steradián boli pôvodne definované ako doplnkové jednotky. Ich definície v zmysle vyhlášky č. 206/2000 sú nasledovné.

Radián je definovaný ako rovinný uhol medzi dvoma polomerami kružnice, ktoré na obvode kružnice vytínajú oblúk, ktorého dĺžka sa rovná polomeru kružnice.



Obrázok 3 Radián na jednotkovej kružnici (Nabla, 2013)

Steradián je definovaný ako priestorový uhol kužeľa, ktorý má svoj vrchol v strede gule a vytína na povrchu gule plochu, ktorej plošný obsah sa rovná plošnému obsahu štvorca, ktorého strana sa rovná polomeru gule.



Obrázok 4 Steradián – jeho definícia na guli s polomerom 1 (PIŠÚT, 1987)

2.2 Násobky jednotiek SI

Násobky jednotiek SI sú tvorené násobením základných jednotiek alebo odvodených jednotiek SI násobkom – mocninou s dekadickým základom so súboru mocnín, ktoré sú uvedené v tabuľke 3.

Tvorí sa podľa normalizovaných predpôň, pričom sa predpona spája s názvom jednotky v jedno slovo. Značka predpony sa spája so značkou jednotky bez medzery. Pri tvorbe názvu je možné použiť iba jednu predponu.

Tabuľka 3 Násobky mocnín jednotiek SI (Príloha č. 2 vyhlášky č. 206/2000)

Násobok	Názov predpony	Symbol predpony
10^{24}	yotta	Y
10^{21}	dzetta	Z
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hekto	h
10^1	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yokto	y

Okrem uvedených násobkov so základom 10 vyhláška uvádza aj dekadické násobky jednotiek SI s osobitným názvom. Ich prehľad uvádza tabuľka 4.

Tabuľka 4 Dekadické násobky jednotiek SI s osobitným názvom

Veličina	Jednotka		
	Názov	Symbol	hodnota v jednotkách SI
Objem	liter	l alebo L	$1\text{ l} = 1\text{ dm}^3 = 10^{-3}\text{ m}^3$
Hmotnosť	tona	t	$1\text{ t} = 1\text{ Mg} = 10^3\text{ kg}$
Tlak	bar	bar	$1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$

V prípade jednotiek, ktoré patrili do vedľajších jednotiek SI ich vyhláška zhrňuje v tabuľke 5.

Tabuľka 5 Jednotky definované na základe jednotiek SI, ktoré nie sú dekadickými násobkami jednotiek SI

Veličina	Jednotka			Poznámka
	Názov	Symbol	Hodnota v jednotkách SI	
Čas	minúta	min	1 min – 60 s	Nepoužívať predpony na tvorbu násobkov
	hodina	h	1 h – 3 600 s	
	deň	d	1 d – 86 400 s	
Rovinný uhol	otáčka	neexistuje žiaden medzinárodný symbol	1 otáčka - 2π rad	
	(uhlový) stupeň	°	$1^\circ - (\pi/180)$ rad	
	(uhlová) minúta		$1' - (\pi/10\,800)$ rad	
	(uhlová) sekunda	''	$1'' - (\pi/648\,000)$ rad	
	gon alebo grad	gon	1 gon – $(\pi/200)$ rad	

V prípade niektorých jednotiek pre hmotnosť a energiu boli ich veľkosti definované experimentálne. Ide o veličiny hmotnosti a energie (tabuľka 6).

Tabuľka 6 Jednotky, ktorých hodnoty sa získali experimentálne

Veličina	Jednotka		
	Názov	Symbol	Definícia
Hmotnosť	unifikovaná atómová hmotnostná jednotka	u	Unifikovaná atómová hmotnostná jednotka, sa rovná 1/12 hmotnosti atómu nuklidu ^{12}C
Energia	elektrónvolt	eV	Elektrónvolt je kinetická energia získané elektrónom pri prechode potenciálovým rozdielom 1 voltu vo vákuu.

3 ZÁKLADY VEKTOROVÉHO POČTU A GONIOMETRIE

V technike sa často operuje s rôznym matematickým aparátom. V tejto kapitole ponúkame čitateľovi základné informácie o vektorovom počte a goniometrii. Nie je možné uviesť všetky informácie, preto odporúčame použiť aj doplnkovú literatúru pre lepšie pochopenie celej problematiky po matematickej stránke. Tento stručný prehľad uvádza hlavne základné definície a vzorce.

3.1 Skaláre a vektory

Fyzikálne a technické veličiny, s ktorými sa stretávame v technickej praxi, môžeme rozdeliť na skalárne a vektorové.

Skalár je veličina, ktorá je určená jedným údajom – veľkosťou spolu s jednotkou danej veličiny. Napríklad: hmotnosť m , čas t , elektrický prúd I a pod.

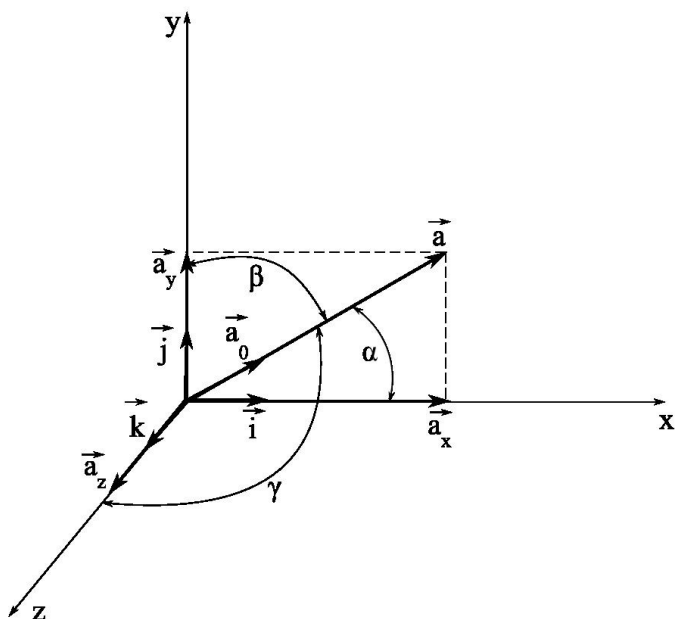
Vektor je veličina, ktorá je určená viacerými údajmi. Vektor je spravidla určený veľkosťou, smerom a orientáciou. Vektor označujeme šipkou nad príslušným označením danej veličiny, napríklad: sila $\vec{F}$, moment sily $\vec{M}$, rýchlosť $\vec{v}$ a pod. V rôznych literatúrach sa vektorové veličiny zdôrazňujú hrubo tlačnými písmenami. Napríklad sila $\mathbf{F}$, moment sily $\mathbf{M}$, rýchlosť $\mathbf{v}$ a pod. Tento druh označovania vektorov budeme používať v ďalšom texte, okrem vektorov, ktoré sú priamo označené šipkou.

Absolútna hodnota vektora je daná číslom, ktoré vyjadruje jeho veľkosť spolu s príslušnou jednotkou. Označujeme ju $|\vec{F}|$, $|\vec{M}|$, $|\vec{v}|$, alebo sa zvyknú zapisovať jednoducho F , M , v .

Smer vektora je daný jednotkovým vektorom $\vec{a}_0$, ktorý je rovnobežný s príslušným vektorom a jeho veľkosť je 1. Každý vektor môžeme vyjadriť skalárnym násobkom jednotkového vektora v smere daného vektora a absolútnej hodnoty tohto vektora. Čiže

$$\vec{a} = |\vec{a}| \cdot \vec{a}_0 = a \cdot \vec{a}_0$$

Rozklad vektora na zložky V danom súradnicovom systéme môžeme vektor $\vec{a}$ rozložiť na zložky v smere súradnicových osí x , y , z .



Obrázok 5 Rozklad vektora $\vec{a}$ v súradnicovom systéme

Ak rozkladáme vektor v pravouhlom súradnicovom systéme, tak v každom smere príslušnej osi potom pôsobia jednotkové vektory $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$. Pre rozklad vektora $\vec{a}$ potom platí

$$\vec{a} = \vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z$$

alebo

$$\vec{a} = a_x \cdot \vec{i} + a_y \cdot \vec{j} + a_z \cdot \vec{k}$$

Pre absolútnu hodnotu vektora $\vec{a}$ platí

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Ak označíme uhly, ktoré zvierá vektor $\vec{a}$ s príslušnými jednotkovými vektormi $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$., ako α , β , γ , potom platí

$$\cos \alpha = \frac{a_x}{a}$$

$$\cos \beta = \frac{a_y}{a}$$

$$\cos \gamma = \frac{a_z}{a}$$

Tieto vzťahy nazývame smerové kosínusy a určujú smer vektora $\vec{a}$.

Základné pravidlá vektorovej algebry

$$\begin{aligned}\vec{a} + \vec{b} &= \vec{b} + \vec{a} & \vec{a} + (\vec{b} + \vec{c}) &= (\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c} \\ \vec{a} + 0 &= \vec{a} & (\alpha \cdot \beta) \cdot \vec{a} &= \alpha \cdot (\beta \cdot \vec{a}) \quad \text{kde } \alpha, \beta \text{ sú skaláry} \\ \alpha \cdot \vec{a} + \beta \cdot \vec{a} &= (\alpha + \beta) \cdot \vec{a} & \alpha \cdot \vec{a} + \alpha \cdot \vec{b} &= \alpha \cdot (\vec{a} + \vec{b}) \\ 0 \cdot \vec{a} &= 0 & \vec{a} - \vec{b} &= \vec{a} + (-\vec{b})\end{aligned}$$

Skalárny súčin dvoch vektorov

Ak máme dva vektory $\vec{a}$, $\vec{b}$ a tieto zvierajú navzájom uhol α potom pre ich skalárny súčin platí

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \alpha = a \cdot b \cdot \cos \alpha$$

Výsledkom skalárneho súčinu vektorov je skalár – číslo, hodnota.

Vlastnosti skalárneho súčinu:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a}$$

$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b$ tento vzťah platí, ak vektory $\vec{a}$, $\vec{b}$ sú rovnobežné, čiže $\cos \alpha = 1$

$\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$ tento vzťah platí, ak vektory $\vec{a}$, $\vec{b}$ so navzájom kolmé, čiže $\cos \frac{\pi}{2} = 0$

$$\vec{a} \cdot \vec{a} = |\vec{a}|^2 = a^2 \quad \vec{a} \cdot (\vec{b} + \vec{c}) = \vec{a} \cdot \vec{b} + \vec{a} \cdot \vec{c}$$

$$(k \cdot \vec{a}) \cdot \vec{b} = \vec{a} \cdot (k \cdot \vec{b}) = k \cdot (\vec{a} \cdot \vec{b}) \quad \text{kde } k \text{ je skalár}$$

$$\vec{i} \cdot \vec{i} = \vec{j} \cdot \vec{j} = \vec{k} \cdot \vec{k} = 1 \quad \text{lebo } \cos 0 = 1$$

$$\vec{i} \cdot \vec{j} = \vec{i} \cdot \vec{k} = \vec{j} \cdot \vec{k} = 0 \quad \text{lebo } \cos \frac{\pi}{2} = 0$$

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = (a_x \cdot \vec{i} + a_y \cdot \vec{j} + a_z \cdot \vec{k}) \cdot (b_x \cdot \vec{i} + b_y \cdot \vec{j} + b_z \cdot \vec{k}) = a_x \cdot b_x + a_y \cdot b_y + a_z \cdot b_z$$

Vektorový súčin dvoch vektorov

Pre vektorový súčin dvoch vektorov platí

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c}$$

To znamená, že pri vektorovom súčine dvoch vektorov $\vec{a}$, $\vec{b}$ je výsledkom vektor $\vec{c}$. Tento vektor je kolmý na rovinu v ktorej ležia vektory $\vec{a}$ a $\vec{b}$, pričom jeho orientácia je daná pravotočivým systémom.

Pre veľkosť vektora $\vec{c}$ platí

$$|\vec{c}| = c = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \sin \alpha = a \cdot b \cdot \sin \alpha$$

Ďalšie vlastnosti vektorového súčinu

$$\vec{a} \times \vec{b} = -(\vec{b} \times \vec{a})$$

$\vec{a} \times \vec{b} = 0$ platí, ak vektory $\vec{a}$ a $\vec{b}$ zvierajú navzájom uhol $\alpha = 0$

$$(\vec{a} + \vec{b}) \times \vec{c} = \vec{a} \times \vec{c} + \vec{b} \times \vec{c}$$

$$\vec{c} \times (\vec{a} + \vec{b}) = \vec{c} \times \vec{a} + \vec{c} \times \vec{b}$$

$\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) = (\vec{a} \cdot \vec{c}) \cdot \vec{b} - (\vec{a} \cdot \vec{b}) \cdot \vec{c}$ dvojnásobný vektorový súčin

$$|\vec{i} \times \vec{j}| = |\vec{i} \times \vec{k}| = |\vec{j} \times \vec{k}| = 1$$

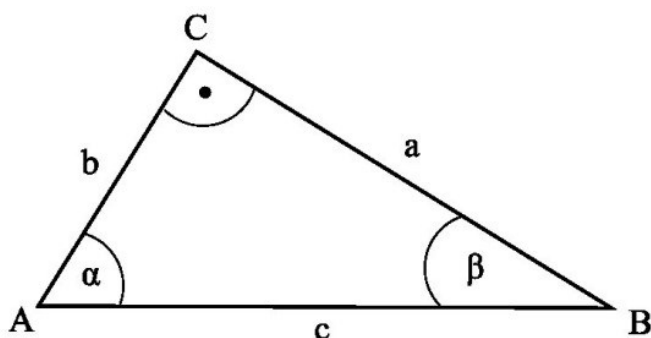
$$|\vec{i} \times \vec{i}| = |\vec{j} \times \vec{j}| = |\vec{k} \times \vec{k}| = 0$$

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} =$$

$$= (a_y \cdot b_z - a_z \cdot b_y) \cdot \vec{i} + (a_z \cdot b_x - a_x \cdot b_z) \cdot \vec{j} + (a_x \cdot b_y - a_y \cdot b_x) \cdot \vec{k}$$

3.2 Základné vzťahy z goniometrie

Základné vzťahy pre goniometriu vyplývajú z pravouhlého a všeobecného trojuholníka



Obrázok 6 Pravouhlý trojuholník

V pravouhlom trojuholníku s preponou c a dvomi odvesnami a a b platí

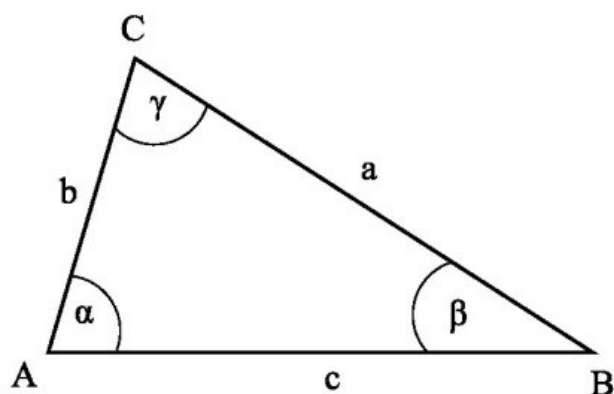
$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \frac{\text{protiľahlá odvesna}}{\text{prepona}}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c} = \frac{\text{prilahlá odvesna}}{\text{prepona}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b} = \frac{\text{protiľahlá odvesna}}{\text{prilahlá odvesna}}$$

$$\operatorname{cotg} \alpha = \frac{b}{a} = \frac{\text{prilahlá odvesna}}{\text{protiľahlá odvesna}}$$

Zo všeobecného trojuholníka určíme ďalšie vety pre goniometrické funkcie



Obrázok 7 Všeobecný trojuholník

Sínusová veta

$$a : b : c = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma$$

alebo

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta}$$

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

$$\frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

Kosínusová veta

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos \alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$$

Tangensová veta

$$\frac{a+b}{a-b} = \operatorname{tg} \frac{\alpha+\beta}{2} : \operatorname{tg} \frac{\alpha-\beta}{2}$$

Pomocou funkcií sin a cos vieme definovať ostatné funkcie

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{1}{\cotg \alpha}$$

$$\cotg \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{1}{\tan \alpha}$$

$$1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$1 + \cotg^2 \alpha = \frac{1}{\sin^2 \alpha}$$

