

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Stejnoseměrný stroj**

**vedoucí práce: Ing. Jiří Srb**

**2013**

**autor: Kateřina Hulcová**

**Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na popis principu a funkce stejnosměrného stroje. Dále se práce zabývá měřením zatěžovací a momentové charakteristiky stejnosměrného motoru s cizím buzením. V práci je provedeno také určení jeho účinnosti.

**Klíčová slova**

Stejnoseměrný stroj, asynchronní motor, synchronní motor, generátor, zatěžovací charakteristiky, generátor

**Anotation**

This bachelors thesis is focused on description and function of direct-current motor. In this thesis we find measurement of moment characteristics and effectivity of direct-current motor with separate excitation. In the final chapter there are presented results of this measurement.

**Key Words**

Direct-current motor, asynchronous motor, synchronous motor, generator, load characteristics.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce je legální.

V Plzni dne 29.5.2013

Jméno a příjmení

.....

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Srbovi, za odborné vedení při vypracování této bakalářské práce. Rovněž bych chtěla poděkovat Ing. Petrovi Řezáčkovi za vstřícnost a pomoc při získání potřebných informací.

## Obsah

ÚVOD .....	7
<b>HISTORIE STEJNOSMĚRNÉHO STROJE.....</b>	<b>9</b>
<b>1 STEJNOSMĚRNÉ STROJE .....</b>	<b>10</b>
1.1 KONSTRUKČNÍ USPOŘADÁNÍ.....	10
1.2 PRINCIP A ČINNOST STEJNOSMĚRNÉHO STROJE .....	12
1.3 PRAVIDLO LEVÉ RUKY .....	13
1.4 INDUKOVANÉ NAPĚTÍ A TOČIVÝ MOMENT.....	14
1.5 PRINCIP KOMUTÁTORU .....	15
1.6 KOMUTACE.....	16
1.7 REAKCE KOTVY .....	18
<b>2 ROZDĚLENÍ STEJNOSMĚRNÝCH STROJŮ .....</b>	<b>19</b>
2.1 STROJE S CIZÍM BUZENÍM.....	19
2.2 STROJE S DERIVAČNÍM BUZENÍM .....	21
2.3 STROJE SE SÉRIOVÝM BUZENÍM .....	21
2.4 STROJE S KOMPAUNDNÍM (SMÍŠENÝM) BUZENÍM .....	23
<b>3 VINUTÍ STEJNOSMĚRNÝCH STROJŮ.....</b>	<b>25</b>
3.1 VINUTÍ JÁDROVÉ (KONCENTROVANÉ).....	25
3.2 VINUTÍ ROZLOŽENÉ .....	25
<b>4 ŘÍZENÍ RYCHLOSTI A ŘÍZENÍ OTÁČEK STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU .....</b>	<b>26</b>
4.1 ŘÍZENÍ RYCHLOSTI.....	26
4.2 ŘÍZENÍ OTÁČEK STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU S CIZÍM BUZENÍM.....	26
4.3 ŘÍZENÍ OTÁČEK STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU SE SÉRIOVÝM BUZENÍM .....	26
<b>5 BRZDĚNÍ STEJNOSMĚRNÝCH MOTORŮ .....</b>	<b>27</b>
5.1 BRZDĚNÍ DO ODPORU:.....	27
5.2 BRZDĚNÍ PROTIPROUDEM.....	28
5.3 BRZDĚNÍ REKUPERACÍ .....	29
<b>6 LEONARDOVA SKUPINA.....</b>	<b>30</b>
<b>7 OSTATNÍ POHONY .....</b>	<b>31</b>
7.1 ASYNCHRONNÍ MOTOR .....	31
7.2 SYNCHRONNÍ MOTOR.....	31
<b>8 LABORATORNÍ MĚŘENÍ.....</b>	<b>33</b>
8.1 MĚŘENÍ STEJNOSMĚRNÉHO STROJE.....	33
<b>9 ZÁVĚR .....</b>	<b>37</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>38</b>

## Úvod

Stejnoseměrný stroj je nejstarší točivý elektrický stroj. Stejnoseměrné stroje se v současnosti používají jako motory v regulačních pohonech nebo v elektrické trakci. V porovnání s asynchronními motory jsou stejnoseměrné stroje konstrukčně složitější, mají nákladnější údržbu a vysoké náklady na samotnou výrobu stroje.

Bakalářská práce je rozdělená na dvě části. První část je teoretická a rozdělená do osmi kapitol. V první kapitole je popsána historie stejnoseměrného stroje. Druhá kapitola pojednává o konstrukčním uspořádání stejnoseměrného motoru a principu jeho činnosti. Dále je uvedeno, jak se vytváří indukované napětí, okrajově se práce zabývá komutací stejnoseměrného stroje a vlivem reakce kotvy na magnetické pole ve vzduchové mezeře. Třetí kapitola je zaměřena na rozdělení stejnoseměrných strojů, které se rozlišují podle funkce na dynama a motory. Čtvrtá kapitola je věnována vinutí stejnoseměrných strojů. Pátá kapitola popisuje různé způsoby brzdění stejnoseměrných motorů. Šestá kapitola se zabývá Ward Leonardovou skupinou a v sedmé kapitole jsou uvedeny různé způsoby řízení otáček a rychlosti stejnoseměrného stroje. V osmé kapitole jsou porovnány stejnoseměrné motory s jinými pohony.

Ve druhé, praktické části, bakalářské práce se zabýváme vlastním měřením statických charakteristik. Jejím obsahem je zapojení stroje, měření momentové charakteristiky stejnoseměrného motoru s cizím buzením, a také výpočty. Naměřené hodnoty jsou uvedené v tabulkách a v grafech vidíme výsledné charakteristiky.

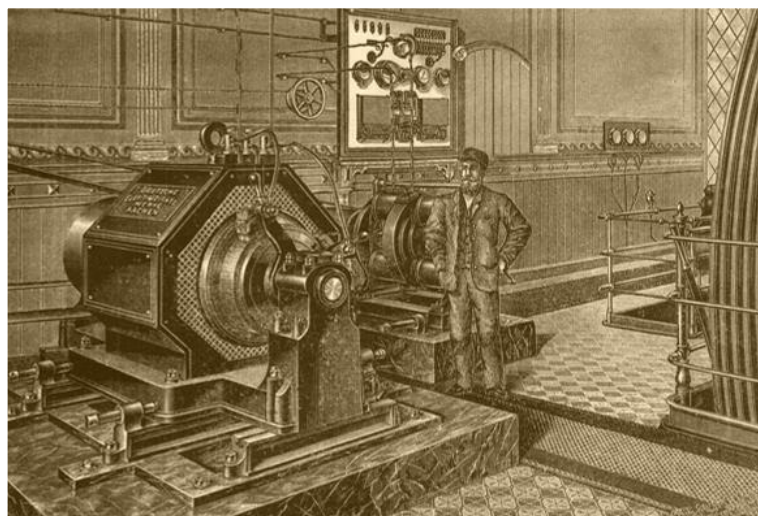
## Seznam symbolů

U	-	Napětí [V]
P	-	Činný výkon [W nebo kW]
N	-	( $n_{\min}$ - $n_{\max}$ ) točivá rychlost ( rozsah otáček)
Z	-	Počer závitů v jedné cívce
R	-	Odpor [W]
I	-	Elektrický proud [A]
$I_a$	-	Proud v obvodu kotvy [A]
$U_i$	-	Indukované napětí [V]
C	-	Kapacita [F]
$\Phi$	-	Budící magnetický tok [Wb]
M	-	Moment motoru [N.m]
$U_{tg}$	-	Napětí tachodynamu
$U_{il}$	-	Je indukované napětí v jednom vodiči [V]
l	-	Aktivní délka vodiče [m]
v	-	Obvodová rychlost vodiče [ $m \cdot s^{-1}$ ]
B	-	Magnetická indukce [T]
f	-	Kmitočet [Hz]
n	-	Otáčky [ $ot. \min^{-1}$ ]
L	-	Indukčnost, induktivita [H]
$\omega$	-	Mechanická uhlová rychlost [ $rad. s^{-1}$ ]
$M_i$	-	Maximální točivý moment [N.m]
$M_z$	-	Zatěžovací moment [N.m]
$F_1$	-	Působící síla v magnetickém poli
$I_b$	-	Budící proud
p	-	Počer pólů
f	-	Frekvence
MW		Megawatt
DC		Stejnosemřný motor



## Historie stejnosměrného stroje

Jako první v historii v roce 1831 předvedl Britský fyzik Michael Faraday (1791 – 1867) na přednášce Královské společnosti v Londýně princip dynama, což byl první elektrický točivý stejnosměrný stroj. Postupem času se zjistilo, že to byl jeden z nejvýznamnějších objevů 19. století. Tyto stejnosměrné točivé stroje se prokázaly být velice dobrým pomocníkem v domácnosti, v práci tak i v dopravě. Stejnoseměrný stroj byl využíván jako zdroj elektrické energie – dynama i jako motory při přeměně elektrické energie na mechanickou energii. V současné době se stejnosměrné motory používají především v elektrických regulovaných pohonech u obráběcích a těžních strojů nebo pro pohon válcovacích stolic. Stejnoseměrné stroje se využívají především pro svoje dobré regulační a dynamické vlastnosti, protože jsou rozměrově a hmotnostně daleko kompaktnější než střídavé motory stejného výkonu. Stejnoseměrný stroj sériový má velký rozběhový moment. Jejich provedení nám dovoluje stupňovité řízení. Stejnoseměrný motor potřebuje pro svůj provoz kluzné kontakty mezi komutátorem a kartáči, což velice omezuje jejich oblast použití a zapříčiňuje elektromagnetické rušení a poruchy. Nevýhodou je jejich vysoká cena, zvyšovaná ještě cenou napájecího systému. Jejich výkony se pohybují od několika wattů asi do 5MW, kde leží současná horní výkonová hranice. Stejnoseměrné stroje se liší od střídavých strojů komutátorem. Je to mechanický střídač, který zajišťuje vždy správnou polaritu proudu ve vodičích kotvy pro získání maximálního momentu. Zde působí dvě magnetická napětí, jako u jiných strojů. [1], [3], [6]

