

Elektrické točivé stroje

Electric rotary machines

Juřica Lukáš

Bakalářská práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektrotechniky a měření

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš JUŘICA**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Elektrické točivé stroje**

Zásady pro vypracování:

1. Na základě literatury vypracujte přehled principů elektrických točivých strojů.
2. V přehledu zpracujte průřez vývojem elektrických točivých strojů od historie až po současnost.
3. Vypracujte přehled v současnosti na trhu dostupných zařízení včetně cen.
4. Uvedte které ze současných zařízení jsou vhodné pro použití v průmyslu komerční bezpečnosti.
5. Uvedte příklady použití v průmyslu komerční bezpečnosti.
6. Vypracujte prezentaci v programu Power pointseznamující s touto problematikou.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. BAŠTA, J., CHLÁDEK, J., MAYER, I. Teorie elektrických strojů. vyd. Praha : SNTL Nakladatelství technické literatury, n. p, 1968. 584 s.
2. MRAVENEK, R. Elektrické stroje a přístroje : I.Elektrické stroje . Praha : SNTL/ALFA Nakladatelství technické literatury, 1979. 432 s.
3. HAVELKA, Jiří, DRESLER, Jaromír, JÍLEK, Vladimír. Montáž, údržba a opravy elektrických strojů točivých. Praha : STRO.M, 1995. 227 s.
4. ROUBÍČEK, Ota. Elektrické motory a pohony. Praha : BEN-technická literatura, 2004. 192 s. ISBN 80-7300-092-X.
5. CIGÁNEK, Lad. Elektrické stroje. Praha : Vědecko-technické nakladatelství, 1950. 814 s.
6. MAJER, Daniel. Pohled do minulosti elektrotechniky. České Budějovice : Kopp, 1999. 256 s. ISBN 80-7232-092-0.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

22. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2008

Ve Zlíně dne 22. února 2008


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Práce zahrnuje přehled principů elektrických točivých strojů, tj. např. elektromotorů a generátorů elektrického proudu. Přehled zahrnuje historii i současnost a jsou v něm zmíněny jak stejnosměrné, tak střídavé stroje. Dále je zde vypracován přehled v současnosti na trhu dostupných zařízení, včetně ceny a vhodné oblasti použití. Součástí práce je prezentace seznamující přehledně s touto problematikou.

Klíčová slova: generátor, elektrický motor, alternátor.

ABSTRACT

Work includes summary of principle electric rotary machines, for example elektromotors and generatore for electric power. Summary includes history and present time, there are mentions about AC and DC machines. That is here a summary of all on our market available device, together with a prices and possibility for use. Part of work is a presentation with introduction of this problematic.

Keywords: generator, elektromotors, alternator

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Lubomíru Macků, Ph.D. za odborné vedení práce, rady a věcné připomínky, které mi poskytl v průběhu konzultací.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 HISTORIE ELEKTRICKÝ TOČIVÝCH STROJŮ	11
1.1 VÝVOJ FYZIKÁLNÍCH PRINCIPŮ STEJNOSMĚRNÝCH ELEKTRICKÝCH STROJŮ	11
1.2 STRÍDAVÉ TOČIVÉ STROJE A TROJFÁZOVÁ ROZVODNÁ SOUSTAVA – NIKOLA TESLA.....	19
1.2.1 Teslův vynález asynchronního motoru	20
1.2.2 Volba vhodného kmitočtu	24
1.3 SOUČASNOST	25
2 STEJNOSMĚRNÉ GENERÁTORY (DYNAMA)	26
2.1 PRINCIP ČINNOSTI.....	26
2.1.1 Stator	26
2.1.2 Rotor.....	26
2.1.3 Komutátor	27
2.1.4 Komutace	27
2.2 ROZDĚLENÍ STEJNOSMĚRNÝCH GENERÁTORŮ.....	27
2.3 DYNAMO S CIZÍM BUZENÍM	28
2.4 SÉRIOVÉ DYNAMO	29
2.5 DERIVAČNÍ DYNAMO	31
2.6 KOMPAUNDNÍ DYNAMO.....	33
3 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY	35
3.1 PRINCIP ČINNOSTI STEJNOSMĚRNÝCH MOTORŮ	35
3.2 MOTOR S CIZÍM BUZENÍM	36
3.3 MOTOR S DERIVAČNÍM BUZENÍM.....	40
3.4 MOTOR SE SÉRIOVÝM BUZENÍM.....	42
3.5 MOTOR S KOMPAUNDNÍM BUZENÍM.....	46
4 ALTERNÁTORY	49
4.1 KONSTRUKCE ALTERNÁTORŮ	49
4.2 ALTERNÁTOR S VYNIKLÝMI PÓLY	49
4.3 ALTERNÁTOR S HLADKÝM ROTOREM	50
4.4 PRINCIP ČINNOSTI ALTERNÁTORU A VELIKOST INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ.....	51
4.5 PROVOZNÍ STAVY ALTERNÁTORU	52
4.5.1 Chod na prázdno	52
4.5.2 Chod při zatížení	53
4.5.3 Chod na krátko	55
5 SYNCHRONNÍ MOTOR	57

5.1	KONSTRUKCE	57
5.2	SPOUŠTĚNÍ	57
5.3	SPECIÁLNÍ SYNCHRONNÍ STROJE.....	61
5.3.1	Selsyn	61
5.3.2	Krokové motory	62
6	ASYNCHRONNÍ STROJE	64
6.1	ROZDĚLENÍ.....	64
6.2	TROJFÁZOVÉ ASYNCHRONNÍ MOTORY	65
6.2.1	Popis trojfázového indukčního motoru s kotvou nakrátko	65
6.2.2	Popis kroužkového motoru	65
6.3	SPOUŠTĚNÍ ASYNCHRONNÍHO STROJE	66
6.3.1	Všeobecné zásady	66
6.3.2	Druhy spouštění motorů s kotvou nakrátko	66
6.3.2.1	Přímé připojení k síti	67
6.3.2.2	Přepínač hvězda –trojúhelník	67
6.3.2.3	Spouštění pomocí transformátorem	69
6.3.2.4	Rozběhová spojka	70
6.3.3	Zmenšení záběrného proudu a zvětšení záběrného momentu.....	71
6.3.3.1	Odporová klec	71
6.3.3.2	Dvojitá klec.....	71
6.3.3.3	Vírová klec.....	73
6.3.4	Spouštění asynchronního kroužkového motoru	74
6.4	JEDNOFÁZOVÉ ASYNCHRONNÍ MOTORY	76
6.4.1	Jednofázový asynchronní motor s kotvou nakrátko.....	76
6.4.2	Jednofázové motory s pomocným vinutím	77
6.4.3	Trojfázový motor v jednofázové síti.....	79
6.5	ASYNCHRONNÍ GENERÁTOR	80
II	PRAKTICKÁ ČÁST	82
7	VÝROBCI ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ	83
7.1	VÝROBCI MOTORŮ A GENERÁTORŮ.	83
8	CENY ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ	90
9	VYUŽITÍ V BEZPEČNOSTNÍCH TECHNOLOGIÍCH	91

9.1	POHON PRO OTOČNÉ BRÁNY	91
9.2	POHON PRO POSUVNÉ BRÁNY	92
9.3	POHON GARÁŽOVÝCH VRAT	93
9.4	POHON ZÁVOR.....	94
9.5	ROTÁTORY PRO NATÁČENÍ KAMER	95
9.6	TURNIKET.....	96
9.7	SILNIČNÍ BARIÉRA	96
9.8	ELEKTROCENTRÁLA	97
ZÁVĚR.....		99
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....		100
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		101
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		103
SEZNAM OBRÁZKŮ		104
SEZNAM PŘÍLOH.....		108

ÚVOD

Brzy po objevu elektrické energie začal člověk přemýšlet, jak ji nejlépe využít a jak ji vyrábět v dostatečném množství, aby pokryla tehdejší potřeby. A tak mimo jiných vynálezů vznikly elektrické točivé stroje. Tyto stroje mohou pracovat jako generátory, to znamená, že převádějí mechanickou energii získanou pomocí větru, vody a tepla, na energii elektrickou, a nebo jako motory, které naopak el. energii převádí na mechanickou energii.

V současné době se tyto stroje staly neodmyslitelnou součástí našeho života. Pomocí generátorů získáváme elektrickou energii v elektrárnách, kterou dále využíváme na napájení motorů ulehčující lidem práci v průmyslu a dopravě, ale i v našich domácnostech. Nemalé uplatnění nacházejí tyto stroje i v průmyslu komerční bezpečnosti, zejména jako pohony bran, vrat, závor atd.

Tato práce vznikla s úmyslem vytvořit přehled používaných typů těchto strojů a jejich vlastností. Ke zpracování teoretické části práce bylo využito informací získaných z technické literatury a v praktické části bylo pak využito informací získaných z materiálů uveřejněných na webových stránkách firem.

V úvodu této práce je zpracován historický vývoj el. točivých strojů, druhá část se věnuje principům činnosti těchto strojů. V poslední části práce se pak nachází přehled výrobců el. točivých strojů a jejich praktické využití v průmyslu komerční bezpečnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE ELEKTRICKÝ TOČIVÝCH STROJŮ

Vývoj, projektování a výrobu točivých a netočivých elektrických strojů lze rozdělit do tří časových etap.

První etapa (asi do r. 1880) je charakterizována objevy fyzikálních principů elektrických strojů. První modely strojů byly především fyzikálními hračkami o nepatrném výkonu, jejich praktické využití nepřicházelo v úvahu.

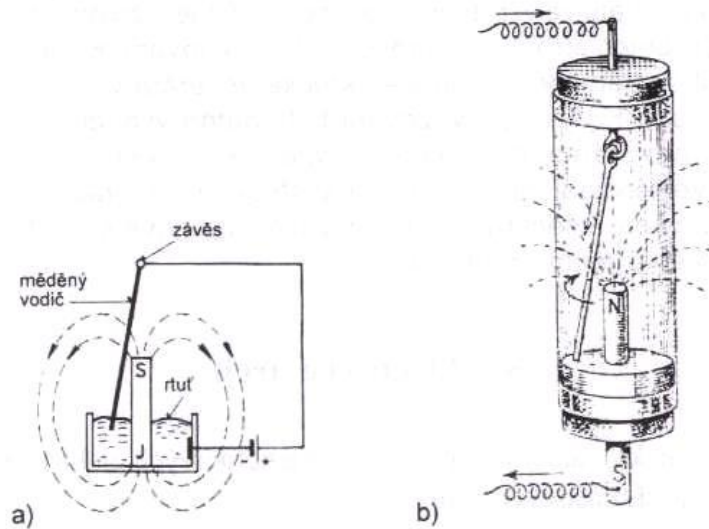
Ve druhé etapě (r. 1880 – 1910) byly tyto modely strojů zdokonalovány, jejich účinnost a výkon se zvyšoval. Elektromagnetické procesy ve strojích byly interpretovány teoreticky, což umožnilo další zdokonalování těchto strojů. Elektrické stroje se začínají uplatňovat v praxi: generátory nahrazovaly galvanické články, elektromotory vytlačovaly parní stroje.

Třetí etapa (od r. 1910 doposud): elektrické stroje se staly nedílnou součástí průmyslu a energetiky. Nové teoretické poznatky a využívání nových materiálů a technologií směřuje k dosažení funkčně i ekonomicky dokonalých výrobků. [6]

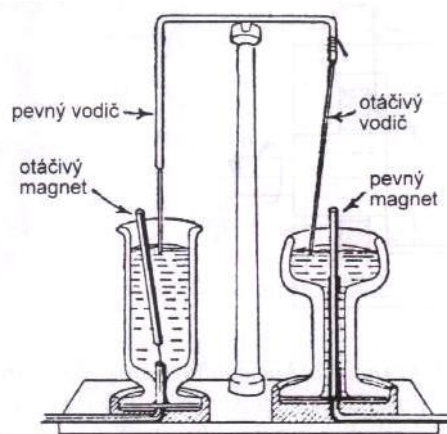
1.1 Vývoj fyzikálních principů stejnosměrných elektrických strojů

Galvanický článek (Volta, r. 1800), jakožto zdroj elektrické energie, ovlivnil představy elektrotechniků do té míry, že jiné proudy než stejnosměrné nepovažovali za prakticky použitelné. Proto též první elektrické stroje byly stejnosměrné.

První zařízení pro přeměnu elektrické energie na mechanickou a naopak sestrojil M. Faraday r. 1821. Šlo o spíše jen o fyzikální pokus znázorněný na obr. 1.1: měděný vodič je svým jedním koncem zavěšen a druhým je ponořen do misky se rtutí. Při průchodu proudu se vodič otáčel kolem osy permanentního magnetu. Tento model fungoval nejen jako „motor“, ale též jako „dynamo“. To přivedlo Faradaye na myšlenku spojit dvojici těchto zařízení podle obr. 1.2, což umožnilo přenos mechanické energie elektrickým proudem. Toto zařízení se ovšem v praxi neuplatnilo.



Obr. 1. 1 Faradayův experiment, v němž dochází k otáčení proudovodiče zavěšeného v magnetickém poli permanentního magnetu a) ... princip experimentu, b) skutečné provedení

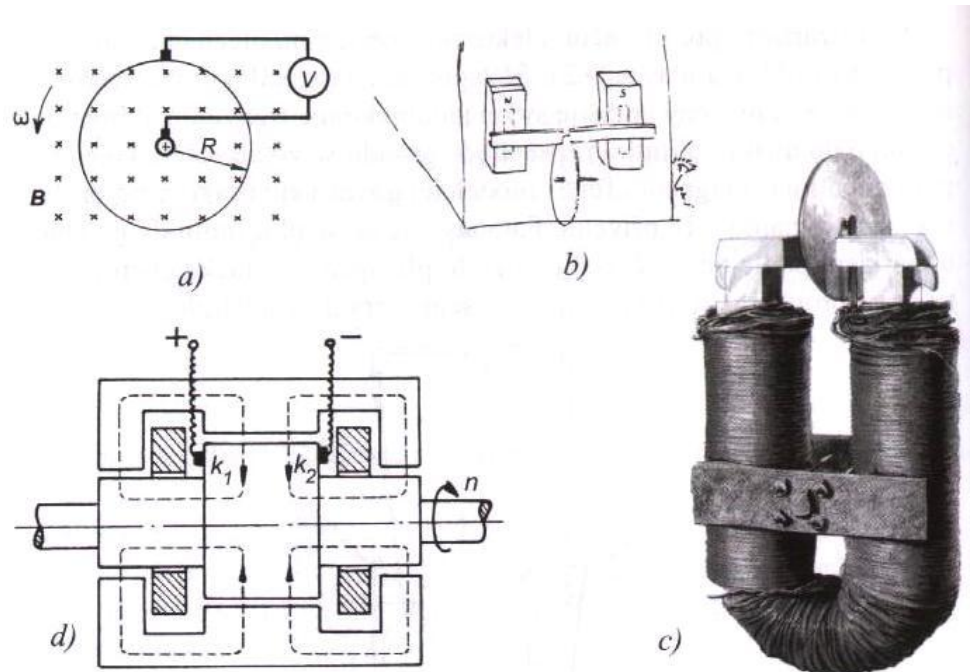


Obr. 1. 2 Faradayův experiment, při němž se přenáší mechanické energie pomocí elektrického proudu. Zařízení vlevo pracuje jako „generátor“, vpravo jako „motor“

První životaschopný stejnosměrný stroj byl stroj *homopolární* (*unipolární*), jehož objevitelem je též M. Faraday (r. 1830). Na obr. 1.3 je vyznačen princip homopolárního stroje (tzv. Faradayův kotouček), Faradayova skicu, Faradův model a jedno ze soudobých konstrukčních provedení.

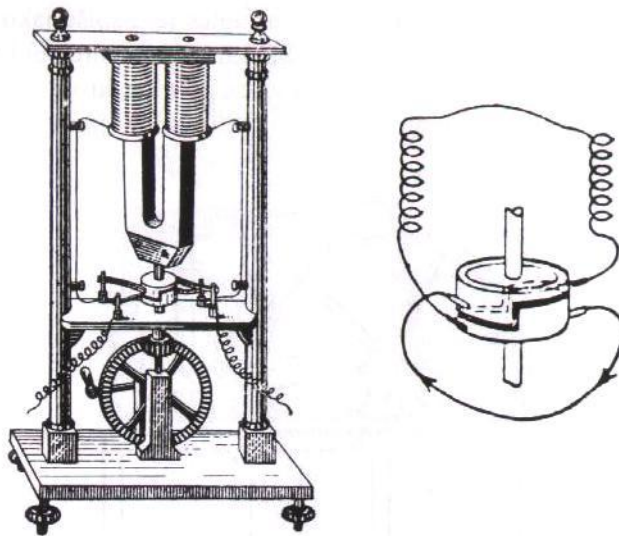
Zakrátko vznikly další typy elektrických strojů. Stroje, které měly působit jako zdroje elektrické energie si nedovedli jejich tvůrci představit jinak než jako zdroje

stejnoseměrné, a proto je opatřovali mechanickým usměrňovačem střídavého indukovaného napětí – komutátorem. Jedním z prvních strojů tohoto typu je generátor, který zkonstruoval.



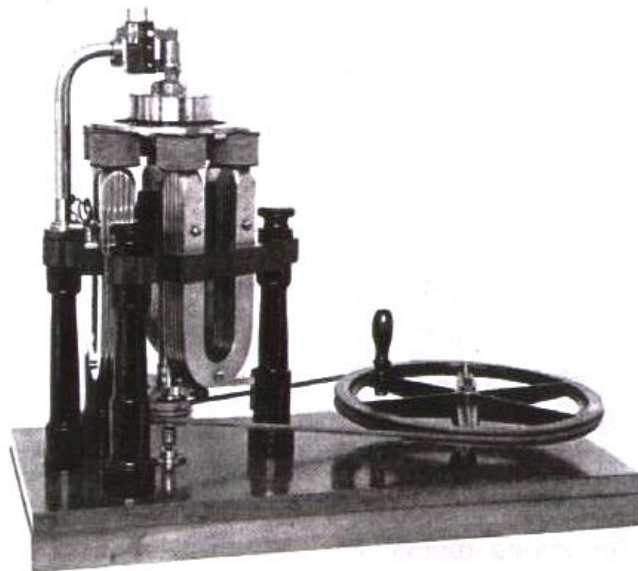
Obr. 1. 3 Faradayův homopolární stroj: a) ... princip, b) ... reprodukce z Faradayova deníku, c) ... Faradayovo experimentální uspořádání, d) ... souboré konstrukční provedení

HYPOLIT PIXII, v Paříži, v r. 1832 (obr. 1.4). Otáčející se permanentní magnet tvaru podkovy indukoval v nepohyblivých cívkách střídavé napětí. To bylo mechanicky usměrňováno přepínačem (obr. 1.4 vpravo), z něhož se později vyvinul komutátor.