Okrem toho platí

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \cotg \alpha = 1$$

Kvadrant	sin	cos	tg	cotg
I.	+	+	+	+
II.	+	-	-	-
III.	-	-	+	+
IV.	-	+	-	-

Tabuľka 1 Znamienka hodnôt goniometrických funkcií v jednotlivých kvadrantoch

Goniometrické funkcie ľubovoľných uhlov

$$\begin{aligned}\sin(90^\circ \pm \alpha) &= + \cos \alpha & \cotg(90^\circ \pm \alpha) &= \mp \tg \alpha \\ \cos(90^\circ \pm \alpha) &= \mp \sin \alpha & \sin(-\alpha) &= - \sin \alpha \\ \tg(90^\circ \pm \alpha) &= \mp \cotg \alpha & \cos(-\alpha) &= + \cos \alpha \\ \sin(180 \pm \alpha) &= \mp \sin \alpha & \cotg(180 \pm \alpha) &= \pm \cotg \alpha \\ \cos(180 \pm \alpha) &= - \cos \alpha & \tg(-\alpha) &= - \tg \alpha \\ \tg(180 \pm \alpha) &= \pm \tg \alpha & \cotg(-\alpha) &= - \cotg \alpha\end{aligned}$$

Funkcie súčtu a rozdielu dvoch uhlov ($\alpha \pm \beta$)

$$\begin{aligned}\sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta \\ \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta \\ \tg(\alpha \pm \beta) &= \frac{\tg \alpha \pm \tg \beta}{1 \mp \tg \alpha \cdot \tg \beta} \\ \cotg(\alpha \pm \beta) &= \frac{\cotg \alpha \cdot \cotg \beta \mp 1}{\cotg \beta \pm \cotg \alpha}\end{aligned}$$

Funkcie dvojnásobného a polovičného uhla

$$\begin{aligned}\sin 2 \cdot \alpha &= 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{2 \cdot \tg \alpha}{1 + \tg^2 \alpha} \\ \cos 2 \cdot \alpha &= \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \cdot \sin^2 \alpha = 2 \cdot \cos^2 \alpha - 1 = \frac{1 - \tg^2 \alpha}{1 + \tg^2 \alpha} \\ \tg 2 \cdot \alpha &= \frac{2 \cdot \tg \alpha}{1 - \tg^2 \alpha} = \frac{2}{\cotg \alpha - \tg \alpha} \\ \cotg 2 \cdot \alpha &= \frac{\cotg^2 \alpha - 1}{2 \cdot \cotg \alpha} = \frac{1}{2} (\cotg \alpha - \tg \alpha) \\ \left| \sin \frac{\alpha}{2} \right| &= \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}} \\ \left| \cos \frac{\alpha}{2} \right| &= \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}} \\ \left| \tg \frac{\alpha}{2} \right| &= \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}} \\ \tg \frac{\alpha}{2} &= \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha}\end{aligned}$$

$$\left| \cotg \frac{\alpha}{2} \right| = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}}$$

$$\cotg \frac{\alpha}{2} = \frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

4 FYZIKÁLNE PRINCÍPY ČINNOSTI ELEKTRICKÝCH POHONOV

Princíp činnosti elektrických pohonov je založený na viacerých fyzikálnych javoch. Pre lepšie pochopenie samotnej činnosti elektrických pohonov budú definované a opísané nasledovné fyzikálne javy a fyzikálne veličiny:

- Elektrický prúd
- Elektrické napätie
- Elektrický odpor
- Magnetické pole priameho vodiča
- Magnetické pole cievky
- Pôsobenie magnetického poľa na cievku s prúdom – Ampérov zákon
- Elektromagnetická indukcia
- Striedavý prúd

Vymenované fyzikálne javy a fyzikálne veličiny sú len základným výberom pre pochopenie základných princípov činnosti elektrických pohonov. Ostatné fyzikálne javy a veličiny, ktoré budú spomenuté pri opise elektrických pohonov, je potrebné preštudovať z príslušnej literatúry, ktorá je uvedená v závere učebných textov. Definície a opisy javov sme spracovali podľa Čičmanca: Elektrina a magnetizmus.

4.1 Elektrický prúd

Elektrický prúd chápeme jednak ako fyzikálny jav a jednak ako fyzikálnu veličinu. Elektrický prúd ako fyzikálny jav vysvetľujeme ako usmernený pohyb voľných častíc s elektrickým nábojom. Ide teda o pohyb elektrického náboja v priestore a čase. Pokiaľ sa nemení veľkosť a smer elektrického prúdu v závislosti na čase, prípadne dochádza len k zmene veľkosti elektrického prúdu bez zmeny smeru, hovoríme o jednosmernom elektrickom prúde. Ak sa smer elektrického prúdu mení v priebehu času, hovoríme o striedavom elektrickom prúde.

Voľné častice s elektrickým nábojom, ktoré tvoria elektrický prúd môžu byť voľné elektróny, prípadne voľné kationy a anióny.

Podmienkou vzniku elektrického prúdu je vytvorenie elektrického poľa vo vodiči. Elektrické pole vo vodiči pôsobí na voľné elektrické náboje elektrickou silou. Na každý náboj q takto pôsobí sila daná vzťahom

$$\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{E}$$

Pôsobiacia elektrická sila na elektrické náboj spôsobuje usmernený pohyb voľných častíc s elektrickým nábojom. Tieto častice, pohybujúce sa za normálnych okolností neusporiadaným tepelným pohybom, sa začnú pohybovať hlavne v smere pôsobiacej sily. Smer pohybu častíc so záporným elektrickým nábojom (voľné elektróny a anióny) je proti smeru elektrického poľa $\mathbf{E}$. Kladné náboje (katióny) sa pohybujú v smere elektrického poľa $\mathbf{E}$. Podľa druhého Newtonovho zákona by sa častice mali pohybovať zrýchleným pohybom. V skutočnosti sú ale voľné častice s elektrickým nábojom spomaľované nárazmi na viazané častice v mriežke. Pohyb voľných častíc s elektrickým nábojom vyjadrujeme strednou rýchlosťou častíc $\bar{v}$.

Okrem elektrického prúdu ako fyzikálneho javu je definovaný aj ako elektrických prúd ako fyzikálne veličina. Elektrický prúd je takto definovaný ako prvá derivácia elektrického náboja, ktorý prejde cez prierez vodiča, podľa času.

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

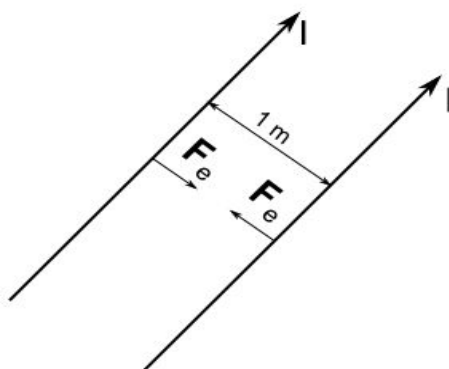
V úseku vodiča, ktorý má konštantný prierez S sa budú pohybovať voľné častice s elektrickým nábojom q vplyvom elektrického poľa $\mathbf{E}$ strednou rýchlosťou $\bar{v}$. Pri koncentrácii voľných nábojov n prejde cez prierez vodiča S za čas dt náboj

$$dQ = n \cdot q \cdot S \cdot \bar{v} \cdot dt$$

Pre elektrický prúd potom platí

$$I = n \cdot q \cdot S \cdot \bar{v}$$

Smer elektrického prúdu je určený podľa smeru kladne nabitých častíc. Jednotkou elektrického prúdu je 1 A a je definovaný nasledovne: medzi dvoma rovnobežnými nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného prierezu, umiestnenými vo vákuu s vzájomnou vzdialenosťou 1 m prechádza prúd 1 A vtedy, ak medzi vodičmi pôsobí sila veľkosti $2 \cdot 10^{-7}$ N na každý meter dĺžky vodiča.



Obrázok 8 Definícia elektrického prúdu.

4.2 Elektrické napätie

Aby vo vodičom trvalo pretekal elektrický prúd, musíme vo vodiči vytvoriť stále elektrické pole $\mathbf{E}$. Takéto stále elektrické pole vytvárajú vo vodiči zdroje elektrického napätia. Za predpokladu, že elektrické vodiče majú vždy určitú dĺžku, tak úlohou zdrojov je vytvárať rozdiel potenciálov (napätie) na koncoch vodiča. Stály (konštantný) elektrický prúd v elektrickom obvode dosiahneme tak, že na svorkách zdroja napätia bude vždy dostatočný potenciálový rozdiel **napätie** (dostatočne veľký elektrický náboj).

Elektrické pole vo vodiči pôsobí na voľné častice s elektrickým nábojom elektrickou silou $\mathbf{F}_e$ a uvádza ich do pohybu. Toto elektrické pole teda koná elektrickú prácu W_e . Elektrické napätie U teda môžeme definovať ako prácu ktorú vykoná zdroj elektrického napätia pri prenose elektrického náboja Q z jedného pólu zdroja na druhý.

$$U = \frac{W_e}{Q}$$

Jednotkou elektrického napätia je 1 volt (1 V). Volt je odvodenou jednotkou podľa sústavy SI, $1 \text{ V} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$.

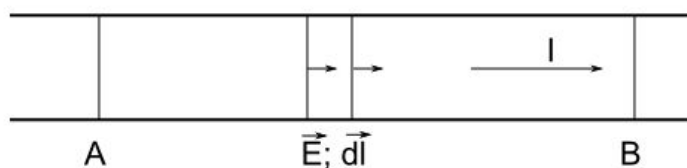
4.3 Ohmov zákon

Závislosť medzi elektrickým prúdom a elektrickým napätím vyjadruje Ohmov zákon $U = (f) I$. Odvodíme si ho na základe nasledovnej úvahy.

Prúdová hustota $\mathbf{i}$ vo vodiči je priamoúmerná elektrickému poľu vo vodiči. Platí

$$\mathbf{i} = \sigma \cdot \mathbf{E}$$

kde σ ako konštanta úmernosti je merná vodivosť.



Obrázok 9 (Čičmanec, 1980)

Ak v úseku vodiča medzi prierezmi A a B prechádza elektrický prúd s prúdovou hustotou $\mathbf{i}$ potom pre vybraný element dĺžky $d\mathbf{l}$ platí

$$\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -dV$$

Pre celý vybraný úsek vodiča od prierezu A po prierez B potom bude platiť

$$\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_A^B dV$$

alebo

$$\int_A^B \frac{i}{\sigma} dl = - \int_A^B dV$$

pre prúd platí rovnica

$$i = \frac{l}{S}$$

ktorú dosadíme do pravej strany rovnice.

$$I \cdot \int_A^B \frac{dl}{\sigma \cdot S} = - \int_A^B dV$$

ďalej

$$I \cdot \int_A^B \frac{dl}{\sigma \cdot S} = V_A - V_B = U$$

integrál

$$R = \int_A^B \frac{dl}{\sigma \cdot S}$$

predstavuje elektrický odpor vodiča na úseku medzi prierezmi A a B.

Pre elektrický odpor vodiča potom platí

$$R = \frac{l}{\sigma \cdot S}$$

Pre mernú vodivosť platí $\sigma = \frac{1}{\rho}$

kde ρ je merný odpor vodiča

Čiže

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

Elektrický odpor vodiča je podľa tohto vzťahu závislý od dĺžky vodiča l priamoúmerne, prierezu vodiča S nepriamoúmerne a od merného odporu (materiálu) vodiča.

Ohmov zákon potom dostaneme v tvare

$$U = R \cdot I$$

teda:

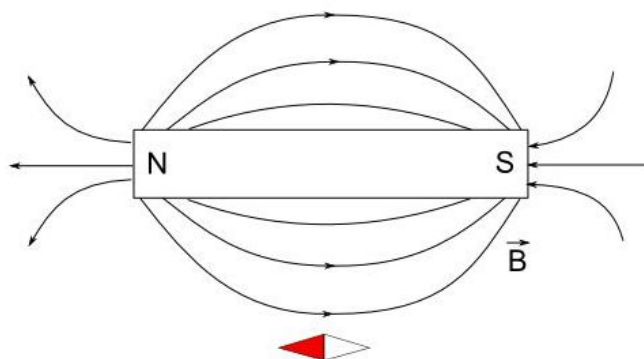
elektrické napätia na koncoch vodiča je priamoúmerné elektrickému prúdu, ktorý vodičom prechádza. Jednotkou elektrického odporu je 1 ohm 1 Ω .

4.4 Magnetické pole priameho vodiča

Magnetické pole môžeme pozorovať v okolí magnetov. Magnety môžu byť prírodné alebo umelé. V prípade prírodných magnetov ide hlavne o prírodný minerál magnetovec (Fe_3O_4),

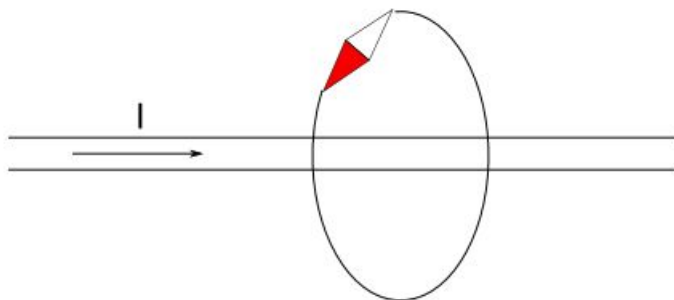
v ktorého okolí sa nachádza magnetické pole. Magnetické pole sa prejavuje silovými účinkami. Magnety priťahujú telesá z feromagnetickým materiálom. Medzi feromagnetické materiály patria železo, kobalt, nikel. Prírodným magnetom je aj Zem, v okolí ktorej sa nachádza magnetické pole.

Miesta, kde je silové pôsobenie magnetu najväčšie nazývame pólmi magnetu. Magnetické póly označujeme ako severný N (angl. north) a južný S (angl. south). Na znázornenie magnetického poľa používame indukčné čiary magnetického poľa, pričom silové pôsobenie magnetického poľa určuje vektor magnetickej indukcie $\vec{B}$. Tento vektor magnetickej indukcie má vždy smer dotyčnice k danej indukčnej čiare magnetického poľa. Indukčné čiary magnetického poľa môžeme detekovať prostredníctvom magnetky. Smer indukčných čiar je vždy od severného pólu magnetu k južnému pólu, obrázok 10.



Obrázok 10 Magnetické pole tyčového magnetu

Na základe pokusov bolo zistené, že aj vodič s elektrickým prúdom vyvoláva vo svojom okolí silový účinok na magnetku. V prípade, že do okolia vodiča umiestnime magnetku tak, aby vodič s osou magnetky bol rovnobežný, tak po zapnutí elektrického prúdu sa magnetka vychýli kolmo na os vodiča. Na základe uvedeného, môžeme konštatovať, že indukčné čiary magnetického poľa v okolí priameho vodiča vytvárajú uzavreté krivky.



Obrázok 11 Magnetické pole priameho vodiča s elektrickým prúdom

Magnetické pole B priameho vodiča je definované na základe vzťahu

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

kde

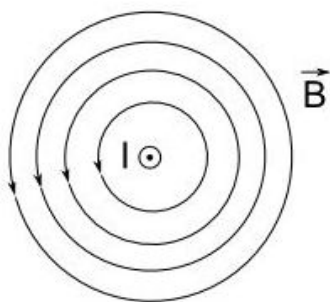
B je magnetická indukcia [T]

μ_0 magnetická permeabilita vákua ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ kg.m.s}^{-2}.\text{A}^{-2}$)

I elektrický prúd [A]

a je vzdialenosť, v ktorej určujeme magnetickú indukciu v okolí vodiča [m]

Z uvedeného vzťahu môžeme konštatovať, že magnetická indukcia B je priamoúmerná elektrickému prúdu I a nepriamoúmerná vzdialenosti a . V každom bode v okolí vodiča pôsobí vektor magnetickej indukcie $\mathbf{B}$ v smere dotyčnice k indukčnej čiare magnetického poľa. V prípade priameho vodiča indukčné čiary magnetického poľa tvoria sústredné kružnice. Orientáciu vektor magnetickej indukcie $\mathbf{B}$ môžeme určiť pomocou ampérového pravidla pravej ruky: **Priložíme pravú ruku k vodiču tak, aby vystretí palec ukazoval smer prúdu vo vodiči, potom ohnuté prsty ukazujú smer indukčných čiar magnetického poľa.**



Obrázok 12 Orientácia indukčných čiar v okolí priameho vodiča s elektrickým prúdom

Magnetická indukcia B je vektorová veličina, ktorej jednotkou je 1 T (tesla). Magnetické pole má magnetickú indukciu 1 T vtedy, ak na náboj veľkosti 1 C pôsobí magnetické pole silou 1 N a elektrický náboj sa pohybuje rýchlosťou 1 m.s^{-1} . Jednotku 1 T vyjadríme pomocou základných jednotiek nasledovne:

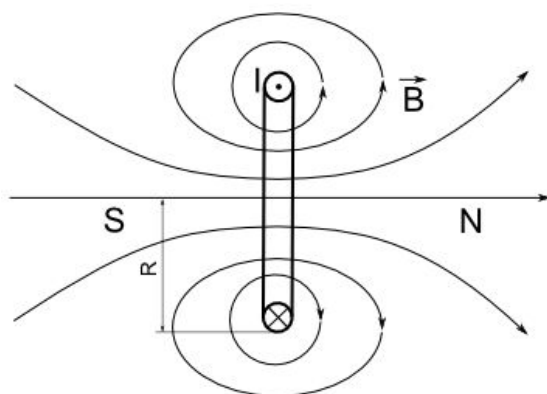
$$[B] = 1 \text{ T} = 1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$$

Magnetické pole v osi kruhového závitu

Magnetické pole kruhového závitu s polomerom R opísané magnetickou indukciou $\mathbf{B}$ je dané vzťahom

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot R}$$

Tvar magnetického poľa je znázornený na obrázku X.



