

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Stejnoseměrný stroj

vedoucí práce: Ing. Jiří Srb

2012

autor: Kateřina Hulcová

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na popis principu a funkce stejnosměrného stroje a měření zatěžovací a momentovou charakteristiku stejnosměrného motoru s cizím buzením a určením jeho účinnosti. Naměřené hodnoty jsou uvedené v tabulkách a v grafech.

Klíčová slova

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

Anotation

This bachelors thesis is focusing on principles and function of direct-current engine. We find in this work the load and moments characteristics and effectivity as well of direct-current motor with foreign excitation. Measured values of this motor are presented in tabels and graphs as well.

Key Words

Direct-current engine, asynchronous motor, synchronous motor, generátor, 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 29.6.2012

Jméno a příjmení

.....

Poděkování

Chtěla bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Srbovi, za rady, připomínky a návrhy týkající se bakalářské práce. Také za jeho velmi vstřícný postoj při řešení problémů s touto prací spjatých a za jeho hodnotné rady

Obsah

ÚVOD	7
1 HISTORIE STEJNOSMĚRNÉHO STROJE.....	9
2 STEJNOSMĚRNÉ STROJE	10
2.1 KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ.....	10
2.2 PRINCIP A ČINNOST STEJNOSMĚRNÉHO STROJE	12
2.3 INDUKOVANÉ NAPĚTÍ A TOČIVÝ MOMENT	14
2.4 PRINCIP KOMUTÁTORU	15
2.5 KOMUTACE.....	15
2.6 REAKCE KOTVY	17
3 ROZDĚLENÍ STEJNOSMĚRNÝCH STROJŮ	18
3.1 STROJE S CIZÍM BUZENÍM.....	18
3.2 STROJE S DERIVAČNÍM BUZENÍM	19
3.3 STROJE SE SÉRIOVÝM BUZENÍM	20
3.4 STROJE S KOMPAUNDNÍM (SMÍŠENÝM) BUZENÍM.....	21
4 VINUTÍ STEJNOSMĚRNÝCH STROJŮ.....	23
4.1 VINUTÍ JÁDROVÉ (KONCENTROVANÉ).....	23
4.2 VINUTÍ ROZLOŽENÉ	23
5 OSTATNÍ POHONY	24
5.1 ASYNCHRONNÍ MOTOR	24
5.2 SYNCHRONNÍ MOTOR.....	24
6 LABORATORNÍ MĚŘENÍ.....	25
6.1 MĚŘENÍ STEJNOSMĚRNÉHO STROJE.....	25
7 ZÁVĚR	29
POUŽITÁ LITERATURA.....	30

Úvod

Stejnoseměrné stroje patří k nejstarším využívaným zdrojům elektrické energie, které pracují na principu přeměny elektrické energie na mechanickou. 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 pěti kapitol. V první kapitole je popsána historie stejnoseměrného stroje. Ve druhé kapitole se pojednává o konstrukční uspořádání stejnoseměrného motoru a principu činnosti. Dále jak se vytváří indukované napětí, okrajově o komutaci stejnoseměrného stroje a vliv reakce kotvy na magnetickém poli ve vzduchové mezeře. Třetí kapitola je zaměřena na rozdělení stejnoseměrných strojů, rozlišujeme je podle funkce na dynama a motory. Čtvrtá kapitola se věnuje vinutí stejnoseměrných strojů. V páté kapitole porovnááme stejnoseměrné motory s jinými pohony.

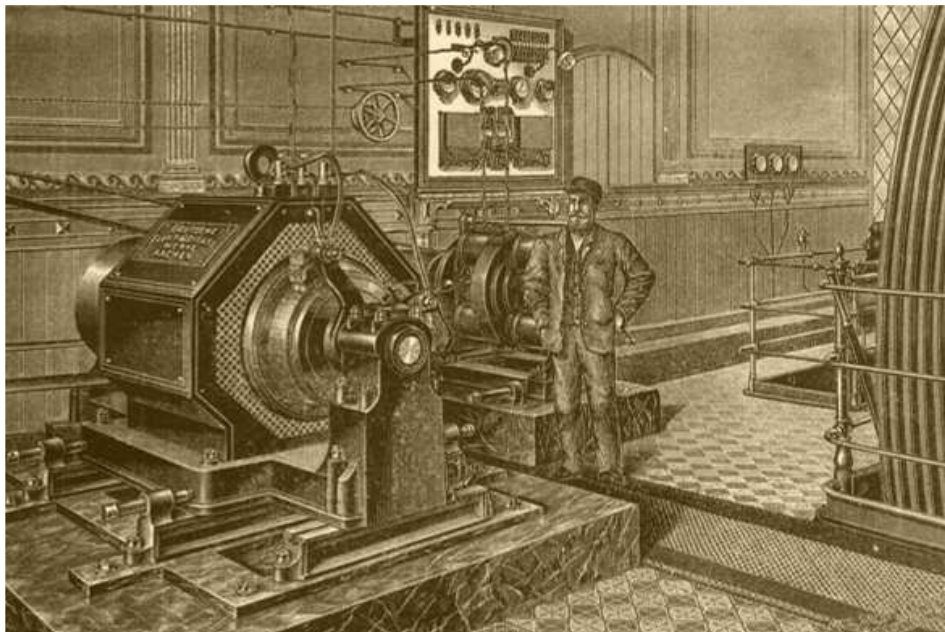
Druhá praktická část se zabývá vlastním měřením statických charakteristik. Jejím obsahem je zapojení stroje, měření momentové charakteristiky s cizím buzením, také výpočty, grafy a výsledné charakteristiky.

Seznam symbolů

U	-	Napětí [V]
P	-	Činný výkon [W nebo kW]
N	-	(n_{\min} - n_{\max}) točivá rychlost (rozsah otáček)
Z	-	Počet 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]
Φ	-	Budicí 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]
ω	-	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
M_i	-	Maximální točivý moment [N.m]

1 Historie stejnosměrného stroje

Stejnoseměrný stroj je historicky nejstarší točivý elektrický stroj. Byl využíván jako zdroj elektrické energie – dynama i jako motory při přeměně elektrické energie na mechanickou energii. Také s rozvojem polovodičové techniky řízenými usměrňovači, se omezovalo jejich používání jako zdrojů elektrické energie. V současné době se stejnosměrné motory používají především v elektrických regulovaných pohonech u obráběcích a těžních strojů, pro pohon válcovacích stolic. Stejnoseměrné stroje mají dobré regulační a dynamické vlastnosti a dobrou přizpůsobivost momentových charakteristik různým druhům zátěže. 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]