Obr. 1. 4 Dynamo Hypolita Pixiiho z r. 1832

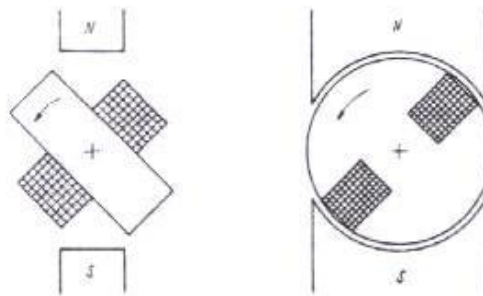
Pixiiho dynamo konstrukčně zdokonalil EMIL STÖHRER z Lipska, roku 1843. Místo jednoho otáčivého permanentního magnetu použil tři pevné, navzájem pootočené podkovité magnety. Nad póly magnetů se otáčelo šest cívek, obr. 1.5. Změnou magnetického toku zpraženého s cívkami se v nich indukovalo střídavé napětí.



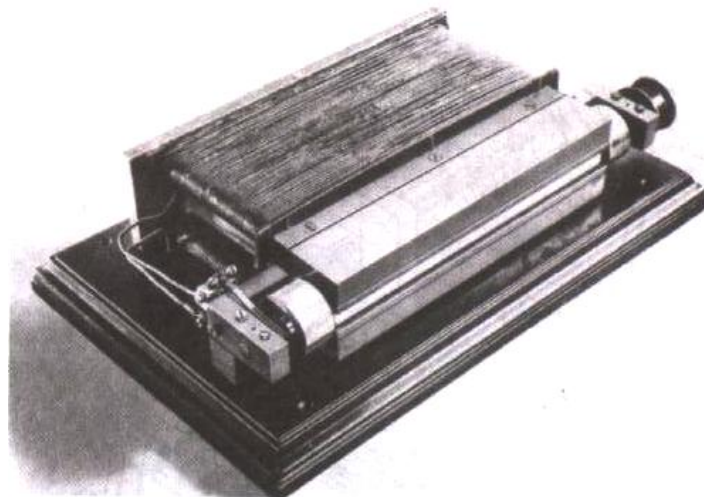
Obr. 1. 5 Stohrerův magnetoelektrický stroj z r. 1843

První prakticky použitelný stejnosměrný stroj navrhl WERNER von SIEMENS. Uvědomil si, že je třeba lépe vyřešit magnetický obvod stroje. Cívku, do níž se indukuje

napětí, navinul na železné jádro, které se otáčelo mezi póly permanentního magnetu, obr. 1.6a. Tím zmenšil rozptylové magnetické pole, docílil podstatně větších změn magnetického toku spřaženého s cívkou a tedy (u dynama) většího indukovaného napětí. Tento účinek ještě podstatně zvětšil vhodným tvarem rotujícího jádra – nazývalo se „kotva tvaru dvojitého T“ („Doppel-T-Anker“), obr. 1.6b. Zprvu se používal tento Siemensův stroj jen pro zcela malé výkony, např. jako dynamko pro zvonkovou signalizaci pro telefonní spojení, nebo jako dynamko pro elektrické odpalování výbušných náloží (obr. 1.7).



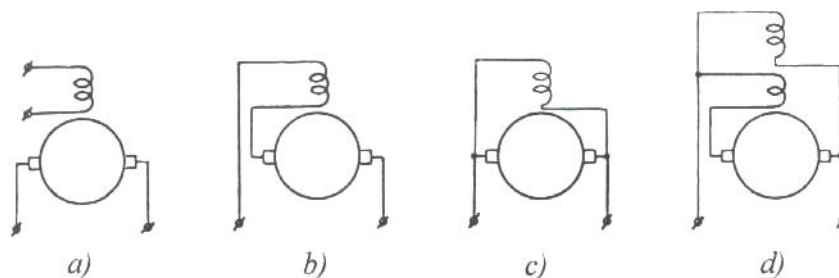
Obr. 1. 6 Siemensovo řešení magnetického obvodu stejnosměrného stroje z r. 1856: a) ... princip, b) ... „kotva tvaru dvojitého T“



Obr. 1. 7 Siemensův dynamoelektrický strojek s „kotvou tvaru dvojitého T“ o výkonu asi 30 W, z r. 1856

Stator Siemensova stejnosměrného stroje byl původně tvořen podkovovým permanentním magnetem. V roce 1866 učinil Siemens další významný objev – tzv. *dynamoelektrický princip*. Aby byla možná regulace (u dynam regulace napětí, u motoru regulace otáček), nahradil permanentní magnet elektromagnetem, který napájel z baterie –

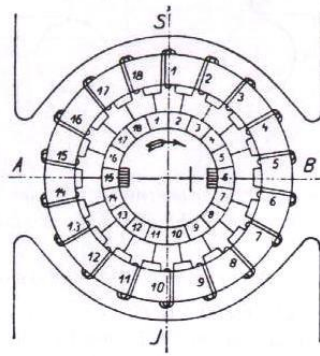
stroj s *cizím buzením*. Aby nemusel používat pomocný zdroj, připojil budící vinutí buďto sériově nebo paralelně ke kotvě. Vytvořil tak stejnosměrný stroj s *vlastním buzením* a to buď *sériový* anebo *derivační (paralelní)*. Kombinací obou způsobů získal stroj *kompaundní (sdružený)*. Zmíněné způsoby připojení magnetů ke kotvě jsou na obr. 1.8. Při rozběhu dynam s vlastním buzením hraje významnou roli remanentní magnetismus elektromagnetů.



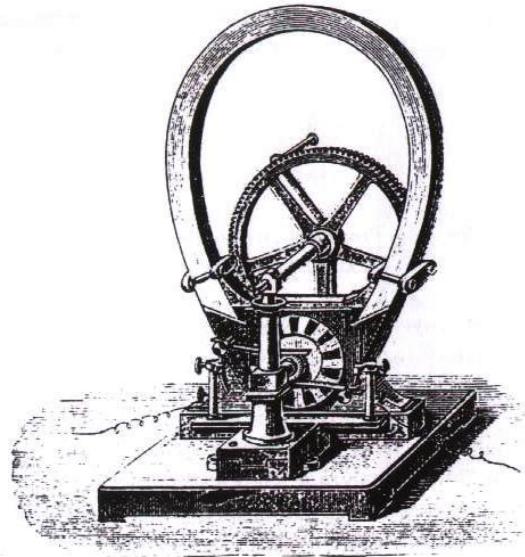
Obr. 1. 8 Siemensův stejnosměrný stroj s cizím buzením (a) a s vlastním buzením: sériový (b), derivační (c) a kompaundní (d)

V literatuře se uvádí, že jako vynálezce elektrického stroje má prioritu ŠTEFAN ANIÁN JEDLÍK (1800 – 1895). Jedlík sestrojil prototyp stejnosměrného dynama, který byl velmi podobný dynamu s vlastním buzením, avšak učinil tak podstatně dříve než Siemens. Jedlík si však nedal svůj stroj patentovat, a ani jeho spolehlivý popis se nezachoval.

Dalším významným mezníkem ve vývoji stejnosměrných strojů bylo provedení rotoru (kotvy) ve tvaru železného prstence, zhotoveného ze svinutého železného drátu. Na tomto prstenci byla navinuta cívka, z níž byly vyvedeny odbočky k lamelám komutátoru, obr. 1.9. Autorem této konstrukce byl Ital ANTONIO PACINNOTTI. Jeho myšlenky se zprvu neujala a až roku 1873 ji znovu použil Belgičan THÉOPHILE GRAMME; rotor stroje se podle něho nazýval *Grammův prstenec* a vinutí na prstenci *prstencové vinutí*. Tento stroj měl už poměrně slušný výkon. Na obr. 1.10 je jedno z tehdy realizovaných provedení stejnosměrného stroje s prstencovým vinutím.



Obr. 1. 9 Princip stejnosměrného stroje s Grammovým prstencem

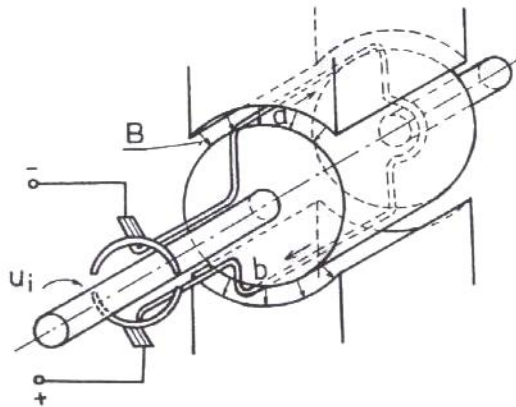


Obr. 1. 10 Grammovo dynamo pro ruční pohon, z r. kolem 1880

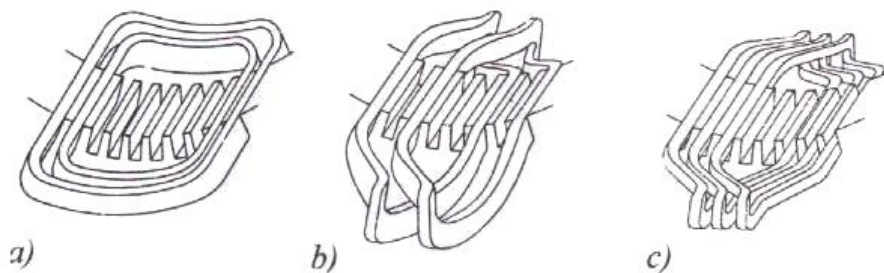
Nevýhodou prstencového vinutí bylo, že se aktivně uplatňovala jen vrstva vodičů na vnějším obvodu Grammova prstence. Vrstva na vnitřní části prstence byla magneticky odstíněna, neindukovalo se do ní napětí a nebyla tedy využita. To mělo za následek velké ohmické úbytky ve vinutí a malou účinnost stroje. Vinutí bylo nutno obrábět ručně a jeho mechanické uchycení proti odstředivým silám bylo obtížné.

Nedostatky stejnosměrného stroje s Grammovým prstencem odstranil FRIDRICH HEFNER-ALTENECK, který zavedl *bubnové vinutí*. Firma Westinghouse pak začala vyrábět drážkované kotvy, složené z plechů. U bubnových vinutí jsou aktivní obě strany cívek. Leží na vnějším povrchu kotvy, přičemž jedna strana cívk je pod severním pólem

statoru a její druhá strana leží pod jižním pólem. Tento typ vinutí se používá doposud. Na obr. 1.11 je vyznačen princip dvupólového stejnosměrného stroje s bubnovým vinutím. Na obr. 1.12 jsou různé typy cívek bubnového vinutí.

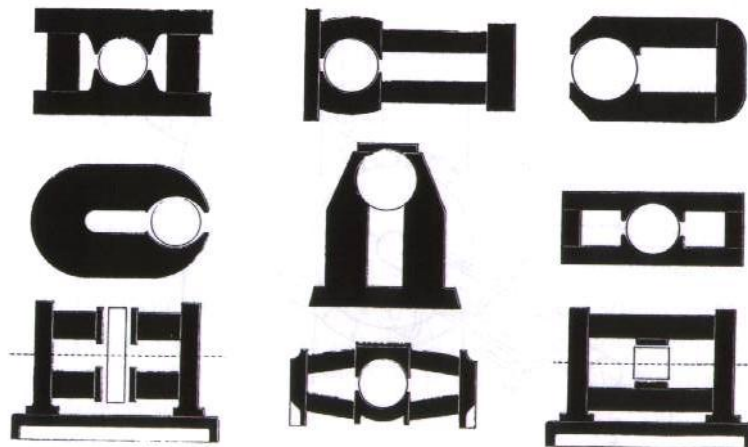


Obr. 1. 11 Princip dvupólového stejnosměrného stroje s komutátorem.



Obr. 1. 12 Provedení cívek bubnového vinutí: a), b) jednovrstvové, tzv. koncentrické vinutí, c) dvouvrstvé vinutí

Koncem 19. století bylo vyvinuto mnoho variant konstrukčního provedení stejnosměrných strojů. Na obr. 1.13 jsou zobrazeny různé způsoby uspořádání jejich magnetických obvodů. Některé z nich jsou zřejmě nevýhodné pro svůj magnetický rozptyl. V té době totiž neměly teoretické poznatky ještě takovou úroveň, aby umožnily spolehlivý a alespoň do jisté míry optimalizovaný návrh stroje. Maxwellova teorie elektromagnetického pole byla sice již pevně zformulovaná, avšak jejímu použití bránila nepřehlednost matematického zápisu (vektorová analýza se tehdy ještě běžně nepoužívala) a metody aplikace této teorie byly v samých počátcích. Byla doménou především mladší generace fyziků, zatímco elektrotechnici často pomíjeli fyzikální zákony a vycházeli z různých přibližných formulí a empirických vztahů.



Obr. 1. 13 Různá provedení magnetického obvodu stejnosměrných strojů z konce 19. století

Jedním z prvních tvůrců teorie elektrických strojů byl JOHN HOPKINSON (1849 - 1898). Ten od r. 1877 pracoval v anglické filiálce Edisonovy společnosti. Získal patent na trojvodičový stejnosměrný rozvod (ekonomicky byl výhodnější než do té doby používaný dvojvodičový rozvod), vypracoval metody výpočtů magnetických obvodů stejnosměrných dynam a zabýval se též výzkumem feromagnetických materiálů používaných pro tyto obvody. Navrhl tzv. Edison-Hopkinsonovo dynamo, které mělo nižší váhu a vyšší účinnost než dosavadní Edisonovy výrobky.

S Hopkinsonovým jménem je spojena důležitá formule, jež má v teorii magnetických obvodů analogický význam jako Ohmův zákon v elektrických obvodech – *Hopkinsonův zákon*. [6]

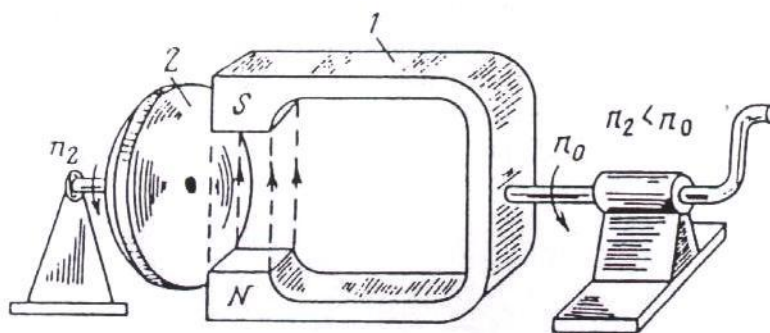
1.2 Střídavé točivé stroje a trojfázová rozvodná soustava – Nikola Tesla

Až do 90. let 19. století se používaly výhradně stejnosměrné elektrické stroje a stejnosměrný rozvod elektrické energie. Poté se začínají uplatňovat též střídavé elektromotory a generátory a přenos elektrické energie se provádí střídavými dvoufázovými a později trojfázovými soustavami. V této kapitole z historie elektrotechniky sehrál významnou roli geniální elektrotechnik Nikola Tesla. [6]

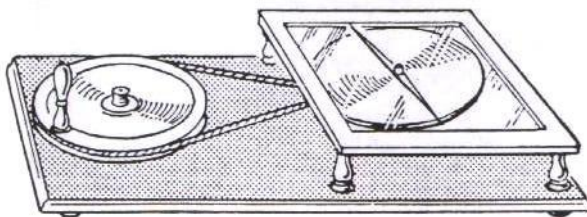
1.2.1 Teslův vynález asynchronního motoru

Vynález asynchronního motoru měl pro rozvoj elektrotechniky zásadní význam. Jeho základem je točivé magnetické pole. V publikacích, jejichž autoři jsou slovanského původu, bývá urputně obhajována Teslova priorita při realizaci magnetického pole. Je však tato priorita nesporná? O autorství točivého magnetického pole se hlásí hned několik uchazečů.

WALTER BAILY v r. 1879 otáčel permanentním podkovovým magnetem kolem jeho osy – tím mechanicky vytvořil točivé magnetické pole, obr. 1.14. Do tohoto pole vložil otočně uložený měděný kotouček a zjistil, že se začne také otáčet: magnetické pole „unáší“ kotouček. Podobný pokus provedl již asi o půl století před Bailym FRANCOIS ARAGO: ukázal, že horizontálně rotující měděný kotouč nad nímž byla zavěšena magnetka, ovlivňuje svým pohybem polohu magnetky – ta se vychýlila ve směru pohybu kotouče, obr. 1.15. Fyzikální vysvětlení Aragoova pokusu podal tehdy Faraday – bylo to krátce poté, co objevil elektromagnetickou indukci. Faraday upozornil na to, že v měděném kotoučku se indukují vířivé proudy, jejichž magnetické pole je v interakci s magnetickým polem magnetky. Také v Bailiho pokusu indukuje točivé magnetické pole v kotoučku vířivé proudy, jež jsou prostřednictvím svého magnetického pole v interakci s točivým polem magnetu.