Obrázok 13 Magnetické pole kruhového závitu

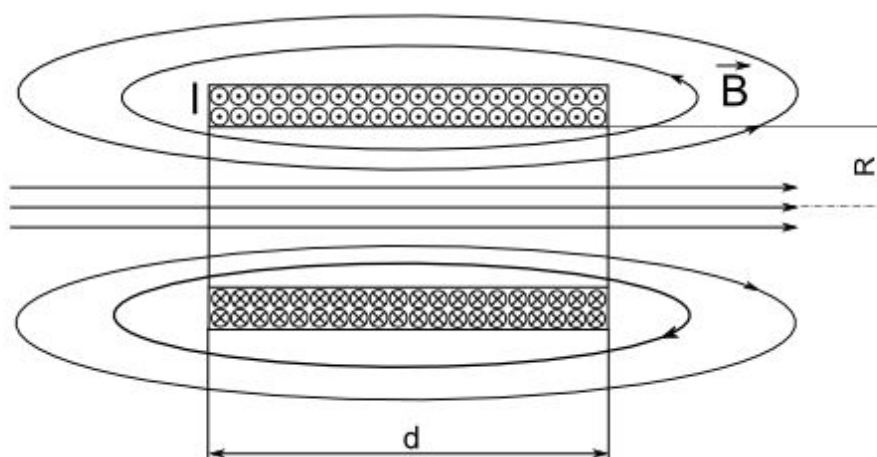
Magnetické pole v blízkosti vodiča má kruhový tvar. V osi závitu je tvar magnetického pola, znázornený indukčnými čiarami priamkový. Ak zostrojíme cievku s viacerými závitmi N z vodiča malého prierezu a šírka cievky bude s porovnaním s polomerom malá $d \ll R$, môžeme uvedený vzťah použiť pre určenie magnetickej indukcie cievky nasledovne

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2 \cdot R}$$

Ak sú rozmery (šírka cievky) porovnateľné s jej polomerom, potom sa magnetická indukcia cievky určuje zo vzťahu

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{d}$$

Magnetické pole cievky bude mať potom nasledovný var (obrázok 14).



Obrázok 14 Magnetické pole cievky

Vo vnútri cievky indukčné čiary sú približne rovnobežné. Takéto magnetické pole môžeme potom považovať za homogénne. Takéto homogénne magnetické polia vo vnútri cievky sa využívajú aj v jednosmerných a striedavých elektromotoroch.

4.5 Pôsobenie magnetického pola na vodič s prúdom – Ampérov zákon

Ak vložíme do magnetického pola vodič s elektrickým prúdom, potom toto vonkajšie magnetické pole bude pôsobiť na vodič silou. Táto sila je prejavom tzv. Lorentzovej sily $\mathbf{F}$, ktorou pôsobí magnetické pole $\mathbf{B}$ na náboj q , pohybujúci sa rýchlosťou $\mathbf{v}$.

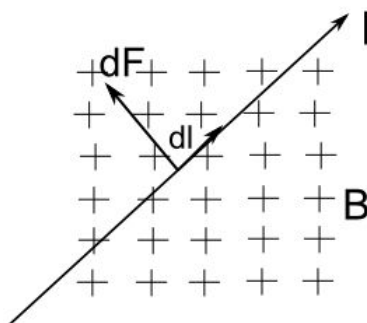
Čiže

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

na elementárny náboj bude pôsobiť potom sila $d\mathbf{F}$

$$d\mathbf{F} = dq(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Z celkovej dĺžky vodiča vyberieme element $d\mathbf{l}$, ktorého smer bude rovnaký ako smer elektrického prúdu I vo vodiči (obrázok 15).



Obrázok 15 silové pôsobenie magnetického pola na element vodiča

Cez prierez vodiča S prechádza náboj $dq = I \cdot dt$. Na element vodiča dĺžka $d\mathbf{l}$ bude potom pôsobiť sila $\mathbf{F}$ daná vzťahom

$$d\mathbf{F} = I dt(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Dráhu, ktorú prejde náboj za jednotku času je daná súčinom

$$d\mathbf{l} = \mathbf{v} dt$$

po dosadení dostaneme silu, ktorou pôsobí magnetické pole na element vodiča

$$d\mathbf{F} = I(d\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$

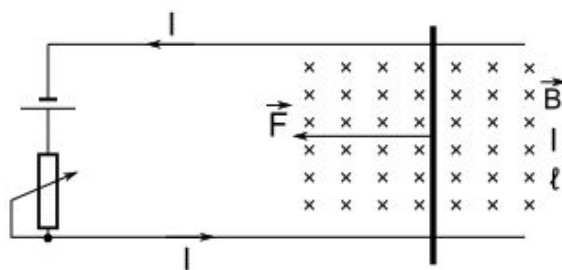
Tento vzťah predstavuje Ampérov zákon. Z uvedeného môže konštatovať, že sila, ktorá pôsobí na úsek vodiča je závislá priamoúmerne od veľkosti elektrického prúdu a je kolmá na vodič a smer indukčných čiar magnetického poľa.

Ampérov zákon má široké technické použitie v technickej praxi a teda aj v elektromotoroch. Ampérov zákon môžeme aplikovať na úsek vodiča a rovnako aj na cievku s prúdom, ktorá sa nachádza v magnetickom poli.

4.6 Silové pôsobenie magnetického poľa na priami vodič s elektrickým prúdom

Ak sa v homogénnom magnetickom poli nachádza priami vodič dĺžky l s elektrickým prúdom I , potom na úsek priameho vodiča bude magnetické pole pôsobiť silou

$$F = IlB$$



Obrázok 16 Pôsobenie magnetického poľa na priami vodič (Čičmanec, 1980)

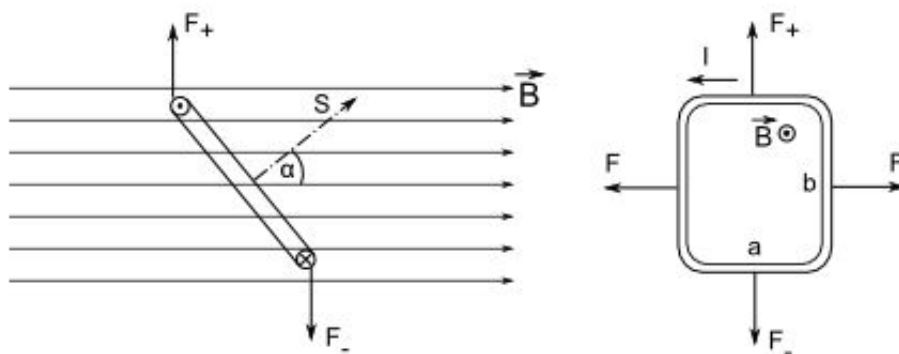
Podľa obrázku, tento jav môžeme pozorovať na nasledovnom jednoduchom experimente. Ak položíme vodič kruhového prierezu na dva odizolované rovnobežné vodiče, tak homogénne magnetické pole $\mathbf{B}$ bude pôsobiť na tento vodič silou $\mathbf{F}$. Vodič sa potom bude pohybovať v smere pôsobiacej sily.

4.7 Silové pôsobenie magnetického poľa na obdĺžnikový závit s elektrickým prúdom

Ak umiestnime do homogénneho magnetického poľa obdĺžnikový závit, cez ktorý bude prechádzať elektrický prúd, potom magnetické pole bude na tento závit pôsobiť nasledovnými silami. Na strane závitu s rozmermi b budú pôsobiť dve rovnako veľké ale opačne orientované sily F , ktoré ležia na jednej priamke. Za predpokladu dostatočnej pevnosti závitu, účinok týchto síl na závit bude nulový. Na stranu závitu a pôsobia dve rovnako veľké opačne orientované sily $\mathbf{F}_+$ a $\mathbf{F}_-$, ktoré pôsobia na obdĺžnikový závit ako dvojica síl. Pre veľkosti týchto síl platí

$$F_+ = IaB$$

Dvojica síl $\mathbf{F}_+$ a $\mathbf{F}_-$, vyvolá na obdĺžnikový závit statický moment sily $\mathbf{M}$, ktorý sa snaží otočiť závit tak, aby jeho plocha bola kolmá na smer indukčných čiar magnetického poľa $\mathbf{B}$.



Obrázok 17 Silové pôsobenie magnetického poľa na obdĺžnikový závit (Čičmanec, 1980)

Pre veľkosť statického momentu sily M platí

$$M = IabB \sin \alpha$$

kde súčin $b \cdot \sin \alpha$, predstavuje rameno sily.

Na obrázku 17 je znázornená ako vektor aj normála plochy S , ktorá sa vplyvom magnetického poľa snaží orientovať rovnobežne s indukčnými čiarami magnetického poľa.

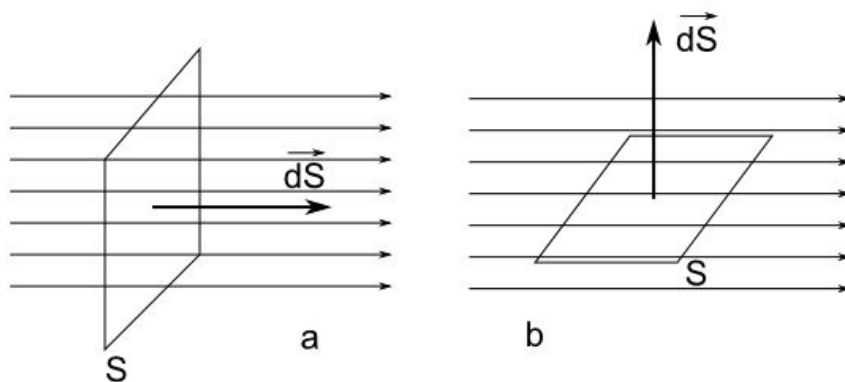
Takýmto spôsobom vieme zabezpečiť, aby magnetické pole pôsobilo na cievku s prúdom statickým momentom sily a otočilo závit v magnetickom poli maximálne o uhol 180° . Tento jav sa využíva hlavne v jednosmerných elektromotoroch, pričom pre stále otáčanie cievky v magnetickom poli je potrebné, v prípade jednej cievky, zabezpečiť zmenu smeru elektrického prúdu po každých 180° . Túto zmenu smeru elektrického prúdu zabezpečuje v jednosmerných elektromotoroch mechanický usmerňovač elektrického prúdu **komutátor**.

4.8 Elektromagnetická indukcia

Elektromagnetická indukcia bola objavená v 19. storočí M. Faradayom. Pre opísanie javu elektromagnetickej indukcie je potrebné definovať veličinu magnetický indukčný tok φ nasledovne

$$\varphi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Magnetický indukčný tok φ má jednotku 1 weber (1Wb). Magnetický tok zobrazujeme rovnako ako magnetické pole pomocou indukčných čiar magnetického poľa. Magnetický indukčný tok vždy posudzujeme vzhľadom na plochu, ktorú indukčné čiary magnetického poľa pretínajú. V prípade ohraničených plôch, závisí aj indukčný tok od vzájomnej polohy indukčných čiar a plochy. Medzné prípady znázorňuje obrázok 18.



Obrázok 18 medzné prípady vzájomných polôh indukčných čiar a ohraničenej plochy
(Čičmanec, 1980)

Na obrázku 18 a indukčné čiary magnetického poľa pretínajú ohraničenú plochu S kolmo, to znamená, že pre tento prípad platí pre indukčný tok cez ohraničenú plochu $\Phi = \max$. Na obrázku 18 b sú indukčné čiary magnetického poľa rovnobežné s ohraničenou plochou S. V tomto prípade je indukčný tok cez ohraničenú plochu $\Phi = 0$.

Elektromagnetickú indukciu ako fyzikálny jav môžeme pozorovať vtedy, ako v okolí uzavretého elektrického obvodu meníme veľkosť magnetického poľa. Zmenu veľkosti magnetického poľa reprezentuje magnetický indukčný tok Φ , ktorý pretína uzavretý elektrický obvod v priebehu času.

Elektromagnetická indukcia je definovaná nasledovným vzťahom

$$u = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Podľa tohto definičného vzťahu platí, že v uzavretom elektrickom obvode sa bude indukovať elektrické napätie u pri zmene magnetického indukčného toku za čas. Alebo, indukované elektrické napätie sa rovná časovej derivácii magnetického indukčného toku.

Veľkosť indukovaného elektrického napätia u závisí len od rýchlosti zmeny magnetického indukčného toku v okolí uzavretého elektrického obvodu, ktorý reprezentuje časová derivácia magnetického indukčného toku. Zmenu magnetického indukčného toku v okolí uzavretého elektrického obvodu môžeme dosiahnuť dvomi spôsobmi:

1. Časovou zmenou veľkosti plochy, ktorú pretínajú indukčné čiary magnetického poľa $\frac{dS}{dt}$. Tento spôsob sa využíva v generátoroch elektrického prúdu.
2. Časovou zmenou veľkosti magnetickej indukcie $\frac{dB}{dt}$. Tento spôsob sa využíva v transformátoroch a elektrických pohonoch.