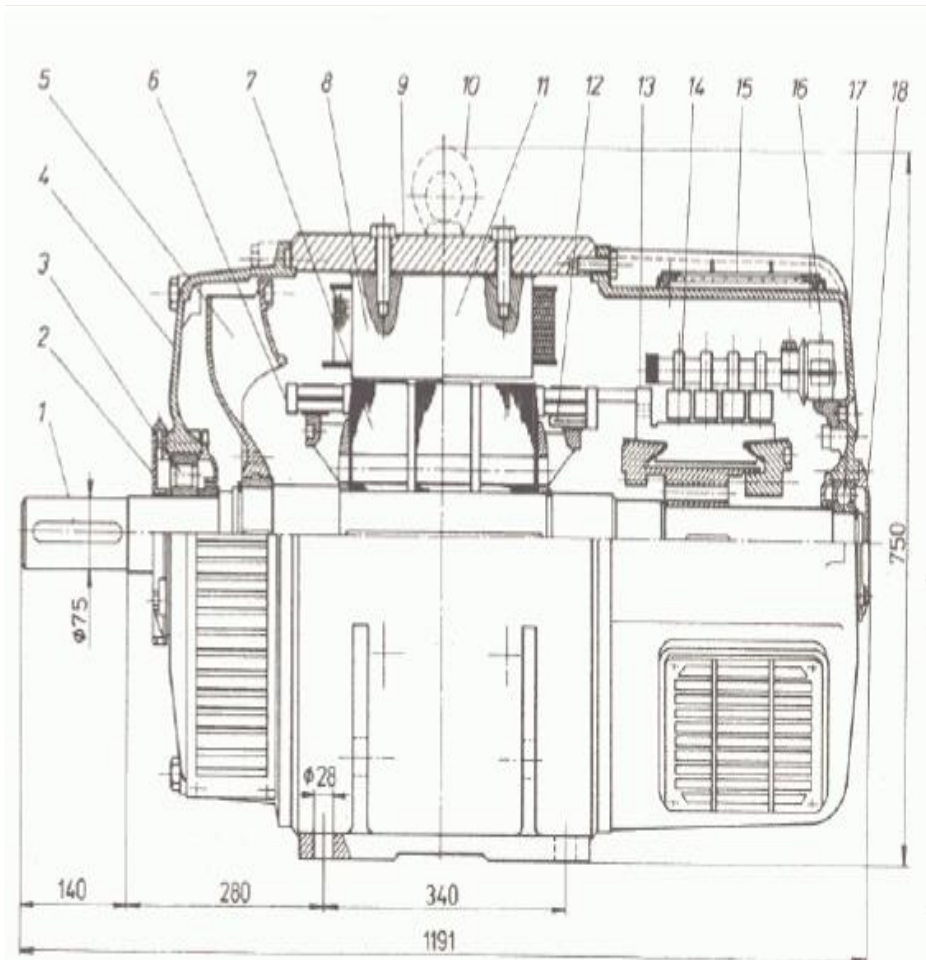


Obrázek 1 - historické dynamo [1]

# 1 Stejnoseměrné stroje

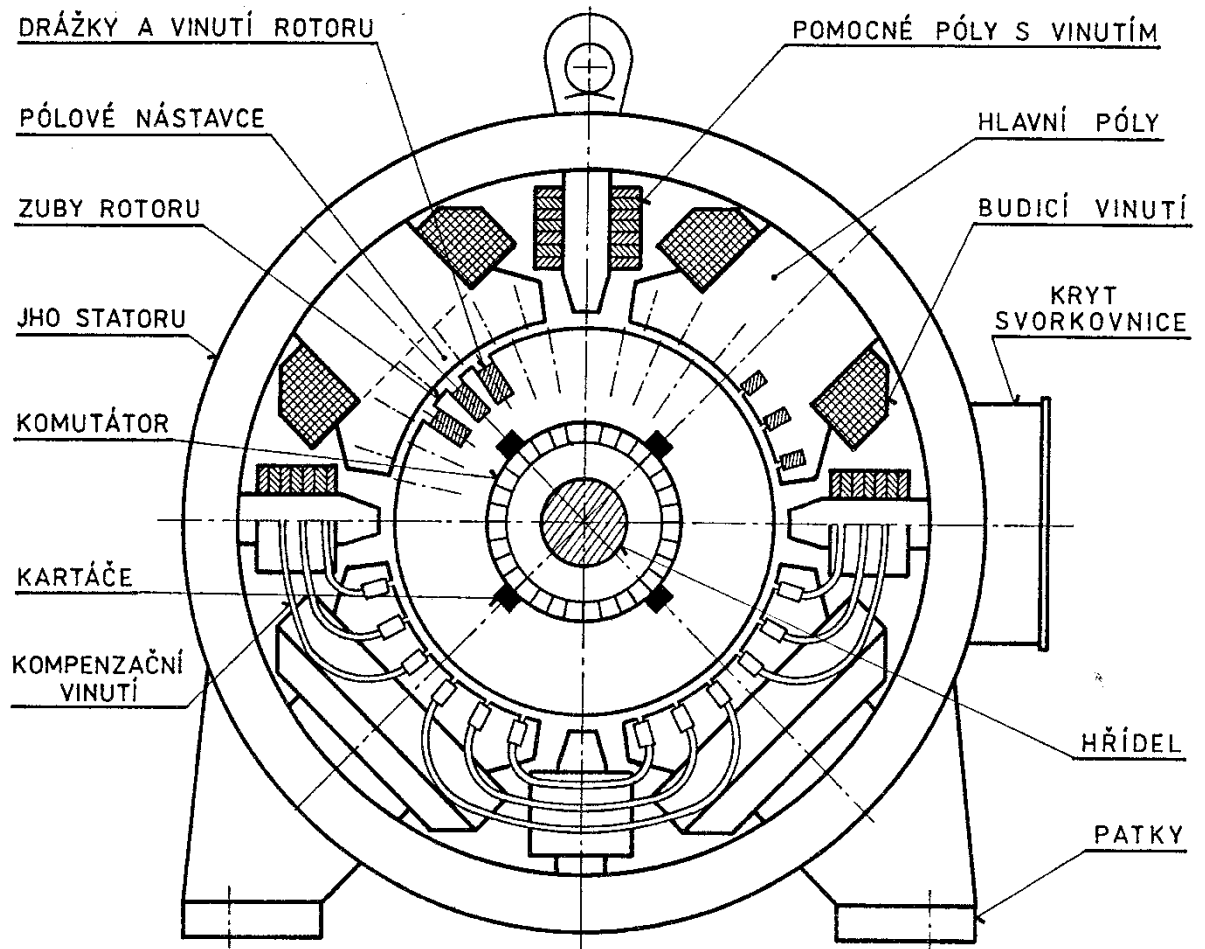
## 1.1 Konstrukční uspořádání

Stejnoseměrný stroj je točivý stroj napájený stejnoseměrným proudem, který se skládá ze statoru a rotoru, na kartáče je však připojen zdroj stejnoseměrného napětí. Konstrukce stejnoseměrného motoru je stejná jako u stejnoseměrných generátorů. Stator je vnější nepohyblivá část motoru tvořená z ocelového prstence, na kterém jsou umístěny hlavní póly s budicím vinutím, buzené stejnoseměrným proudem nebo permanentními magnety. Pomocné póly jsou umístěné mezi hlavními póly pro zlepšení komutačních vlastností motoru. Na jádrech hlavních pólů jsou nasazeny cívky budicího vinutí, které jsou napájeny stejnoseměrným proudem. Polarita hlavních pólů se střídá po obvodu statoru, takže za severním pólem následuje vždy jižní pól, potom severní a opět jižní. Rotor je vnitřní pohyblivá část motoru, která se otáčí vlivem elektromagnetických jevů, způsobených buzením motorů. Rotor se skládá z tenkých izolovaných plechů s příměsí křemíků. V jejichž drážkách je uloženo vinutí kotvy, kde se indukují střídavé elektrické napětí a na komutátoru usměrňuje se odpovídající elektrický proud. Začátky a konce cívek rotorového vinutí jsou zapájeny do lamel komutátoru. Po lamelách komutátoru kloužou sběrné uhlíkové kartáče umístěné ve speciálních držácích, jimiž se přivádí proud do vinutí kotvy. Na hřídeli stroje v upevněných plechách je v drážkách umístěno stejnoseměrné vinutí. Komutátor s magnetickým obvodem je nasazený na hřídeli stroje. [9], [10]



Obrázek 2 - Stejnoseměrný stroj [2]

1 – hřídel, 2 – víčko ložiska s maznicí, 3 – válečkové ložisko, 4 - ložiskový štít zadní, 5 – radiální ventilátor, 6 – vinutí kotvy, 7 – rotorový svazek, 8 – hlavní pól s vinutím, 9 – jho statoru (kostra), 10 – závěsný šroub, 11 – pomocný pól s vinutím, 12 – vyrovnávací spojky, 13 – komutátor, 14 – kartáčové držáky, 15 – ložiskový štít přední s otvory krvými žaluziemi.



Obrázek 3 Konstrukce stejnosměrného stroje [11]

## 1.2 Princip a činnost stejnosměrného stroje

Princip a činnost stroje je založena na principu elektromagnetické indukce. Stejnosemny stroje mohou pracovat též jako generátory, které přeměňují mechanickou energii na elektrickou. Motory přeměňují naopak elektrickou energii na mechanickou. Svazek dvou vodičů tvořící vinutí kotvy otáčející se v magnetickém poli, které bylo vytvořeno pomocí dvojice hlavních pólů. Magnetické pole je vytvořeno vlivem napájení. Má-li stroj pracovat jako motor, je třeba připojit ke kartáčům zdroj stejnosměrného napětí. Změní se tím směr proudu ve vodičích kotvy. Na vodiče, kterými prochází proud a které se nacházejí v magnetickém poli působí síla. Velikost je dána vztahem

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

Vliv komutátoru způsobí změnu směru proudu v obou vodičích a tím dojde ke změně orientaci síly, která působí na vodič. Závít je připojen ke dvěma lamelám komutátoru, které

jsou navzájem izolovány a otáčejí se společně s rotorem. Na komutátor dosedají dva vodivé kartáče, které jsou umístěny do „neutrální osy“, tj. do geometrické osy mezi dvěma sousedními hlavními póly. Na obrázku č. 5 je zobrazen průběh vodiče – napětí. Vodič protékáný proudem - pravidlo levé ruky – siločáry do dlaně; prsty směr proudu; palec – směr působící síly. [6], [10]

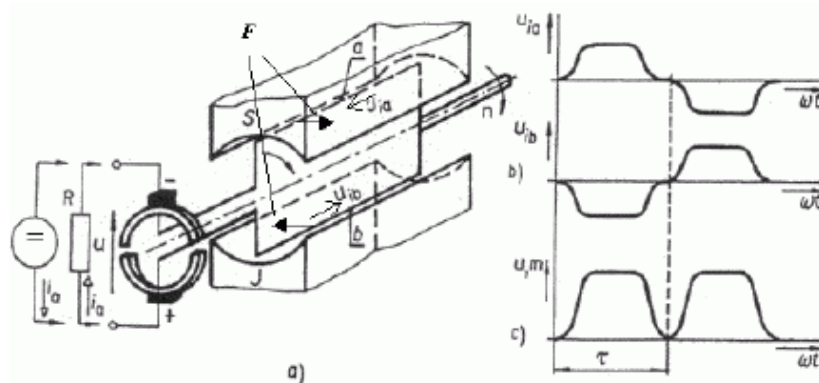
Základní vztahy:

$$U_i = C\Phi\omega$$

$$M_H = C\Phi I$$

$$U(t) = R_i(t) + L \frac{di(t)}{dt} + U_i$$

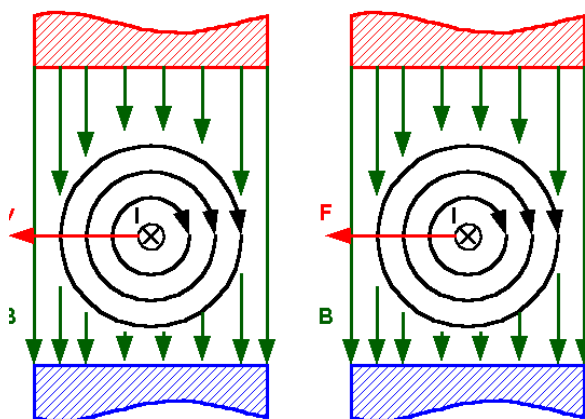
$$M_H = J \frac{d\omega(t)}{dt} + M_Z$$



Obrázek 4 Princip a činnost stejnosměrného stroje a) rotující v homogenním magnetickém poli b) průběh indukovaného napětí na komutátoru [10]