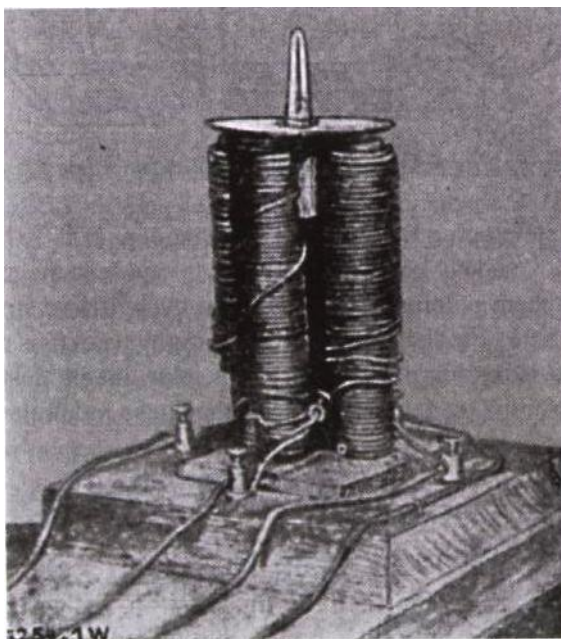


Obr. 1. 14 Bailiho pokus s točivým magnetickým polem z r.1879



Obr. 1. 15 Aragův pokus z r. 1825

Další Bailyho experiment byl již předzvěstí asynchronního motoru. Dva podkovové elektromagnety, navzájem pootočené o 90° , byly střídavě magnetovány stejnosměrným proudem, obr. 1.16. Střídání magnetizace bylo prováděno v rychlém sledu ručním přepínačem. Měděný kotouček, o průměru asi 6 cm, lehce uložený nad póly magnetů, se působením „točivého“ magnetického pole otáčel. Bailyho pokus prakticky využil v r. 1888 francouzský inženýr Marcel Deprez k dálkové indikaci směru (mechanického) otáčení.

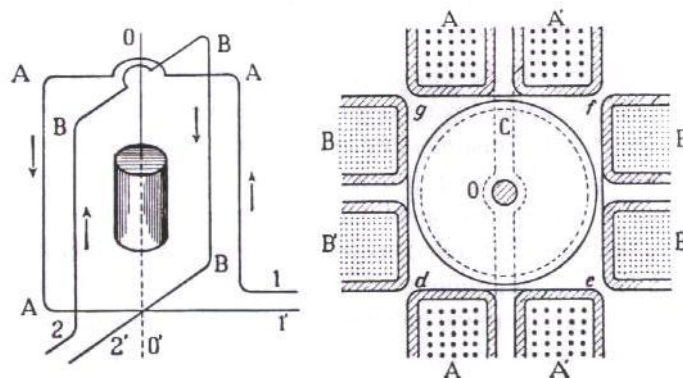


Obr. 1. 16 Experiment z r. 1879, jímž se Baily přiblížil asynchronnímu motoru

V uvedených případech bylo točivé magnetické pole vytvořeno *mechanicky*. K sestrojení elektromotoru bylo však nutno realizovat točivé magnetické pole *elektromagneticky*, tj. stacionárním budícím systémem. Dnes je známo, že točivé magnetické pole lze realizovat složením časově harmonicky proměnných, prostorově i časově vzájemně posunutých magnetických polí. Například složením dvou časově

harmonicky proměnných polí; je-li amplituda obou složkových polí stejná a obě pole jsou časově a prostorově posunuty o $\pi/2$, vznikne točivé pole kruhové. Nejsou-li dodrženy tyto podmínky, vznikne točivé pole eliptické.

Patrně prvním, jenž zrealizoval točivé magnetické pole stacionárním budícím systémem byl italský profesor GALILEO FERRARIS (1847 – 1897). O točivém magnetickém poli přednášel v turínské Akademii věd v r. 1888. Uvedl, že princip mu byl znám už v r. 1885. Točivé pole realizoval dvěma páry cívek s osami k sobě kolmými, napájenými střídavými proudy posunutými o $\frac{1}{4}$ periody. Mezi cívkami umístil měděný váleček, který se při průchodu proudů otáčel, obr. 1.17. Fázového posuvu proudů ve dvojici protilehlých cívek docíloval tím, že do série s jednou dvojicí zařadil odpor a do série s druhou dvojicí zapojil indukčnost. Ferrari se domníval, že ve válečku dochází k poměrně velkým ztrátám a tedy účinnost motorku nelze zvýšit nad 50%. Svému objevu nepřikládal praktický význam. Dnes se Ferrarisův motorek používá jako pohon počítadla elektroměru.



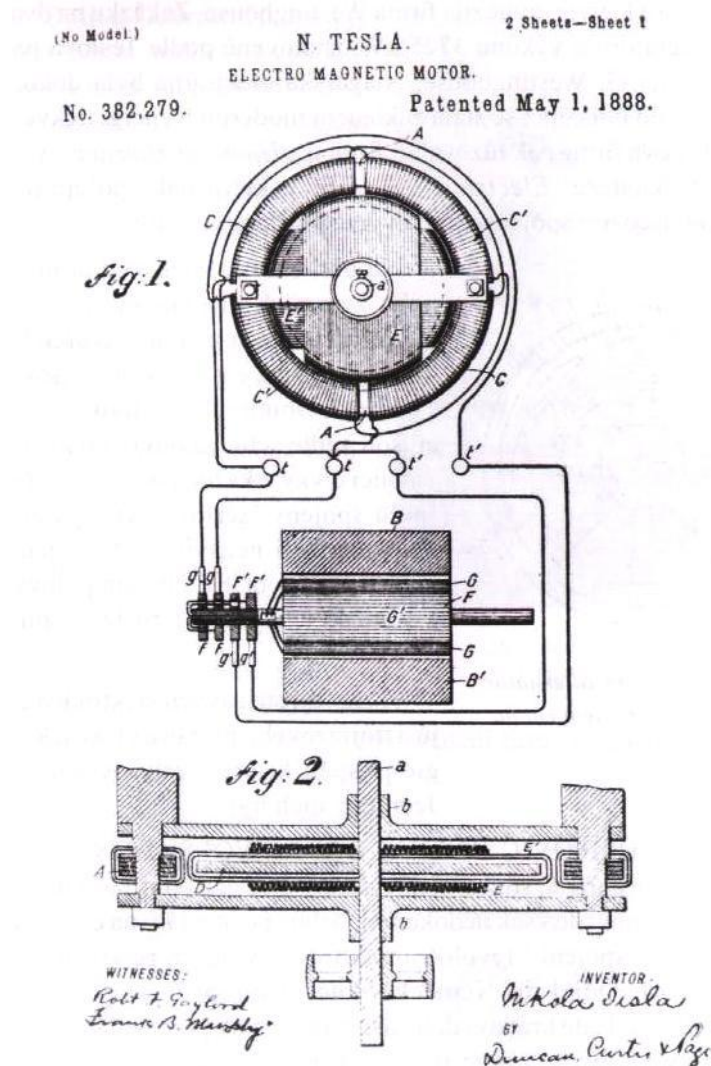
Obr. 1. 17 Ferrarisův motorek. (Reprodukce z patentního listu.)

Tesla ve své autobiografii uvádí, že k myšlence točivého magnetického pole dospěl již v r. 1882 a o rok později sestrojil první funkční asynchronní motor, který postupně zdokonaloval. Ferrarisovy práce patrně neznal.

V r. 1887 prováděl Antony z Cornellovy univerzity měření charakteristik Teslova asynchronního motoru a ve své kladné expertize prohlásil, že jeho účinnost je prakticky táž jako u dosavadních motorů stejnosměrných. V r. 1888 Tesla získal patent na dvoufázový a

trojfázový asynchronní motor a v r. 1888-91 přihlašuje sérii významných patentů zejména na synchronní motor, na přenos elektrické energie vícefázovou soustavou a na jednofázový asynchronní motor s pomocnou fází obr. 1.18 Tyto své vynálezy pak podstoupil firmě Westinghouse.

Tesla zprvu navrhoval dvoufázový rozvod se čtyřmi vodiči a trojfázový rozvod, se šesti vodiči (tj. nevázané vícefázové soustavy). Ale již v r. 1888 poznal výhody zapojení do hvězdy a do trojúhelníku, což rozhodlo pro trojfázový systém. [6]



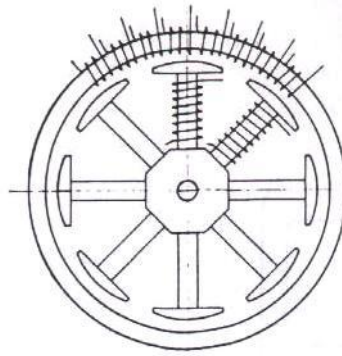
Obr. 1. 18 Část patentního spisu N. Tesly „Electro-magnetic-motor“ z 1. května 1888

1.2.2 Volba vhodného kmitočtu

Tesla zprvu pracoval s kmitočty 125 Hz a 133 Hz (tyto kmitočty se tehdy používaly při napájení osvětlování), avšak u motorů docházelo k velkým přídavným ztrátám v železe a mědi. Proto přešel na kmitočet 25 až 30 Hz, což však způsobovalo blikání elektrického osvětlení. Kolem r. 1894 byl v USA zaveden kmitočet 60 Hz, vhodný jak pro osvětlování, tak pro motory; v Evropě byl o něco později zaveden jednotný kmitočet 50 Hz.

Teslova koncepce střídavého trojfázového proudu dobyla velkého vítězství v r 1891 při rozhodování o stavbě velké vodní elektrárny na Niagarských vodopádech. Edisonův koncern, spolu s firmou Thomson-Houston, předložil projekt na stejnosměrnou elektrárnu, zatímco firma Westinghouse, která disponovala Teslovými patenty, navrhovala elektrárnu střídavou. Ve prospěch stejnosměrné elektrárny se uváděla řada důvodů, zejména možnost akumulovat elektrickou energii a využít velmi dobrých vlastností stejnosměrného trakčního motoru. Naproti tomu pro střídavé elektrárny hovořil jediný, avšak rozhodující důvod: možnost transformace na vyšší napětí a tím snížení ztrát ve vedení a tedy zvýšení účinnosti při přenosu elektrické energie. Ačkoliv Edisonův projekt teoreticky podporoval slavný Lord Kelvin, zvítězila firma Westinghouse. Zakázku na dva synchronní generátory o výkonu 3725kW, zhotovené podle Teslova patentu získala továrna G. Westinghouse. Niagarská elektrárna byla dokončena v r. 1895 a svou koncepcí se stala základem moderních energetických systémů. Edisonova firma pak fúzovala s firmou Thomson-Houston v novou společnost General electric Co., která pak spolupracovala s Westinghouseovou společností na výrobě střídavých strojů.

Na obr. 1.18 je naznačen princip jednoho z prvních vícefázových synchronních alternátorů. Stator je tvořen Gramovým prstencem, na rotoru jsou póly s budícím vinutím. Na statorovém prstenci jsou vedle sebe navinuty cívky. Odpovídající cívky z každé pólové rozteče jsou spojeny (sériově nebo paralelně), čím vznikají nezávislé zdroje jednotlivých fází. Na obr. 1.19 je osmipólový stroj a v každé jeho pólové rozteči jsou čtyři cívky.



Obr. 1. 19 Střídavý alternátor s Grammovým prstencem na statoru

K rozvoji střídavých elektrických strojů a trojfázového přenosu elektrické energie přispěli kromě Tesly ovšem i další. Jedním z nich byl MICHAEL OSIPOVIČ DOLIVO-DOBROWOLSKI (1861 – 1919). Ten jako první sestrojil trojfázový asynchronní motor s klecovou kotvou a v r. 1889 získal na tento typ stroje patent. Dolivo-Dobrowolski se význačnou měrou podílel na vybudování teorie moderní přenosové trojfázové soustavy a na jejím zavádění do praxe. Zavedl také dnes běžně v němčině používaný termín „Drehstrom-System“ (= trojfázová soustava).[6]

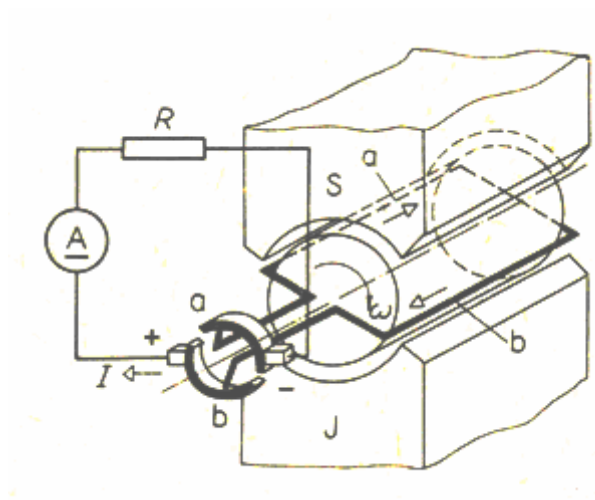
1.3 Současnost

I když nejstarší funkční modely točivých strojů jsou již více než 180 let staré, principy jejich činnosti se používají i dnes v téměř nezměněné formě. Zdokonaleno je převážně konstrukční řešení umožňující zlepšení charakteristik jednotlivých zařízení, ať už z hlediska proudových odběrů a účinnosti u motorů, či momentových charakteristik.

2 STEJNOSMĚRNÉ GENERÁTORY (DYNAMA)

2.1 Princip činnosti

Činnost dynama je založena na elektromagnetické indukci. Budicí proud ve statorovém vinutí vyvolá ve statoru magnetický tok. Ve vinutí rotoru se při jeho otáčení v magnetickém poli indukuje střídavé napětí, které se komutátorem, upevněným na hřídeli rotoru, mění na napětí stejnosměrné. Z komutátoru se stejnosměrné napětí odvádí kartáči na svorkovnici stroje, odkud se odebírá potřebný elektrický proud.



Obr. 2. 1 Působení dynama s komutátorem

2.1.1 Stator

Stator dynama bývá vyroben z magneticky měkké oceli nebo je složen z elektrotechnických plechů. Ke statoru se upevňují hlavní a pomocné póly a většinou i sběrací ústrojí. Moderní stroje mají hlavní i pomocné póly složené z plechů. Na jádrech hlavních pólů jsou nasazeny cívky budicího vinutí, které jsou napájeny stejnosměrným proudem. Polarity hlavních pólů se po obvodu statoru střídají, takže za severním pólem následuje vždy pól jižní, pak severní, jižní atd.

2.1.2 Rotor

Rotor se kvůli zmenšení ztrát vyrábí z elektrotechnických izolovaných plechů tloušťky 0,5 mm. Má tvar válce a na svém hřídeli má umístěn komutátor. Vývody cívek

rotorového vinutí, které je uloženo v drážkách rotoru, jsou připájeny k lamelám komutátoru.

2.1.3 Komutátor

Komutátor je zařízení, které slouží k přepojení vodiče z jednoho kartáče na jiný a má funkci usměrňovače, protože střídavé napětí indukované v rotorovém vinutí mění na stejnosměrné napětí. Skládá se z několika vzájemně izolovaných měděných lamel. Ke každé lamele vedou vodiče dvou různých cívek. Celé vinutí rotoru je přes komutátor propojeno. Čím více lamel komutátor má, tím je výstupní stejnosměrné napětí stabilnější (tím je méně zvlněné).

Sběrací ústrojí převádí proud mezi vnějším obvodem a vinutím rotoru. Uhlíkové kartáče dosedají na lamely komutátoru. Jsou upevněny v držácích, které umožňují nastavení správné polohy. Kartáčů je tolik, kolik má dynamo hlavních pólů.

2.1.4 Komutace

V magnetickém poli se otáčí závit a v něm se indukuje napětí. Připojíme-li závit ke dvěma polovinám kroužku (lamelám), u kterých jsou připojeny kartáče, získáme stejnosměrný proud. Kartáče se nepohybují a záporný kartáč je stále spojen s vodičem, který prochází pod severním pólem. Kladný kartáč je neustále připojen k vodiči procházejícímu pod jižním pólem. Následkem toho tedy od kartáčů prochází proud stále stejným směrem. Získáváme stejnosměrný proud. Při komutaci dochází v cívce ke změně směru proudu (následek otáčení rotoru). Pro zlepšení komutace se mezi hlavní póly ještě umísťují úzké pomocné póly s komutačním vinutím.

2.2 Rozdělení stejnosměrných generátorů

Dynama rozdělujeme podle buzení na:

Dynama s cizím buzením - Budící vinutí hlavních pólů je napájeno ze samostatného zdroje (baterie, usměrňovač, dynamo). Buzení dynama je nezávislé na svorkovém napětí.

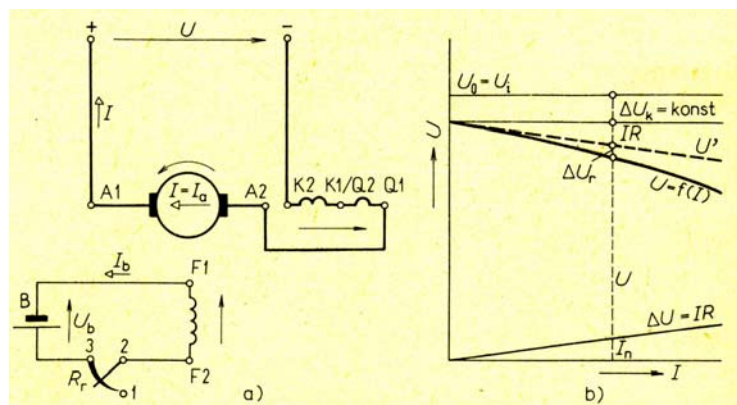
Dynama s derivačním buzením – Budící vinutí hlavních pólů je paralelně připojeno ke kotvě. Budící proud je max. 10 % proudy kotvy, a proto má derivační buzení velký počet

závitů s malým průřezem oproti závitům kotvy. Při stálém napětí na svorkách má dynamo stálé buzení.

Dynamo se sériovým buzením – Budící vinutí hlavních pólů je zapojeno do série s kotvou. Budícím vinutím tedy prochází proud kotvy, a proto má sériové buzení malý počet závitů velkého průřezu. Buzení je úměrné zatížení stroje.

Dynamo s kompaundním (smíšeným) buzením – Na hlavních pólech je budící vinutí derivační a sériové. Podle toho, které vinutí převládá, se blíží vlastnostem derivačního nebo sériového dynama.[2]

2.3 Dynamo s cizím buzením



Obr. 2. 2 Dynamo s cizím buzením: a) schéma, b) vnější charakteristika

Má budící vinutí napájeno z cizího zdroje, např. z baterie B (obr.2.2). Napětí dynama lze řídit změnou budícího proudu, odporem budícího reostatu R_r nebo přímo změnou budícího napětí U_b , jestliže je stroj buzen regulovaným dynamem (budičem). Dynamo buzené z budiče můžeme hospodárně regulovat ve velmi širokých mezích.