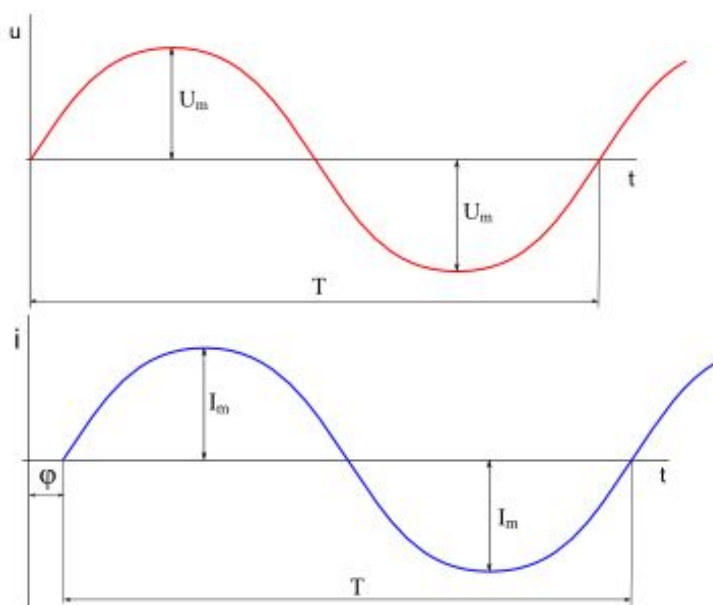
4.9 Striedavý prúd

Elektrický prúd, ktorého veľkosť a smer sa periodicky mení v priebehu času, sa nazýva striedavým prúdom. Jeho veľkosť sa mení harmonicky podľa sínusovej alebo kosínusovej funkcie nasledovne:

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

$$i = I_m \cdot \sin (\omega \cdot t - \varphi)$$

Hodnoty u a i predstavujú okamžité hodnoty striedavého napätia a prúdu, U_m a I_m predstavujú maximálne hodnoty striedavého napätia a prúdu, ω je uhlová rýchlosť a φ je fázový posun medzi napätím a prúdom. Striedavý elektrický prúd (napätie) počas jednej periódy T (obrázok 19) nadobudne dva krát maximálnu hodnotu I_m (U_m)

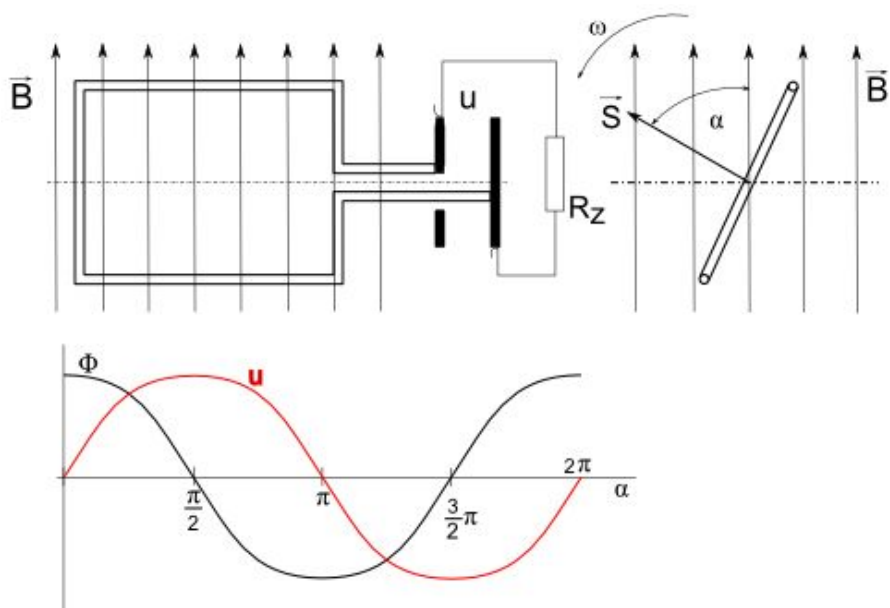


Obrázok 19 Priebeh striedavého prúdu a napätia

Frekvencia striedavého prúdu f udáva počet periód za jednu sekundu a vyjadruje sa v jednotkách 1 Hz.

$$f = \frac{1}{T}$$

Vznik striedavého prúdu môžeme vysvetliť pomocou nasledovného modelu. Ak necháme otáčať v homogénnom magnetickom poli obdĺžnikový závit, potom v tomto závite sa bude indukovať, na základe elektromagnetickej indukcie, elektrický prúd.



Obrázok 20 Vznik striedavého elektrického prúdu v obdĺžnikovom závite. (Čičmanec, 1980)

V prípade, že bude v homogénnom magnetickom poli $\mathbf{B}$ bude mať cievka N závitov, potom magnetický indukčný tok, ktorý pretína plochu ohraničenú cievkou, daný

$$\Phi = N \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

V prípade, že uhol $\alpha = 0$, potom magnetický indukčný tok prechádzajúci cez plochu S je maximálny, teda

$$\Phi_{\max} = N \cdot B \cdot S$$

V prípade, že uhol $\alpha = \frac{\pi}{2}$ je magnetický indukčný tok $\Phi = 0$. Ak sa cievka otáča uhlovou rýchlosťou ω , potom pre uhol α platí

$$\alpha = \omega \cdot t$$

Podľa elektromagnetickej indukcie je okamžitá veľkosť indukovaného elektrického napätia daná vzťahom

$$u = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Potom

$$u = - \frac{d}{dt} (N \cdot B \cdot S \cdot \cos(\omega \cdot t))$$

po derivácii

$$u = \omega \cdot N \cdot B \cdot S \sin(\omega \cdot t)$$

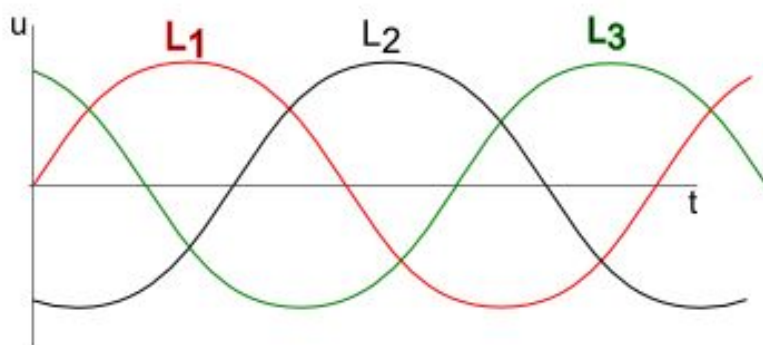
po dosadení

$$u = \omega \cdot \Phi_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Súčin $\omega \cdot \Phi_{\max}$ predstavuje maximálnu hodnotu indukovaného napätia U_m . Maximálne elektrické napätie sa indukuje v závit cievky vtedy, ak závit kolmo pretína indukčné čiary magnetického poľa, čomu zodpovedajú uhly medzi vektorom $\mathbf{S}$ a indukčnými čiarami $\alpha = \frac{\pi}{2}$ a $\alpha = \frac{3}{2}\pi$. Naopak nulové napätie sa indukuje vtedy, ak vektor $\mathbf{S}$ zvierá s indukčnými čiarami uhol $\alpha = 0$ alebo $\alpha = 2\pi$. V týchto polohách závit cievky nepretína indukčné čiary magnetického poľa.

Frekvencia striedavého prúdu v našej elektrickej sieti je $f = 50 \text{ Hz}$, čomu zodpovedá uhlová rýchlosť $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \doteq 314,1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

Generátory na výrobu striedavého elektrického prúdu a napätia sú konštruované tak, že obsahujú tri vinutia, vzájomne posunuté o uhol 120° . Takýto generátor generuje striedavé napätie, prúd do troch fáz L_1 , L_2 a L_3 . Časový priebeh takéhoto trojfázového prúdu je znázornený na obrázku 21.



Obrázok 21 Časový priebeh trojfázového napätia

V ktoromkoľvek časovom okamihu priebehu trojfázového napätia alebo prúdu je súčet ich okamžitých hodnôt rovný nule.

5 POHONY STROJOV

Rôzne druhy strojov, strojných zariadení, ale aj prístrojov potrebujú pre svoju činnosť určitý energetický zdroj, ktorý by dodával potrebnú mechanickú energiu na pohon rôznych mechanizmov a častí strojov. Zariadenie, ktoré dodáva potrebnú energiu sa nazýva pohon stroja.

S vývojom strojov a strojných zariadení sa vyvíjali a zdokonaľovali aj ich pohony. Najskôr boli stroje konštruované tak, že bolo niekoľko strojov súčasne poháňaných jedným motorom a pohon sprostredkoval tzv. transmisný hriadeľ, z ktorého pomocou remeňových prevodov boli poháňané jednotlivé stroje. Takéto usporiadanie malo veľa nevýhod (napr. nevyužitie výkonu motora, zložitosť pohonu a pod.). So zdokonalením techniky boli postupne zavádzané pre každý stroj samostatné pohony. V tomto prípade už každý stroj mal svoj vlastný zdroj mechanickej energie - motor, ktorý poháňal jednotlivé systémy daného stroja. Postupne dochádzalo k zdokonaľovaniu systému pohonov v tomto smere, že každý funkčný systém, príp. skupina funkčných systémov mali svoj vlastný pohon. V tomto prípade motor pracuje iba vtedy, ak je v činnosti daný systém.

Z hľadiska spotreby energie, ktorú pri pohonoch strojov meníme na mechanickú prácu potrebnú pre činnosť stroja, rozdelíme pohony strojov nasledovne:

1. Elektromotory.
2. Tepelné motory.
3. Vodné motory.
4. Ostatné motory.

5.1 Elektromotory

Elektromotory sú točivé elektrické stroje, ktoré premieňajú elektrickú energiu na mechanickú prácu. Elektromotory patria medzi najčastejšie používané pohony pre stroje. Medzi výhody, ktoré predurčujú elektromotory v tak širokých medziach na pohon strojov, môžeme zaradiť:

1. Vysoká účinnosť elektromotorov.
2. Jednoduchosť obsluhy.
3. Veľká spoľahlivosť.
4. Vysoká životnosť.
5. Možnosť konštrukcie elektromotorov v širokom rozsahu výkonov.
6. Ekologické hľadiská.
7. Rozsiahly rozvod elektrickej energie, a pod.

Elektromotory patria medzi stroje, ktorých účinnosť je relatívne vysoká, vo všeobecnosti možno povedať, že ich účinnosť sa pohybuje v medziach 0,8 až 0,95 podľa druhu a konštrukcie motora. Pričom účinnosť nezávisí iba od konštrukcie, ale v neposlednej miere aj od prevádzky motora, jeho zaťaženia a pod.

Široké uplatnenie dosiahli elektromotory aj preto, že ich obsluha je pomerne jednoduchá, nenáročná na pracnosť a odborné vedomosti. Vzhľadom na jednoduchosť konštrukcie elektromotorov sú tieto v prevádzke veľmi spoľahlivé, ich poruchovosť je minimálna a navyše môžu pri použití špeciálnych úprav pracovať tiež v extrémnych podmienkach, napr. vo vode, v prašných prostrediach, vo výbušnom prostredí a pod.

Jednou z hlavných výhod elektromotorov je tá skutočnosť, že ich možno bez veľkého ovplyvnenia účinnosti konštruovať v širokom rozsahu výkonov. Výkon elektromotorov sa pohybuje v rozsahu od niekoľkých W až do desiatok kW, takže pre každý požadovaný výkon pre ten ktorý stroj alebo určitú jeho časť je možné použiť vhodný elektromotor. Navyše elektromotor svojou prácou neznečisťuje okolie, jeho chod je tichý - nehlučný a pod.

Elektromotory môžeme deliť nasledovne:

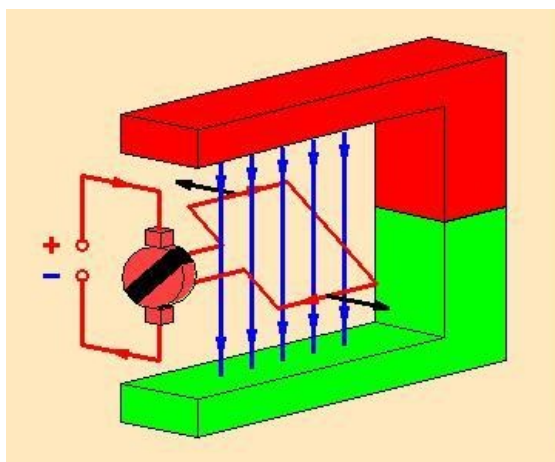
1. Jednosmerné elektromotory.
2. Elektromotory na striedavý prúd.
3. Komutátorové elektromotory.
4. Ostatné elektromotory.

5.2 Jednosmerné elektromotory

Jednosmerné elektromotory sú napájané jednosmerným elektrickým prúdom. Tieto elektromotory sa skladajú konštrukčne z troch funkčných častí:

1. Stator - nepohyblivá časť elektromotora, ktorá vytvára v priestore pre rotor stále - homogénne magnetické pole. Toto magnetické pole môže byť vytvorené buď permanentnými magnetmi (hlavne u motorov s malým výkonom), alebo čo je častejšie, je stále magnetické pole vytvorené pomocou elektromagnetov. V statore (jeho aktívnej časti) je navinuté vinutie, ktorým preteká jednosmerný prúd a tým vytvára potrebné magnetické pole v priestore rotora.
2. Rotor - otočná časť elektromotora, ktorá vytvára potrebný statický moment. Rotor je uložený vo valivých ložiskách. Na aktívnej časti motora je navinuté vinutie, ktorým prechádza jednosmerný prúd zo zdroja (siete). Vzájomným pôsobením stáleho magnetického poľa statora a magnetického poľa vytvoreného rotorom vznikne sila, ktorá vytvorí potrebný statický moment (ak vodič, ktorým preteká elektrický prúd sa nachádza v magnetickom poli, tak na tento vodič pôsobí sila).
3. Komutátor - má za úlohu vo vhodných časových okamihoch zmeniť smer jednosmerného prúdu v rotore tak, aby statický moment, vytvorený rotorom, mal vždy tú istú orientáciu.

Podrobnejší princíp činnosti jednosmerného elektromotora je vysvetlený prostredníctvom nasledujúceho modelu znázorneného na obrázku 22.



Obrázok 22 Model jednosmerného elektromotora (Walter Fendt. 2014)

Stator, ktorého úlohou je vytvárať v priestore rotora homogénne magnetické pole, je v tomto prípade tvorený permanentným podkovovitým magnetom. Homogénne magnetické pole je na

obrázku znázornené pomocou rovnobežných indukčných čiar (modrá farba). Indukčné čiary smerujú od severného pólu magnetu (označený červenou farbou) k južnému pólu.

V homogénnom magnetickom poli sa nachádza cievka s jedným závitom obdĺžnikového tvaru. Ak cez túto cievku bude prechádzať jednosmerný elektrický prúd, potom sa cievka v homogénnom vonkajšom magnetickom poli bude snažiť otočiť tak, aby smer indukčných čiar magnetického pola cievky bol opačný, ako smer indukčných čiar. (Magnetické póly vonkajšieho magnetického poľa sa priťahujú s opačnými magnetickými pólmi cievky rotora.) Samotné jednosmerné elektromotory sú konštrukčne tvorené o niečo zložitejšie. V prvom rade statory jednosmerných elektromotorov pre malé výkony sú tvorené permanentnými magnetmi. U elektromotorov pre veľké výkony majú stator tvorený prostredníctvom vinutí, (elektromagnetov), cez ktoré prechádza jednosmerný elektrický prúd. Takýto stator potom tvorí v priestore pre rotor homogénne magnetické pole.

Samotný rotor u jednosmerných motorov nebýva konštrukčne riešený jednou cievkou s jedným závitom. Rotor je tvorený viacerými cievkami, ktorých konce sú pripojené na jednotlivé vodivé plošky komutátora (Obrázok 23)



Obrázok 23 Rotor a komutátor jednosmerného elektromotora (SOPO, 2014)

Charakteristickými údajmi pre jednosmerné elektromotory je okrem ich výkonu, veľkosť dosahovaných otáčok a krútiaci moment. Pre veľkosť otáčok jednosmerných motorov je možné odvodiť vzťah

$$n = k_1 \cdot \frac{U - I_c \cdot R_c - \Delta U}{\phi}$$

pričom

n je počet otáčok rotora

U je napätie siete (zdroja jednosmerného prúdu)

I_c je celkový prúd pretekajúci obvodom rotora

R_c je celkový elektrický odpor v obvode rotora

ΔU je úbytok napätia na komutátore

k_1 je konštanta závislá od konštrukcie motora

Φ je magnetický indučkný tok statora.

Ak predpokladáme, že napätie elektrickej siete (prípadne zdroja daného jednosmerného prúdu) je konštantné, úbytok napätia na komutátore ΔU je malé a tiež aj konštantné, potom otáčky jednosmerných elektromotorov môžeme regulovať v zásade dvojakým spôsobom:

1. Zmenou celkového odporu v obvode rotora R_c tým, že do obvodu rotora zaradíme regulačný odpor. Týmto spôsobom môžeme regulovať otáčky smerom dolu (regulácia je nevhodná).
2. Zmenou magnetického toku Φ . Ak do obvodu budiaceho vinutia statora zaradíme regulačný odpor môžeme znižovať hodnotu magnetického toku a tým zvyšovať otáčky.

U jednosmerných motorov je možné regulovať plynule veľkosť otáčok motora, čo je ich veľká výhoda.

Pre krútiaci moment jednosmerných motorov je možné odvodiť vzťah

$$M_K = k_2 \cdot I_c \cdot \Phi$$

pričom

M_K je krútiaci moment

I_c je celkový prúd pretekajúci obvodom rotora

Φ je magnetický tok statora

k_2 je konštanta závislá na konštrukcie motora

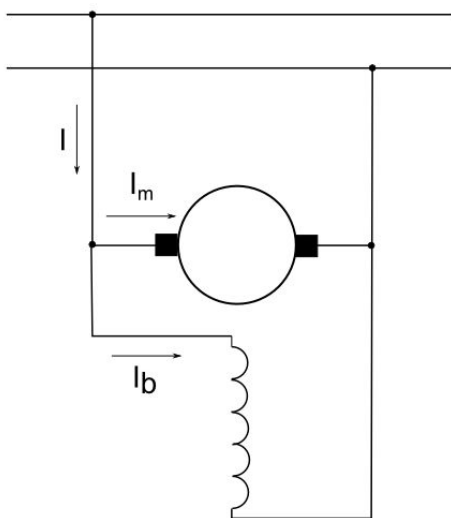
Z danej rovnice vidíme, že krútiaci moment je priamoúmerný magnetickému toku statora a prúdu pretekajúcim rotorom. Treba si ale uvedomiť, že za predpokladu konštantného napätia napájacieho zdroja jednosmerného prúdu je prúd pretekajúci obvodom rotora priamoúmerný odoberanému výkonu (teda zaťaženiu motora).