### 1.3 Pravidlo levé ruky

Položíme-li otevřenou levou ruku k přímému vodiči tak, aby prsty ukazovaly (dohodnutý) směr proudu a indukční čáry vstupovaly do dlaně, ukazuje odtažený palec směr síly, kterou působí magnetické pole na vodič s proudem. [15]



Obrázek 5  
Princip funkce stejnosměrného stroje [11]  
Pohyb vodiče – napětí.  
Vodič protékáný proudem – síla.  
Pravidlo levé ruky – siločáry do dlaně; prsty směr proudu; palec – směr působící síly

## 1.4 Indukované napětí a točivý moment

Indukované napětí je součtem napětí, které se indukuje v jednom vodiči kotvy. Ve všech cívkách jsou napětí stejná, protože všechna postupně projdou celým magnetickým polem stroje. Pro vodič aktivní délky  $l$  pohybující se v magnetickém poli indukce  $B$ , rychlostí  $v$  platí

$$U_i = B \cdot l \cdot v$$

U elektrických strojů se uvádí tok jednoho pólu  $\Phi$ , namísto indukce ve vzduchové mezeře a otáčky  $n$ , namísto obvodové rychlosti. Indukované napětí celého stroje je

$$U_i \approx \Phi \cdot n$$

Celkové indukované napětí bude úměrné i velikosti  $U_{i1}$  jednoho vodiče. Pro celkové indukované napětí stroje

$$U_i = C_U \cdot \Phi \cdot n$$

Konstanta  $C_U$  závisí pouze na uspořádání konkrétního stroje. Točivý moment: závit je tvořen dvěma aktivními vodiči na průměru  $D$ , kterými protékají stejné proudy opačnými směry. Vznikají tak dvě síly velikosti  $F_1$ , které vytvoří moment

$$M_1 = F_1 \cdot D$$

Na vodič aktivní délky  $l$ , kterým protéká proud  $I_1$ , působí v magnetickém poli o indukci  $B$  síla

$$F_1 = B \cdot I_1 \cdot l$$

Opět platí  $\Phi \approx B$ , že celkem proud stroje  $I \approx I_1$ , vodiče jsou spojeny do několika paralelních větví, a výsledný moment stroje je dán součtem momentů jednotlivých závitů, můžeme psát úměrnost

$$M \approx \Phi \cdot I$$

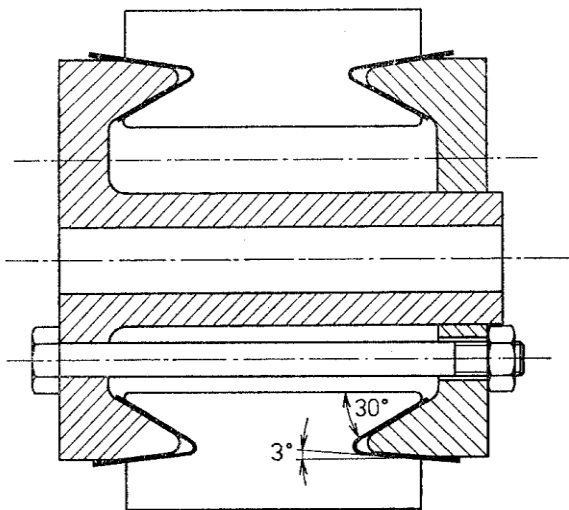
nebo výsledný vztah

$$M = C_M \cdot \Phi \cdot I$$

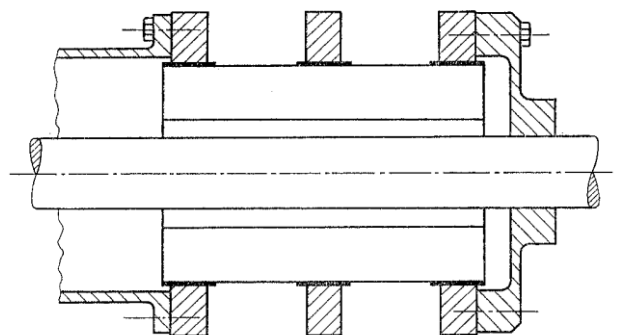
Konstanta  $C_M$  opět závisí na uspořádání konkrétního stroje. [10]

## 1.5 Princip komutátoru

Komutátor se používá pro napájení vinutí kotvy převážně u stejnosměrných rotačních strojů. Otáčením rotoru dochází na lamelách k přepínání směru proudu jednotlivých rotorových cívek, tak aby byla napájena cívka vždy u aktivního pólu. Cívka se aktivuje před polem s opačnou polaritou a je tedy pólovým nastavcem přitahována. Za jeho osou dojde k přepnutí a přepólování této cívky na stejnou polaritu, tím je cívka již odpuzována tak, aby byla dosažena co největší účinnost stroje. Elektrický proud se do motoru přivádí, nebo se z něj odvádí přes kartáče komutátoru. Kartáče jsou vyrobeny z elektrouhlíku, aby dobře vedly elektrický proud, a přiléhají přímo na lamely točícího se komutátoru. Kartáče jsou připojeny k pevné části motoru a komutátor se otáčí, tím dochází k postupnému přepojování jednotlivých lamel. Komutátor tak plní funkci usměrňovače a střídavé napětí indukované v rotoru převádí na stejnosměrné napětí. Komutátor se skládá z několika navzájem izolovaných lamel, na které přiléhá dvojice kartáčů. Čím víc má komutátor lamel, tím je výstupní stejnosměrné napětí méně zvlněné. Komutátorové stroje mají nižší životnost, protože kartáče i komutátor se vlivem tření a jiskření rychle opotřebovávají a obrušují. [7], [8]



Obrázek 6 Rybinový komutátor [11]

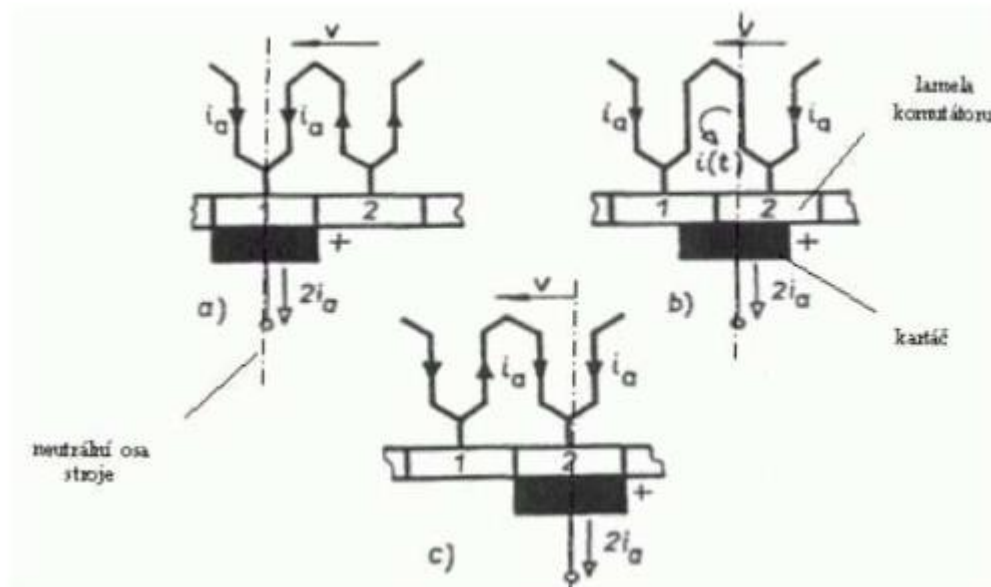


Obrázek 7 Zděřový komutátor [11]

## 1.6 Komutace

Komutací nazýváme proces, kdy v cívce vinutí kotvy dochází ke změně směru proudu za pomoci kartáčů. Průběh komutace se vysvětlí na ideálním vinutí, tedy takovém vinutí, které má nulový odpor a nulovou indukčnost. Přebíhá-li kartáč z jedné lamely na druhou, cívka se spojí s těmito lamelami dočasně nakrátko a v době komutace  $t_k$  dochází ke změně směru proudu v této cívce. Kartáče musí být nastaveny v neutrálních osách, aby nedocházelo ke komutaci, když je na cívkách napětí. Po skončení komutace leží kartáč na druhé lamelě a začne protékat cívkou stejný proud jako na začátku komutace. Během komutace se indukuje napětí do komutující cívky, které vzniklo pohybem cívky v magnetickém poli a napětí indukované časovou změnou proudu v komutující cívce. Pokud se bude měnit poloha magnetické neutrály při zatížení stroje vlivem reakce kotvy, bude se komutující cívka nacházet v magnetickém poli s nenulovou indukčí, a tím se do cívky začne indukovat napětí. Vlivem indukčnosti cívky dochází k samotnému zpoždění komutace před ukončením komutace. Bude se indukovat reaktanční napětí do cívky, které zapříčiní vznik elektrického oblouku mezi odbíhající lamelou a kartáčem (ohřívání kartáčů), a tím se snižuje životnost sběracího ústrojí. Pro zlepšení komutace a omezení jiskření na komutátoru se používají pomocné póly umístěné mezi póly hlavní, nebo kompenzační vinutí, které je uloženo v pólových návstavech hlavních pólů. Komutace je dokonalá u každého stejnosměrného stroje pracujícího naprázdno, jsou-li kartáče umístěny v magnetické neutrální ose. Při zatížení se neutrální osa posune vlivem reakce kotvy ve směru točení o úhel  $\gamma$ . Posunutí kartáčů o další úhel  $\beta$  se komutující cívka dostane do vlivu sousedního pólu s příslušnou indukčí napětí. Pro natáčení kartáčů musí mít stejnosměrný stroj zvláštní konstrukční úpravu. Natáčení kartáčů je jednoduché, ale má nevýhody. Je vhodné jen stejnosměrný stroj pracující s málo proměnnou zátěží, protože není možné stále přestavovat kartáče. Při větším natočení kartáčů se výsledný magnetický tok reakce kotvy také natočí a zjistíme, že obsahuje složku podélnou a příčnou. Podélná složka působí zmenšení hlavního magnetického toku a zmenšení indukovaného napětí. Do mezery mezi hlavní póly se vkládají pomocné póly. Jejich budící vinutí je zapojeno do série s vinutím kotvy. Magnetický tok pomocných pólů směřuje proti toku reakce kotvy a potlačuje se reakce kotvy v prostoru pomocných pólů. Komutaci ovlivňuje stav povrchu komutátoru. Povrch musí být hladký a dokonale válcový, pokrytý přirozeným filmem z kysličníků mědi. Povrch nesmí narušit vlhkost vzduchu ani chemické vlivy. Stroj se dále za chodu nesmí chvět. [6]





Obrázek 8 Komutace jedné cívky  
 a) proud protéká cívkou jedním směrem  
 b) lamely jsou zkratovány, proud cívkou neprotéká  
 c) proud protéká cívkou opačným směrem [16]