Vnější charakteristika (obr. 2. 2b) je dána vztahem:

$$U = U_i - U_k - IR - U_r \quad (1)$$

kde U_i je indukované napětí odpovídající nastavenému budícímu proudu z charakteristiky naprázdno ($U_0 = U_i$),

ΔU_k úbytek napětí způsobený přechodovým odporem kartáčků, který nezávisí na zatížení a bývá asi 2V,

R odpor kotvy, komutačního a kompenzačního vinutí,

U_r úbytek napětí způsobený přesyceným železem vlivem reakce kotvy, pokud stroj nemá kompenzační vinutí.

Všechny úbytky napětí jsou poměrně malé, takže napětí s rostoucím zatížením jen nepatrně klesá a dynamo s cizím buzením představuje velmi tvrdý zdroj napětí. Jeho výhodou je, že budící proud nezávisí na zatížení a neovlivní velikost napětí úbytky v budícím vinutí.

V oblasti jmenovitého proudu je charakteristika téměř přímková. Ohýbat se začne jen při větších proudech, kdy se značně projeví reakce kotvy.

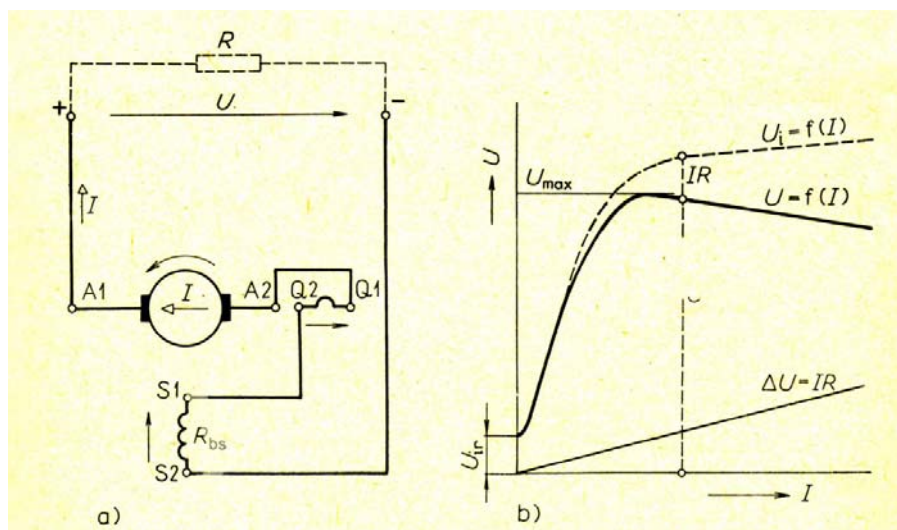
Největší možný proud I_k (proud nakrátko) odpovídá nulovému napětí a je dán vztahem

$$I_k = \frac{U_0 - \Delta U_K}{R} \quad (2)$$

Protože hodnoty U_k i R jsou malé, vychází proud nakrátko značně velký. Průměr bývá

$$I_k = (4\text{ až }10) I_n. [2]$$

2.4 Sériové dynamo



Obr. 2. 3 Sériové dynamo: a) schéma, b) charakteristika

Má budící vinutí (jako i ostatní vinutí) zapojeno do série s kotvou (obr. 2.3a). Zatěžovací proud prochází tedy všemi vinutími ($I = I_a = I_b$).

Pokud je dynamo nezatíženo, neprochází jeho budícím vinutím proud a jeho svorkové napětí je nulové (nebo se rovná U_{ir}).

Indukované napětí je úměrné zatěžovacímu proudu podle charakteristiky naprázdno. Tuto charakteristiku můžeme stanovit výpočtem nebo nepřímým měřením pomocí buzení z cizího pomocného zdroje. Měřením na skutečném stroji lze určit jen svorkové napětí, které je dáno vztahem.

$$U = U_i - IR \quad (3)$$

Vnější charakteristika sériového dynama $U=f(I)$ na obr. 2.3b se získá odečtením úbytků napětí na vnitřním odporu dynama.

U menších proudů, pokud je magnetický obvod nenasycen, roste svorkové napětí se zatížením téměř lineárně. Po nasycení obvodu se zvyšuje pomaleji než rostou úbytky napětí, takže svorkové napětí začne klesat. Klesá až do chodu nakrátko, kdy je $U=0$, takže platí:

$$U_i = I_k R \quad (4)$$

a proud nakrátko

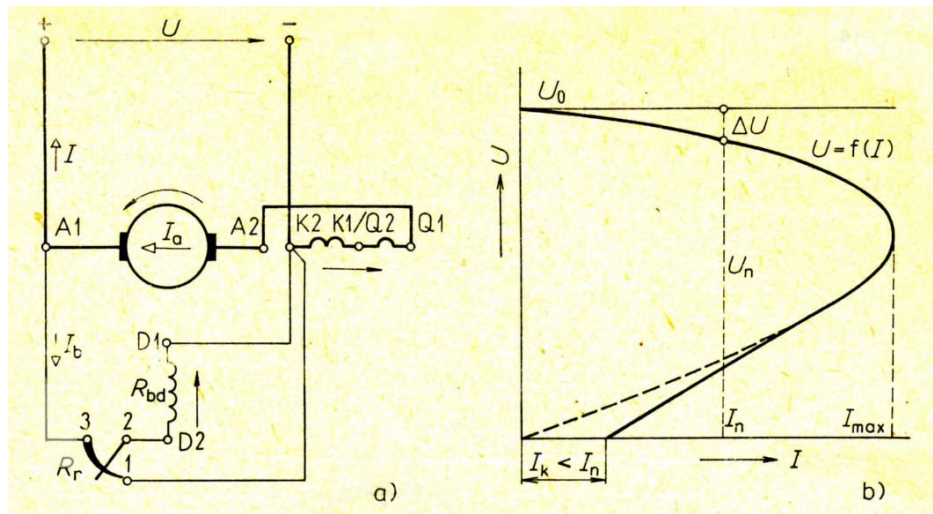
$$I_k = \frac{U_i}{R} \quad (5)$$

je velmi velký.[2]

Protože svorkové napětí sériového dynama se velmi mění se zatížením, nemůžeme ho použít pro napájení stejnosměrné sítě.

Regulátor napětí u sériového dynama nemá význam.

2.5 Derivační dynamo



Obr. 2. 4 Derivační dynamo: a) schéma spojení, b) vnější charakteristika

Úplné schéma derivačního (paralelního) dynamo s komutačními póly a kompenzačním vinutím je na obr. 2.4a.

Kotva je trvale spojena do série s kompenzačním vinutím (K1,K2) i s komutačním vinutím (Q1,Q2) tak, že při jakémkoli přepojení stroje směřuje reakční magnetický tok proti magnetickému toku obou pomocných vinutí.

Budící vinutí (D1,D2) je připojeno ke kotvě tak, aby při vyznačené polaritě kotvy byl směr jejího otáčení pod špičkou čítací šipky magnetického toku od kladného kartáče k zápornému a aby proud v budícím vinutím procházel od svorky D2 do D1.

V obvodu budícího vinutí je zapojen budící reostat R_r . Má odbuzovací kontakt 1, kterým se při vypínání dynamo spojí budící obvod nakrátko a energeticky odbudí. Jinak by při rychlém rozpojení obvodu s velkou indukčností vznikl v místě přerušeni oblouku a vzniklým přepětím by se mohla poškodit izolace vinutí.

Nabuzením dynamo i bez cizího zdroje budícího proudu zajišťuje remanentní magnetismus magnetického obvodu. Tím se v otáčející kotvě vybudí nepatrné napětí, které protlačí budícím vinutím malý proud. Při správném zapojení se tímto proudem remanentní magnetický tok zvětší, což má za následek zvýšení indukovaného napětí a další zvětšení budícího proudu tak, že za krátký čas je dynamo nabuzeno na příslušné napětí.

U derivačního dynama se celkový proud kotvy I_a rozdělí na proud procházející budícím vinutím I_b a proud I , který dynamo dodává do sítě.

$$I_a = I + I_b \quad (6)$$

Vnější charakteristika (obr. 2.4) je v oblasti jmenovitého proudu podobná charakteristice dynama s cizím buzením. Svorkové napětí je jen o málo menší než napětí na prázdno U_0 . Charakteristika zanedbává nepatrný úbytek napětí U_k , takže vychází z bodu $U=U_0=U_I$.

Při větších proudech klesá napětí derivačního dynama rychleji než napětí dynama s cizím buzením, neboť s rostoucím zatížením klesá nejen svorkové napětí, ale i jemu úměrný budící proud daný vztahem.

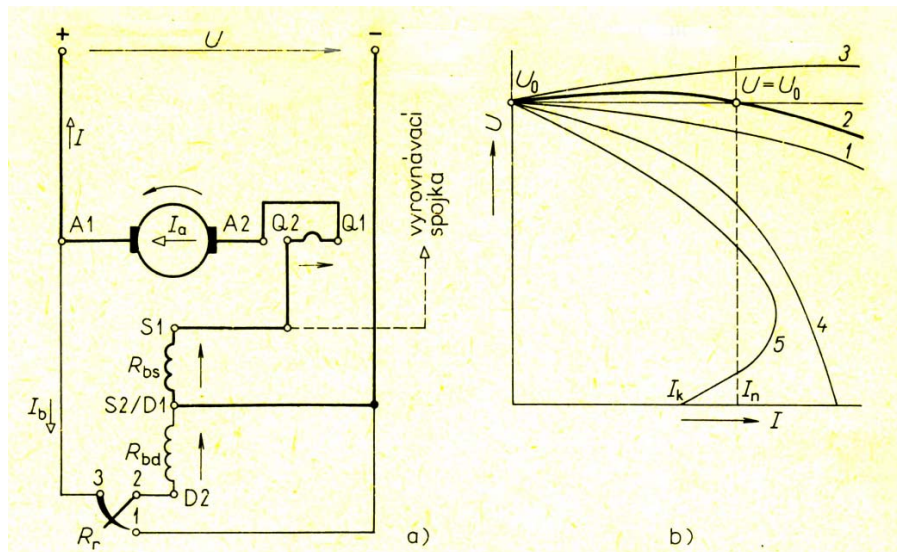
$$I_b = \frac{U}{R_{bd} + R_R} \quad (7)$$

Pokles budícího proudu vyvolá potom další pokles napětí, takže derivační dynamo představuje měkčí zdroj než dynamo s cizím buzením, ale v oblasti jmenovitého proudu je dostatečně tvrdým zdrojem.

Derivační dynamo můžeme zatěžovat jen do určité velikosti proudu I_{\max} . Při dalším zmenšení odporu vnější sítě začne proud rychle klesat působením klesajícího budícího proudu. Při zkratu je svorkové napětí nulové, jemu odpovídající proud je také nulový, takže bez respektování remanentního pole by se zkratovaný proud rovnal nule. Vlivem určitého remanentního pole má velikost I_k , která je ale menší než jmenovitý proud.[2]

Derivační dynamo se tedy může zkratovým proudem poškodit.

2.6 Kompaundní dynamo



Obr. 2. 5 Kompaundní dynamo: a) schéma, b) charakteristika

Kompaundní dynamo je stroj se sdruženým vinutím. Na pólech je umístěno derivační i sériové vinutí jsou obvykle zapojena tak, že jejich magnetické toky se sčítají (obr. 2.5a). V obvodu derivačního vinutí je zapojen derivační regulátor pro řízení napětí.

Dynama se kompaundují proto, abychom vhodně upravili jejich zatěžovací charakteristiku (obr. 2.5b).

1. *Normální charakteristiky* derivačního dynama, napětí se zatížením mírně klesá.
2. *Kompaundní dynamo*, obě budící vinutí jsou zapojena tak, že se jejich účinky sčítají. Při vzrůstajícím zatížení kryje sériové vinutí svým vlivem úbytky napětí. Vhodným poměrem počtu závitů můžeme dosáhnout toho, že svorkové napětí se při jmenovitém zatížení rovná napětí naprázdno.
3. *Překompaundované dynamo* má větší počet sériových závitů než je třeba k vykompenzování úbytků napětí vznikajících ve stroji, takže napětí s rostoucím zatížením se zvyšuje, a kryje tak úbytky napětí ve vnějším obvodu, a na svorkách spotřebiče se tak udržuje stále napětí.
4. *Protikompaundní dynamo* má sériové buzení zapojené proti derivačnímu, takže jeho působení se stroj při rostoucím zatížení odbuzuje a jeho napětí rychle klesá. Zkratový proud je jen o málo větší než jmenovitý proud.

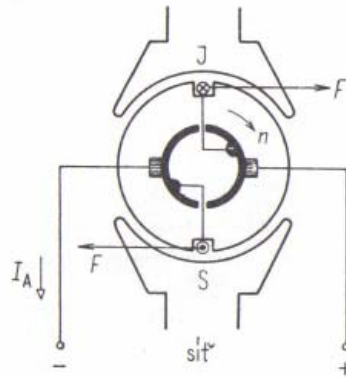
5. *Velmi kompaudované* dynamo má tak velké protikompaundní sériové vinutí, že svorkové napětí klesá se zatížením velmi prudce a zkratový proud může být i menší než jmenovitý. Takové dynamo se používá pro svařování. [2]

3 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY

3.1 Princip činnosti stejnosměrných motorů

Stejnospměrný motor se konstrukčně podobá dynamu, a proto pro provoz platí, že každé dynamo může pracovat jako motor a naopak.

Při výkladu vyjdeme z obr. 3.1.



Obr. 3. 1 Princip činnosti stejnosměrného motoru

Připojíme-li závit přes komutátor na síť, začne jím procházet proud naznačeného směru. Protože se vodiče nacházejí v magnetickém poli, působí na ně síla, jejíž směr můžeme určit pravidlem levé ruky. Vznikne točivý moment a kotva se začne otáčet naznačeným směrem.[7]

Z výkladu plyne poznatek, že kotva se v obou případech (motor i dynamo) otáčí stejným směrem, ale směr proudu ve vodičích kotvy je opačný.

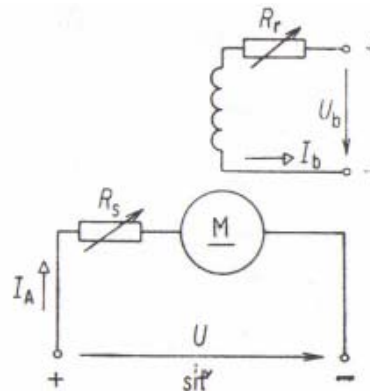
Komutátor v tomto případě pracuje jako měnič stejnosměrného proudu na střídavý. Pokud by vodiči kotvy procházel jen stejnosměrný proud kotva by se pootočila, ale v neutrální poloze by se zastavila. Proto se musí měnit směr proudu ve vodičích při přechodu vodiče z vlivu jednoho pólu do vlivu druhého pólu. Kotva se pak trvale otáčí jedním směrem.

U stejnosměrného motoru se značně mění tažná síla, resp. točivý moment motoru. Čím více cívek má kotva, tím je průběh točivého momentu rovnoměrnější.

3.2 Motor s cizím buzením

Tento motor se používá zejména v obvodech automatického řízení, protože umožňuje řídit otáčky v širokém rozmezí.

Zapojení je shodné se zapojením dynama, pouze v obvodu kotvy je zařazen tzv. spouštěč R_s . Obrázek 3.2.



Obr. 3. 2 Schéma zapojení motoru s cizím buzením

R_r – budicí reostat, R_s - spouštěč

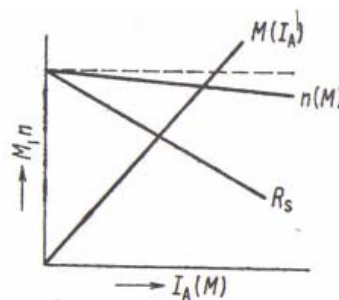
Základní charakteristiky odvodíme z rovnice:

$$M = k\Phi I_A \quad (8)$$

Z této rovnice vyplývá, že točivý moment je úměrný proud kotvy

$$M \sim I_A$$

neboť $\Phi \sim I_b = \text{konst.}$ Tato závislost je na obr. 3.3. Je z ní zřejmé, že s rostoucím zatížením se moment motoru lineárně zvětšuje.



Obr. 3. 3 Charakteristiky motoru s cizím buzením

Otáčkovou charakteristiku z obr. 3.3 dostaneme ze vztahu:

$$n = \frac{U - R_A I_A - \Delta U_K}{c\Phi} \quad (9)$$

kde $c = pV/60a$ (p -počet pólů, a -paralelní počet větví, V -počet vodičů)

Z něhož je vidět, že otáčky se mění se zatížením jen velmi málo (vzhledem k malému odporu kotvy R_A).

Vztah pro momentovou charakteristiku odvodíme následovně:

$$n = \frac{U - \frac{R_A}{k_1} M}{c\Phi} \quad (10)$$

po její úpravě dostaneme

$$n \sim U - k' M$$

Z tohoto vztahu je vidět, že při nulových otáčkách je moment značně velký a že dále má lineární závislosti na otáčkách (obr. 3.3, průměr $n(M)$).[7]

Tak velký moment nemůžeme v praxi využít, neboť motor by byl značně tepelně namáhán.

Spouštění

Tyto motory spouštíme tak, že nejprve připojíme budící vinutí ke zdroji a nastavíme příslušný budící proud. U menších strojů (do 1kW) můžeme potom připojit kotvu přímo k síti. U větších strojů nelze připojit kotvu k síti přímo, neboť proudový náraz by byl větší než desetinásobek jmenovitého proudu. To by vedlo k nepřipustnému tepelnému a dynamickému namáhání vinutí kotvy a také k obtížné komutaci a opalování komutátoru. Proto musíme spouštěcí proud (v podstatě zkratový) omezit.

Způsoby omezení spouštěcího proudu jsou tyto:

- a) spouštěcím rezistorem zařazeným do série s kotvou (obr. 3.2)
- b) říditelným zdrojem napětí

V prvním případě postupně vyřazujeme odpor spouštěcího rezistoru podle zvětšujících se otáček. Ve druhém případě zvyšujeme napětí z určité minimální hodnoty

(při $n=0$) až do jmenovité hodnoty napětí. Tento způsob je běžný v regulačních obvodech.[7]

Řízení otáček

- a) změnou budicího proudu (tzn. Budicího magnetického toku),
- b) změnou odporu v obvodu kotvy,
- c) změnou svorkového (napájecího) napětí.