Podľa konštrukcie a zapojenia budiaceho vinutia jednosmerného elektromotora je možné jednosmerné elektromotory rozdeliť nasledovne:

1. Derivačné motory.
2. Sériové motory.
3. Kompandné motory.
4. Motory s cudzím budením.

5.2.1 Derivačné jednosmerné motory

U týchto motorov je budiace vinutie statora a vinutie rotora (kotvy) pripojené paralelne k sieti (obrázok 24).

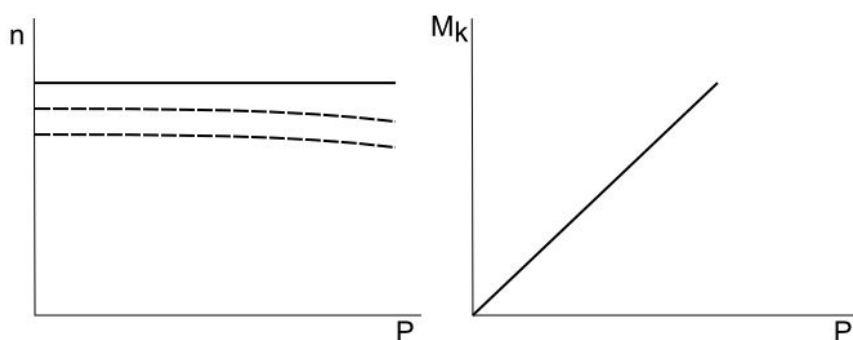


Obrázok 24 zapojenie derivačného jednosmerného elektromotora

Vinutie statora má veľký počet závitov s vodičov s malým prierezom. Vzhľadom k tomu, že budiace vinutie statora je pripojené priamo na sieť, je veľkosť magnetického toku vytváraná budiacim prúdom - I_b - konštantná, nezávislá na zaťažení motora. Pre veľkosť otáčok u derivačných motorov platí

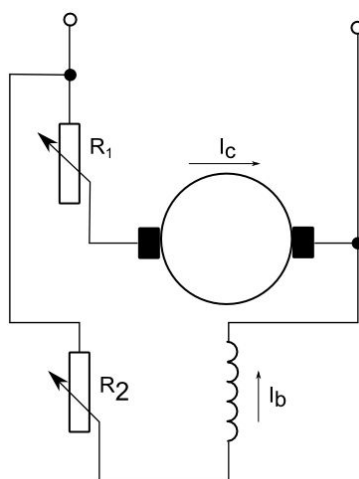
$$n = k_1 \cdot \frac{U - I_C \cdot R_C - \Delta U}{\phi}$$

Tento vzťah je znázornený pomocou tzv. otáčkovej charakteristiky derivačného motora, ktorá udáva závislosť otáčok na zaťažení (výkone) motora (obrázok 25).



Obrázok 25 otáčková a momentová charakteristika derivačného motora

Z obrázku je zrejmé, že s narastajúcim zaťažením otáčky iba mierne klesajú. Derivačný motor má „tvrdú otáčkovú charakteristiku“.



Obrázok 26 Derivačný motor s regulačnými odpormi

Otáčky u tohto motora môžeme plynule regulovať v pomerne širokých medziach. Smerom dolu regulujeme otáčky regulačným odporom R_1 v obvode rotora, smerom hore zase regulačným odporom R_2 , ktorý je zaradený v obvode budiaceho vinutia statora (regulácia otáčok je na obrázku 25 znázornená čiarkovanými krivkami).

Pre priebeh krútiaceho momentu platí vzťah

$$M_k = k_2 \cdot I_c \cdot \Phi$$

pričom magnetický tok statora je konštantný (jeho veľkosť nie je závislá na zaťažení motora), teda platí

$$\Phi = \text{konšt.}$$

potom

$$M_k = k_2 \cdot I_c$$

Z danej rovnice je zrejmé, že krútiaci moment derivačných motorov je priamoúmerný zaťaženiu, ako je to znázornené na obrázku 25.

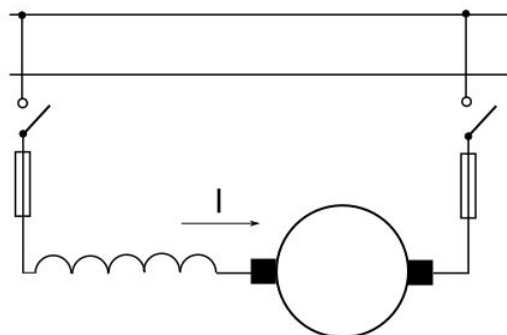
Ak potrebujeme zmeniť (obrátiť) orientáciu otáčok, musíme zmeniť polaritu buď v prívodoch k budiacemu vinutiu alebo k rotoru.

Niekedy sa s výhodou používa derivačný motor na brzdenie zariadenia alebo stroja, ktorý poháňa. V zásade je možné derivačným motorom brzdiť dvojakým spôsobom. V prvom prípade brzdíme tak, že obvod rotora odpojíme od siete a uzavrieme určitým odporom, napr. spúšťacím odporom. Z motora sa stane dynamo poháňané pracovným strojom a energia dodaná strojom sa mení pri brzdení na teplo. Iný efektívnejší spôsob brzdienia je ten, pri ktorom otáčky poháňaného stroja z nejakého dôvodu dosiahnu väčšiu hodnotu ako sú otáčky

motora, potom sa zmení funkcia motora, stane sa z neho dynamo, ktoré dodáva prúd do siete. Derivačné motory používame všade tam, kde požadujeme tvrdú otáčkovú charakteristiku.

5.2.2 Sériové jednosmerné motory

U týchto motorov je budiace vinutie statora zapojené do série s vinutím rotora obrázok 27.



Obrázok 27 Zapojenie sériového jednosmerného elektromotora

V tomto prípade preteká zaťažujúci prúd taktiež satorom. Keďže budiacim vinutím statora preteká veľký prúd, má satorové vinutie málo závitov vodičov veľkého priemeru. Pre otáčky platí vzťah

$$n = k_1 \cdot \frac{U - I_c \cdot R_c - \Delta U}{\Phi}$$

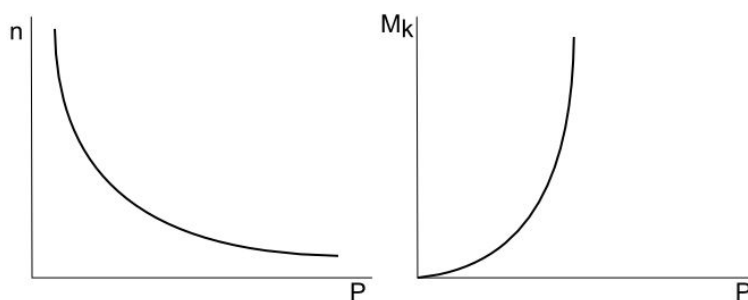
keďže u sériových motorov platí

$$\Phi = k' \cdot I_c$$

potom zo vzťahu

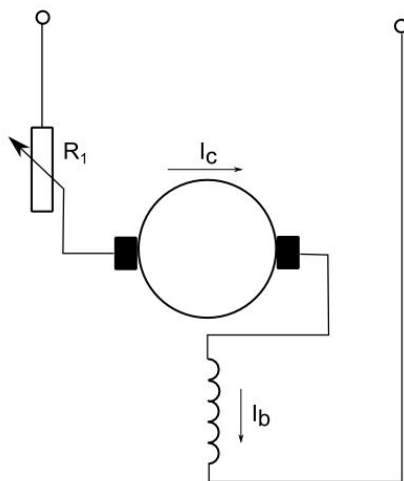
$$n = k_1' \cdot \frac{U - I_c \cdot R_c - \Delta U}{I_c}$$

vidíme, že otáčky sú nepriamoúmerné zaťažujúcemu prúdu. Tento priebeh udáva tzv. otáčková charakteristika sériového motora - obrázok 27.



Obrázok 27 Otáčková charakteristika sériového elektromotora

S narastajúcim zaťažením otáčky sériového motora klesajú, sériový motor má mäkkú otáčkovú charakteristiku. Naopak, ak tento motor nezaťažíme, jeho otáčky neúmerne stúpajú a mohlo by sa stať, že sa motor vplyvom vysokých otáčok poškodí. Preto sériový motor musí byť pripojený k pracovnému stroju priamo (napr. pevnou spojkou), čím zaistíme, že nebude spúšťaný a ani pracovať bez zaťaženia.



Obrázok 28 Sériový motor s regulačným odporom

Otáčky sériového motora môžeme regulovať buď zmenou odporu v obvode rotora, pomocou regulačného odporu R_1 (prípadne spúšťacieho odporu, ak je tento dimenzovaný na trvalé zaťaženie), alebo zmenou magnetického toku statora, pričom v tomto prípade buď skratujeme časť závitov budiaceho vinutia statora, alebo určitý počet týchto závitov odpojíme. Podobne ako u derivačného motora regulujeme otáčky smerom dolu regulačným odporom a v obvode budenia smerom hore.

Veľkosť krútiaceho momentu môžeme vypočítať zo vzťahu

$$M_k = k_2 \cdot \Phi \cdot I_c$$

Keďže u sériových motorov môžeme pri určitom zjednodušení predpokladať, že magnetický tok statora je priamoúmerný prúdu ktorý preteká rotorom, teda platí

$$M_k = k_2' \cdot \Phi \cdot I_c$$

potom pre krútiaci moment dostaneme vzťah

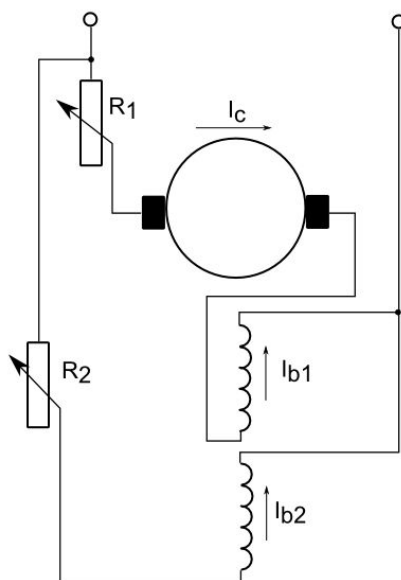
$$M_k = K_3 \cdot \Phi \cdot I_c^2$$

Krútiaci moment je priamoúmerný druhej mocnine prúdu pretekajúceho rotorom. Graficky je táto závislosť znázornená na obrázku 27. Je zrejmé, že so vzrastajúcim zaťažením sériového motora jeho otáčky klesajú ale naopak, jeho krútiaci moment sa zvyšuje. Tieto charakteristiky sú výhodné pre pohon trakčných vozidiel, ako sú električky, trolejbus a pod.

5.2.3 Ostatné jednosmerné elektromotory

Kompaudné motory

Kompaundný jednosmerný motor (obrázok 29) sa vyznačuje tým, že stator má budiace vinutie derivačné aj sériové.



Obrázok 29 Kompaundný elektromotor

Výhodou týchto motorov je tá skutočnosť, že vhodnou úpravou budiacich vinutí (podľa toho, ako veľké sú magnetické polia týchto vinutí a aký je smer ich pôsobenia) môžeme dosiahnuť rôzne priebehy otáčkových a momentových charakteristík. Ak napr. prevláda sériové vinutie, potom derivačné má za úlohu iba obmedziť vysoké otáčky pri malom zaťažení. Naopak, ak prevláda derivačné vinutie, potom sériové má za úlohu zosilniť krútiaci moment v oblasti vyššieho zaťaženia motora.

Jednosmerné motory s cudzím buđením

Tieto motory sa svojou konštrukciou a momentovou aj otáčkovou charakteristikou podobajú derivačným motorom. Rozdiel je iba v tom, že budiace vinutie nie je pripojené priamo na jednosmernú elektrickú sieť, z ktorej je napájaný elektromotor, ale má samostatný zdroj jednosmerného elektrického prúdu. Týmto spôsobom je možné pomerne v širokých medziach a rôznym spôsobom ovplyvňovať magnetický tok statora a tým aj prevádzkové vlastnosti motora.

5.3 Elektromotory na striedavý prúd

Tieto motory tvoria najpočetnejšiu skupinu elektromotorov. Z funkčného hľadiska ich možno rozdeliť do troch skupín:

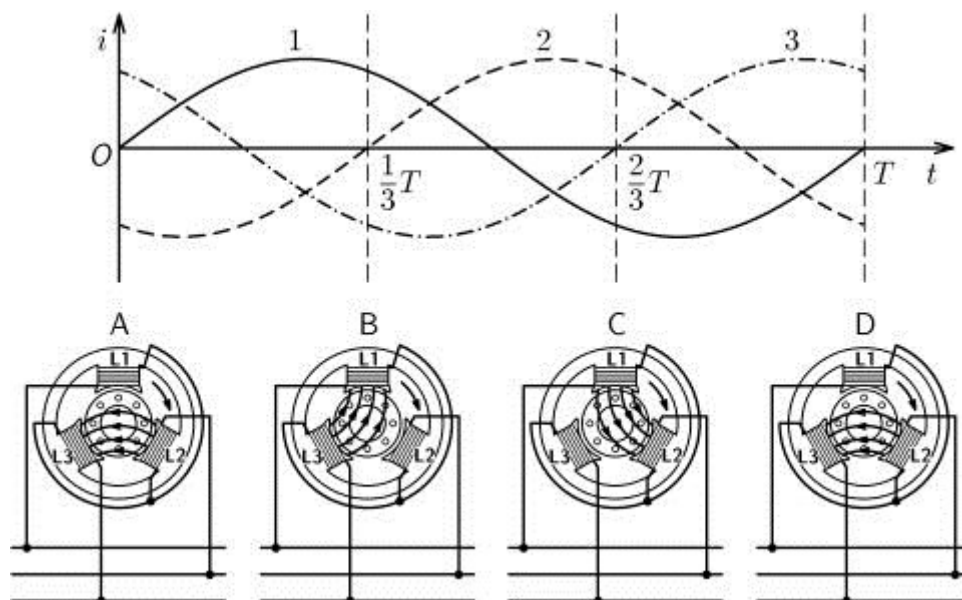
1. Elektromotory asynchrónne.
2. Elektromotory synchronné.
3. Elektromotory ostatné.

5.3.1 Elektromotory asynchrónne

Asynchrónne elektromotory sa skladajú z dvoch základných funkčných častí:

1. Stator.
2. Rotor.

Stator je nepohyblivá časť asynchrónneho elektromotora, v ktorej je uložené statorové vinutie, ktoré má za úlohu vytvoriť otáčavé magnetické pole.



Obrázok 30 Vznik otáčavého magnetického poľa v statore asynchrónneho elektromotora
(Katedra teoretickej fyziky a didaktiky fyziky UK Bratislava, 2013)

Vznik otáčavého magnetického poľa je znázornený na obrázku 30. Stator je tvorený tromi cievkami, ktoré sú v statore vzájomne posunuté o uhol 120° . Začiatky jednotlivých cievok sú pripojené na tri jednotlivé fázy L_1 , L_2 a L_3 . Konce cievok sú spojené do jedného bodu (zapojenie cievok do hviezdy). Z časového priebehu jednotlivých fáz je zrejmé, že v každej tretine periódy T je prúd v niektorej fáze nulový. Ak v čase 0 je nulový prúd vo fáze L_1 , potom cievkami s fázami L_2 a L_3 prechádza rovnako veľký prúd ale opačného smeru.

Indukčné čiary potom smerujú z cievky L_2 do L_3 . Ak v čase $\frac{1}{3} T$ je nulový prúd vo fáze L_2 , potom cievkami s fázami L_3 a L_1 prechádza rovnako veľký prúd ale opačného smeru. Indukčné čiary potom smerujú z cievky L_3 do L_1 . Ak v čase $\frac{2}{3} T$ je nulový prúd vo fáze L_3 , potom cievkami s fázami L_1 a L_2 prechádza rovnako veľký prúd ale opačného smeru. Indukčné čiary potom smerujú z cievky L_1 do L_2 . Tento jav nazývame otáčavé magnetické pole.