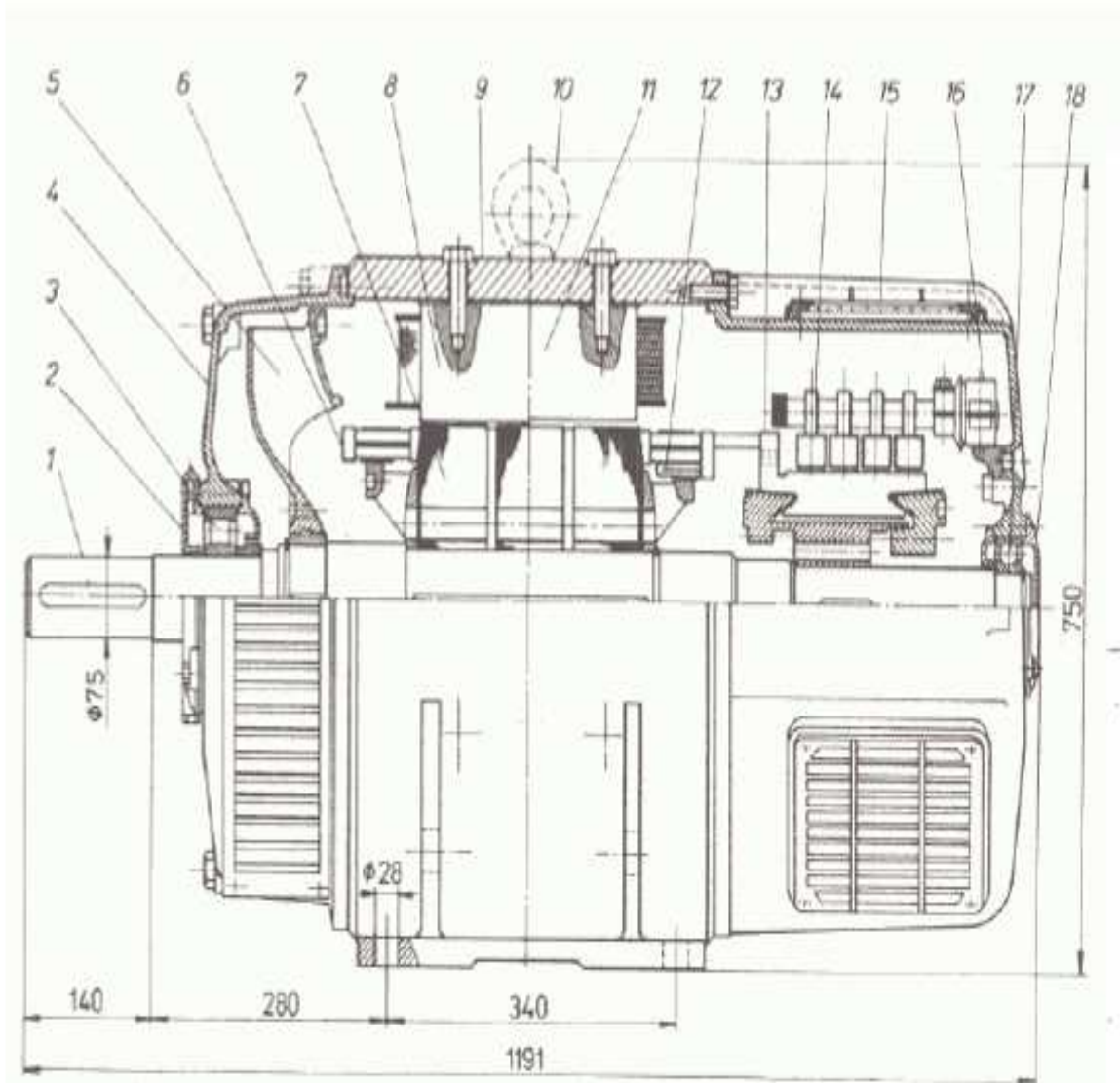


Obrázek 1 - historické dynamo [1]