#### Zdroje jiskření - mechanické:

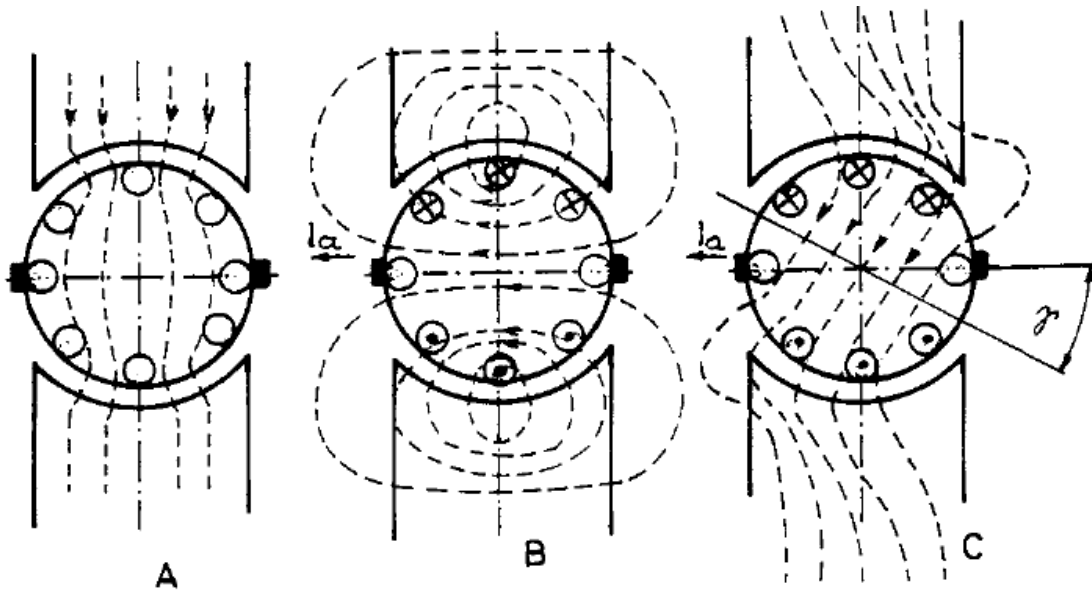
1. Vyčnívající izolace mezi lamelami
2. Vychýlené kartáče držáku
3. Vibrace kartáče
4. Nesprávný tlak na kartáče
5. Chvění stroje
6. Nevhodná tvrdost kartáčů

#### Zdroje jiskření - elektrické:

vlivem napětí, které se indukuje v komutující cívce, nebo nevhodná kvalita kartáčů

## 1.7 Reakce kotvy

V zatíženém stejnosměrném stroji neexistuje jenom magnetické pole budícího vinutí, ale také pole kotvy, které vytváří soustava vodičů kotvy a jimi prochází elektrický proud. Tomuto magnetickému poli říkáme pole reakce kotvy. Kotva se sice otáčí včetně vinutí, ale vinutí je rovnoměrně rozloženo po celém obvodu, kartáče mají pevnou polohu vůči statoru, takže i pole reakce kotvy je v prostoru stojící. Magnetický tok reakce kotvy se však může vyvinout pouze pod pólovými nástavci, neboť mezera mezi póly představuje velký magnetický odpor. Výsledné magnetické pole je dáno součtem obou polí dílčích a je vlivem reakce kotvy deformováno a zeslabeno. Má posunutou magnetickou neutrální osu o úhel  $\alpha$  vůči geometrické ose ve směru otáčení v generátoru a proti směru točení v motoru. Teoreticky by měl zůstat magnetický tok pólů stejný, protože zeslabení v levé polovině by mělo být stejné jako zeslabení v pravé polovině. Ve skutečnosti však v pravé polovině, kde oba toky mají souhlasný směr, dochází k přesycení části magnetického obvodu a tím i ke zvýšení jeho magnetického odporu. Zvětšení toku v pravé části je proto menší než zmenšení v levé části a celkový tok a tedy i indukované napětí je menší. Tok v pravé části je menší než v části levé. ( Obr.9c ). Celkový tok, tedy i indukované napětí, je proto menší. Zmenšení magnetického toku při zatížení je nutné se vyrovnat zvětšením proudu budícího vinutí. Deformace výsledného magnetického toku ve vzduchové mezeře a posunutí magnetické neutrály vlivem reakce kotvy, má rovněž nepříznivý vliv na komutaci a je tedy žádoucí, aby se vliv reakce kotvy co nejvíce potlačil. Pole kotvy je v prostoru nehybném, a proto jej můžeme kompenzovat vhodně umístěným kompenzačním vinutím. Toto vinutí bývá umístěné v drážkách pólových nástavců, zapojeno do série s kotvou a navrženo tak, aby jím protékající proud kotvy vytvořil stejně velké pole jako reakční, ale opačného směru. Kompenzační vinutí je však výrobně drahé, a proto se používá pouze u velkých strojů. Vliv reakce kotvy potlačují také tzv. komutační póly, které slouží pro zlepšení komutace. [7], [9]



Obrázek 9 Vliv reakce kotvy na magnetické pole ve vzduchové mezeře [12]

- a) nezatřžený stroj podélného magnetického pole
- b) pole vodičů kotvy příčného magnetického pole
- c) pole zatřženého stroje výsledné magnetické pole

## 2 Rozdělení stejnosmřných strojů

Stejnosemřné stroje s budicí vinutím na hlavních pólech rozdělujeme podle způsobu napájení tohoto vinutí.

### 2.1 Stroje s cizím buzením

Stejnosemřné motory s cizím buzením byly v minulosti velice využívanými stroji. Pro svoje dobré regulační vlastnosti jako regulovatelné pohony. V dnešní době se stále vyrábějí a používají. Pomalu je nahrazují střídavé regulované pohony s asynchronními motory. Díky výhodám jsou stejnosmřné motory s cizím buzením neodmyslitelnou součástí strojního průmyslu i dnes. Budicí vinutí hlavních pólů je napájeno z nezávislého stejnosmřného zdroje, anebo má stroj místo vinutí hlavních pólů permanentní magnety. Před připojením rotoru ke zdroji musí být motor nabuzen, jinak hrozí nebezpečný narůst otáček. Při rozběhu a při snižování otáček je snižováno napětí na kotvě, např. pomocí spouštění odporu. Na zvýšení otáček s cizím buzením stejnosmřného motoru nad jmenovité otáčky je možno použít regulační odpor v obvodu budicího vinutí, kterým je

možno snížit budicí proud. Většinou je obvod kotvy i obvod budicího vinutí napájen přes usměrňovač ze sítě střídavého napětí. Napájecí i budicí napětí pak může být snižováno regulačním transformátorem nebo řízeným usměrňovačem. Na rozdíl od buzení ostatních typů, je cizí buzení nezávislé na napětí na kotvě motoru a při poklesu napětí na kotvě zůstává nezměněné. S cizím buzením jsou otáčky motorů ve srovnání s derivačními motory ještě stabilnější při kolísání zatížení. Chladit intenzivně je třeba pokud jsou motory provozovány při běžném zatížení a nízkých otáčkách. Stejnoseměrné motory s cizím buzením jsou používány jako pohony strojů s proměnlivým mechanickým odporem, např. pro pohon obráběcích strojů. [7], [10]

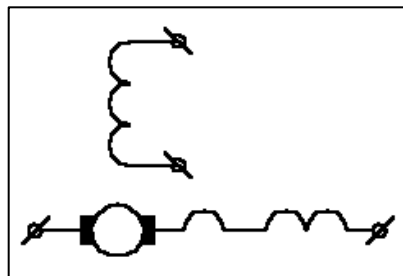
### Výhody:

- velký točivý moment především při nízkých rychlostech
- snadné řízení úhlové rychlosti otáček rotoru změnou svorkového napětí
- velký rozsah výkonů až do desítky MW
- snadná změna smyslu otáčení rotoru
- velký rozsah rychlosti, který nejsou vázány na kmitočet střídavé napájecí sítě

### Nevýhody:

- komutátor a jeho údržba
- maximální rychlost omezena komutací a komutátorem

**Použití:** budiče synchronních strojů a řídicí dynamo v Leonardově skupině, pohony obráběcích strojů, lodí, ledoborců, elektromobilů, ponorek, těžních strojů (střední výkony)



Obrázek 10 Cizí buzení [11]

## 2.2 Stroje s derivačním buzením

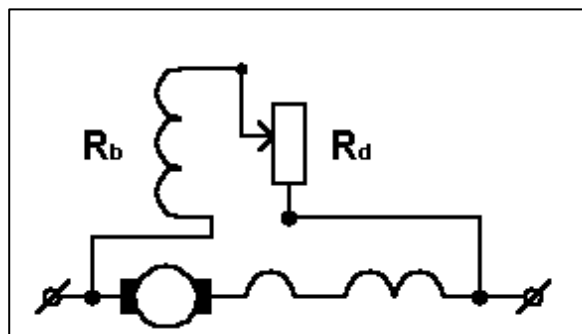
Budící vinutí hlavních pólů je zapojeno paralelně ke kotvě. Magnety jsou připojeny paralelně s kotvou. Při stálém napětí na svorkách je stálé buzení. Spouštěcím odporem lze regulovat otáčky derivačního motoru a odporem regulátoru budícího pole. Derivační motor se chová při běhu na prázdko i při zatížení jako motor s cizím buzením. Zatěžovací charakteristiku má stejnou. Motory, které se při běhu na prázdko nepřetočí a při rostoucím zatížení mají malý pokles otáček, nazýváme motory s chováním derivačních motorů. Napětím na rotoru nelze řídit otáčky derivačního motoru, jako je to u motoru s cizím buzením. Aby nedošlo k odpojení buzení, je nutno zajistit při provozu u derivačních motorů i u motorů s cizím buzením. Kotva by se mohla ve slabém poli zbytkového magnetismu roztočit do vysokých otáček. Derivační motory mohou být používány pro pohony stejně jako motory s cizím buzením. [7], [10]

### Výhody:

- jednoduchá reverzace
- zapojení a téměř bezztrátové
- snadné řízení otáček

### Použití:

- samočinné regulační pohony v průmyslu



Obrázek 11 Derivační buzení [11]

## 2.3 Stroje se sériovým buzením

Budící vinutí hlavních pólů je zapojeno v sérii s vinutím kotvy. K řízení otáček se používá předřadný reostat, případně polovodičový pulzní měnič odporu. Z uvedeného

vyplývá, že stejný proud teče jak buďcím vinutím, tak i vinutím kotvy (sériový obvod). Zvyšujeme-li zatížení takového motoru, vzrůstá proud tekoucí uvedenými vinutími, roste točivý moment, ale nastává pokles otáček. Je tedy zřejmé, že otáčky jsou silně závislé na zatížení motoru. Sériově buzené motory mají ze všech zapojení největší záběrový moment, čehož se využívalo zejména v elektrické trakci, do té doby, než byl drahý a na údržbu náročný stejnosměrný motor nahrazen asynchronním motorem s měničem frekvence. Sériově buzené motory nesmějí být spojovány se zátěží řemeny, a to z důvodu proklouznutí a „přetočení“ motoru. Zde hrozí i mechanické poškození komutátoru vlivem obrovských odstředivých sil. Toto se často stávalo u elektrických lokomotiv ve stoupání, kdy docházelo k proklouznutí soukolí a přetočení motoru s častým poškozením komutátoru uvedenými vlivy. V případě použití spouštěcího odporu je pokles otáček vlivem zatížení zvláště veliký. Dochází totiž k poklesu napětí vlivem úbytku na spouštěcím odporu. Protože u stejnosměrného buzení není vliv vířivých proudů, lze vyrábět stator z jednoho kusu železa. Často se setkáváme s komutátorovými motorčky např. v ručním nářadí, vysavačích a domácích robotech, které jsou vlastně také sériově buzené motory, ovšem napájené střídavým proudem. Zde je však nutný již stator listěný, protože je i na statoru střídavé magnetické pole. Tyto motorčky lze napájet jak střídavým, tak i stejnosměrným proudem.[7], [10]