V otáčavom magnetickom poli sa nachádza rotor elektromotora. Vo vinutí rotora sa vplyvom otáčavého magnetického poľa statora indukuje elektrické napätie, vplyvom ktorého tečie rotorom elektrický prúd. Tým vznikne vo vinutí rotora statický moment sily, ktorý otáča rotor. Otáčky rotora musia byť menšie, ako sú otáčky otáčavého magnetického poľa statora (nakoľko pri rovnakých otáčkach by nevznikala elektromagnetická indukcia a tým ani potrebný točivý moment rotora). Pomerný rozdiel medzi otáčkami magnetického poľa statora a otáčkami rotora sa nazýva sklz, platí

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

pričom:

s je sklz

n_s sú otáčky magnetického poľa statora

n sú otáčky rotora

Sklz dosahuje hodnotu 0,02 až 0,05 pri plnom zaťažení motora. S klesajúcim zaťažením klesá aj sklz. Vzhľadom na uvedené skutočnosti je zrejmé, že s narastajúcim zaťažením otáčky asynchronných motorov mierne klesajú. Tieto motory majú tvrdú otáčkovú charakteristiku, t.j. ich otáčky so zaťažením klesajú málo.

Otáčky otáčavého magnetického poľa n_s (synchronne otáčky) závisia od frekvencie použitého elektrického prúdu a od vinutia statora. Pre tieto otáčky platí vzťah

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

pričom:

n_s sú synchronne otáčky otáčavého magnetického poľa v min^{-1}

f je frekvencie použitého striedavého prúdu v Hz

p je počet pól párov otáčavého magnetického poľa statora.

Od spôsobu vinutia statora môže - p - nadobúdať hodnotu - 1, 2, 3, atď., potom ak použijeme striedavý prúd o frekvencii 50 Hz sú synchronne otáčky otáčavého magnetického poľa 3 000 ot.min^{-1} ($p=1$), 1 500 ot.min^{-1} ($p=2$), atď.

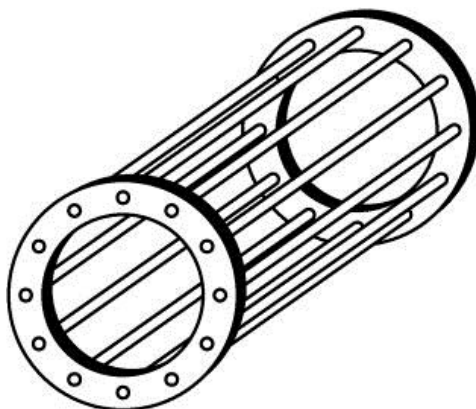
Vidíme, že prepojením vinutia statora je možné regulovať otáčky asynchrónneho motora (zmenou hodnoty p) iba skokom, napr: motor môže mať otáčky $3\,000\text{ ot.min}^{-1}$ alebo $1\,500\text{ ot.min}^{-1}$ (v skutočnosti o niečo nižšie). Nemožnosť plynulej regulácie otáčok asynchrónnych motorov je jedna z nevýhod týchto motorov.

Podľa spôsobu vinutia rotora rozdeľujeme asynchrónne motory do dvoch skupín:

1. Asynchrónne motory s kotvou na krátko.
2. Asynchrónne motory s kotvou krúžkovou.

Asynchrónne motory s kotvou na krátko sú najjednoduchšie a najpoužívanéjšie elektromotory vôbec. Svojmu veľkému uplatneniu vďaka hlavne jednoduchej konštrukcii, vysokej spoľahlivosti, nenáročnej obsluhu a údržbe. Takýto motor pozostáva zo statora, v ktorom je uložené trojfázové vinutie zapojené do trojuholníka alebo do hviezdy a je vyvedené na svorkovnicu, ku ktorej pripájame trojfázové napätie zo siete. Na svorkovnici je možné prepojiť vinutie motora $Y-\Delta$. Prípadne je možné meniť počet polpárov statora.

Rotorové vinutie je tvorené tzv. kliečkou.



Obrázok 31 Kliečka asynchrónneho elektromotora (Katedra teoretickej fyziky a didaktiky fyziky UK Bratislava, 2013)

Sú to holé medené alebo hliníkové tyče uložené v drážkach na obode rotora a na obidvoch koncoch spojené nakrátko pomocou medeného alebo hliníkového venca (krúžku). Vodiče kliečky bývajú rôznych tvarov prierezov, pričom tieto majú vplyv na priebeh točivého momentu. Nevýhodou motora s kotvou na krátko je tá skutočnosť, že v okamihu pripojenia na sieť odoberá zo siete veľký prúd, vzniká veľký prúdový náraz do siete. U malých elektromotorov to nie je na závalu (prierez vodiča kliečky je najčastejšie kruhový podľa obrázku 32a), avšak u motorov o väčších výkonoch treba zmierniť prúdový náraz do siete v

okamihu pripojenia na sieť. Je niekoľko možností zníženia záberového prúdu v okamihu pripojenia na sieť:

1. Úpravou klievky.
2. Spúšťaním.

Na zníženie záberového prúdu môžeme použiť motor s tzv. odporovou klievkou, v ktorej sú vodiče rotora vyrobené z odporového materiálu. Takéto motory vyvinú veľký záberový moment pri znížení záberového prúdu, avšak účinnosť a sklz týchto motorov sa zhoršuje. Používajú sa hlavne v tých prípadoch, kde motor pracuje krátkodobo. Ďalším spôsobom, ako znížiť prúdový náraz do siete pri spúšťaní motora a zväčšiť jeho záberový moment je tzv. vírivá klievka. Aby sa zväčšil záberový moment a znížil prúdový náraz do siete, je potrebné, aby odpor rotorového vinutia (klievky) bol pri spúšťaní veľký a pri normálnom chode motora malý. Obidva tieto stavy motora sa líšia frekvenciou indukčného napätia v rotore f_r . Frekvencia indukovaného napätia v rotore je daná vzťahom

$$f_r = s \cdot f$$

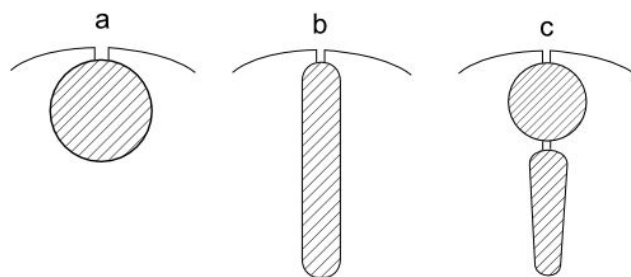
pričom:

f_r je frekvencia indukovaného napätia v rotore v Hz

s je sklz

f je frekvencia siete v Hz.

V okamihu pripojenia na sieť je $f_r = f$, po rozbehnutí motora iba $0,02 f$ až $0,05 f$. Táto skutočnosť sa využíva v takej konštrukcii vinutia rotora, aby jeho činný odpor bol závislý na frekvencii. Rotor s vírivou klievkou má hlboké drážky pre tyče vírivej klievky. Tieto tyče majú malý rozmer v tangenciálnom a veľký v radiálnom smere (obrázok 32b). Pri rozbehu motora sa vplyvom vyššej frekvencie rozloží prúd pretekajúci vinutím rotora nerovnomerne, Viac prúdu tečie hornou časťou, menej spodnou, odpor tyče klievky sa pri zábere zväčší. Pomer $\frac{R}{R_s}$ je závislý na frekvencii f_r a R_s je odpor tyče pri jednosmernom prúde. Týmto jednoduchým spôsobom usporiadania klievky sme získali veľký odpor vinutia rotora pri rozbehu a malý pri chode motora. Toto usporiadanie rotorového vinutia sa používa hlavne u motorov veľkých výkonov.



Obrázok 32 Prierezy vodičov kietky

Ďalším často používaným motorom pre veľké výkony (nad 4 kW) je motor s dvojitou kietkou. Bližšie k obvodu je tzv. rozbehová kietka, ktorá je vyrobená z materiálu s veľkým odporom (napríklad mosadz) a má malý prierez. Pod ňou je uložená tzv. pracovná kietka, ktorá je vyrobená z medi alebo hliníka a má veľký prierez (obrázok 32c). Motory s dvojitou kietkou majú lepšie prevádzkové vlastnosti ako motory s vírivou kietkou, ale sú konštrukčne zložitejšie.

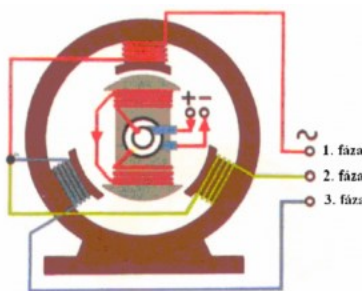
Ďalším spôsobom, ako prúdový náraz znížiť pri spúšťaní motora s kotvou na krátko je, že pri spúšťaní motora zväčšíme odpor v obvode statora. Toto môžeme dosiahnuť buď tým, že pri spúšťaní zaradíme do obvodu statora spúšťací odpor alebo pri spúšťaní zapojíme vinutie statora do hviezdy a po rozbehu ho prepojíme do trojuholníka. V oboch prípadoch znížime záberový moment motora, avšak znížime tiež prúdový náraz do siete.

Asynchrónne motory s kotvou krúžkovou

U týchto motorov je navinutý jednak stator a tiež rotor. Vinutie rotora je vyvedené na krúžky. Pri spúšťaní motora pripojíme na krúžky spúšťacie odpory, ktoré postupne vyradujeme z činnosti. Tým docielime zvýšenie záberového momentu a zníženie prúdového nárazu do siete. Po rozbehnutí motora sa krúžky spoja na krátko. Tieto motory sa dnes málo používajú vzhľadom na zložitejšiu výrobu, obsluhu, vyššiu poruchovosť a pod.

5.3.2 Synchronne motory

Synchronný motor pozostáva zo statora a rotora.



Obrázok 33 Synchronný motor (Tesár, 2009)

Stator sa v podstate svojou konštrukciou neodlišuje od statora trojfázového asynchrónneho motora. Statorové trojfázové vinutie je spojené do hviezdy alebo do trojuholníka (na obrázku 33 je vinutie statora zapojené do hviezdy) a má za úlohu vytvárať otáčavé magnetické pole. Rotor má tiež vinutie, ktoré je však napájané jednosmerným prúdom z tzv. budiča. Vzájomným pôsobením otáčavého magnetického poľa rotora a magnetického poľa vytvoreného statorom vzniká točivý moment rotora. Otáčky rotora sú rovnaké ako otáčky otáčavého magnetického poľa statora a so zaťažením motora sa nemenia. Motor má veľmi tvrdú otáčkovú charakteristiku.

Nevýhodou synchronných motorov je tá skutočnosť, že tieto motory sa po pripojení na sieť samovoľne neroztočia a preto musíme zaistiť niektorý zo spôsobov spúšťania synchronných motorov. Používa sa niekoľko spôsobov spúšťania synchronných motorov:

1. Zmenou frekvencie.
2. Pomocným motorom.
3. Pomocnou klieťou.
4. Ostatné spôsoby.

Jednou z možností spúšťania synchronného motora je pozvoľné zvyšovanie frekvencie privádzaného striedavého prúdu až na prevádzkovú frekvenciu a tým aj na prevádzkové otáčky motora. Tento spôsob vyžaduje samostatný zdroj elektrickej energie s možnosťou meniť plynule frekvenciu jeho prúdu.

Druhou možnosťou je roztočiť asynchrónny motor pomocným motorom na otáčky blízke synchronným otáčkam. Po nabudení rotora prejde motor do synchronných otáčok.

Tretím najčastejšie používaným spôsobom je ten, že motor sa spúšťa ako asynchrónny. Za týmto účelom má na obvode rotora tzv. spúšťaciu klieť. Po dosiahnutí asynchrónnych

otáčok pripojíme budenie rotora (zapojíme zdroj jednosmerného prúdu), motor prejde na synchrónne otáčky a tým prestane pracovať spúšťacia klieť. Synchrónny motor môžeme spúšťať ako asynchrónny aj tak, že pri rozbehu využijeme priamo budiace vinutie rotora.

Medzi výhody synchrónnych motorov môžeme zaradiť možnosť dosiahnutia veľkých výkonov. Vzhľadom k tomu, že rotor u veľkých synchrónnych motorov tvorí výkovok, je možné dosahovať výkony u týchto motorov rádovo niekoľko sto kW až niekoľko MW. Medzi ďalšie výhody môžeme považovať tú skutočnosť, že vzduchová medzera medzi statorom a rotorom môže byť väčšia ako u asynchrónnych motorov. Jednou z výhod synchrónnych motorov je, že môžu pracovať ako indukčná, odporová alebo kapacitná záťaž. Toto sa hlavne využíva u veľkých motorov na kompenzáciu účinníka v sieti.

Synchrónne motory sa stavajú najčastejšie na veľké výkony nad 100 kW a pohon takých strojov, u ktorých je nepretržitá prevádzka, aby sa nemusel motor často spúšťať. Tieto motory pracujú najčastejšie ako kapacitná záťaž a tým kompenzujú účinník v sieti. Pre pohon malých zariadení a prístrojov, u ktorých požadujeme konštantné otáčky, sa tiež používajú malé synchrónne motory s výkonom v rozsahu niekoľkých W až kW.

6 PREVÁDZKA ELEKTROMOTOROV

Pre správnu a bezpečnú prevádzku elektromotorov musia byť tieto konštrukčne prispôsobené pre daný typ prevádzky. Z tohto pohľadu je potrebné už pri výrobe elektromotory brať do úvahy nasledovné faktory:

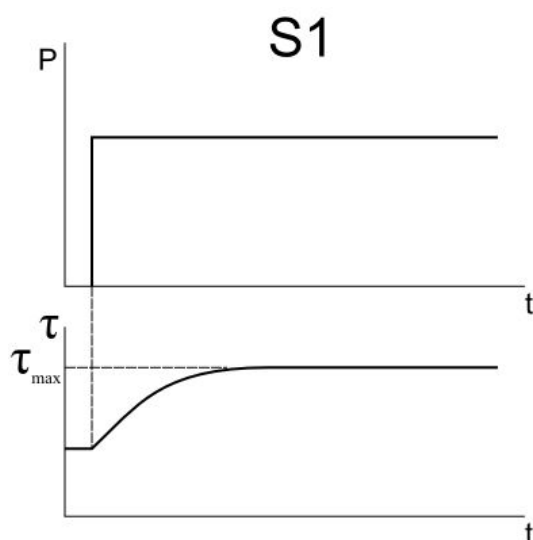
- záťaž elektromotora,
- konštrukčné modifikácie elektromotorov,
- chladenie elektromotora,
- krytie elektromotora,
- ostatné podmienky bezpečnej prevádzky.

6.1 Zátťaž elektromotora

Závislosť medzi časom a zaťažením elektromotora (zaťaženie elektromotora sa často vyjadruje P , čo predstavuje výkon elektromotora) je charakteristickým údajom, podľa ktorej môžeme elektromotor použiť pre konkrétny druh prevádzky. Na výrobnom štítiku elektromotora je záťaž elektromotora označená písmenom S číselným označením od 1 do 10. Tieto označenia predstavujú možné spôsoby zaťaženia elektromotora. Toto typové označenie je definované v norme STN EN 60034-1 nasledovne:

S1 trvalé zaťaženie

Ide o prevádzku elektromotora pri konštantnom zaťažení, ktorá je dostatočne dlhá na dosiahnutie ustálenej teploty stroja. Skratka označenia je S1.



Obrázok 34 Druh zaťaženia S1

kde

P je zaťaženie

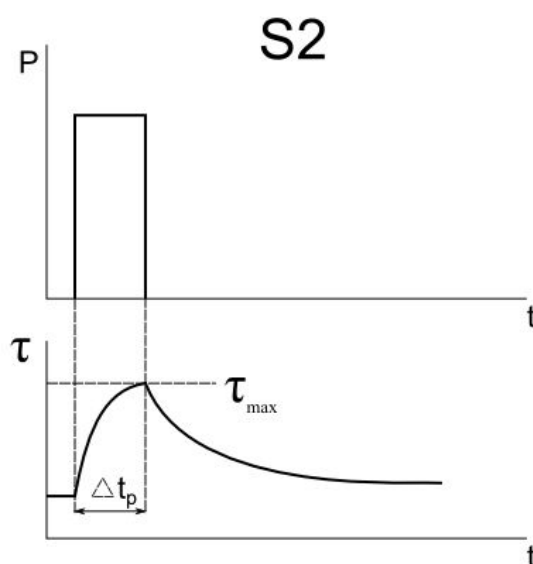
$\tau_{\max}$ je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

t je čas

S2 krátkodobý chod

Ide o prevádzku pri konštantnom zaťažení v stanovenom čase, ktorý je kratší ako čas potrebný na dosiahnutie ustálenej teploty, po ktorom nasleduje čas odpojenia a pokoja dostatočne dlhý na nové ustálenie teploty stroja v pásme 2 K okolo teploty chladiva. Skratka označenia je S2, po ktorej nasleduje údaj o trvalom zaťažení. Napríklad S2 60 min.