2 Stejnoseměrné stroje

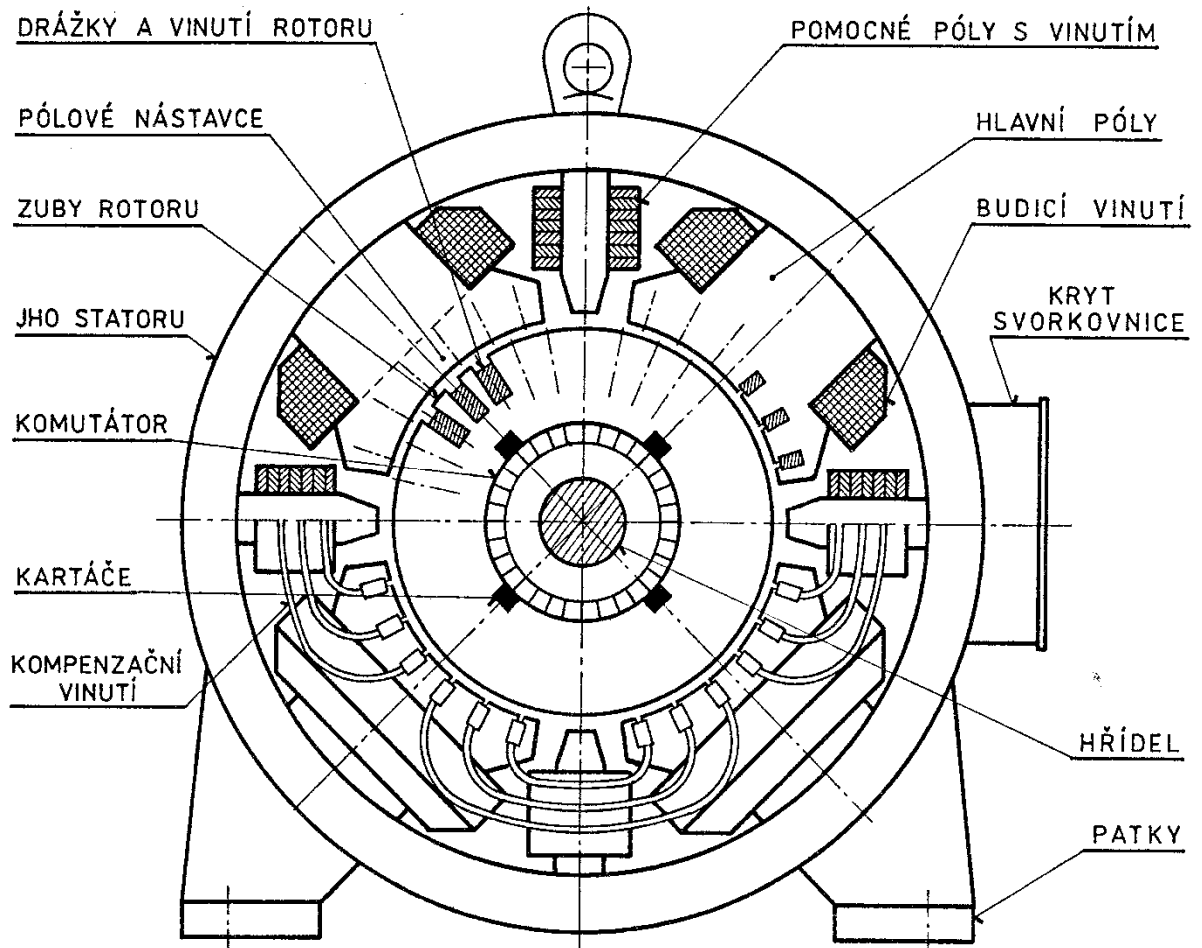
2.1 Konstrukční uspořádání

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 pevná 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. Polarity hlavních pólů se střídají po obvodu statoru, takže za severním pólem následuje vždy jižní pól, potom severní a opět jižní. Rotor je pohyblivá část motoru, která se skládá z tenkých izolovaných křemíkových plechů, v jejichž drážkách je uloženo vinutí cívek, kde se indukují střídavé elektrické napětí a na komutátoru usměřňuje 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 pleších je v drážkách umístěno stejnoseměrné vinutí. Komutátor s magnetickým obvodem je nasazený na hřídeli stroje. [10], [11]



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 – jeho statoru (kostra), 10 – závěsný šroub, 11 – pomocný pól s vinutím, 12 – vyrovnávací spojky, 13 – komutátor, 14 – kartáčové držáky, 15 – ložiskový štít přední s otvory krytými žaluziemi, resp. Průzory, 16 – nosný kruh, 17 – kuličkové ložisko, 18 – víčko ložisky



Obrázek 3 Konstrukce stejnosmřného stroje [12]

2.2 Princip a činnost stejnosmřného stroje

Princip a činnost stroje je založena na principu elektromagnetické indukce. Stejnosemřné 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. U stejnosmřných motorů je vytvoření magnetického pole stejné jako u ostatních motorů vlivem silového působení magnetického pole na vodiče protékáným proudem a vytvoření indukovaného napětí do pohybujících se vodičů. Má-li stroj pracovat jako motor, je třeba připojit ke kartáčům zdroj stejnosmřného 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

$$F = B \cdot I_a \cdot l$$

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 - síla pravidlo levé ruky – siločáry do dlaně; prsty směr proudu; palec – směr působící síly. [6], [11]

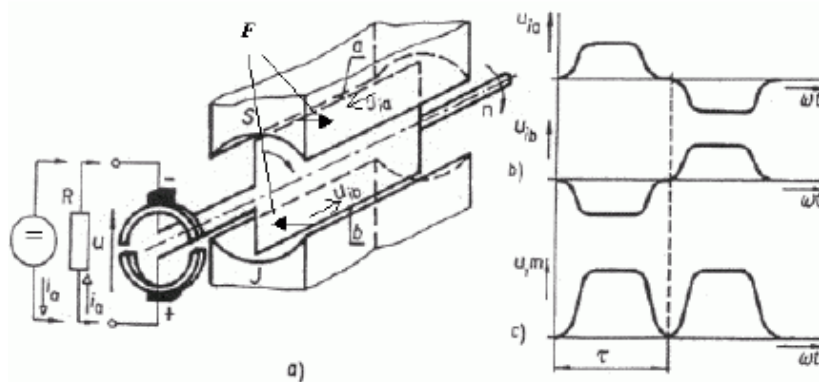
Základní vztahy:

$$U_i = C\Phi\omega$$

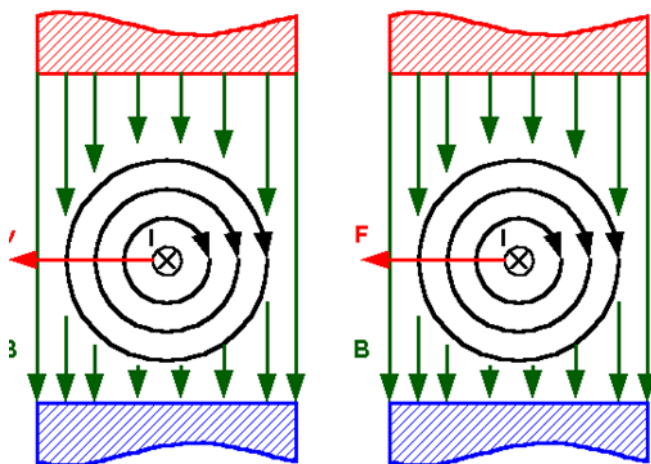
$$M_H = C\Phi I$$

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

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



Obrázek 4 Smyčka s komutátorem, rotující v homogenním magnetickém poli [11]



Obrázek 5 [12]

Pohyb vodiče – napětí.

Vodič protékáný proudem – síla.

Pravidlo levé ruky – siločáry do dlaně;

prsty

směr proudu; palec – směr působící

síly

2.3 Indukované napětí a točivý moment

Indukované napětí je součtem napětí, které se indukuje v jednom vodiči kotvy. Ve všech cívkách jsou napětí stejná, protože všechny 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 Φ , namísto indukce ve vzduchové mezeře a otáčky n , na místo obvodové rychlosti. Indukované napětí celého stroje je

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

celkové indukované napětí bude úměrné i velikosti U_{il} 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_l , které vytvoří moment

$$M_l = F_l \cdot D.$$

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

$$F_l = B \cdot I_l \cdot l.$$

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

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

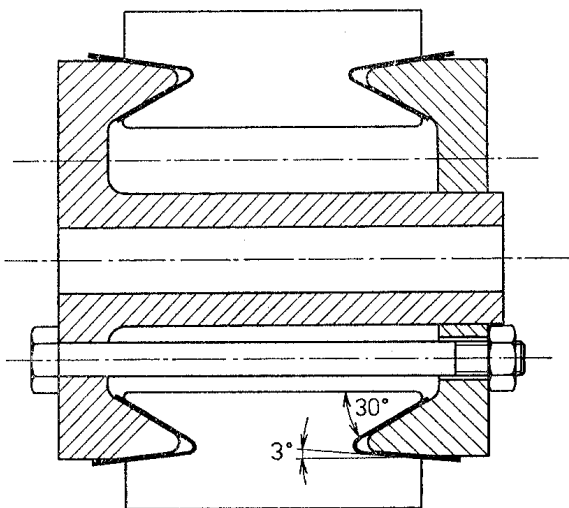
nebo výsledný vztah

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

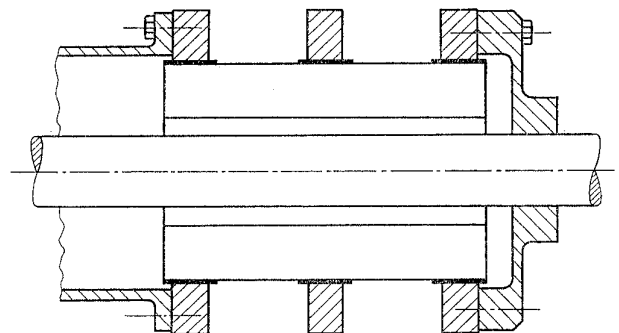
Konstanta C_M opět závisí na uspořádání konkrétního stroje. [11]