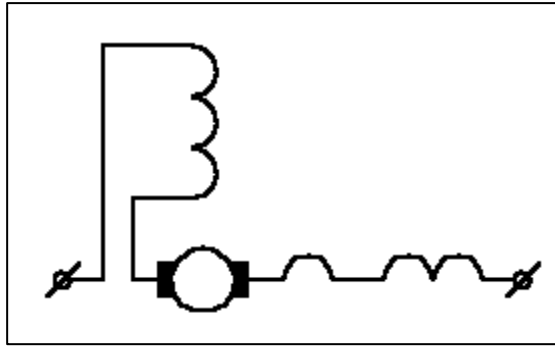
**Výhody:**

- jsou stejné jako u cize buzeného stroje
- magnetický tok závislý na zatížení stroje a tím jsou na zatížení výrazně závislé i otáčky

**Použití:**

- trakce
- využívá se veliký záběrový moment a pokles rychlosti se zatížením

**Napájení:** z trakčního vedení stejnosměrným napájením přes odbočkový transformátor a diodový usměrňovač přes odbočkový transformátor a řízený usměrňovač stejnosměrným pulzním měničem



Obrázek 12 sériové buzení [11]

## 2.4 Stroje s kompaundním (smíšeným) buzením

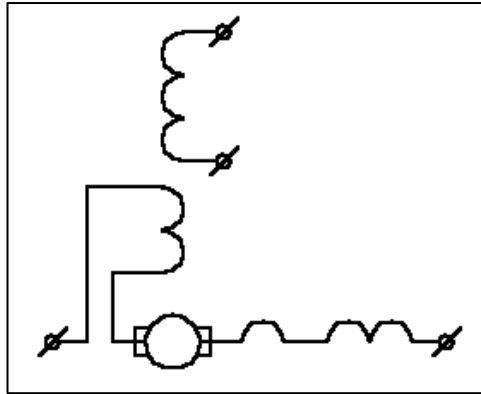
Motory s kompaundním buzením mají sériové i paralelní budicí vinutí, které se chová při chodu naprázdno jako derivační motor. Na pólech statoru kompaundního motoru je stejně jako u kompaundního generátoru navinuto paralelní i sériové budicí vinutí. Otáčky se regulují odporem spouštěče i odporem regulátoru pole budicího proudu. Sériové budicí vinutí musí být zapojené tak, že jeho magnetické pole má stejný směr jako pole paralelního vinutí. Při zatížení klesají otáčky rychleji než u derivačního motoru a s rostoucím proudem kotvy roste i hlavní magnetický tok. Při běhu naprázdno se kompaundní motor chová jako derivační motor. Pokud je budicí vinutí zapojené tak, že jeho pole oslabuje paralelní vinutí, motor je velmi nestabilní a lehce se přetočí. U takového zapojení by mohlo dojít omylem při přepólování směru otáčení. Potom při rostoucím proudě stoupají otáčky, protože slábne hlavní pole. Toto zapojení je výjimečně používáno ke zmenšení vlivu kolísavého zatížení na otáčky motoru. Nárůst zatížení má motor snaha zpomalit, ale nárůst proudu doprovázející nárůst zátěže oslabí hlavní pole a snaží se otáčky zvýšit. Pak jsou otáčky zatíženého motoru stabilní. [7], [10]

### Motor kompaundní buzení:

- charakteristika měkčí
- zmírnění nárazů při špičkách
- možnost provozu naprázdno

**Motor protikompaudní buzení:**

- konstantní rychlost nezávislá na zatížení – slabá protikompaudace
- nestabilní stroj



Obrázek 13 Kompaudní buzení [11]

	<b>Stejnoseměrné napájení; vinutí je umístěno na statoru; vytvoření hlavního magnetického toku.</b>
	<b>Pomocné vinutí; vinutí umístěné na statoru; sériově zapojeno s vinutím kotvy; kompenzace reakce kotvy.</b>
	<b>Kompenzační vinutí; navinuto v zubech pólových nástavců hlavních pólů; kompenzace reakce kotvy; tlumení rázových dějů.</b>

Tabulka 1 Zapojení - vinutí statoru



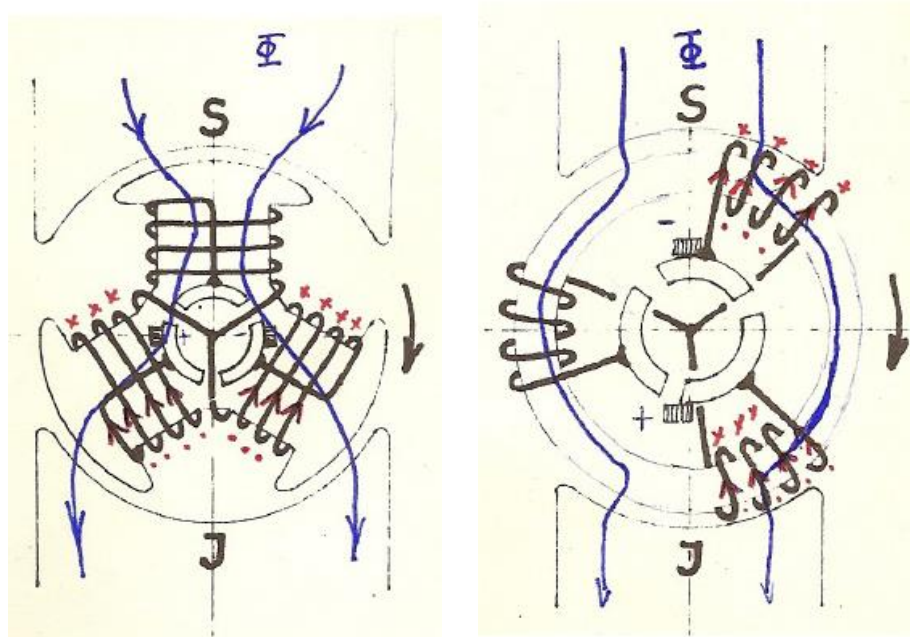
### 3 Vinutí stejnosměrných strojů

#### 3.1 Vinutí jádrové (koncentrované)

Na železném nebo neželezném jádře je vinutí navinutá v jedné nebo více vrstvách. Použití je především u netočivých strojů. U točivých jsou to pólové cívky stejnosměrných nebo synchronních strojů. Při tomto vinutí každý závit zabírá se stejným magnetickým tokem, a protože v každém závitě indukuje stejné napětí a výsledné napětí cívky je dáno součinem závitového napětí a počtu závitů.

#### 3.2 Vinutí rozložené

Je uloženo ve většině případů v drážkách, v jedné nebo ve dvou vrstvách. Jednotlivé závity zabírají s různým magnetickým tokem, proto se v nich indukuje fázově posunutá napětí a tímto se získá výsledné napětí cívky geometrickým součtem dílčích napětí. Dvouvrstvé vinutí, je technicky jednodušší. Původně byla prstencová vinutí, nyní je vinutí válcové. Vinutí je uloženo v drážkách vytvořených při povrchu válcové plochy, které jsou rovnoběžné s osou válce. Tak je část závitu uložena v drážce aktivní a neaktivní jsou pouze čela vinutí, tedy ta část, která spojuje obě aktivní strany cívky, čímž se výrazně zlepšuje využití cívky.



Obrázek 14 - stejnosměrné vinutí rotoru [11]

## 4 Řízení rychlosti a řízení otáček stejnosměrného motoru

### 4.1 Řízení rychlosti

Řízení rychlosti stejnosměrného motoru se sériovým buzením se provádí a to změnou odporu v obvodu kotvy  $R_S$  změnou napětí na kotvě pomocí pulzního měniče nebo řízeného usměrňovače, nebo změnou buzení pomocí paralelně připojeného rezistoru k budicímu vinutí.

### 4.2 Řízení otáček stejnosměrného motoru s cizím buzením

U tohoto motoru můžeme regulovat otáčky následujícími způsoby:

1. Změnou odporu v obvodu kotvy zapojením přídavného rezistoru  $R_S$ .
2. Změnou svorkového napětí  $U_a$  na kotvě motoru.
3. Změnou magnetického toku  $\Phi$  ( tj. budícím proudem  $I_b$  ).

U prvně jmenovaného způsobu předřadíme k vinutí kotvy proměnný odpor, ten nám bude měnit proud procházející do rotoru a tím pádem měnit i velikost magnetického indukčního toku rotoru. V podstatě na stejném principu pracuje i druhý způsob. U třetího způsobu budeme měnit magnetické pole u statoru procházejícím proudem a tím pádem budeme měnit otáčky motoru. Třetí způsob samozřejmě není možný v případě, že statorové magnetické pole je tvořeno permanentními magnety.

### 4.3 Řízení otáček stejnosměrného motoru se sériovým buzením

U tohoto typu můžeme regulovat otáčky následujícími způsoby:

1. Změnou odporu v obvodu kotvy  $R_S$
2. Změnou napětí na kotvě pomocí pulzního měniče nebo řízeného usměrňovače
3. Změnou buzení pomocí paralelně připojeného rezistoru k budicímu vinutí

První dva způsoby jsou analogické změně otáček u motoru s cizím buzením, tj. měníme velikost proudu procházejícího vinutím kotvy. Třetí způsob spočívá ve změně celkového magnetického toku kotvy. Paralelní vinutí totiž vytváří další magnetické pole a jeho orientací a velikostí můžeme měnit velikost výsledného magnetického toku. Budou-li obě pole souhlasně orientována, celkový tok se zvětší a tudíž dojde k nárůstu otáček, budou-li nesouhlasně orientována, dojde k poklesu a následnému zmenšení otáček. [16]

## 5 Brzdění stejnosměrných motorů

Kinetická energie pohonu se mění v brzdných odporech v teplo nebo se vrací jako elektrická energie do napájecího zdroje. Při brzdění motoru musíme změnit směr mechanického výkonu na hřídeli motoru. Smysl momentu brzdného motoru musí působit proti směru otáčejícího se rotoru.

**Při spouštění motoru mohou být použity tři způsoby:**

- brzdění do odporu
- brzdění protiproudem
- brzdění rekuperací

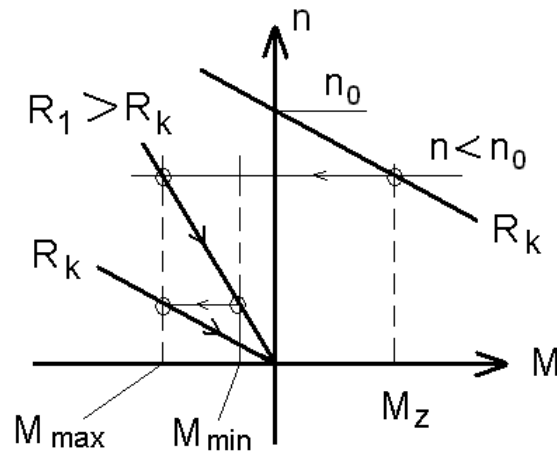
### 5.1 Brzdění do odporu:

Při brzdění do odporu odpojíme napájení a připojíme místo něj ke kotvě brzdny rezistor, tím se změni směr proudu v kotvě a smysl momentu v motoru, který teď působí proti směru otáčení rotoru. Motor se stane díky své setrvačnosti na moment generátorem, který měni mechanickou energii na elektrickou. Budicí vinutí motoru zůstane připojeno k síti.