Obrázok 35 Druh zaťaženia S2

kde

P je zaťaženie

$\tau_{\max}$ je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

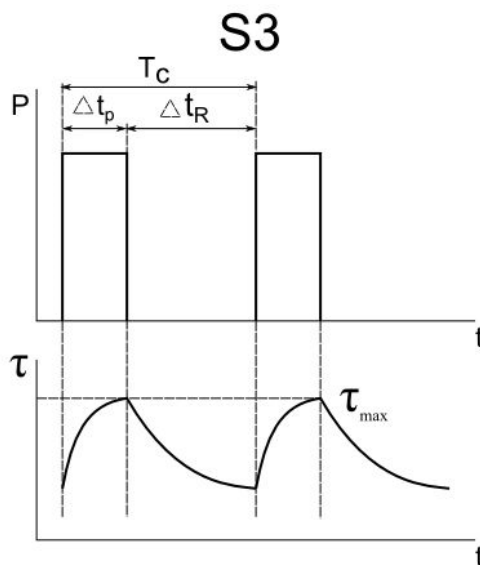
t je čas

Δt_p je prevádzkový čas pri konštantnom zaťažení

S3 prerušovaný chod

Sled rovnakých pracovných cyklov, z ktorých každý zahŕňa čas prevádzky pri konštantnom zaťažení a čas odpojenia a pokoja. Pri tomto priebehu zaťaženia je cyklus taký, že rozbehový

prúd neovplyvňuje významne oteplenie. Skratka je S3, po ktorej nasleduje zaťažovateľ. Napríklad S3 25 %.



Obrázok 36 Druh zaťaženia S3

kde

P je zaťaženie

τ_{max} je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

t je čas

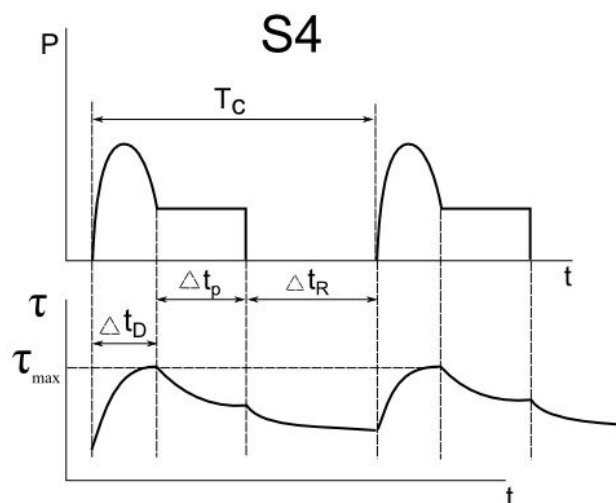
Δt_p je prevádzkový čas pri konštantnom zaťažení

Δt_R je čas odpojenia a pokoja

T_C je trvanie jedného záťažového cyklu

S4 – prerušovaný chod s rozbehom

Ide o sled rovnakých pracovných cyklov, z ktorých každý zahŕňa nezanedbateľný čas rozbehu, čas prevádzky pri konštantnom zaťažení a čas odpojenia a pokoja. Skratka je S4, po ktorej nasleduje zaťažovateľ, moment zotrvačnosti motora (J_M) a moment zotrvačnosti záťaže (J_{ext}) oba vzhľadom na hriadeľ motora. Príklad S4 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg.m}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kg.m}^2$.



Obrázok 37 Druh zaťaženia S4

kde

P je zaťaženie

$\tau_{\max}$ je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

t je čas

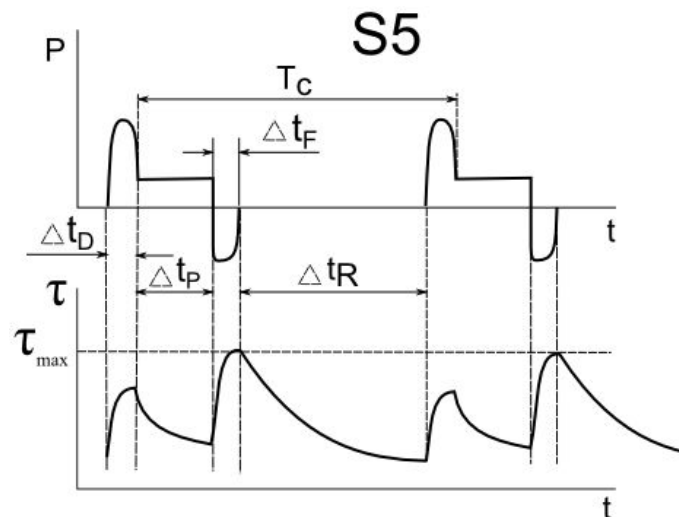
Δt_p je prevádzkový čas pri konštantnom zaťažení

Δt_R je čas odpojenia a pokoja

T_C je trvanie jedného záťažového cyklu

S5 – prerušovaný chod s elektrickým brzdéním

Ide o Sled rovnakých pracovných cyklov, z ktorých každý zahŕňa čas rozbehu, čas prevádzky pri konštantnom zaťažení, čas elektrického brzdzenia a čas odpojenia a pokoja. Skratka je S5, za ktorou nasleduje zaťažovateľ, moment zotrvačnosti motora (J_M) a moment zotrvačnosti záťaže (J_{ext}) oba sa vzťahujú vzhľadom na hriadeľ motora. Príklad S5 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg.m}^2$
 $J_{\text{ext}} = 0,7 \text{ kg.m}^2$



Obrázok 38 Druh zaťaženia S5

kde

P je zaťaženie

$\tau_{\max}$ je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

t je čas

Δt_p je prevádzkový čas pri konštantnom zaťažení

Δt_R je čas odpojenia a pokoja

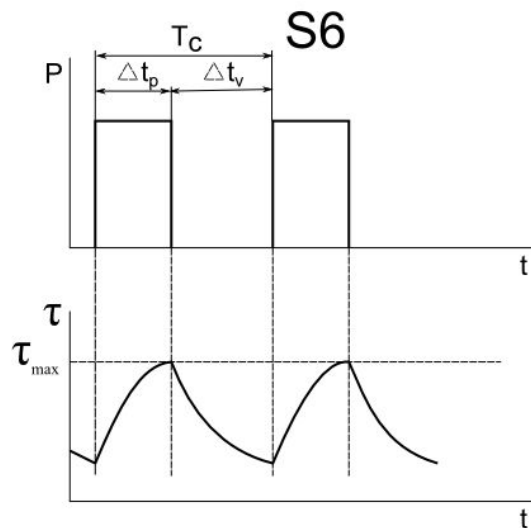
Δt_F čas elektrického brzdzenia

Δt_D čas rozbehu zrýchľovania

T_C je trvanie jedného záťažového cyklu

S6 – prerušované zaťaženie

Sled rovnakých pracovných cyklov, z ktorých každý zahŕňa čas prevádzky pri konštantnom zaťažení a čas chodu naprázdno. Cyklus neobsahuje čas odpojenia a pokoja. Skratka je S6, po ktorej nasleduje zaťažovateľ. Príklad S6 40 %



Obrázok 39 Druh zaťaženia S6

kde

P je zaťaženie

τ_{max} je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

t je čas

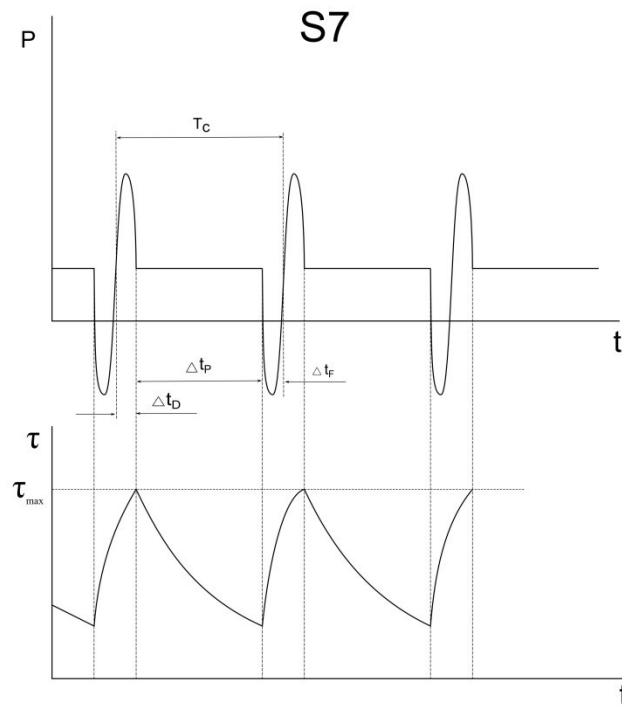
Δt_p je prevádzkový čas pri konštantnom zaťažení

Δt_v prevádzkový čas pri chode naprázdno

T_C je trvanie jedného záťažového cyklu

S7–prerušované zaťaženie s elektrickým brzdením

Sled rovnakých pracovných cyklov, z ktorých každý zahŕňa čas rozbehu, čas prevádzky pri konštantnom zaťažení a čas elektrického brzdzenia. Cyklus neobsahuje čas odpojenia a pokoja.



Obrázok 40 Druh zaťaženia S7

kde

P je zaťaženie

$\tau_{\max}$ je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

t je čas

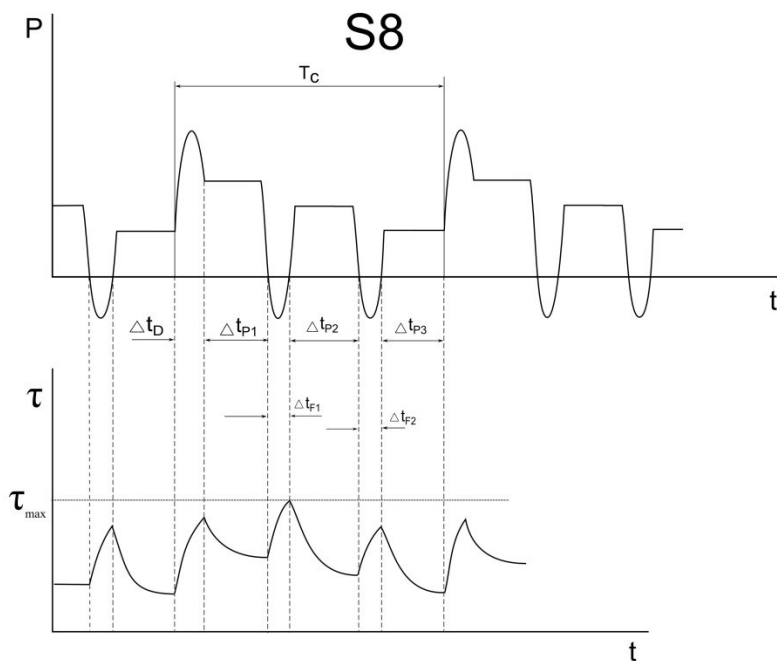
Δt_p je prevádzkový čas pri konštantnom zaťažení

ΔT_F čas elektrického brzdzenia

ΔT_D čas rozbehu/zrýchľovania

S8 – prerušované zaťaženie so zmenami otáčok spojenými so zmenami zaťaženia

Sled rovnakých pracovných cyklov, z ktorých každý zahŕňa čas prevádzky pri konštantnom zaťažení zodpovedajúcom vopred stanoveným otáčkam, po ktorých nasleduje jeden alebo viac cyklov prevádzky pri iných konštantných zaťaženiach zodpovedajúcich rôznym otáčkam (vykonaných napr. zmenou počtu pólov v prípade asynchrónnych motorov). Cyklus neobsahuje čas odpojenia a pokoja.



Obrázok 41 Druh zaťaženia S8

kde

P je zaťaženie

$\tau_{\max}$ je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

t je čas

Δt_p je prevádzkový čas pri konštantnom zaťažení (P_1, P_2, P_3)

Δt_v prevádzkový čas pri chode naprázdno

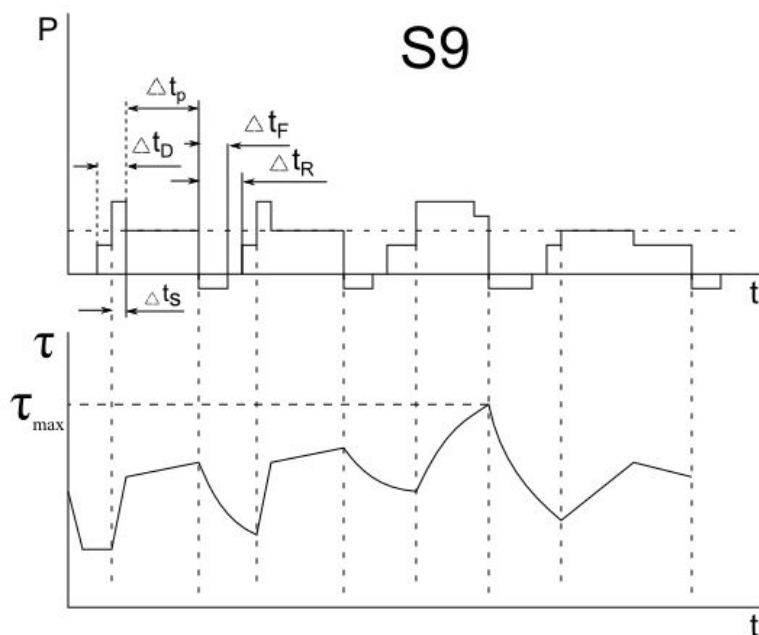
ΔT_F čas elektrického brzdenia (F_1, F_2)

ΔT_C trvanie jedného záťažového cyklu

ΔT_D čas rozbehu/zrýchľovania

S9 – nepravidelné zaťaženie a zmeny otáčok

Priebeh zaťaženia, pri ktorom sa všeobecné zaťaženie a otáčky menia nepravidelne v dovolenom pracovnom rozsahu. Tento priebeh zaťaženia zahŕňa časté preťaženia, ktoré môžu značne prekročiť referenčné zaťaženie.



Obrázok 42 Druh zaťaženia S9

kde

P je zaťaženie

τ_{max} je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

t je čas

Δt_p je prevádzkový čas pri konštantnom zaťažení

Δt_R čas pokoja a odpojenia

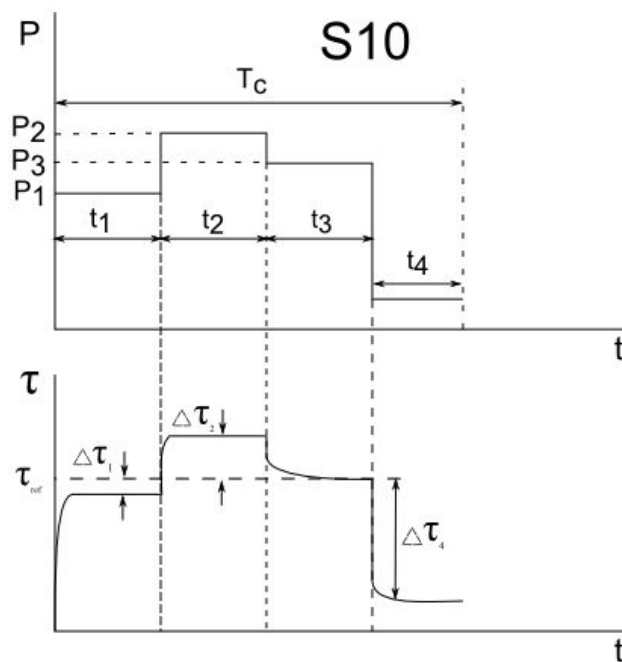
Δt_F čas elektrického brzdenia (F1, F2)

Δt_S čas preťaženia

Δt_D čas rozbehu/zrýchľovania

S10 – zaťaženie s nespojitými konštantnými zaťažzeniami a otáčkami

Priebeh zaťaženia zahŕňajúci presne určený počet nespojitých hodnôt zaťaženia (alebo ekvivalentné zaťaženie), pričom otáčky a každá kombinácia hodnoty zaťaženia pri daných otáčkach sa udržiava dostatočne dlho, aby stroj mohol dosiahnuť ustálenú teplotu. Minimálne zaťaženie v rámci cyklu môže mať nulovú hodnotu (chod naprázdno alebo odpojenie a pokoj).