Ad a) Je-li budicí reostat R_f vyřazen, má motor tzv. základní otáčky. Zařadíme-li reostat, klesne budicí proud i magnetický tok a otáčky se zvětšují. Odbuzováním tedy otáčky stoupají. Řízení je spojitě. Protože řídíme v obvodu malého výkonu, lze použít posuvný nebo mnohostupňový reostat. Budicí příkon bývá (1 až 10)% výkon motoru, takže řízení je téměř bezeztrátové.

Rozsah řízení otáček je asi 1:3. Při malých otáčkách se dostává pracovní bod do kolena magnetizační křivky, takže zvětšení budicího proudu příliš nezvětší magnetický tok. Při větších otáčkách jsme omezeni mechanickou pevností kotvy.

Ad b) Řízení otáček zařízením reostatu do série s kotvou (obr. 3.2) má dvě nevýhody. Značně se zhoršuje účinnost motoru vzhledem k velkým ztrátám $R_S I_A^2$ a také se zhoršuje průběh momentové charakteristiky, která se stává „měkkou“ (obr. 3.3, průběh R_s). Pro svou nehospodárnost není tento způsob vhodný.

Ad c) Velmi výhodně se řídí otáčky změnou svorkového napětí kotvy. Účinnost motoru zůstává velká a momentová charakteristika i při velkém zmenšení otáček neklesá tak rychle jako v předcházejícím případě.[7]

Změna směru otáčení (reverzace)

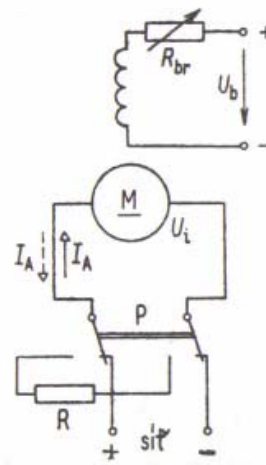
Pro změnu směru otáčení stačí změnit směr proudu v kotvě nebo v buzení. Výhodnější je změnit směr proudu v buzení, neboť příslušný přepínač vychází menší a levnější.

Brzdění

Elektrické brzdění rozlišujeme na:

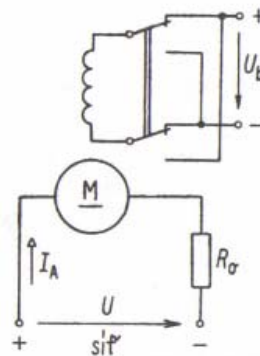
- a) brzdění do odporu
- b) brzdění protiproudem
- c) brzdění rekuperací.

Ad a) Při brzdění do odporu přepojíme vývody kotvy přepínačem P na brzdící rezistor s odporem R (obr. 3.4). Tím se změni směr proudu v kotvě a při nezměněném budícím proudu se motor stane dynamem, které odevzdává do brzdového rezistoru výkon $R I_A^2$. S postupným klesáním otáček se zmenšuje i brzdový moment ($M_{brzd} = k\Phi I_A$) a pro $\Phi = \text{konst.}$ Je brzdový moment úměrný proudu kotvy ($M \sim I_A$).



Obr. 3. 4 Brzdění do odporu motoru s cizím buzením

ad b) Při brzdění protiproudem vlastně motor reverzuje, ale směr otáčení se působením vnějšího zatěžovacího momentu nemění. Vzniklý elektromagnetický moment působí jako brzdící (obr. 3.5).



Obr. 3. 5 Brzdění protiproudem motoru s cizím buzením

Kdybychom začali brzdit při jmenovitých otáčkách, napětí na kotvě by se zvýšilo na dvojnásobek a kotvou by procházel také dvojnásobný proud. To je z hlediska tepelných ztrát nepřijatelné, a proto u strojů větších výkonů musíme zařadit do série s kotvou omezovací reostat R_{σ} (obr. 3.5).

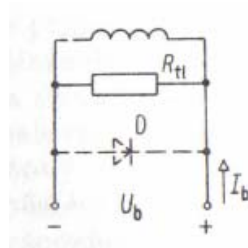
ad c) Při brzdění rekuperací zůstává motor stále stejně připojen k síti. Zvětší-li se však otáčky tak, aby platilo

$$U_i > U$$

Změní se směr proudu I_A a motor přejde do generátorového stavu. Brzdění je velmi hospodárné, protože vracíme energii zpět do sítě. Rekuperovat ovšem nemůžeme při malých otáčkách, kdy nemůžeme splnit uvedenou podmínku ($U_i > U$). Toho způsobu se využívá zejména v trakci.[7]

Poznámka

Při vypínání budícího obvodu vzniká ve vinutí hlavních pólů přepětí způsobené zejména jeho velkou indukčností. Toto přepětí omezujeme buď tlumícím rezistorem s odporem R_{tl} , nebo diodou obr. 3.6. Tak se vytvoří další vodivá cesta, která zabraňuje rychlé změně budícího proudu.[7]



Obr. 3. 6 Omezení přepětí vzniklého při vypínání budícího obvodu tlumícím odporem R_{tl} nebo polovodičovou diodou D

3.3 Motor s derivačním buzením

Tento motor se chová v podstatě stejně jako motor s cizím buzením, neboť je lhostejné, z jakého zdroje napájíme budící vinutí, pokud ovšem platí, že $I_b = \text{konst.}$. Tato podmínka je při konstantním napětí sítě splněna.

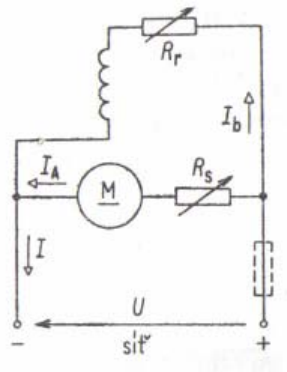
Závislost uvedená na obr. 3.3 platí i pro tento motor. Platí tedy úměrnost:

$$M \sim I_A$$

$$n \sim U - k' M$$

přičemž sklon přímky $n(M)$ je dán celkovým odporem v obvodu kotvy.

Všimněme si proto jen rozdílů v zapojení a některých dalších vlastností. Schéma je na obr. 3.7.[7]



Obr. 3. 7 Schéma zapojení motoru s paralelním buzením

Spouštění

Při spouštění používáme výhradně reostat s odporem R_s (spouštěč) zapojený do obvodu kotvy. Nelze ho zapojit do místa naznačeného čárkovaně, neboť by snížení svorkového napětí způsobilo i pokles budícího proudu a motor by neměl dostatečný záběrný moment. Při spouštění musí být $I_b = I_{bN}$.

Otáčky

Otáčky řídíme budícím proudem a reostatem v obvodu kotvy (spouštěčem). Spouštěč však musí být dimenzován na trvalé zatížení a stává se z něj regulační reostat. Změnou svorkového napětí řídit otáčky nelze, protože by se současně měnil i budící proud.

Směr otáčení

Směr otáčení se mění častěji vzájemným přehozením přívodů ke kotvě (nikoli tedy jen přehozením svorek napájecího napětí). Směr budícího proudu měníme obvykle jen při jednorázové změně směru otáčení.

Brzdění

Brzdění se děje stejným způsobem jako u cizí buzeného motoru. Pouze při brzdění do odporu klesá brzdící moment při malých otáčkách velmi rychle, neboť platí:

$$M_{brzdy} = kI_b I_A \quad (11)$$

takže je vhodné ke konci brzdění zmenšovat brzdící odpor R (obr. 3.4) nebo použít cizí buzení.

Motor s derivačním buzením se používá tam, kde není třeba měnit otáčky v širokých mezích (max. 1:3), tzn. Tam, kde vystačíme s řízením otáček změnou budícího proudu.

Motor má stálé otáčky i při velkých změnách zatížení, lze ho hospodárně brzdit a není příliš citlivý na změny síťového napětí.[7]

3.4 Motor se sériovým buzením

Schéma zapojení je na obr. 3.8. Na síť se připojuje přes spouštěč R_s ; pouze velmi malé motorky lze připojit přímo k síti. Všechna vinutí sériového motoru jsou zapojena do série s kotvou a prochází jimi proud

$$I = I_A = I_b$$

a

$$n = \frac{U - R_A I_A - \Delta U_K}{c\Phi}$$

Pro vyšetření momentové charakteristiky můžeme psát

$$M = k\Phi I$$

Protože $\Phi \sim I$, platí

$$M = k_1 I^2 \quad (12)$$

a po úpravě a výpočtu I dostaneme

$$I = k'_1 \sqrt{M}$$

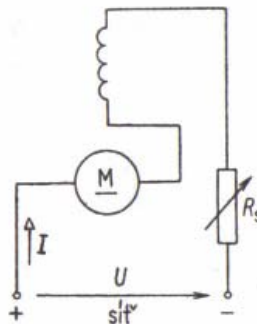
Po dosazení do vztahu (10) dostaneme výraz

$$n = c_1 \frac{U - Rk_1' \sqrt{M}}{C_1 \sqrt{M}}$$

který upravíme na konečný tvar

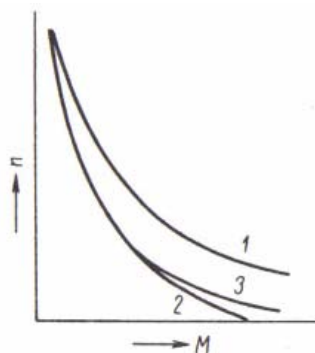
$$n = c_1 \frac{U}{\sqrt{M}} - c_2 R \quad (13)$$

kde odpor R v sobě zahrnuje jak odpor spouštěče, tak i odpor kotvy.



Obr. 3. 8 Schéma zapojení motoru se sériovým buzením

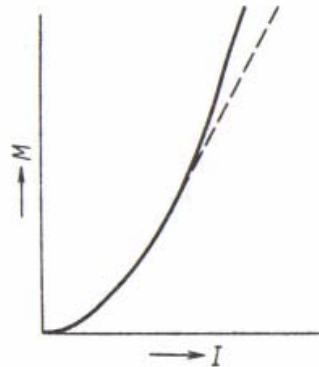
První člen této rovnice je tzv. polytropa, tj. křivka, jejíž průběh se blíží hyperbolickému průběhu. Její průběh je na obr. 3.9 označen 1. Křivka 2 respektuje i druhý člen rovnice (9). Zvětší-li se tak, že se přesyť magnetický obvod, klesá momentová charakteristika podle křivky 3.



Obr. 3. 9 Momentová charakteristika motoru se sériovým buzením 1-teoretický průběh, 2-skutečný průběh, 3-průběh přesycení magnetického obvodu

Tato charakteristika ukazuje závažnou nevýhodu sériového motoru. Odlehčíme-li stroj ($M=0$), zvětší se značně otáčky motoru a stroj se zničí. Bud použijeme zvláštní

způsob pro omezení otáček, nebo musíme použít takový převod momentu, při kterém nemůže dojít k (i náhodnému) přerušení.



Obr. 3. 10 Charakteristika závislosti momentu na proudu v kotvě

Na obr. 3.10 je charakteristika udávající závislost momentu na zatěžovacím proudu podle rovnice (8). Je to parabola, která při větším zatěžovacím proudu přechází v přímkovou závislost vlivem nasycení magnetického obvodu.

Vzhledem k uvedeným charakteristikám je motor se sériovým buzením vhodný zejména pro elektrickou trakci.[7]

Spouštění

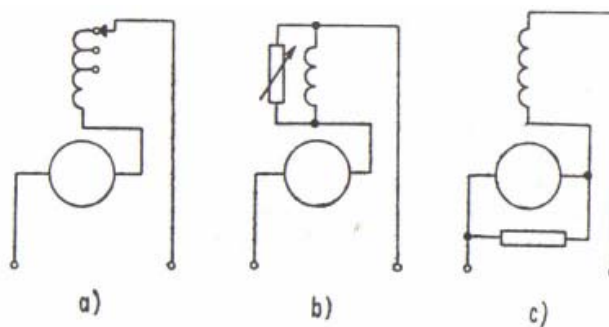
V okamžiku spouštění je proud omezen pouze odpory vinutí kotvy a buzením. Motor proto musíme buď rozbíhat síťovým napětím, nebo zařadit do série ještě spouštěč.

Řízení otáček

Podobně jako u předcházejících motorů jsou tři možnosti řízení otáček. Napětím se při stálém zatěžovacím momentu nemění proud motoru, nemění se tedy jmenovatel rovnice (9) a čítec se mění přibližně stejně jako napětí. To znamená, že otáčky jsou úměrné napětí. Účinnost motoru je při řízení napětí veliká, ale musíme mít k dispozici říditelný zdroj napětí.

Otáčky můžeme řídit také sériovým reostatem, který způsobí zmenšení otáček, ale značně zhorší účinnost. Sice „změkčuje“ momentovou charakteristiku, ale v tomto případě to není na závadu.

Otáčky můžeme také zvětšovat různými způsoby zmenšování budícího magnetického toku obr. 3.11. Vhodné je řešení podle obr. 3.11a, neboť při něm nedochází ke zbytečným ztrátám jako při použití bočnicku na obr. 3.11b. U velkých strojů však působí obtíže přepínání závitů, neboť způsobuje přepětí, opalování kontaktů. Paralelním připojením rezistoru ke kotvě se zvětšuje magnetický tok, a tím se zmenšují otáčky a současně se snižuje napětí na kotvě. Zhoršení účinnosti je ovšem značné a proto se tento způsob používá jen výjimečně.

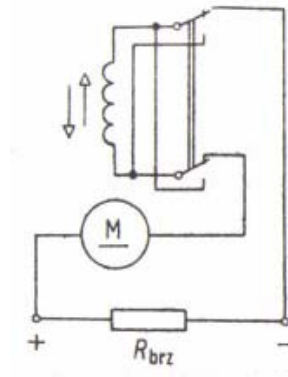


Obr. 3. 11 Řízení otáček seriového motoru

- a) přepínáním odboček budícího vinutí,
- b) připojením bočnicku k budicímu vinutí,
- c) připojením bočnicku ke kotvě

Brzdění

Pro vznik brzdného účinku musíme navzájem zaměnit přívody k buzení podle obr. 3.12. Pokud bychom připojili brzdící odpor pouze ke svorkám a nechali stroj dobíhat jako dynamo, poměry by se nezměnily. Proud by sice procházel opačným směrem, ale jak kotvou, tak i budícím vinutím, takže by nevznikl žádný brzdný moment. Dynamo by se odbudilo a ztratilo by remanentní napětí a indukované napětí $U_i = 0$.



Obr. 3. 12 Brzdění motoru se sériovým buzením

Rekuperaci nelze vyjádřit, neboť napětí sériového stroje v generátorovém chodu je velmi proměnlivé.

Brzdění protiproudem (tzv. změnou směru proudu v kotvě nebo buzením) nedovoleně namáhá motor. Musel by se tedy používat přídavný rezistor v obvodu kotvy.

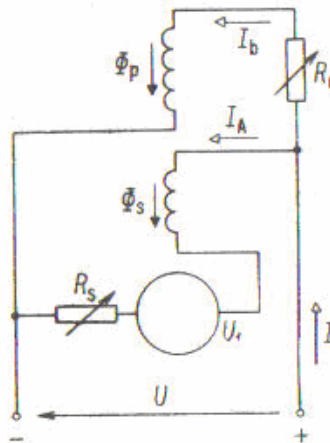
Směr otáčení

Směr otáčení se mění záměnou přívodu k buzení nebo ke kotvě.[7]

Motor se sériovým buzením se vzhledem k uvedeným charakteristikám nejvíce používá v elektrické trakci, pro pohony jeřábu atd.

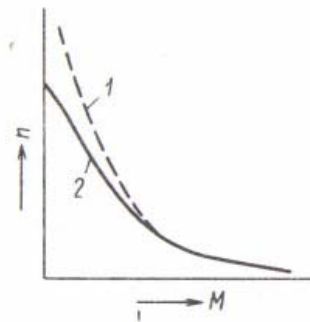
3.5 Motor s kompaundním buzením

Schéma zapojení je na obr. 3.13. Motor má paralelní i sériové buzení. Tato buzení mohou vytvářet magnetické toky stejného nebo opačného směru. Vlastnosti motoru jsou dány poměrem magnetomotorických napětí obvodu buzení.



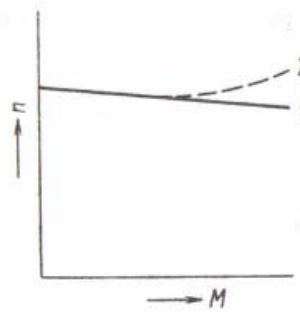
Obr. 3. 13 . Schéma zapojení motoru s kompaundním buzením

U motorů se sériovým buzením se přidáním derivačního buzení odstraní značné zvětšení otáček při odlehčení, protože magnetický tok paralelního buzení zůstane stálý. Při větším zatížení převládne vliv sériového buzení a motor má obvyklou charakteristiku obr. 3.14.



Obr. 3. 14 Momentová charakteristika, 1-sériové buzení, 2-sériové a paralelní buzení

U motorů s derivačním buzením se přidáním sériového buzení (které podporuje derivační buzení) u větších motorů odstraní nepříznivý vliv reakce kotvy. Při velkém zatížení někdy způsobí reakce kotvy příliš velký pokles magnetického toku, a tím se zvětší otáčky obr. 3.15. Sériové buzení způsobí, že charakteristika má stále klesající průběh, a navíc také zlepšuje záběrný moment motoru.