2.4 Princip komutátoru

Komutátor se používá pro napájení rotorových cívek převážně u stejnosměrných rotačních strojů. Jednotlivé cívky vinutí jsou připojeny k lamelám komutátoru, zajišťuje napájení rotorových cívek. Otáčením rotoru dochází na lamelách k přepínání směru proudu jednotlivých rotorových cívek, tak aby byla napájena vždy cívka u aktivního pólu. Cívka se aktivuje před polem s opačnou polaritou a je tedy pólovým nástavcem přitahována. Za jeho osou dojde k přepnutí a prepólování této cívky na stejnou polaritu. A tím je cívka již odpuzována tak aby byla dosažena co největší účinnost stroje. Na lamely doléhají nepohyblivé kartáče, které jsou pak součástí statoru. U generátoru tedy dynamo, má komutátor ještě funkci mechanického rotačního usměrňovače. Komutátorové stroje mají krátkou životnost, protože kartáče i komutátor se vlivem tření a jiskření rychle opotřebovávají a obroušují. [8], [9]



Obrázek 6 Válcový komutátor [12]

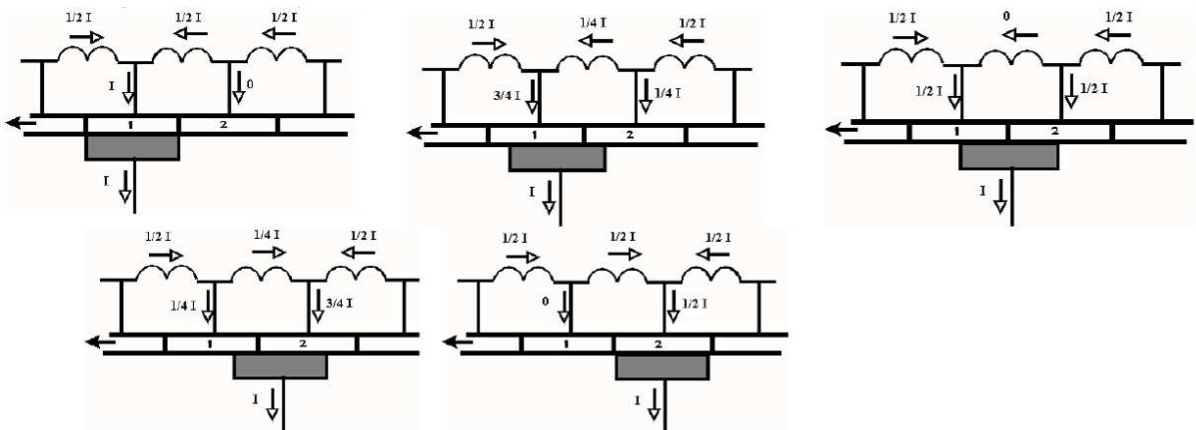


Obrázek 7 Zděřový komutátor [12]

2.5 Komutace

Komutací nazýváme proces, kdy v cívce vinutí kotvy dochází ke změně směru proudu za pomoci kartáčů. Komutátor je takové vinutí, které má nulový odpor a nulovou indukčnost. Přechází-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. Musí být nastaveny kartáče v neutrálních osách, aby nedocházelo ke komutaci, když je na cívkách napětí. Po skončení komutace leží kartáč na druhé lamele a začne protékat cívkou stejný proud jako na začátku komutace. Během komutace se indukuje napětí do komutující cívky,

keré vzniklo pohybem cívky v magnetickém poli a napětí reaktanční indukované časovou změnou proudu v komutující cívce. Pokud se bude měnit poloha při zatížení stroje vlivem reakce kotvy, bude se komutující cívka nacházet v magnetickém poli s nenulovou indukcí, 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. [6]



Obrázek 8 [2]

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:

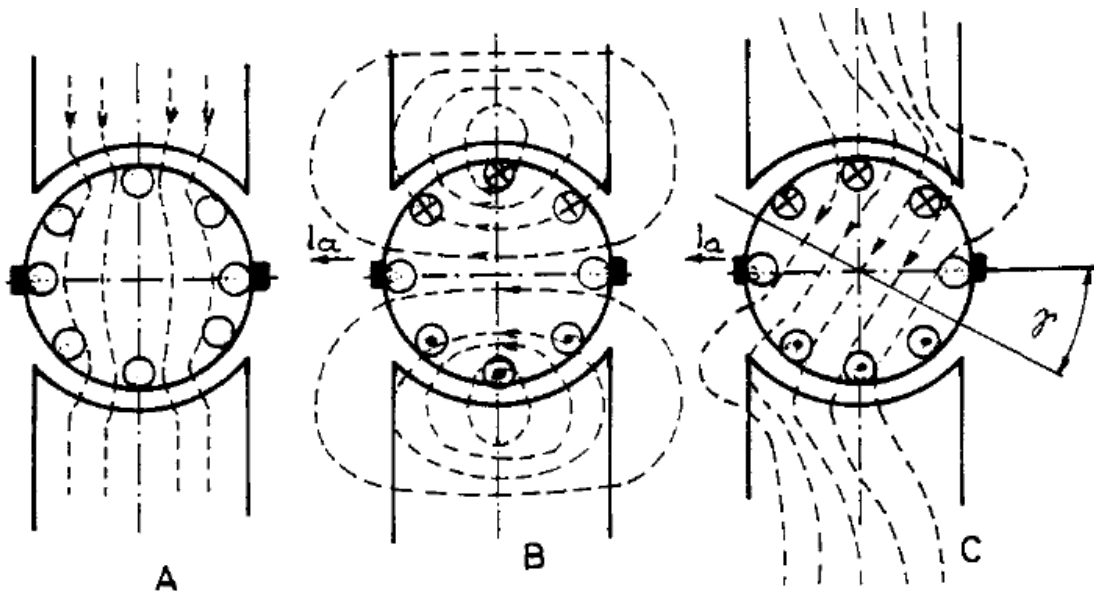
vlivem napětí, které se indukuje v komutující cívce - např.
nevhodná kvalita kartáčů

Zlepšení komutace:

kompenzační póly, pomocné póly, natáčení kartáčů.