Obrázok 43 Druh zaťaženia S10

kde

P je zaťaženie

$\tau_{\max}$ je maximálna dosiahnutá teplota

τ je teplota

t je čas

P_i konštantné zaťaženia počas zaťažovacieho cyklu

t_i čas konštantného zaťaženia počas zaťažovacieho cyklu

$\Delta\tau_i$ rozdiel medzi teplotou vinutia pri každom z rôznych zaťažení počas jedného cyklu a teplotou vychádzajúcou z druhu zaťaženia S1 s referenčným zaťažením

τ_{ref} teplota pri referenčnom zaťažení vychádzajúcom z druhu zaťaženia S1

6.2 Konštrukčná modifikácia

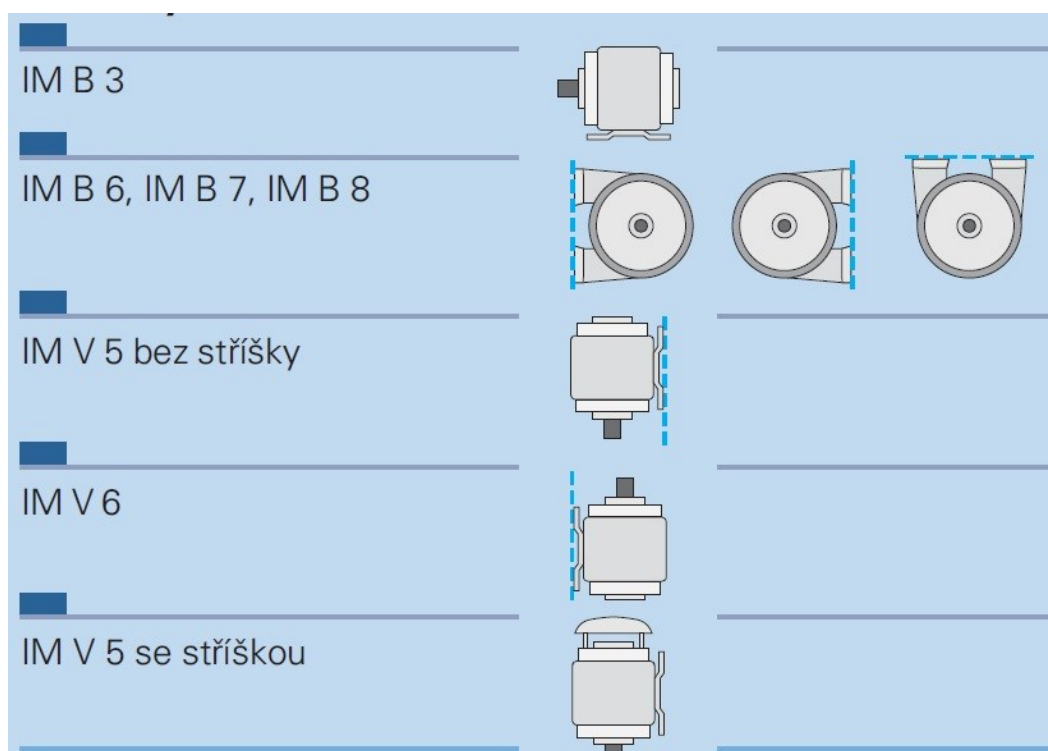
Motory sa vyrábajú v rôznych konštrukčných modifikáciách. Podľa konštrukčnej modifikácie závisia ďalšie okolnosti prevádzky elektromotora a síce ide o chladenie a krytie elektromotora.

Konštrukčná modifikácia je typizovaná s označením dvojicou písmen IM. Za týmto označením nasleduje medzera s písmenom respektíve číslou (jedna prípadne dve), ktoré bližšie charakterizujú konštrukčnú modifikáciu motora.

Pre malé a stredné motory sa spravidla používa spôsob označenia IM X0 alebo IM X00. Prvé písmeno, v našom zápise pomocou písmena X, predstavuje polohu hriadeľa elektromotora. Písmeno B označuje vodorovnú polohu hriadeľa elektromotora a písmeno V vertikálnu polohu hriadeľa.

Za písomným označením nasleduje jedna až dve číslice 0 alebo 00, pričom tieto rozlišujú spôsob uchytenia motora a môžu nadobúdať hodnotu 1 až 36.

Ich význam označujú: spôsob uchytenia motora (uchytenie pätkou, prírubou a pod.), polohu pre uchytenie (hore, dole, na strane hriadeľa). Príklady a význam jednotlivých označení je znázornený na obrázku 44.



Obrázok 44 Príklady označenia konštrukčných modifikácií elektromotorov (Katalóg firmy Siemens, 2005)

Označenie konštrukčnej modifikácie veľkých motorov používa nasledovný spôsob označenia. Za označením IM nasledujú bez medzery štyri číslice, ktorý môžu nadobúdať hodnotu od 0 po 9. Prvá číslica v poradí určuje celkovú konštrukčnú modifikáciu (ide o napríklad ložiskové štíty, kombináciu pätiiek na prichytenie elektromotora a pod.). Druhá číslica a tretia číslica v poradí spresňuje konštrukčné detaily. Ich význam závisí od prvej číslice. Tretia číslica vyjadruje o usporiadaní konca hriadeľa elektromotora.

6.3 Chladenie elektromotorov

Elektromotory počas svojej prevádzky vytvárajú teplo, ktoré je potrebné odvádzať do okolia. Ide o teplo ktoré vznikne trením pri prevádzke elektromotora, alebo o teplo, ktoré vzniká vo vodiči vplyvom prechodu elektrického prúdu.

Spôsob chladenia elektromotora je označované dvojicou písmen IC. Za touto dvojicou písmen nasleduje skupina alfanumerických znakov. Označovanie chladenia elektromotora môže byť v úplnej alebo skrátenej forma. V prípade úplnej formy za označením IC nasledujú tri číslice striedané dvoma písmenami IC0X0X0. Častejšie používanom skrátenom označení je vynechané prvé písmeno a posledná číslica, čiže IC00X. Význam jednotlivých znakov je nasledovný. Prvé číslo určuje spôsob usporiadania chladiaceho okruhu (vonkajšie chladenie, chladenie o vstupným alebo výstupným kanálom, povrchové chladenie s uzavretým obehom primárneho chladiva a pod.). Prvé písmeno a druhá číslica charakterizujú chladivo. Prvé písmeno určuje druh chladiva: vzduch, freon, oxid uhličitý, voda, olej a pod. Druhé číslo určuje spôsob pohonu chladiva. Napríklad: prirodzený obeh, otáčaním rotora, ventilátorom na hriadelí a pod. (Roubíček, 2004)

Druhé písmeno a tretia číslica majú rovnaký význam aké prvé písmeno s druhou číslicou v prípade, že ja na chladenie použité aj sekundárne chladivo.

6.4 Krytie elektromotorov

Krytie elektromotorov ako aj iných elektrických zariadení je štandardne označované nasledovne. Označenie krytie je pomocou dvoch písmen IP. Za písomným označením nasleduje po medzere dvojica alebo trojica číslic. V niektorých prípadoch označenie je doplnené jedným alebo dvoma písmenami. Čiže označenie môže byť IP 00, IP 000, IP 00XX alebo IP 000XX.

Číslo na prvej pozícii udáva stupeň ochrany pred vniknutím cudzieho telesa a stupeň ochrany pred dotykom nebezpečných častí. Význam jednotlivých číslic je nasledovný:

- | | |
|---|---|
| 0 | bez ochrany |
| 1 | ochrana pred vniknutím cudzieho telesa s najmenším priemerom 50 mm/ochrana pred dotykom nebezpečných častí chrbtom ruky |
| 2 | ochrana pred vniknutím cudzieho telesa s najmenším priemerom 12,5 mm/ochrana pred dotykom nebezpečných častí prstom |
| 3 | ochrana pred vniknutím cudzieho telesa s najmenším priemerom 2,5 mm/ochrana pred dotykom nebezpečných častí nástrojom |

- 4 ochrana pred vniknutím cudzieho telesa s najmenším priemerom 1 mm/ochrana pred dotykom nebezpečných častí drôtom
- 5 ochrana pred prachom/ochrana pred dotykom nebezpečných častí drôtom
- 6 prachotesné krytie/ochrana pred dotykom nebezpečných častí drôtom

Číslo na druhej pozícii určuje ochranu pred vniknutím vody. Význam jednotlivých číslíc je nasledovný:

- 0 bez ochrany
- 1 ochrana pred vniknutím vody kvapkajúcej zvislo
- 2 ochrana pred vniknutím vody kvapkajúcej so sklonom 15°
- 3 ochrana pred vniknutím vody pri kropepení (dážď) so sklonom do 60°
- 4 ochrana pred vniknutím vody striekajúcej z ľubovoľného smeru oproti krytu
- 5 ochrana pred vniknutím vody striekajúcej z trysiek z ľubovoľného smeru oproti krytu
- 6 ochrana pred vniknutím vody intenzívne striekajúcej z trysiek z ľubovoľného smeru oproti krytu
- 7 ochrana pred vniknutím vody pri dočasnom ponorení do vody (voda nesmie do stroja vniknúť v množstve vyvolávajúcom škodlivé účinky)
- 8 ochrana pred vniknutím vody pri trvalom ponorení do vody

Číslo na tretej pozícii určuje odolnosť elektrického zariadenia proti nárazu. Náraz je vyjadrený ako energia pri náraze v Jouloch.

- 0 bez ochrany
- 1 energia pri náraze 0,025 J
- 2 energia pri náraze 0,375 J
- 3 energia pri náraze 0,5 J
- 5 energia pri náraze 2 J
- 7 energia pri náraze 6 J
- 9 energia pri náraze 20 J

Písmeno na prvej pozícii spresňuje stupeň ochrany osôb nasledovne:

- A ochrana pred dotykom chrbtom ruky (guľa s priemerom 50 mm)
- B ochrana pred dotykom prstom (článkový prst s priemerom 12 mm a dĺžkou 100 mm)
- C ochrana pred dotykom nástrojom (tyč s priemerom 2,5 mm a dĺžky 100 mm)

D ochrana pred dotykom drôtom (tyč s priemerom 1 mm dĺžky 100 mm)

Písmeno na druhej pozícii poskytuje doplnkovú informáciu nasledovne:

H zariadenie vysokého napätia

M skúšané škodlivé účinky vody pri jej vniknutí do stroja za pohybu pohyblivých častí

S skúšané škodlivé účinky vody pri jej vniknutí do stroja ktorý bol v pokoji (bez pohybu pohyblivých častí)

W pri krytí boli použité dodatočné ochranné vlastnosti alebo metódy. (Roubíček, 2004)

7 ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

BÁNESZ, G. – LUKÁČOV, D.: Vybrané kapitoly z technickej mechaniky – statika. Nitra: UKF, 2008 ISBN 978-80-8094-299-1

BARTSCH, H.: *Matematické vzorce*. Praha: SNTL, 1987

CINA, M. - VILMON, V. - TOMKOVÁ, V. - BÁNESZ, G.: *Princípy a systémy v technike 2. časť*. Nitra: PF UKF, 1998. ISBN 80-88-738-12-1

CINA, M. - VILMON, V. - TOMKOVÁ, V.: *Princípy a systémy v technike 1. časť*. Nitra: PF VŠPg., 1993. ISBN 80-88-738-12-1

ČIČMANEC, P.: *Všeobecná fyzika 2 : Elektrina a magnetizmus* Bratislava : Alfa, 1980. – 565 s.

HOSENDL, S. – KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojího inženýra*. Praha: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3

Jednotky, informačný web o meraní a jednotkách nielen pre žiakov, 2008. Citované: [31-03-2015] Dostupné na internete:

<http://www.jednotky.sk/category/metricke_jednotky/geometria/dlзка/>

Katalóg firmy Simens – nízkonapätové motory, 2005. Citované: [28-03-2015] Dostupné na internete < <http://www.prumyslovydum.cz/img/katalogy/mo/motory1LA7.pdf>>

Katedra teoretickej fyziky a didaktiky fyziky UK Bratislava, 2013. Citované [31-03-2015] Dostupné na internete

<http://www.ddp.fmph.uniba.sk/~koubek/UT_html/G3/kap4/gym3_4.htm>

KREMPASKÝ, J.: *Fyzika*. Bratislava: Alfa, 1992

KŮS, V.: *Elektrické pohony a výkonová elektronika* Plzeň : Západočeská univerzita, 2006. - 180 s. ; 21 cm. - ISBN 80-7043-422-8.

Nabla, 2013. Citované[31-03-2015] Dostupné na internete <<http://www.nabla.cz/obsah/fyzika/mechanika/obloukova-mira-radian.php>>

NOVÁK, Š. a kol.: *Teória mechanizmov a častí strojov*. Praha: Příroda, 1991. ISBN 80-07-00426-2

PIŠŮT, J. a kol. *Fyzika pro IV. ročník gymnázií*. 1. vyd. Praha: SPN, 1987

ROUBÍČEK, O.: *Elektrické motory a pohony*. Praha: BEN Technická literatura, 2004 ISBN 80-7300-092-X

SOPo, 2014. Citované: [31-03-2015] Dostupné na internete < <http://www.sopo.cz/produkty-sluzby/fotogalerie>>]

TESÁR, M.: *Synchrónne motory*. Posterus, 2009. [citované: 29. 11. 2013] ISSN 1338-0087.
Dostupné na internete: <http://www.posterus.sk/?p=2676>

The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty, 2000. Citované: [31-03-2015]
Dostupné na internete <http://www.physics.nist.gov/cuu/Units/kilogram.html>

Trigonometrijske funkcije. Dostupné na internete:
http://www2.arnes.si/~mpavle1/mp/trigo_f.html

VEIS, Š. – MAĎAR, J. – MARTIŠOVIČ, V.: *Všeobecná fyzika I*. Bratislava: Alfa, 1978

ZELENÝ, J.: *Stavba strojů strojní součásti*. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-311-0

BÁNESZ, G. - LUKÁČOVÁ, D.: *Vybrané kapitoly z technickej mechaniky – statika*. Nitra: Univerzita Konštantína Filozofa, 2008. 88 s. ISBN 978-80-8094-299-1.

DILINGER a kol.: *Modrní strojírenství pro školu a praxi*. Praha: Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1

FLAJTINGR, J. - KULE, L.: *Elektrické pohony se střídavými motory a polovodičovými měniči*. ZČU v Plzni 2002. ISBN 80-7082-919-2.

IZAKOVIČ, J.: *Elektrotechnika*. Nitra: SPU, 2001. ISBN 80-865-40-0.

LUKÁČOVÁ, D. – BÁNESZ, G. *Vybrané kapitoly z matematiky*. Nitra: Univerzita Konštantína Filozofa, 2008. 87 s. ISBN 978-80-8094-298-4.

MRAVEC, I. : *Elektrické stroje a přístroje*. Bratislava : SNTL , 1982.

PETRÍK, J. a kol.: *Strojníctvo I*. Bratislava: Pedagogika, 2003. ISBN80-89003-42-7

STN EN 60034-1

VEIS, MAĎAR, MARTIŠOVIČ: *Všeobecná fyzika I. Mechanika a molekulová fyzika*. Bratislava: Alfa, 1978

Vyhláška č. 206 Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky zo 16. j úna 2000 o zákonných meracích jednotkách

Vyhláška Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky z 11. decembra 2009, ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky č. 206/2000 Z. z. o zákonných meracích jednotkách

Walter Fendt, 2014 [Citované: 31-03-2015] Dostupné na internete: <<http://www.walter-fendt.de/>>

Zákon č. 142 zo 17. marca 2000 o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

ZELENÝ, J.: *Stavba strojů, strojní součásti*. Praha: Computer press, 2000. ISBN80-7226-311-0

Pohony strojov - elektromotory

Autor: doc. PaedDr. Gabriel Bánesz, PhD.

Editor: doc. PaedDr. Gabriel Bánesz, PhD.

Vydavateľ: Pedagogická fakulta UKF v Nitre

Rok vydania: 2015

Rozsah: 67 strán, 3,1 AH

Náklad: 80 ks

Tlač: elektronické učebné texty

ISBN 978-80-558-0821-5

EAN 9788055808215