Obr. 3. 15 Momentová charakteristika, 1-sériové a paralelní buzení, 2-paralelní buzení

U menších motorů se někdy sériové buzení zapojuje tak, že působí svými účinky proti derivačnímu buzení. Dosáhne se tím zmenšení poklesu otáček při rostoucím zatížení.(rovnice 9)

Směr otáčení lze změnit pouze přehozením přívodů ke kotvě. Magnetické toky v obvodu budících vinutí musí mít stále stejný směr.[7]

4 ALTERNÁTORY

Alternátory jsou generátory určené pro výrobu střídavého proudu. Rozdělujeme je podle účelu na:

- Turboalternátory - poháněné parní nebo plynovou turbínou
- Hydroalternátory – poháněné vodní turbínou

4.1 Konstrukce alternátorů

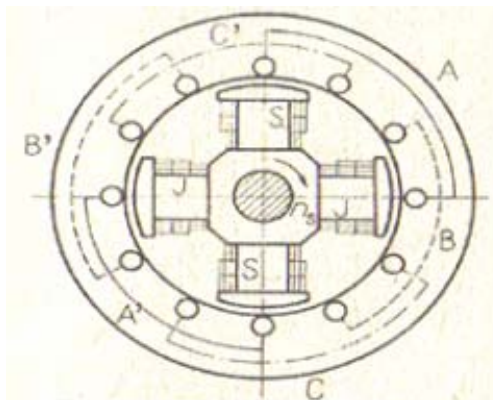
Základní části alternátoru jsou stator a rotor.

Statorový svazek je složen z plechů, které jsou obvykle umístěné ve svařené kostře. Plechy statorového svazku jsou buď v celku, nebo (u strojů s velkým průměrem) jsou rozděleny na několik segmentů. Na vnitřním průměru jsou drážky, do nichž je uloženo (nejčastěji trojfázové) vinutí.

Z hlediska konstrukce rotoru rozlišujeme dva typy alternátorů:

- s vyniklými póly
- s hladkým rotorem

4.2 Alternátor s vyniklými póly

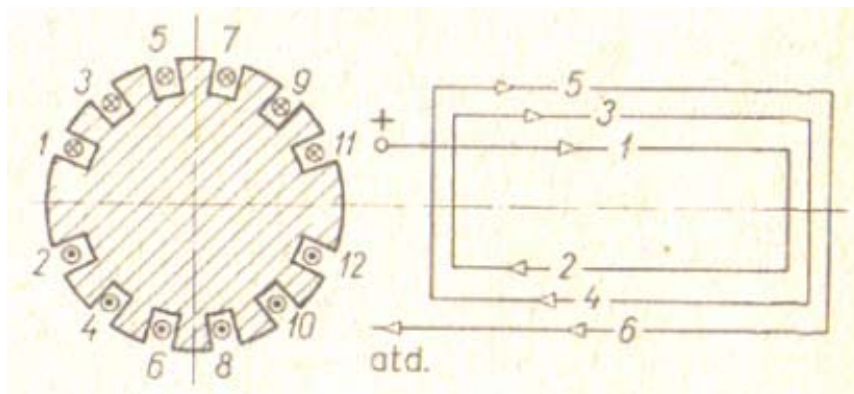


Obr. 4. 1 Stroj s vyjádřenými póly

Tyto alternátory mají rotor tvořený hřídelí, na které je nasazeno magnetické kolo s příslušným počtem pólů (čtyři a více). Póly se často skládají z plechů, aby se omezily ztráty způsobené pulsací magnetického toku.

Každý pól má budící cívku. Budící cívky jsou vhodně spojeny (obvykle za sebou) a jejich konce jsou připojeny ke dvěma kroužkům umístěným na hřídeli. Na kroužky dosedají kartáčky, jimiž se do budícího vinutí převádí stejnosměrný budící proud z budiče. [2]

4.3 Alternátor s hladkým rotorem



Obr. 4. 2 Buzení stroje s hladkým rotorem

Tento typ alternátorů má rotor tvořený plným ocelovým hladkým válcem, vyrobeným z legované oceli, na jehož obvodu jsou podélné drážky. Tyto alternátory se vyrábějí pouze jako dvupólové a čtyřpólové. Drážky zaujímají asi dvě třetiny obvodu a budící vinutí z měděných vodičů se do nich vkládá tak, aby vytvořilo závity kolem velkých pólů. Vinutí se uzavře v drážce nemagnetickými klíny a čela budícího vinutí se zajistí bandážovanými kruhy z nemagnetické oceli. Tak vznikne těleso s hladkým povrchem, který je nutný vzhledem k velkým otáčkám. Přívody ke kroužkům od budícího vinutí procházejí vývrtem v hřídeli.

Budič je nezbytný pro práci alternátoru. Většinou se používá dynamo, které je namontováno na hřídeli, a tím je zajištěn spolehlivý provoz. Dnes se místo budičů velmi často používají pro buzení polovodičové usměrňovače. [2]

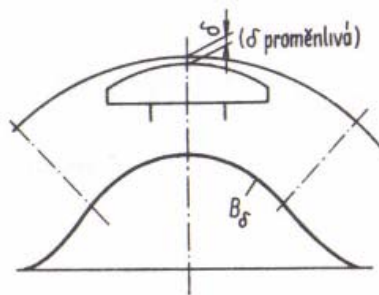
4.4 Princip činnosti alternátoru a velikost indukovaného napětí

Otáčí-li rotorem alternátoru poháněcí stroj (turbína, spalovací motor apod.) prochází-li budícím vinutím stejnosměrný proud, vzniká točivé magnetické pole, které v trojfázovém vinutí indukuje trojfázové střídavé napětí. Aby indukované napětí mělo požadovaný kmitočet f , musí mít rotor s p pólovými dvojicemi otáčky dané vztahem:

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad [\text{min}; \text{Hz}] \quad (14)$$

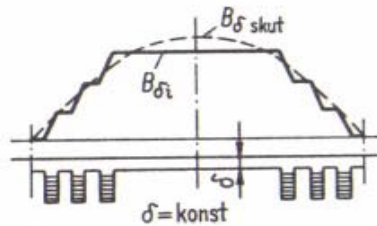
Indukované napětí musí mít také sinusový průběh. Toho dosáhneme tím, že zajistíme sinusový průběh magnetické indukce ve mezeře.

U alternátorů s vyniklými póly proto musí mít pólový nástavec vhodný profil, odpovídající přibližně uvedenému požadavku (obr. 4.3). [7]



Obr. 4.3 Vzduchová mezera u stroje s vyniklými póly a průběh magnetické indukce B_δ ve vzduchové mezeře

U strojů s hladkým rotorem vznikne přibližně lichoběžníkový průběh magnetické indukce (obr. 4.4). Napětí indukovaná v jednotlivých cívkách statorového vinutí mají podobný průběh, avšak vzhledem k velkému počtu drážek na pól a fázi ($q = 3$ až 4) a k časovému posunutí jednotlivých napětí má výsledné indukované napětí téměř přesně sinusový průběh.



Obr. 4. 4 Průběh teoretické magnetické indukce a skutečné magnetické indukce b ve vzduchové mezeře s hladkým rotorem

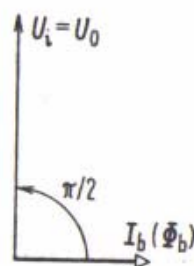
Pro výpočet velikosti indukovaného napětí musíme uvažovat pouze první sinusový průběh magnetického toku, takže pro jeho efektivní hodnotu v jedné fázi statorového vinutí platí vztah:

$$U_i = \pi \sqrt{2} B_\delta S_{Fe} N f k_v$$

4.5 Provozní stavy alternátoru

4.5.1 Chod na prázdno

V tomto případě je statorové vinutí bez proudu a předpokládáme, že magnetická indukce (magnetický tok) ve vzduchové mezeře má sinusový průběh. Indukované napětí předbíhá magnetický tok o 90° . Fázový diagram je na obr. 4.5

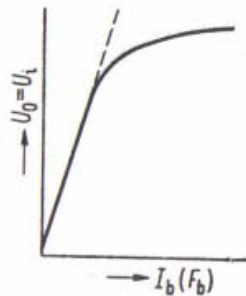


Obr. 4. 5 Fázový diagram alternátoru při chodu naprázdno

Velikost indukovaného napětí U_i závisí na magnetickém toku, přesněji řečeno na celkovém magnetomotorickém napětí (pro jednu pólovou dvojici). Platí vztah:

$$F_b = N I_b = \Phi_b R_m \quad (15)$$

Závislost mezi napětím naprázdno U_0 a budícím proudem I_b (resp. Magnetomotorickým napětím F_b) se nazývá charakteristika naprázdno a je na obr. 4.6. V podstatě jde o magnetizační křivku. Z počátku je tvořena přímkovou charakteristikou vzduchové mezery a teprve od určité velikosti magnetické indukce, kdy se uplatní vliv nasycení feromagnetického obvodu, vlastní magnetizační křivkou. [2]



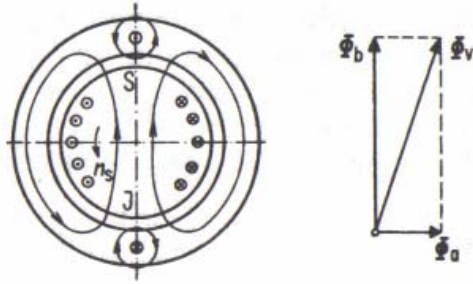
Obr. 4. 6 Charakteristika na prázdnou

4.5.2 Chod při zatížení

Připojíme-li na svorky alternátoru nějaký spotřebič, začne jeho trojfázovým satorovým vinutím procházet proud, který vytvoří točivé magnetické pole charakterizované magnetickým tokem Φ_a . Tato reakce satorového vnutí (tzv. reakce kotvy) má značný vliv na provozní vlastnosti synchronních strojů.

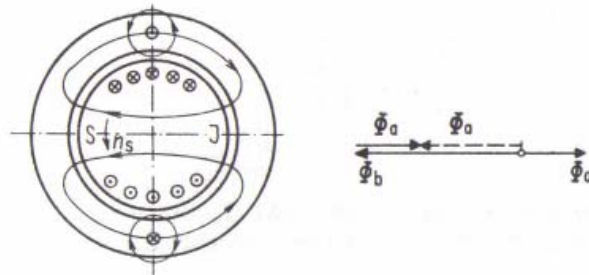
Pro jednoduchost výkladu reakce satorového vnutí budeme předpokládat stroj s hladkým rotorem, malý zatěžovací proud a různé zátěže, tedy odporovou, indukční a kapacitní.

Pro odporovou zátěž určíme v jistý okamžik podle pravidla pravé ruky směr indukovaného proudu v jedné cívice satoru (obr.4.7). Z obrázku je zřejmé, že v levé polovině severního pólu se působením reakce satorového vnutí magnetická indukce zmenšuje a v pravé polovině severního pólu se magnetická indukce zvětšuje. Stroj je reakcí satorového vnutí magnetován příčně (magnetický tok Φ_a).



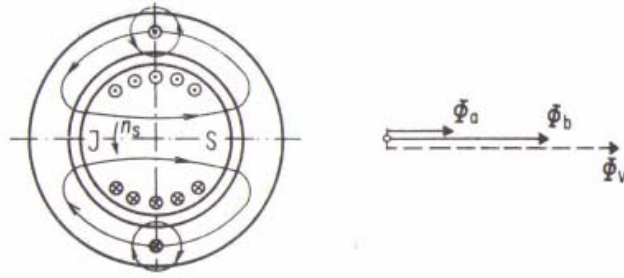
Obr. 4. 7 Reaktance statorového vinutí (kotvy) při odporové zátěži

Při indukční zátěži je proud zpožděn za napětím o 90° . Tomu odpovídá obr.4.8, v němž je rotor pootočen o 90° ve směru točení. Z obrázku je vidět, že magnetický tok Φ_a , vyvolaný zatěžovacím proudem, působí proti hlavnímu magnetickému toku rotoru Φ_b . Výsledný magnetický tok Φ_v se v tomto případě zmenšuje (stroj se odbuzuje).



Obr. 4. 8 Reaktance statorového vinutí při indukční zátěži

Při kapacitní zátěži proud předbíhá napětí o 90° proti směru točení. Z obrázku je vidět, že magnetický tok Φ_a , vyvolaný zatěžovacím proudem, působí ve směru hlavního magnetického toku Φ_b . Výsledný magnetický tok Φ_v se v tomto případě zvětšuje (stroj se přibuzuje). [7]

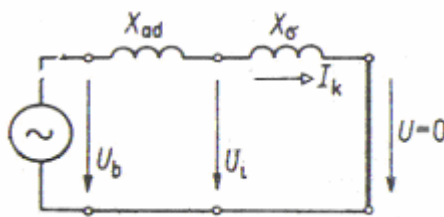


Obr. 4. 9 Reaktance satorového vinutí při kapacitní zátěži

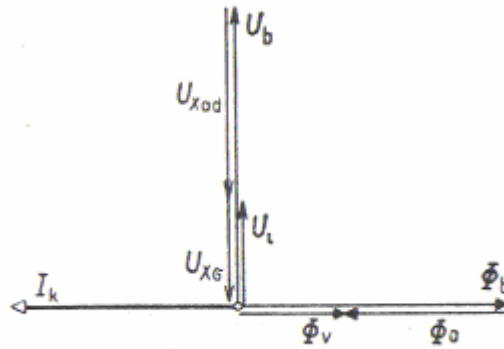
4.5.3 Chod na krátko

Spojíme-li nakrátko svorky nabuzeného alternátoru, vzniknou nejdříve v obou vinutích velké přechodné zkratové proudy a postupně nastane tzv. ustálený stav nakrátko. Alternátor pracuje v trojpolovém zkratu.

Zanedbáme-li činný odpor R , dostaneme náhradní schéma uvedené na obr. 4.10. Proud nakrátko I_k je čistě indukční. Poměry v obvodu znázorňuje fazolový diagram na obr. 4.11. V nitřní napětí U_i kryje pouze úbytek napětí U_{X_σ} na reaktanci X_σ , magnetický tok Φ_a reakce satorového vinutí (kotvy) směřuje proti hlavnímu magnetickému toku Φ_b , takže výsledný magnetický tok Φ_v je malý a stejně tak malý i ustálený proud nakrátko I_k .



Obr. 4. 10 Náhradní schéma synchronního stroje při chodu nakrátko



Obr. 4. 11 Fázorový diagram pro chod nakrátko; velikosti fázorů úbytku napětí $U_{X_{ad}}, U_{X_{\sigma}}$ jsou dány vztahy $U_{X_{ad}} = X_{ad}I_k$, $U_{X_{\sigma}} = X_{\sigma}I_k$

Důležitou veličinou je poměrný proud nakrátko I_k , definovaný poměrem proudu nakrátko a jmenovitého proudu

$$i_k = \frac{I_k}{I_N} \quad (16)$$

za předpokladu, že je stroj buzen jmenovitým budícím proudem I_{Bn} . Poměrný proud nakrátko i_k bývá v rozmezí (0,5 až 1,4), podle druhu stroje. Ustálený proud nakrátko se tedy pohybuje kolem jmenovitého proudu stroje (u moderních strojů je spíše menší).

Je však třeba připomenout, že poměry ve stroji jsou v prvním okamžiku zkratu značně horší. Zkratový proud není zpočátku omezen reaktancí reakce kotvy, takže dosahuje až dvacetinásobku ustáleného proudu na krátko a postupně klesá až na I_k . V tomto přechodném stavu je vinutí stroje značně tepelně i mechanicky namáháno dynamickými rázy. Budící vinutí je namáháno zvýšeným napětím, které ohrožuje jeho izolaci. Toto zvýšené napětí je způsobeno rychlou změnou statorového proudu.

Pro poměry ve stroji je také důležité, zda došlo k jednofázovému, dvojfázovému nebo trojfázovému zkratu. Zkratový proud závisí i na okamžité hodnotě napětí v okamžiku zkratu. Proti zkratům a jiným poruchám je třeba, každý synchronní stroj chránit vhodnými ochranami (nadproudová, rozdílová, zemní, tepelná apod.). [7]

5 SYNCHRONNÍ MOTOR

5.1 Konstrukce

Synchronní motor má stejnou konstrukci jako alternátor. Každý synchronní motor může pracovat jako alternátor a naopak. Podobně jako alternátory se vyrábějí také synchronní motory s vyniklými póly (do 1500min^{-1}) a synchronní motory s hladkým rotorem.

Výhody:

1. Má konstantní otáčky nezávislé na zatížení.
2. Nezatěžuje síť jalovým proudem, ale může naopak jalový proud do sítě dodávat
3. Není citlivý na změny napětí
4. Má větší účinnost než asynchronní motor

Nevýhody:

1. Spouštění je obtížné
2. Otáčky lze regulovat jen obtížně
3. Musí mít budič
4. Záběrný moment je malý

5.2 Spouštění

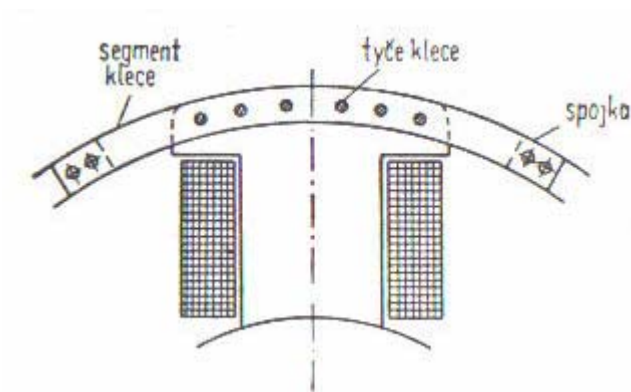
Připojíme-li statorové vinutí synchronního motoru k trojfázové síti, rotor se neroztočí, i když bude nabuzen. Točivé magnetické pole statoru a stojící magnetické pole rotoru vytvořit moment, jehož velikost a směr se mění tak, že střední hodnota momentu je nulová.

Aby mohl synchronní motor pracovat, musíme ho nejdříve roztočit na synchronní otáčky a potom teprve při fázovat k síti.

U staršího způsobu spouštění se pro roztočení používal asynchronní motor, který měl menší počet pólů než vlastní synchronní motor, a proto bezpečně dosáhl synchronních

otáček. Takto se ještě dnes spouštějí největší synchronní motory (s výkonem větším než 10MW) nebo synchronní kompenzátory.