2.6 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 neutrálu o úhel α vůči geometrické 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. Celkový tok, tedy i indukované napětí je proto menší. Zmenšení magnetického toku při zatížení je nutné 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. [8], [10]



Obrázek 9 Vliv reakce kotvy na magnetické pole ve vzduchové mezeře [13]

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

3 Rozdělení stejnosmřných strojů

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

3.1 Stroje s cizím buzením

Budicí vinutí hlavních pólů je napájeno z nezávislého stejnosmřného zdroje a nebo 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 sniřování otáček je sniřováno 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 usmřňovač ze sítě střídavého napětí. Napájecí i budicí napětí pak může být sniřováno regulačním transformátorem nebo řízeným usmřňovačem. 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 zatřžení. Chladit intenzivně je třeba pokud jsou motory provozovány při běžném zatřžení a nízkých otáčkách. Stejnosemřné motory

s cizím buzením jsou používány jako pohony strojů s proměnlivým mechanickým odporem, např. pro pohon obráběcích strojů. [8], [11]

Dynamo

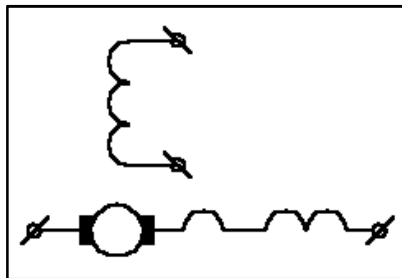
Výhody: jednoduchá reverzace, zapojení, téměř bezztrátové a snadné řízení otáček a stabilita.

Použití: budiče synchronních strojů a řídicí dynamo v Leonardově skupině.

Motor

Výhody: jednoduchá reverzace, zapojení a téměř bezztrátové a snadné řízení otáček.

Použití: samočinné regulační pohony v průmyslu. [11]



Obrázek 10 Cizí buzení [12]

3.2 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 stále buzení. Spouštěcím odporem lze regulovat otáčky derivačního motoru a odporem regulátoru budicího pole. Derivační motor se chová při běhu na prázdno i při zatížení jako motor s cizím buzením. Zatěžovací charakteristiku má stejnou. Motory, které se při běhu na prázdno 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 derivační motory i motory 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. [8], [11]

Dynamo

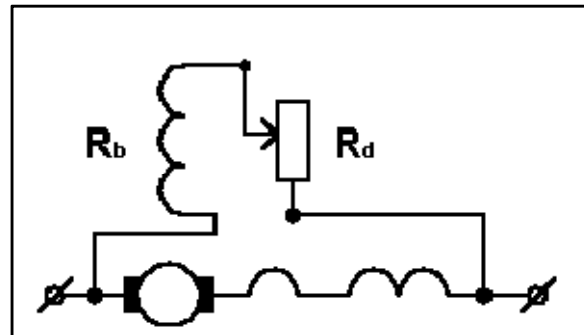
Výhody: jsou soběstačné zdroje proudu

Použití: pomocné budiče synchronních alternátorů

Motor

Výhody: jednoduchá reverzace, zapojení a téměř bezztrátové a snadné řízení otáček

Použití: samočinné regulační pohony v průmyslu



Obrázek 11 Derivační buzení [12]

3.3 Stroje se sériovým buzením

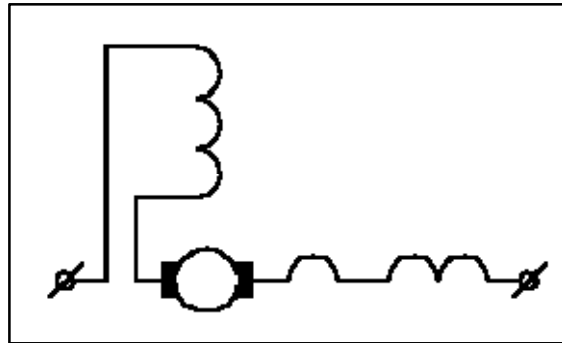
Budící vinutí hlavních pólů je zapojeno v sérii s vinutím kotvy. K řízení otáček se používá předřadný reostat, případně polovodičový pulzní měnič odporu. Z uvedeného vyplývá, že stejný proud teče jak budícím vinutím, tak i vinutím kotvy (sériový obvod). Zvyšujeme-li zatížení takového motoru, vzrůstá 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 motorky 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. Tyto motorky lze napájet jak střídavým, tak i stejnosměrným proudem. [8], [11]

Dynamo**Nestabilní stroj**

Použití: brzdění do odporu v trakci, transportních zařízeních a jeřábech.

Motor**Motor nesmí běžet bez zatížení**

Použití: jeřáby, elektrická vozidla, trakční motory a transportní zařízení



Obrázek 12 sériové buzení [12]

3.4 Stroje s kompaundním (smíšeným) buzením

Motory s kompaundním buzením mají sériové i paralelní budící 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 budící vinutí. Otáčky se regulují odporem spouštěče i odporem regulátoru pole budícího proudu. Sériové budící 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 budící 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 proudu 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. [8], [11]

Dynamo kompaundní buzení

charakteristika tvrdá, odstraňuje nestabilitu

Dynamo protikompaundní buzení

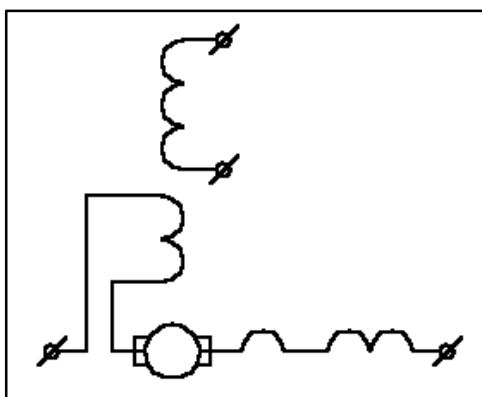
svařovací stroje, měkká charakteristika

Motor kompaundní buzení

charakteristika měkkí, zmírnění nárazů při špičkách, možnost provozu naprázdno

Motor protikompaundní buzení

konstantní rychlost nezávislá na zatížení – slabá protikompaudace, nestabilní stroj



Obrázek 13 Kompaundní buzení [12]"