Můžeme použít spouštěč jako zatěžovací reostat, který je k tomuto účelu konstruován. V reostatu se měni pohybová energie motoru na elektrickou, která se měni v odporech kotevního obvodu na Jouleovo teplo. Dobrzdění do klidu není možné. Do klidu je nutno přivést pohon mechanickou brzdou. Ztráty, které vzniknou při brzdění motoru, jsou rovny mechanickému výkonu. [14], [12]

Napěťová rovnice má tvar:

$$0 = R_1 I + C\Phi \omega \qquad \omega = -\frac{R_1}{C\Phi} I \qquad \omega = -\frac{R_1}{(C\Phi)^2} M$$



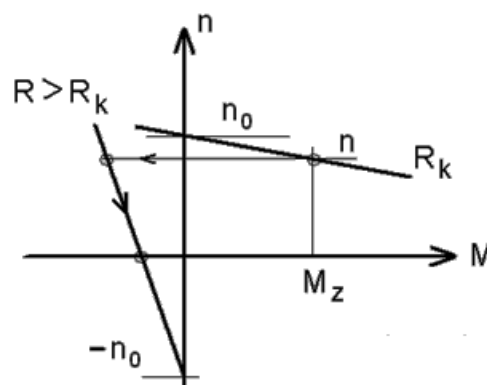
Obrázek 15 Brzdění do odporu [13]

## 5.2 Brzdění protiproudem

Tento typ brzdění je prohození kladné svorky napájecího napětí kotvy za zápornou. Říká se tomu přepólování nebo reverzace. Přepólováním dojde ke změně směru toku proudu v kotvě a ke změně smyslu momentu motoru. Při brzdění se omezí velikost proudu a do obvodu kotvy při rezervaci zařazuje rezistor s dostatečně velkým odporem. Je důležité při tomto typu brzdění včas odpojit reverzované napájení kotvy a točící rotor mechanicky dobrzdit, jelikož by mohlo dojít k opětovnému roztočení rotoru v reverzním směru. Při tomto typu brzdění jsou ztráty dány součtem dodaného mechanického výkonu na hřídeli a elektrického výkonu odebraného z napájecí sítě. [14], [12]

Rovnice pro momentovou charakteristiku brzdění je:

$$\omega = -\frac{U}{C\Phi} - \frac{R}{(C\Phi)^2}M$$



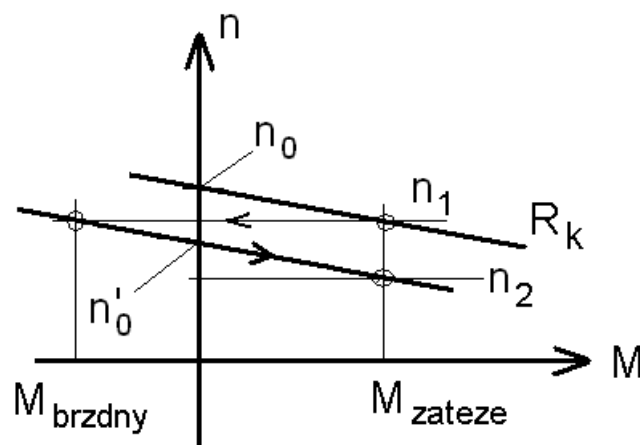
Obrázek 16 Brzdění protiproudem [13]

### 5.3 Brzdění rekuperací

Tento způsob brzdění nastává tehdy, jestliže je rychlost motoru  $\omega$  větší než rychlost na prázdno  $\omega_0$ , motor se stane generátorem a elektrická energie se vrací zpět do napájecího zdroje. Na síť se připojuje přes spouštěč – pouze pro malé motorky lze připojit přímo k síti. Všechna vinutí sériového motoru jsou zapojena do série s kotvou. Místo permanentního magnetu se pro stator běžných větších motorů využívá elektromagnetu. Pokud je vinutí statoru spojeno s vinutím rotoru do série, mluvíme o sériovém elektromotoru. Tento typ elektromotoru má točivý moment nepřímo úměrný otáčkám. To znamená, že stojící elektromotor má obrovský točivý moment. Využívá se především u dopravních strojů a v elektrické trakci – vlaky, metro, tramvaje. Ve spojení s generátorem je schopen ideálně nahradit mechanickou převodovku. [14], [12]

Rovnice pro momentovou charakteristiku:

$$n = \frac{U}{C\Phi} - \frac{R_k}{(C\Phi)^2} M$$



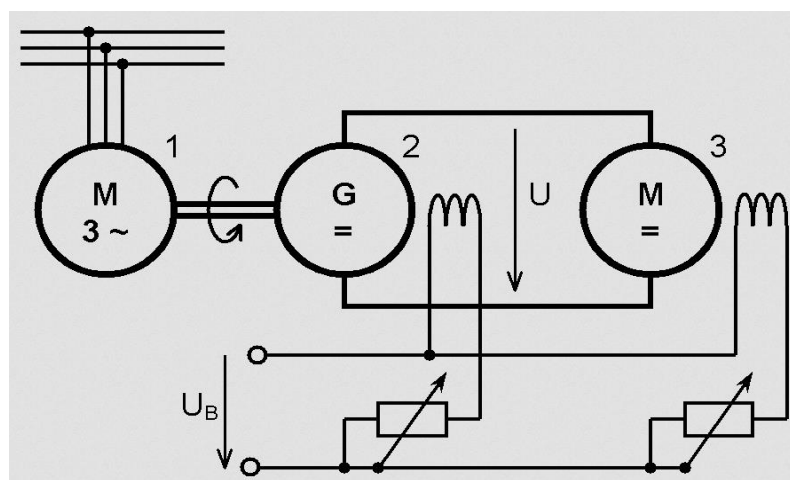
Obrázek 17 Brzdění rekuperací [13]

## 6 Leonardova skupina

Ward Leonardovo soustrojí bylo často využíváno k řízení otáček a momentu velkých stejnosměrných strojů. Bylo vynalezeno roku 1891 Američanem Harrym Ward Leonardem. Brzy po jeho uvedení se stalo rozšířeným způsobem regulace stejnosměrných pohonů. Soustrojí mělo, v době svého vzniku, relativně dobrou účinnost a velmi dobré regulační vlastnosti. V dnešní době je jeho použití vzácné a jako jeho náhrada se využívá polovodičových měničů.

Ward Leonardovo soustrojí se skládá z několika prvků. Poháněcím strojem je nejčastěji asynchronní motor nebo motor spalovací. To je hřídelí spojeno se stejnosměrným generátorem – dynamem. Dynamo je v této aplikaci nejčastěji cize buzené. Budicí proud je regulován proměnnými rezistory. Kotva dynama je přes meziobvod spojena s kotvou regulovaného stejnosměrného stroje.

Princip fungování je následující: V klidovém stavu mezi kotvou dynama a stejnosměrného motoru neprotéká žádný proud. Po dosažení provozních otáček pohonu a dynama se začne zvyšovat budicí proud dynama a v důsledku toho se začne na kotvě indukovat napětí. Protože jsou kotvy dynama a stejnosměrného motoru spojené, začne se stejnosměrný motor točit. Pomocí změny buzení dynama nebo stejnosměrného motoru lze snadno měnit otáčky řízeného stejnosměrného stroje. Při konstantním buzení stejnosměrného motoru a současném zvyšování buzení dynama se zvyšuje výkon. Zvýšení otáček můžeme dosáhnout odbuzováním stejnosměrného motoru, při tomto postupu pak samozřejmě klesá moment. [18]



Obrázek 18 Ward Leonardova skupina

## 7 Ostatní pohony

### 7.1 Asynchronní motor

Jsou nejpoužívanější motory, jednofázové a třífázové. Princip a činnost asynchronního motoru je založen na působení točivého magnetického pole, které je vytvořeno statorovým vinutím napájeným trojfázovým proudem. Točivé magnetické pole charakterizuje magnetická indukce, které rotuje synchronními otáčkami  $n_s$  a ty závisí na frekvenci zdroje  $f$  a počtu cívek statoru v jedné fázi  $p$  počet pólových dvojíc. Třífázové motory mají trojfázové statorové vinutí, nebo trojfázové s vývody na kroužcích a vinutí rotoru s kotvou nakrátko. Točivé magnetické pole silově působí na vodiče rotoru, kde se indukuje proud a vytváří se nenulový točivý moment. Rotor se otáčí otáčkami  $n$  a definuje se skluz s vyjadřovaný %

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

Jednofázový asynchronní motor by se sám nerozeběhl bez konstrukčních úprav. Má nulový záběrový moment. Je nutné na statoru dvojí hlavní a pomocné vinutí pro samotný rozběh. Rotor je v klecovém provedení. Je nutné pro vznik točivého pole fázové posunutí mezi proudem hlavního a pomocného vinutí. Dosáhne se změnou indukčnosti pomocného vinutí, odporem nebo připojením kondenzátoru. Jednofázové asynchronní motory s kondenzátorem mohou mít rozběhový a provozní kondenzátor. Rozběhový kondenzátor se po rozběhu odpojí. Trojfázový asynchronní motor s kotvou na krátko má jednoduchou konstrukci a nepotřebují velkou údržbu. Při rozběhu je problém s velkým záběrovým proudem, a proto je řešen u motoru s kotvou kroužkovou. U motoru s kotvou nakrátko je přepínač hvězda – trojúhelník. Regulace otáček se řeší zejména změnou frekvence napájecího napětí pomocí polovodičového měniče.

### 7.2 Synchronní motor

Princip a činnost je založen na silovém účinku točivého pole na rotor, který je vztažen do synchronních otáček. Synchronní motor potřebuje k rozběhu pomocný rozběhový systém. Pro asynchronní rozběh se používá doplňkové vinutí nakrátko.

Synchronní motor se skládá ze statoru, který má trojfázové měděné vinutí a při napájení trojfázovým proudem vytvoří točivé magnetické pole. Jednotlivé fáze jsou navzájem posunuty o  $120^\circ$ . Začátky a konce vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici. Rotor rozlišujeme dva typy strojů a to s vyniklými póly, nebo hladký rotor. Budič je zdroj stejnosměrného napětí pro napájení vinutí rotoru. Stejnoseměrný proud ve vinutí vytvoří v rotoru magnetické pole. Používá se dynamo jako budič umístěné na hřídeli synchronního stroje nebo se budící vinutí napájí přes usměrňovače ze střídavé sítě.