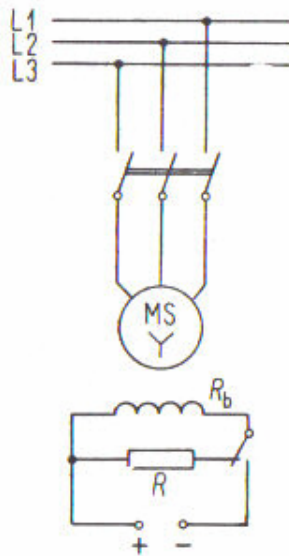
Současné době se synchronní motory spouštějí (roztácejí) vlastním asynchronním rozběhem, podobně jako asynchronní motory s kotvou nakrátko. Měděné tyče klecového vinutí se u synchronních motorů s vyjádřenými póly umísťují do pólových nástavců a spojí se na obvodu kruhy obr. 5.1. U motorů s hladkým rotorem je klecové vinutí tvořeno masivními zuby rotoru. Rozběhové vinutí musí být dobře navrženo, protože se při rozběhu značně zahřívá a tepelné dilatace mohou být příčinou poruch.[7]



Obr. 5. 1 Klec synchronních strojů

Motor se rozbíhá obvykle jen s malým zatížením nebo naprázdno. Při poji se k síti a rozbíhá se jako asynchronní motor. Po dobu rozběhu je budicí vinutí spojeno nakrátko přes rezistor R , jehož odpor má velikost asi (5 až 7) R_b obr. 5.2. Ochranný rezistor R omezuje vznik vysokého napětí v budicím vinutí při rozběhu, a chrání tak jeho izolaci. Po dosažení téměř synchronních otáček se odpojí zkratovací rezistor, připojí se budicí napětí a motor se nabudí. Rotor je potom synchronizačním momentem vztažen do synchronních otáček, a tím je rozběh ukončen.

Je zřejmé, že při spouštění synchronního motoru dochází ke značnému proudovému nárazu. Záběrný proud bývá (podobně jako u asynchronních motorů) trojnásobkem až šestinásobkem jmenovitého proudu.

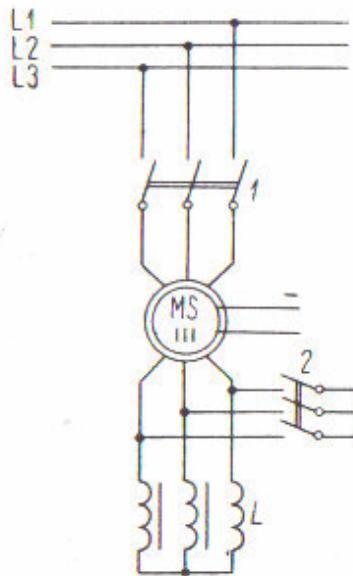


Obr. 5. 2 Spouštění synchronního motoru asynchronně

Synchronní motory s menším výkonem lze spouštět přímým připojením k síti. Motory s větším výkonem a motory v těch případech, kdy rozvodná síť nedovoluje přímé připojení, lze spouštět

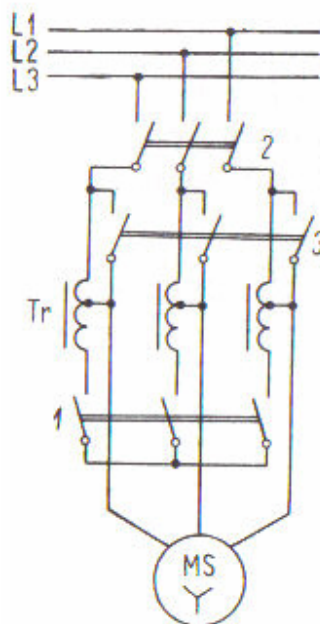
- a) Tlumivkou
- b) Autotransfornátorem
- c) Spojováním paralelních větví statorového vinutí

ad a) Spouštění tlumivkou. Schéma zapojení je na obr. 5.3. Záběrný proud je omezen zařazením tlumivky L do statorového obvodu motoru. Po připojení motoru k síti spínačem 1 necháme motor rozběhnout, potom zapneme spínač 2, a tím vytvoříme uzel vinutí. Další postup spouštění odpovídá popisu u obr. 5.2.



Obr. 5. 3 Spouštění asynchronního motoru tlumivkou

ad b) Spouštění autotransfornátorem. Schéma zapojení je na obr. 5.4. Statorové vinutí je trvale připojeno na pevnou odbočku transformátoru. Před spouštěním zapneme nejdříve spínač 1. Zapnutím spínače 2 se motor začne rozbíhat při sníženém napětí. Po rozběhu rozpojíme spínač 1, takže část vinutí autotransfornátoru působí jako tlumivka. Necháme motor dále rozbíhat a po ustálení otáček zapneme spínač 3. Tím připojíme motor na plné napětí sítě. Další postup odpovídá obr. 5.2.



Obr. 5. 4 Spouštění spouštěcím autotransfornátorem

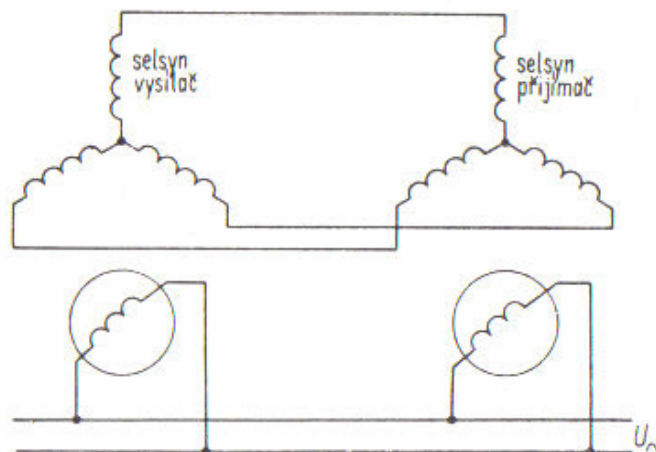
ad c) Největším synchronní motory se mohou rozbíhat i kmitočtově. Stator motoru se propojí se státorem stojícího alternátoru a rotory obou strojů se nabudí. Začneme-li potom roztáčet alternátor, začne se s ním rozbíhat i synchronní motor. Po dosažení kmitočtu sítě se oba společně. Připojí k síti. Tento způsob spouštění však vyžaduje samostatný budič, poháněný vlastním motorem, neboť musíme nabudit oba stroje v klidu.[3]

Dnes se vyrábějí také synchronní motory s permanentními magnety, napájené z polovodičových měničů kmitočtu. Vyrábějí se pro výkony až desítky kilowattů.

5.3 Speciální synchronní stroje

5.3.1 Selsyn

Selsyn je v podstatě trojfázový synchronní stroj, jehož rotor je složen z plechů a budící vinutí je napájeno střídavým napětím. Zapojí-li se např. dva selsyny podle obr. 5.5, pak při natáčení rotoru selsynu vysílače se synchronně natáčí i rotor selsynu přijímače, a to do té doby, než jsou indukována napětí ve statorech obou strojů shodná a spojovacím vedením neprochází proudy. [3]



Obr. 5. 5 Zapojení selsynů k dálkovému přenášení polohy

Selsyn se obvykle používá k dálkovému přenosu polohy otáčivých systémů při dálkovém ovládnání a měření.

5.3.2 Krokové motory

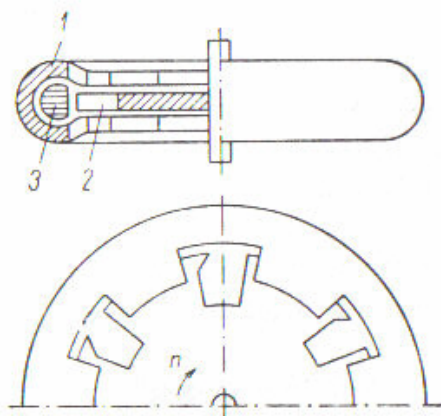
Automatizace průmyslových zařízení se stále náročnějšími požadavky na přenos a rychlost regulace si vynutila konstrukci motorů nového typu.

Pohyb hřídele krokových motorů není spojitý-má podobu jednotkových úhlových kroků. Každému kroku odpovídá přesně jeden proudový impuls dodávaný napájecím zdrojem. Rychlost pohybu hřídele krokového motoru je určena počtem impulsů, jež jsou přivedeny za časovou jednotku, tedy jejich kmitočtem. Proto krokové motory zařazujeme mezi synchronní stroje, jejichž otáčky se řídí změnou kmitočtu napájecího napětí.

V praxi potřebujeme, aby motor co nejrychleji reagoval na řídicí impulsy. To se zajistí konstrukcí rotoru s minimálním momentem setrvačnosti a budícím vinutím s minimální časovou konstantou. Řídicí impulsy dodává obvykle tranzistorový spínač.

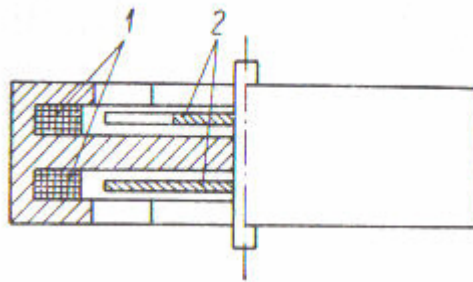
Přesto však je činnost krokového motoru omezena tzv. mezním kmitočtem, při němž přestává motor reagovat na sled impulsů. Dnes vyráběné krokové motory mají krokový kmitočet až několik newton metrů.

Jednofázový reaktanční mnohokolový motorek má na statoru i rotoru shodný počet pólů obr. 5.6. Póly rotoru jsou nesouměrné (jimi je ovlivněn průběh magnetického pole v mezeře), a tím je dán i směr pohybu rotoru. Budící magnetický tok vytvořený cívkou prochází v osovém směru. Zavedeme-li do budící cívky stejnosměrný proud určité polarity, natočí se rotor tak, aby magnetický odpor stroje byl co nejmenší. Stroj v této poloze setrvá (má určitý synchronizační moment) až do té doby, kdy se změní polarita budícího proudu a rotor postoupí o jednu polovinu rozteč.



Obr. 5. 6 Princip jednofázového reaktančního motoru

Dvoufázový motor se dvěma budícími cívkami je na obr. 5.7. V magnetickém obvodu statoru se otáčejí dva rotory na společné ose. Počet pólů statoru je stejný. Zavedeme-li proud do jedné statorové budící cívky, natočí se zuby příslušného rotoru tak, aby se dostaly pod póly svého statoru. Přepneme-li řídicí impuls na druhou budící cívku, vybudí se druhý stator a jeho rotor pootočí hřídelí ve stejném směru, daném nesouměrným tvarem (zobákovité výstupky) rotorových nástavců.[7]



Obr. 5. 7 Princip dvoufázového motorku, 1-Budící statorová vinutí, 2-Rotory

6 ASYNCHRONNÍ STROJE

Indukční (Asynchronní) stroj je točivý elektrický stroj, jehož magnetický obvod je malou mezerou rozdělen na dvě části: stator a rotor. Obě části jsou opatřeny vinutím. Jedno vinutí (obvykle statorové) je připojeno na zdroj střídavého proudu a druhé (obvykle rotorové) je spojeno nakrátko a proud v něm vzniká elektromagnetickou indukcí. Odtud název indukční.

Nejčastějším druhem asynchronního stroje je trojfázový indukční motor, který využívá silového působení statorového proudu (ze sítě) a rotorového proudu (indukovaného ve vinutí spojeném nakrátko).

6.1 Rozdělení

Asynchronní motor může být podle statorového vinutí

- a) trojfázové
- b) jednofázové

a podle rotorového vinutí

- a) nakrátko
- b) kroužkový

ad a) Motor nakrátko má na rotoru vinutí spojeno trvale nakrátko. Vinutí je zhotovené z masivních tyčí, spojených po obou stranách vodivými kruhy.

Ad b) Kroužkový motor má na rotoru trojfázové vinutí. Začátky vinutí jsou vyvedeny na tři kroužky umístěné na hřídeli. Na kroužky dosedají uhlíkové sběrací kartáče, jejichž pomocí můžeme do rotorového vinutí zařadit vhodný odpor a tím zmenšit záběrný proud motoru nebo jeho otáčky a zvětšit záběrný moment.[1]

6.2 Trojfázové asynchronní motory

6.2.1 Popis trojfázového indukčního motoru s kotvou nakrátko

Statorový svazek tvoří mezikruží, složené z dynamových plechů. Jeho vnitřní obvod má drážky, ve kterých je uloženo trojfázové statorové vinutí, které po připojení na trojfázovou síť vybudí tzv. točivé magnetické pole. Toto pole vytváří točivý moment motoru. Statorový svazek je zalisován v litinové kostře, která dává motoru vnější tvar a umožňuje jeho připevnění k základu.

Rotor tvoří válec, složený také z dynamových plechů. Ty jsou u menších motorů nalisovány přímo na hřídel, u větších strojů jsou upevněny na rotorové nosné hvězdy. Rotor má na vnějším obvodu drážky vyplněné vodivými tyčemi. Tyče jsou po obou stranách spojeny vodivými kruhy a tvoří tzv. odporovou klec. Tyče i kruhy jsou nejčastěji z hliníku.

Rotor je od statoru oddělen malou vzduchovou mezerou a otáčí se působením točivého magnetického pole. Točivý moment se na poháněný stroj přenáší pomocí hřídele, který vyčnívá ze zadního ložiskového štítu. Hřídel je upravena tak, že se na něj může nasadit řemenice.[4]

6.2.2 Popis kroužkového motoru

Kroužkový motor má v rotorových drážkách uloženo trojfázové vinutí trvale spojeno do hvězdy nebo méně často do trojúhelníku. Vývody jednotlivých fází jsou připojeny na tři vodivé kroužky, izolovaně upevněné na hřídeli. Na kroužky dosedají uhlíkové kartáče, umístěné v držácích kartáčků. Držáky jsou vodivě spojeny se třemi svorkami rotorové svorkovnice, která bývá upevněna na předním ložiskovém štítu. [4]

Prostřednictvím sběracího mechanismu můžeme do obvodu rotorového vinutí zařadit proměnný odpor, kterým můžeme zmenšit otáčky motoru.

6.3 Spouštění asynchronního stroje

6.3.1 Všeobecné zásady

Spouštění (připojení k síti) je největším provozním problémem asynchronních motorů. Charakteristickým údajem je záběrný proud a jemu odpovídající záběrný moment. Snahou je, aby záběrný proud byl malý a záběrný moment co největší.

Z hlediska spouštění je nejvhodnější kroužkový motor, u něhož můžeme vhodnou volbou rotorového odporu libovolně změnit záběrný proud a záběrný moment zvětšit až na moment zvratu. Kroužkové motory jsou však složitější, choulostivější, a vzhledem k motorům s kotvou nakrátko mají další nevýhody.

Výhody motoru s kotvou na krátko ve srovnání kroužkovým motorem jsou:

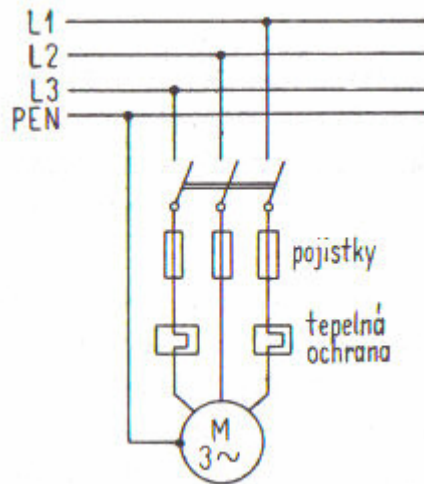
1. Větší účinek zejména u menších výkonů. Účinky se vyrovnávají při výkonech 30kW.
2. Větší účinnost při menších výkonech.
3. Větší přetíženost.
4. Možnost většího oteplení rotoru.
5. Konstrukční jednoduchost; odpadají kartáče, kroužky apod.
6. Menší hmotnost.

6.3.2 Druhy spouštění motorů s kotvou nakrátko

- a) Přímé připojení k síti
- b) Statorový spouštěč
- c) Přepínač Y/D
- d) Spouštěcí transformátor
- e) Použití rozběhové spojky

6.3.2.1 Přímé připojení k síti

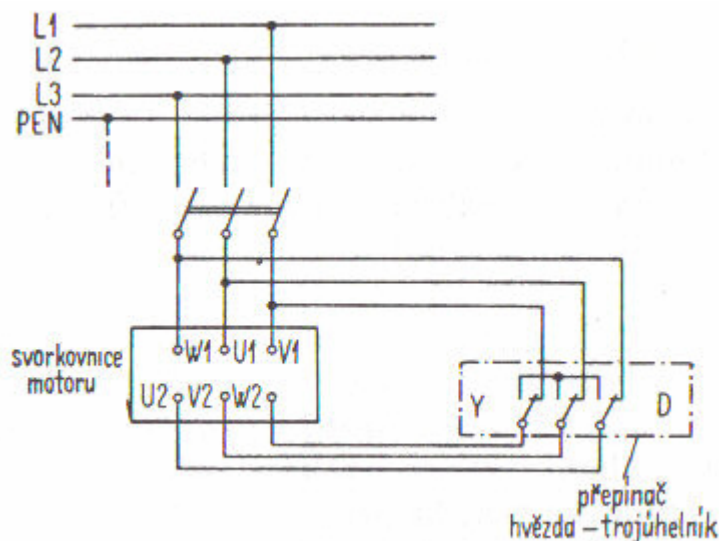
Je to nejjednodušší způsob obr. 6.1 má své výhody i nevýhody. Motor v okamžiku připojení odebírá značný proud nakrátko (záběrný proud), což může způsobit pokles napětí sítě (se všemi důsledky pro ostatní spotřebiče) a také vypnutí ochran. Motor se připojuje buď spínačem, nebo stykačem.



Obr. 6. 1 Přímé připojení motoru nakrátko k síti

Ve spotřebitelské síti se mohou přímo k síti připojovat motory, jejichž spouštěcí příkon je menší než 22kVA. Pro nejpoužívanější napětí 3x400V odpovídá uvedenému příkonu motoru nejvýše 3kW.[3]

6.3.2.2 Přepínač hvězda –trojúhelník



Obr. 6. 2 Připojení motoru nakrátko k síti přepínačem hvězda – trojúhelník

Tento způsob spouštění se nejčastěji používá u motorů výkonu 3-10kW. Motor musí mít při normálním běhu vinutí spojeno do hvězdy. V tomto spojení by šel při záběru do jedné fáze vinutí proud

$$I_{f\Delta} = \frac{U}{Z} \quad (17)$$

Z-zdánlivý odpor jedné fáze motoru.