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

Tabulka 1 Zapojení - vinutí statoru

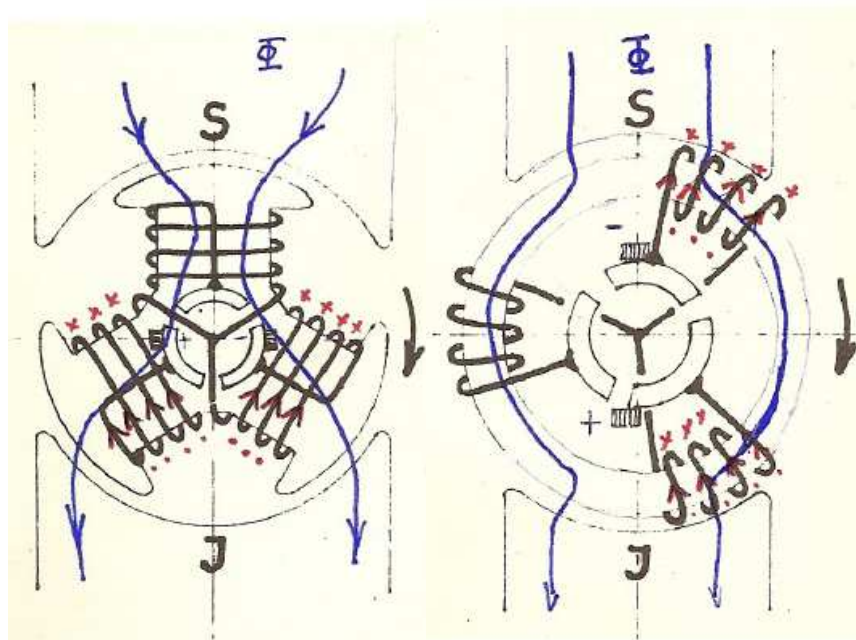
4 Vinutí stejnosměrných strojů

4.1 Vinutí jádrové (koncentrované)

Na železném nebo nezelezném jádře je 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.

4.2 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 posunuté 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[12]

5 Ostatní pohony

5.1 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 magnetické 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 na krátko je přepínačem hvězda – trojúhelník. Regulace otáček se řeší zejména změnou frekvence napájecího napětí pomocí polovodičového měniče.

5.2 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 se statoru, který má trojfázové vinutí a při napájení trojfázovým proudem vytvoří točivé magnetické pole. Rotor je tvořen buď z plechů s uloženým budičím vinutím a napájen ze zdroje DC napětí nebo je tvořen permanentním magnetem. Synchronní motory při zatížení mají stejné otáčky jako točivé pole statoru.

6 Laboratorní měření

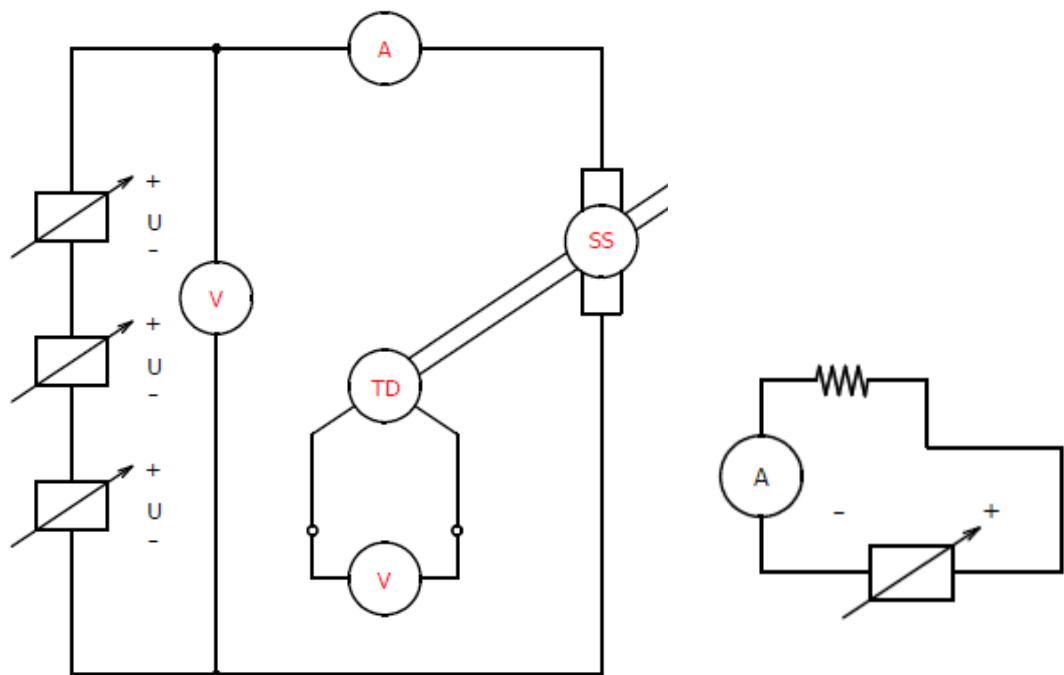
6.1 Měření stejnosměrného stroje

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

Stejnosemny stroj		Synchronní generátor	
n[ot/min]	3000	P[kW]	1,4
P[W]	550	U[V]	83
I[A]	2	I[A]	11
I _b [A]	0,6	n[ot/min]	3000

Tabulka 2

Schéma zapojení:



Vztahy použité pro výpočet:

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

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

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

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

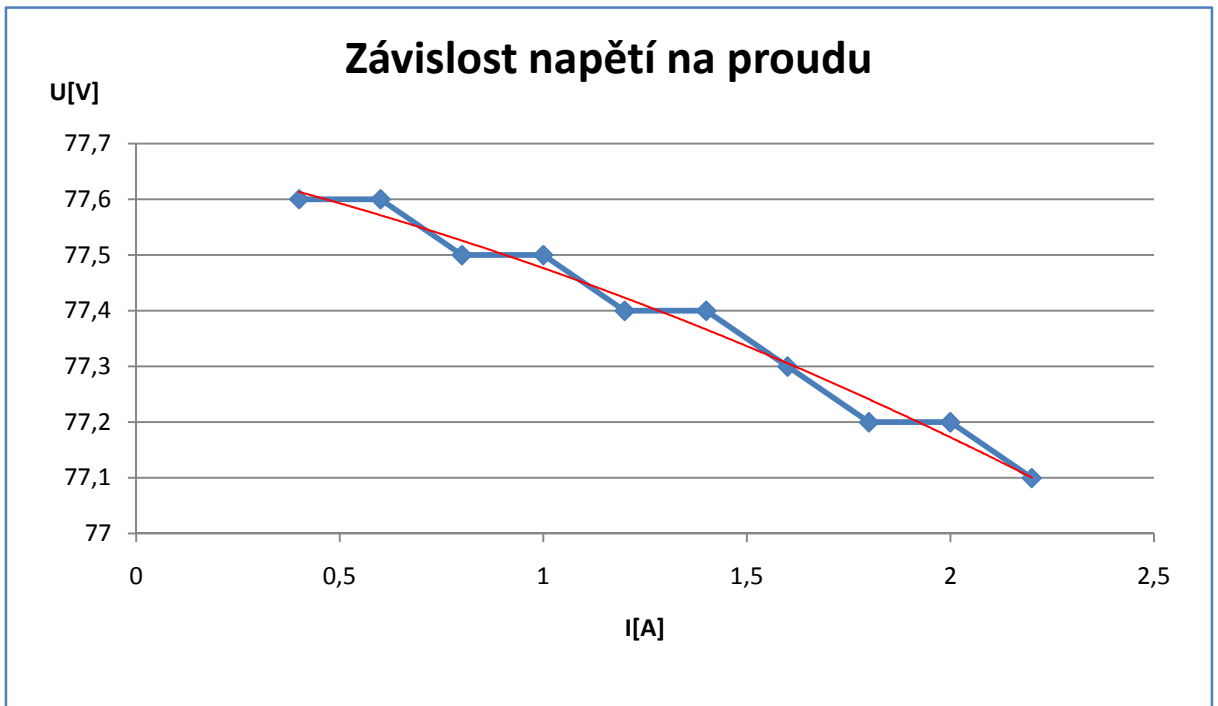
$$P_p = U \cdot I = 77,6 \cdot 0,4 = 31,04 \text{ W}$$

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

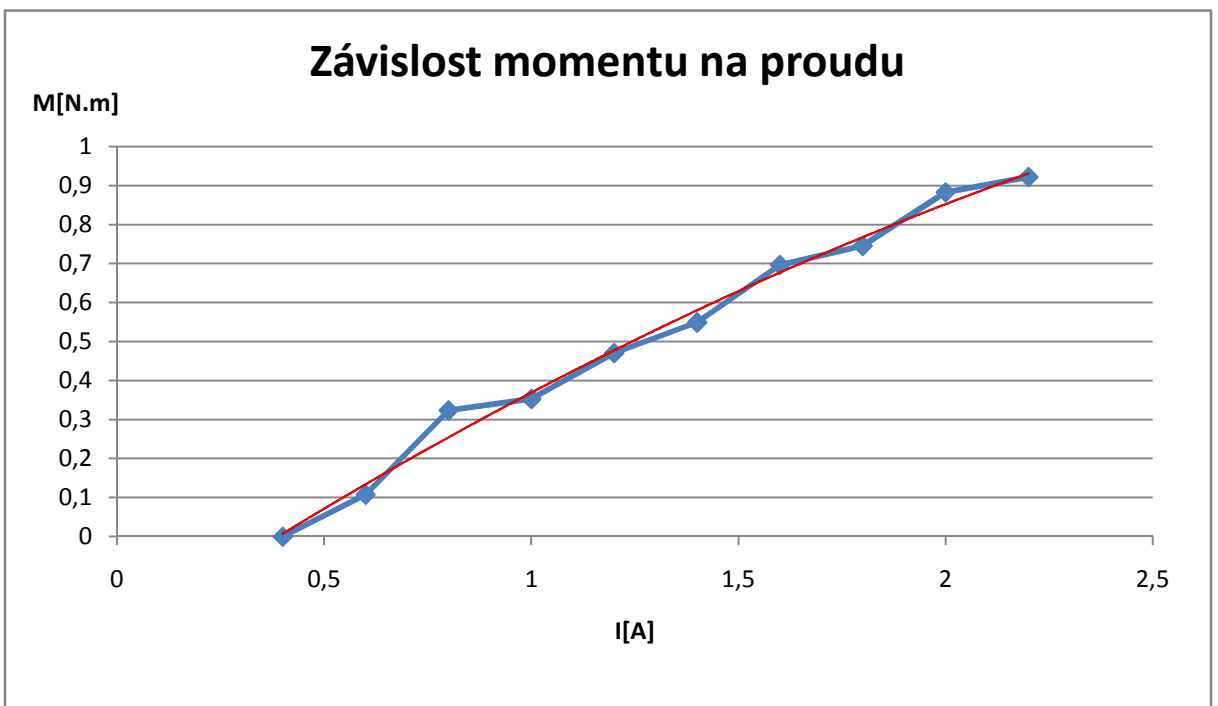
$$h = \frac{P}{P_p} \cdot 100 = \frac{16,94187}{46,56} \cdot 100 = 36,38718 \%$$

I [A]	U[V]	Utg [V]	n	Mi[KP.cm]	M[KP.cm]	M [N.m]	ω [rad.s]	P [W]	P _p [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