## 8 Laboratorní měření

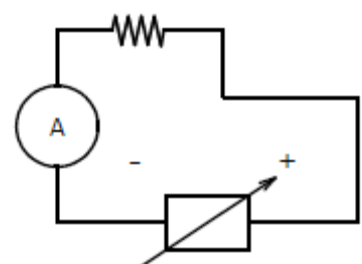
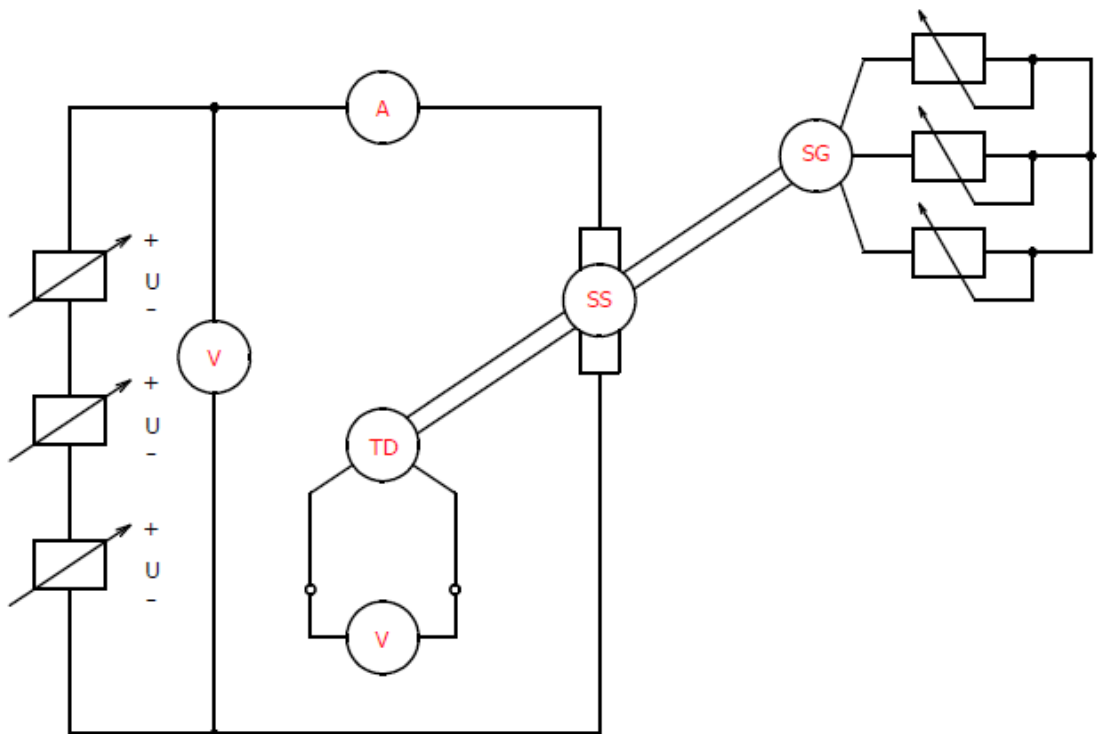
### 8.1 Měření stojnosměrného stroje

Změřte zatěžovací a momentovou charakteristiku stojnosměrného motoru s cizím buzením a určete jeho účinnost.

Stojnosměrný stroj		Synchronní generátor	
n[ot/min]	3000	P[kW]	1,4
P[W]	550	U[V]	83
I[A]	2	I[A]	11
I <sub>b</sub> [A]	0,6	n[ot/min]	3000

Tabulka 2

Schéma zapojení:



Vztahy použité pro výpočet:

$$n = \text{Utg} \cdot \frac{1500}{30} = 30 \cdot 50 = 1500 \text{ ot / min}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = 3,14 \cdot 1500 = 157 \text{ rad. s}$$

$$M = M_i - K_M = 2,7 - 1,6 = 1,1 \text{ KP. cm}$$

$$M = M \cdot 0,0981 = 1,1 \cdot 0,0981 = 0,10791 \text{ N. m}$$

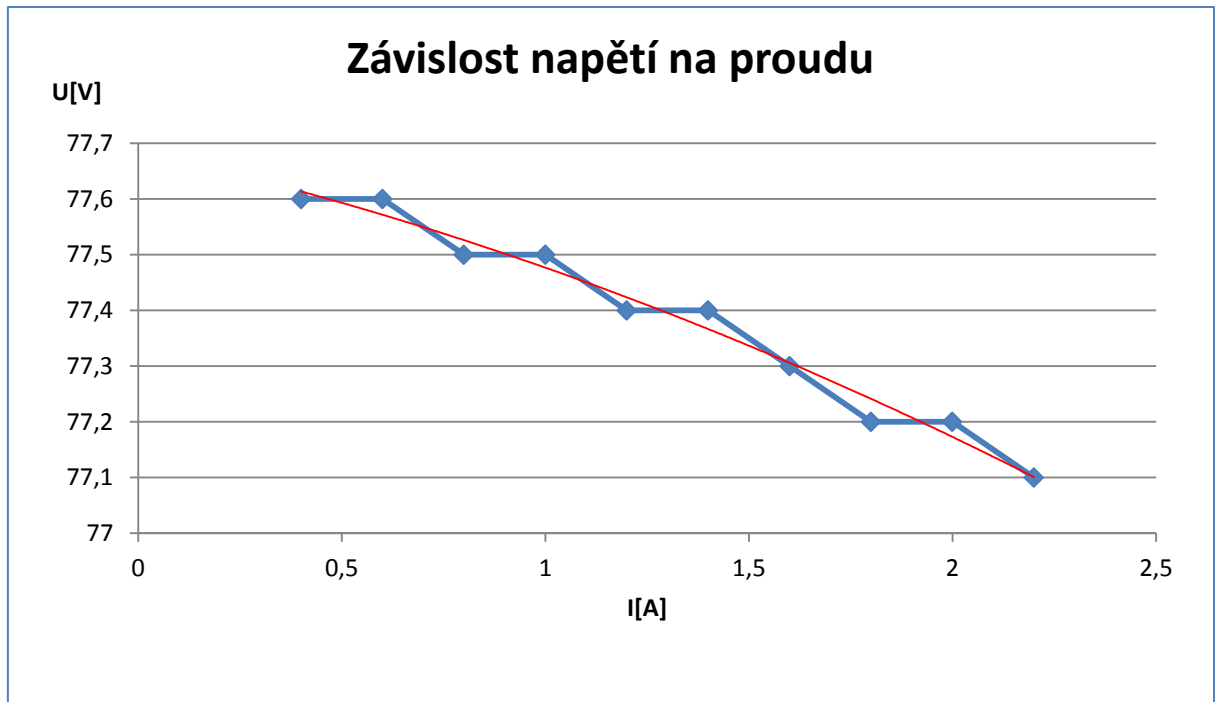
$$P_p = U \cdot I = 77,6 \cdot 0,4 = 31,04 \text{ W}$$

$$P = M \cdot \omega = 0,10791 \cdot 157 = 16,94187 \text{ W}$$

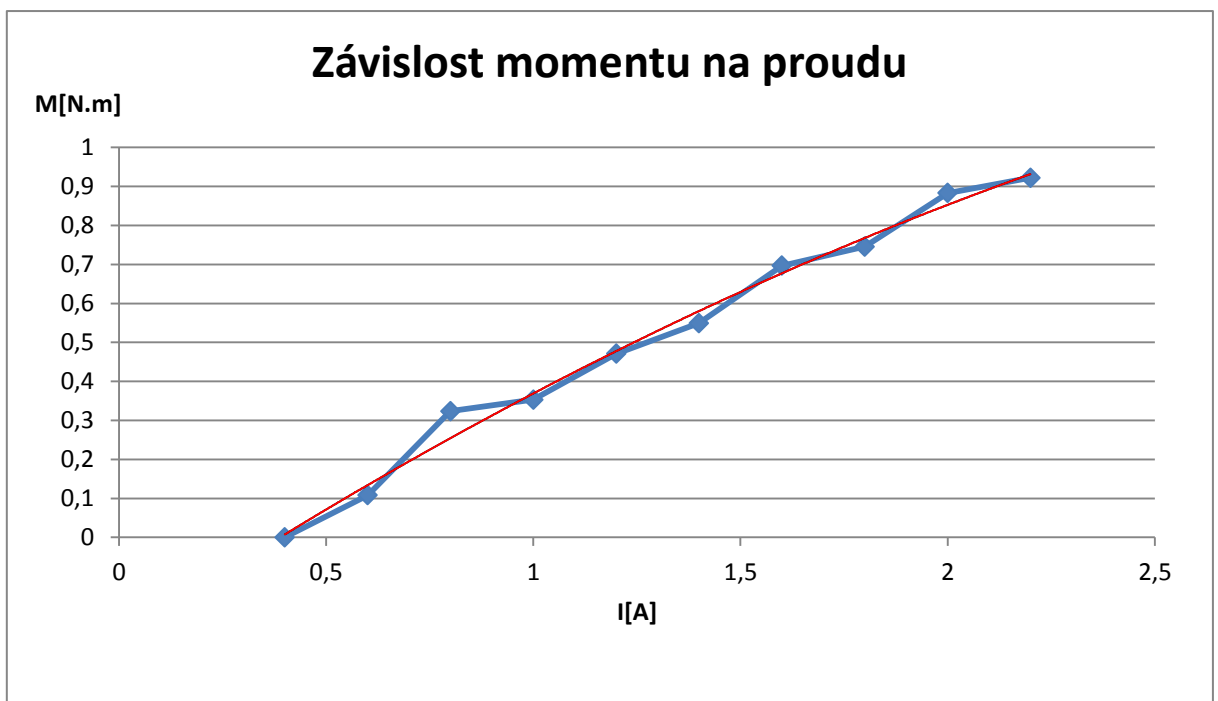
$$h = \frac{P}{P_p} \cdot 100 = \frac{16,94187}{31,04} \cdot 100 = 54,580431704 \%$$

I [A]	U[V]	Utg [V]	n	M <sub>i</sub> [KP.cm]	M[KP.cm]	M [N.m]	ω [rad.s]	P [W]	P <sub>p</sub> [W]	h[%]
0,4	77,6	30	1500	1,6	0	0	157	0	31,04	0
0,6	77,6	30	1500	2,7	1,1	0,10791	157	16,94187	46,56	36,38718
0,8	77,5	30	1500	4,9	3,3	0,32373	157	50,82561	62	81,97679
1	77,5	30	1500	5,2	3,6	0,35316	157	55,44612	77,5	71,54338
1,2	77,4	30	1500	6,4	4,8	0,47088	157	73,92816	92,88	79,59535
1,4	77,4	30	1500	7,2	5,6	0,54936	157	86,24952	108,36	79,59535
1,6	77,3	30	1500	8,7	7,1	0,69651	157	109,3521	123,68	88,41532
1,8	77,2	30	1500	9,2	7,6	0,74556	157	117,0529	138,96	84,23497
2	77,2	30	1500	10,6	9	0,8829	157	138,6153	154,4	89,77675
2,2	77,1	30	1500	11	9,4	0,92214	157	144,776	169,62	85,35313

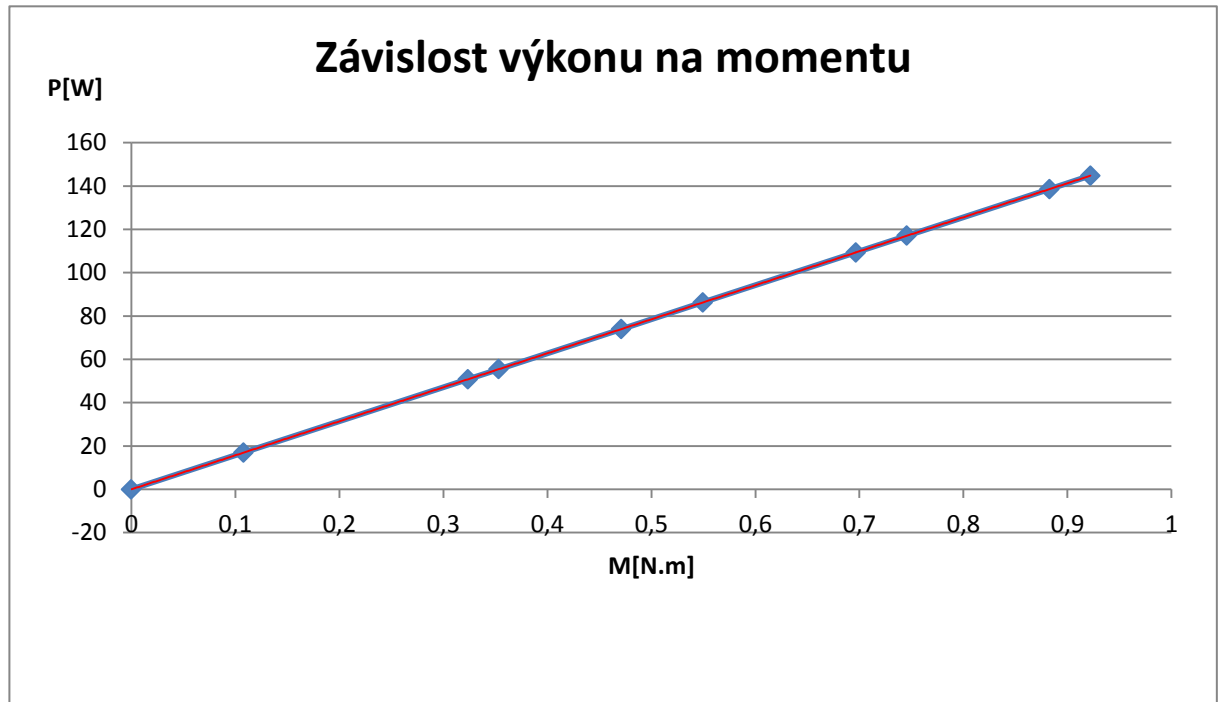
Tabulka 3 Naměřené hodnoty



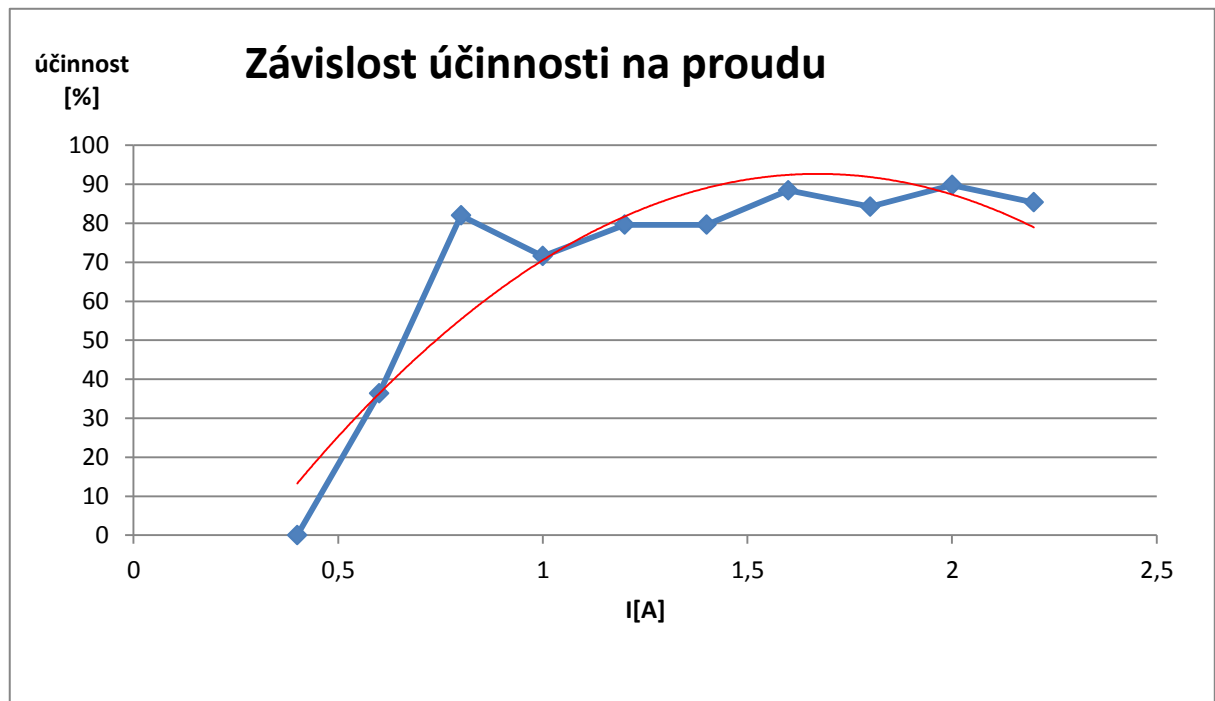
Graf 1



Graf 2



Graf 3



Graf 4

## 9 Závěr

Význam stejnosměrných strojů rostl s rozvojem a modernizací výroby, také vývojem nové techniky pohonů i elektrické trakce. V posledních desetiletích jsou stejnosměrné generátory zatlačovány modernějšími zdroji stejnosměrného proudu, jako jsou statické měniče. Elektrický pohon se stejnosměrným motorem je zvláště rozšířen v dopravě, a to v městské tak i v železniční, u pohonů zařízení válcoven, v papírnách, dolech a u obráběcích strojů. Ve většině provozních použití stejnosměrných strojů se bude jednat o přerušovaný chod stroje, velké proudové a napěťové změny, časté reverzace, také velmi náročné provozní podmínky. Vlastnosti stejnosměrných motorů je velký krouticí moment při malých otáčkách, jednoduchá otáčková regulace, snadná přizpůsobivost zatěžovacích charakteristik poháněnému zařízení a velká výkonová i momentová přetížitelnost. Stejnoseměrné stroje malých výkonů se používají v regulační technice. Jako jsou tachodynamy, u kterých se vyžaduje malé zvlnění napětí, a různé rotační zesilovače. Také se používají v automobilech, hračkách i v domácích spotřebičích.

V teoretické části bylo mým cílem nastudovat funkci stejnosměrných motorů a provozní charakteristiky těchto strojů. Jsou zde uvedeny základní principy funkce stejnosměrných strojů, konstrukční provedení, řízení otáček, výpočty, grafy a tabulky.

V praktické části bylo provedené měření na stejnosměrném stroji s cizím buzením a měření otáček pomocí tachodynamy. Laboratorní zařízení bylo úspěšně uvedeno do provozu. Při měření jsem si ověřila zatěžování stejnosměrného motoru s cizím buzením. Z naměřené hodnoty jsem odvodila momentovou a zatěžovací charakteristiku. Při měření jsem zjistila, že se zatěžovacím proudem napětí klesá. Výsledkem měření jsou zobrazené statické charakteristiky, které odpovídají fyzikálnímu chování stejnosměrných elektrických strojů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příslušné (tabulce č. 3). Po provedeném měření jsem výsledky zanesla do grafů č. 1, 2, 3 a 4.

## Použitá literatura

- [1] Muzeum starých strojů. *Krátká historie elektrických strojů* [online]. 2012 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: <http://www.starestroje.cz/historie/historie.elektrina.php>
- [2] SPŠE Dobruška. *Stejnoseměrné stroje* [online]. 2012 [cit. 2012-06-06]. Dostupné z: <http://www.spse.dobruska.cz/download/ss.pdf>
- [3] BARTOŠ, Václav. *Elektrické stroje*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006. ISBN 80-7082-221-X
- [4] BARTOŠ, Václav, Josef ČERVENÝ, Anna KOTLANOVÁ a Bohumil SKALA. *Elektrické stroje*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006. ISBN 80-7043-444-9
- [5] *Elektrické pohony*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. ISBN 9788070437292
- [6] Stejnoseměrné stroje. *Střední škola elektrotechnická Lipník nad Bečvou* [online]. 2012 [cit. 2012-06-06]. Dostupné z: <http://www.sse-lipniknb.cz/7ucivo/ESP/stejnosemerne.pdf>
- [7] Stejnoseměrné stroje. *Školní stránky Ing. Jiřího Smolika* [online]. 2010 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: <http://www.jsmilek.cz/skripta%20pdf/esp%2010%20ssm%20skripta.pdf>
- [8] Stejnoseměrné stroje jak se o nich psalo kdysi. *Elektrika.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/stejnosemerne-stroje>
- [9] Stejnoseměrné stroje. *Stejnoseměrné stroje* [online]. 2011 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: [http://www.janoud.cz/sub/jcuele/15\\_Elektricke\\_stroje\\_3.pdf](http://www.janoud.cz/sub/jcuele/15_Elektricke_stroje_3.pdf)
- [10] Stejnoseměrné stroje. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKA. [online]. 2006 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab\\_stejnosemerne\\_stroje\\_bc.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosemerne_stroje_bc.pdf)
- [11] Elektrické stroje 1. *Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem* [online]. 2012 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: [http://sipal.fvtm.ujep.cz/EIEI/EIEI\\_09.pdf](http://sipal.fvtm.ujep.cz/EIEI/EIEI_09.pdf)
- [12] Střídavé motory. *Technická univerzita v Liberci* [online]. 2010 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: [http://www.mti.tul.cz/files/evc/El\\_Str2\\_h.pdf](http://www.mti.tul.cz/files/evc/El_Str2_h.pdf)
- [13] Stejnoseměrné motory. *Technická univerzita v Liberci* [online]. 2009 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: [http://mti.tul.cz/files/elm/ELM\\_SS\\_motory.ppt](http://mti.tul.cz/files/elm/ELM_SS_motory.ppt)
- [14] Stejnoseměrné motory. SMÍLEK, Jiří. *Školní stránky Ing. Jiřího Smolika* [online]. 2013 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: <http://www.jsmilek.cz/skripta%20pdf/esp%20103%20ssm%20skripta.pdf>

- [15] Stejnoseměrný motor. *Walter Fendt* [online]. 2005 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: [http://www.walter-fendt.de/ph14cz/electricmotor\\_cz.htm](http://www.walter-fendt.de/ph14cz/electricmotor_cz.htm)
- [16] *Modelování pohonu s DC motorem v prostředí MATLAB/Simulink*. Brno, 2009. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/6440/Kunovsky\\_Bc\\_2009.pdf?sequence=22013](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/6440/Kunovsky_Bc_2009.pdf?sequence=22013). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně
- [17] Konstrukce modelářského elektromotoru. *České Budějovice, 2007*. Dostupné z: [http://theses.cz/id/38nuxj/downloadPraceContent\\_adipIdno\\_6618](http://theses.cz/id/38nuxj/downloadPraceContent_adipIdno_6618). Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
- [18] Ward Leonardovo soustrojí. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Ward\\_Leonardovo\\_soustroj%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ward_Leonardovo_soustroj%C3%AD)