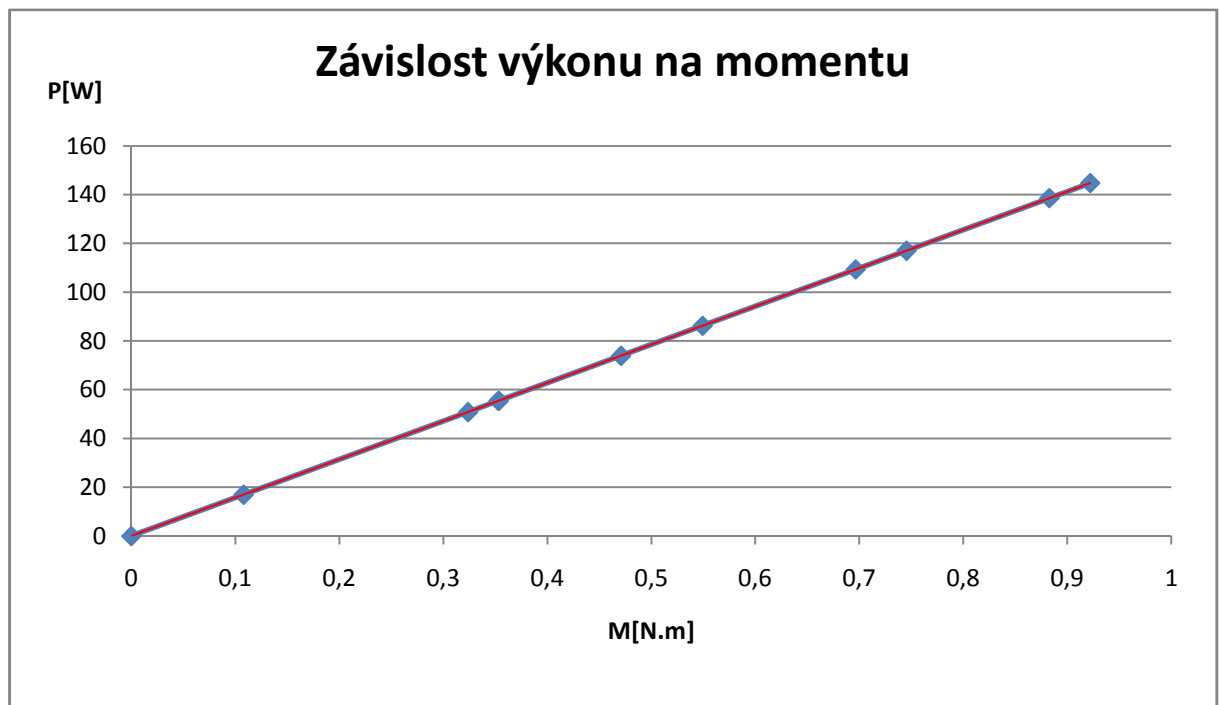
Tabulka 3 Naměřené hodnoty



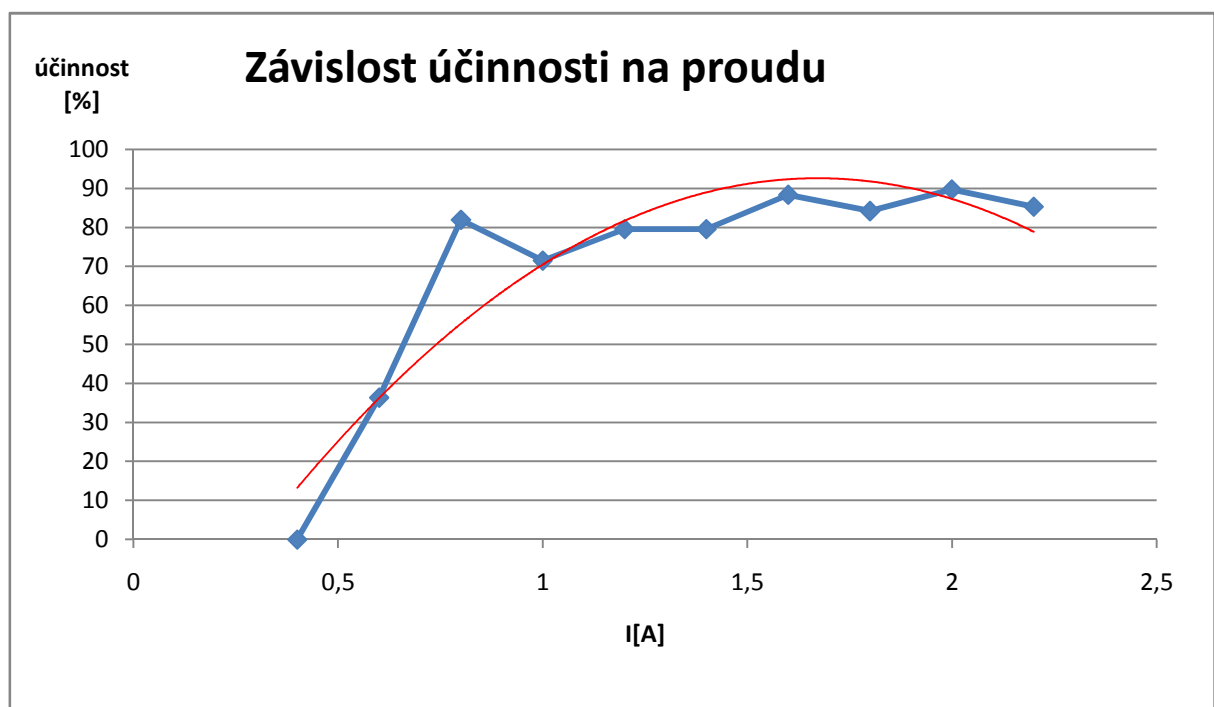
Graf 1



Graf 2



Graf 3



Graf 4

7 Závěř

Význam stejnosměřných strojů s rozvojem a modernizací výroby, také vývojem nové techniky pohonů i elektrické trakce. V posledních desetiletí jsou stejnosměřné generátory zatlačována modernějšími zdroji stejnosměřného proudu, jako jsou statické měniče. Se stejnosměřným motorem je elektrický pohon zvlášť rozšířen v dopravě, a to v městské tak i v železniční a u pohonů zařízení válcoven, v papírnách, dolů a u obráběcích strojů. Ve většině provozních použití stejnosměřných strojů se bude jednat o přerušovaný chod stroje, velké proudové a napěťové změny, časté reverzace, také velmi náročné provozní podmínky. Vlastnosti stejnosměřných motorů je velký kroučící moment při malých otáčkách, jednoduchá otáčková regulace, snadná přizpůsobivost zatěžovacích charakteristik poháněnému zařízení a velká výkonová i momentová přetížitelnost. Stejnosemřné 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 mim cílem nastudovat funkci stejnosměřných motorů a provozní charakteristiky těchto strojů. Jsou zde uvedeny základní principy funkce stejnosměřných strojů, konstrukční provedení, výpočty, grafy a tabulky.

V praktické části bylo provedené měření na stejnosměřném stroji s cizím buzením a měření otáček pomocí tachodynamy. Laboratorní zařízení bylo úspěšně uvedeno do provozu. Při měření jsem si ověřila zatěžování stejnosměřného 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 stejnosměřných 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] <http://www.starestroje.cz/historie/historie.elektrina.php>
- [2] <http://www.spse.dobruska.cz/download/ss.pdf>
- [3] Bartoš, V.: *Elektrické stroje*; Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň 2006
- [4] Bartoš, V., Červený J., Kotlanová A., Skála B.: *Elektrické stroje*; Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň 2006
- [5] Pittermann M.: *Elektrické pohony*, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň 2008
- [6] <http://www.sse-lipniknb.cz/7ucivo/ESP/stejnoserne.pdf>
- [7] <http://www.uloz.to/x1VytMz/stejnoserne-stroje-pdf>
- [8] <http://www.jsmilek.cz/skripta%20pdf/esp%2010%20ssm%20skripta.pdf>
- [9] <http://elektrika.cz/data/clanky/stejnoserne-stroje>
- [10] http://www.janoud.cz/sub/jcuele/15_Elektricke_stroje_3.pdf
- [11] http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosmerne_stroje_bc.pdf
- [12] http://sipal.fvtm.ujep.cz/EIEI/EIEI_09.pdf
- [13] http://www.mti.tul.cz/files/evc/EI_Str2_h.pdf