Ze sítě jde proud

$$I_{\Delta} = \sqrt{3} \frac{U}{Z}.$$

Ve skutečnosti je při rozběhu motor spojen do hvězdy. Jedna fáze dostane napětí $\frac{U}{\sqrt{3}}$ a její proud je

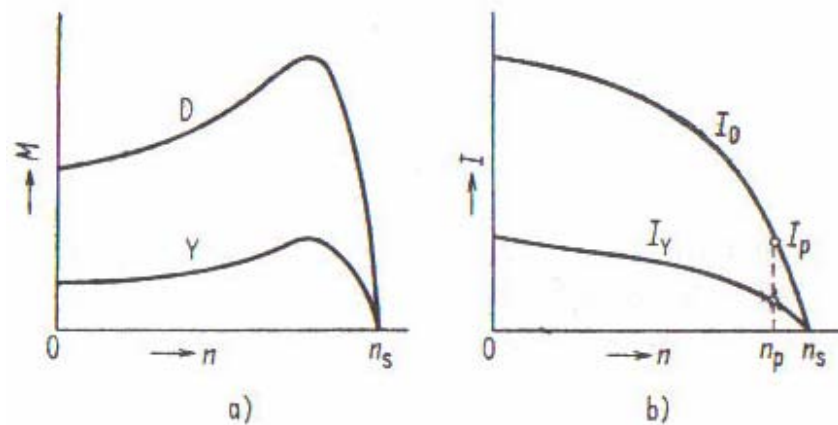
$$I_Y = \frac{U}{\sqrt{3}Z}$$

Týž proud jde také ze sítě, takže poměrně síťových proudů při obou spojeních je:

$$\frac{I_Y}{I_{\Delta}} = \frac{U}{\sqrt{3}Z} \cdot \frac{Z}{U\sqrt{3}} = \frac{1}{3}$$

Záběrný proud je v tomto případě třikrát menší, stejně jako záběrný moment. Proto je možné tímto způsobem spouštět pouze motory, které se rozbíhají bez zatížení (okružní pily, ventilátory, obráběcí stroje apod.).

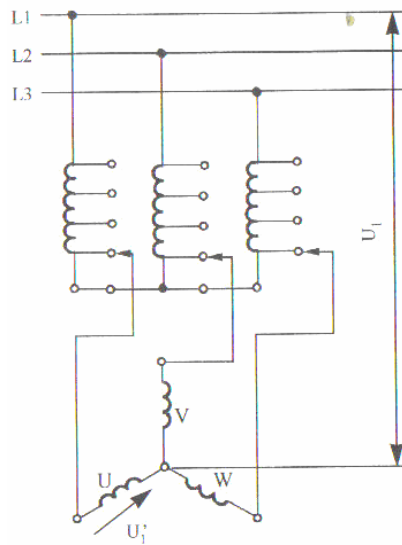
Momentové a proudové charakteristiky motoru při spouštění přepínačem Y-D jsou na obr. 6.3. K vlastnímu přepnutí z Y do D může dojít až při ustálení otáček n_p , tj. v tom okamžiku, kdy je proud I_p (při přepnutí) přibližně stejně velký jako záběrný proud I_Y obr. 6.3b. Při nedodržení této podmínky se výhoda tohoto způsobu spouštění neuplatní. [3]



Obr. 6. 3 Průběh spouštění motoru nakrátko přepínačem hvězda – trojúhelník
a) momentová charakteristika, b) průběhový proud

6.3.2.3 Spouštění pomocí transformátorem

Spouštění asynchronního motoru spouštěcím transformátorem je na obr. 6.4. Při spouštění se připojí vinutí motoru nejdříve na odbočku s nejnižším napětím a potom následuje postupné přepínání na odbočky s vyšším napětím. Záběrný proud se zmenší se čtvercem napětí $\left(\frac{U_i}{U_1}\right)^2$, záběrný moment se rovněž sníží v tomto poměru.



Obr. 6. 4 Spouštění trojfázového asynchronního motoru nakrátko autotransfátorem

Vlastnosti:

- Při lineárním snížení napětí na motoru se sníží záběrný proud kvadraticky,
- Při snížení napětí na motoru se kvadraticky sníží záběrný moment,
- Ztráty při spouštění jsou z přibližně stejné jako při přímém připojení na síť,
- Doba rozběhu je delší než při přímém připojení na síť

Vzhledem ke stoupajícím nákladům se spouštěcí transformátor uplatní pouze u spouštění velkých motorů nakrátko.[3]

6.3.2.4 Rozběhová spojka

V tomto případě se motor rozbíhá naprázdno (bez zatížení) a teprve při dosažení určitých otáček jej rozběhová spojka připojí k poháněnému stroji. Záběrný proud se však nezmenší, neboť je dán parametry stroje. Použitím spojky se jen zkrátí doba, po kterou je síť zatěžována záběrným proudem. V současné době se rozběhové spojky používají jen ojediněle. [3]

6.3.3 Zmenšení záběrného proudu a zvětšení záběrného momentu

Zmenšení záběrného proudu a zvětšení záběrného momentu umožňuje:

- a) Odporová klec
- b) Dvojitá klec
- c) Vírová klec

6.3.3.1 *Odporová klec*

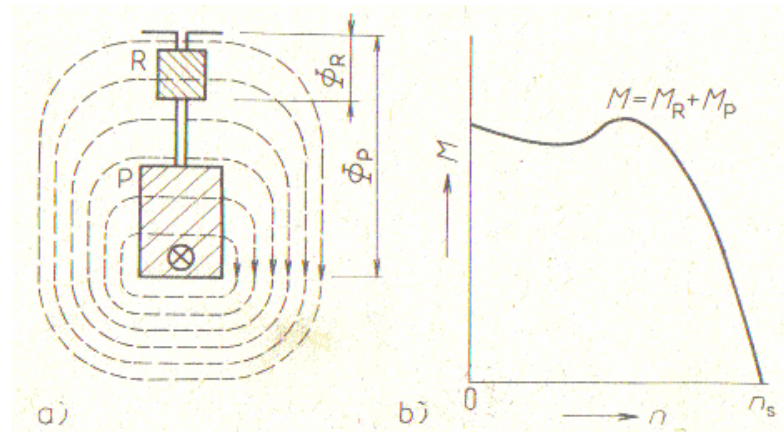
Odporová klec má tyče i kruhy zhotovené z materiálu o větším měrném odporu např. z mosazi, siluminu apod.. Většímu odporu rotorového obvodu odpovídá větší záběrný moment, ale současně i větší skluz a horší účinnost motoru..

Odporová klec se používá u jeřábových a výtahových motorů, kde je velký záběrový moment zvláště důležitý, ale kde při přerušovaném chodu není zhoršená účinnost rozhodující. Vhodným odporem klece můžeme dosáhnout toho, že záběrný moment se může rovnat momentu maximálnímu.

Zvětšení odporu zmenšením samotného průřezu není vhodné, neboť menšímu průřezu odpovídá menší tepelná kapacita a tím i větší oteplením. [2]

6.3.3.2 *Dvojitá klec*

Dvojitá klec má dvě soustavy tyčí nestejného průřezu nad sebou nebo vedle sebe. Tyto tyče jsou spolu spojeny vodivými kruhy obr. 6.5a. Tato klec byla diktována snahou zhotovit motor, který by v sobě spojoval výhody jednoduché klece při normálním chodu s výhodami odporové klece při rozběhu.



Obr. 6. 5 Vírová klec a) vysvětlení funkce, b) momentová charakteristika

Touto klecí dosáhneme zvětšení záběrného momentu a zmenšení záběrného proudu.

(Na obr. 6.5a je vyznačena jedna tyč rozběhové klece R a pod ní, hluboko v železe rotoru, tyč pracovní klece P. Tyč pracovní klec je spřeže s plným rozptylovým magnetickým tokem Φ_p , avšak tyč rozběhové klece je spřažena jen s jeho malou částí Φ_R . Při rozběhu, kdy prochází tyčemi proud síťového kmitočtu, je reaktance spodní tyče mnohonásobně větší než reaktance horní tyče)

Rotorový záběrný proud se do obou tyčí rozdělí nepřímo úměrně impedancím. Jeho větší část prochází horní rozběhovou klecí, která má ale větší odpor (menší průřez, horší měrnou vodivost) a chová se jako odporová klec. Motor se rozbíhá s větším momentem a menším proudem.

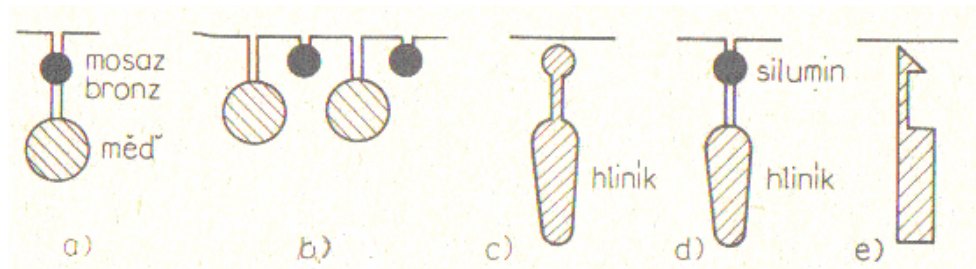
Za chodu je skluzový kmitočet malý, reaktance tyčí je nepatrná a proud se rozdělí paralelně do obou tyčí nepřímo úměrně jejich odporům. Motor se chová jako normální motor s jednoduchou klecí. Momentová charakteristika se získá sečtením charakteristiky pracovní (M_p) a rozběhové klece (M_R) podle obr. 6.5b.

Vhodnou úpravou obou klecí můžeme momentovou charakteristiku motoru v širokých mezích ovlivnit a přizpůsobit potřebám stroje.

Vlastnosti motoru s dvojitou klecí jsou za chodu trochu horší než vlastnosti motoru s jednoduchou klecí.

Původní dvojitě klece měly kruhové měděné tyče, rozběhové tyče byly z bronzu nebo z mosazi (obr. 6.6). Hliníkové klece mají tyče podle obr. 6.6c. Motory nad 50kW

mají rozběhové tyče ze siluminu, který má větší měrný odpor a určuje tyčím větší průřez s větší tepelnou kapacitou (obr. 6.6d). Z výrobních důvodů mohou mít tyče tvar podle obr. 6.6e; drážky se mohou vyrobit pomocí silnějších a trvanlivějších přípravků.

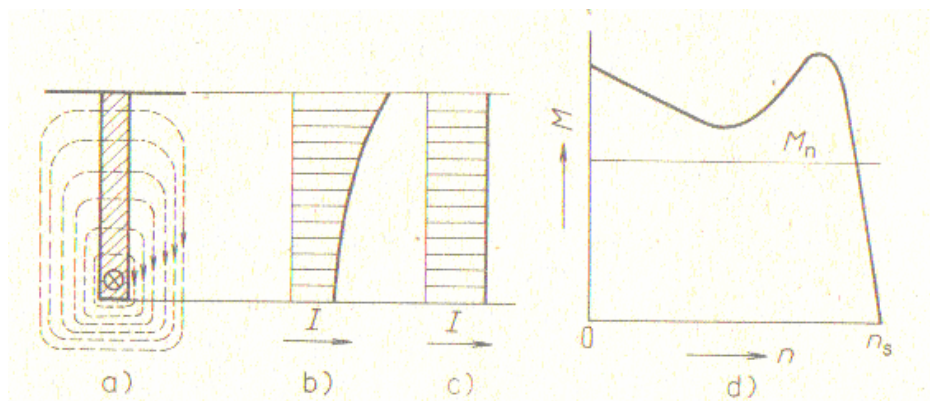


Obr. 6. 6 Úprava tyčí dvojité klece

Vzduchová mezera mezi oběma tyčemi musí být proto, aby se celý rozptylový magnetický tok neuzavíral jen kolem horní tyče. [2]

6.3.3.3 Vírová klec

Vírová klec má tyče uloženy v úzkých a hlubokých drážkách. Výrobou klecí lze dosáhnout zvětšení záběrného momentu a zmenšení záběrného proudu na podobném principu jako u klece dvojité obr. 6.7.



Obr. 6. 7 Vírová klec a) rozložení indukčních čar, b) rozložení proudu při rozběhu, c) rozložení proudu za chodu, d) momentová char. vírové klece

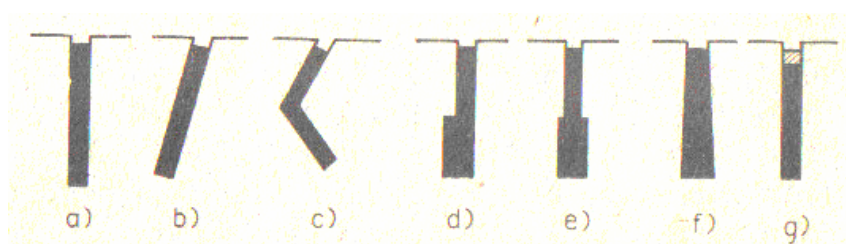
Spodní vlákna vysoké tyče jsou spřažena s větším rozptylovým magnetickým tokem než horní vlákna tyče, takže při rozběhu mají větší reaktanci a proud se z nich vytlačuje do horních vrstev (obr. 6.7b). Proud tedy prochází větším průřezem a klec se

chová jako odporová. Za chodu se proud rozdělí rovnoměrně po celém průřezu podle obr.6.7c.

Vírovou klecí nelze dosáhnout takové kombinace momentových charakteristik a takového zvětšení záběrného momentu, jako dvojitou klecí. Naproti tomu je však výrobně jednodušší, a proto oblíbená. Obvyklý průběh momentu je na obr. 6.7d.

Motory s vírovou klecí se používají zejména pro větší výkony, vysoká napětí a poměrně větší záběrné momenty.

Tyče mají různé tvary znázorněné na obr. 6.8.



Obr. 6. 8 Tvar tyčí vírové klece

Zúžení profilu horní části má zvětšit činný odpor za rozběhu. Stejného účinku lze dosáhnout ještě výhodnější kombinací tyčí s nesterjým měrným odporem (obr. 6.8g). Tyče mohou mít i různé mechanické vlastnosti. Klínový tvar podle obr. 6.8f se zvlášť hodí pro rychloběžné motory, neboť se odstředivou silou neuvolňuje. [2]

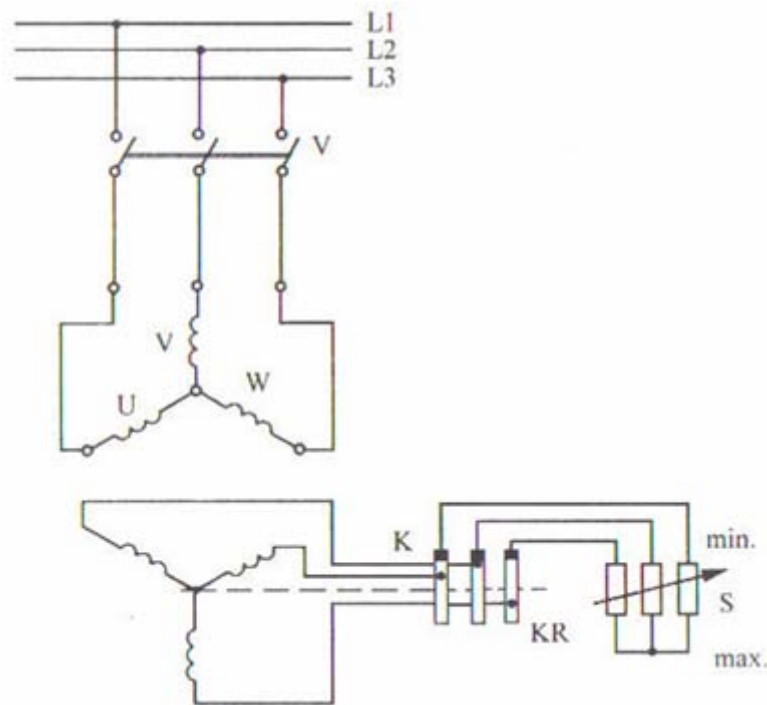
6.3.4 Spouštění asynchronního kroužkového motoru

Nejdůležitější vlastností trojfázového asynchronního motoru s kroužkovou kotvou je jeho chování při spouštění. Záběrný proud lze pomocí spouštěcího zařízení připojeného ke kroužkům libovolně snížit, záběrný moment je při spouštění velký.

Při zvětšení odporu rotoru poklesne statorový proud a stoupne záběrný proud motoru. Zároveň platí, že moment zvratu nezávisí na velikosti odporu rotorové fáze. Poněvadž rotor kroužkového stroje je vinutý, umožňuje snadné zvýšení rotorového proudu přes kroužky.

Spouštění se provádí pomocí spouštěče připojeného ke kroužkům podle obr. 6.9. Spouštěč je obvykle odstupňovaný trojfázový odpor, jehož postupným vyřazováním se

motor rozbíhá. Odporů spouštěče jsou většinou dimenzovány na rozběh. Pro každý motor je třeba volit v závislosti na zatížení a odporu rotoru jiný spouštěč.



Obr. 6. 9 Spouštění kroužkového motoru spouštěčem

Spouštěče pro větší motory mívají odklápěč kartáčů, kterým se po dokončení rozběhu spojuje vinutí rotoru do krátka. Zároveň se odklápějí kartáče, aby nedocházelo k jejich opotřebování. Toto opatření má další výhody v tom, že se omezí přechodový odpor mezi kroužky a kartáči a současně se vyloučí vliv přívodních vodičů ke spouštěči.

Postup spouštění:

- a) Zařadíme maximální hodnotu odporu spouštěče S (nulová poloha spouštěče)
- b) Zkontrolujeme, zda kartáče K dosedají na KR,
- c) Zapneme hlavní vypínač V,
- d) Postupně vyřezujeme odpor spouštěče až na minimální hodnotu, kdy dojde ke spojení rotorového vinutí přes kroužky a kartáče dokrátka,
- e) Pokud je stroj vybaven odklápěčem kartáčů, spojíme pomocí něho kroužky přímo do krátka a odklopíme kartáče.

Vyřazování odporu spouštěče je třeba provádět plynule bez rázů při přepínání v závislosti na zatížení motoru. Pokud není rozběh automatizován, je vhodné ho provádět pomocí ampérmetru ve statorovém vinutí. Dále stačí přepínat jednotlivé stupně tak, aby nedocházelo k nadměrnému kolísání proudu motoru. [3]

6.4 Jednofázové asynchronní motory

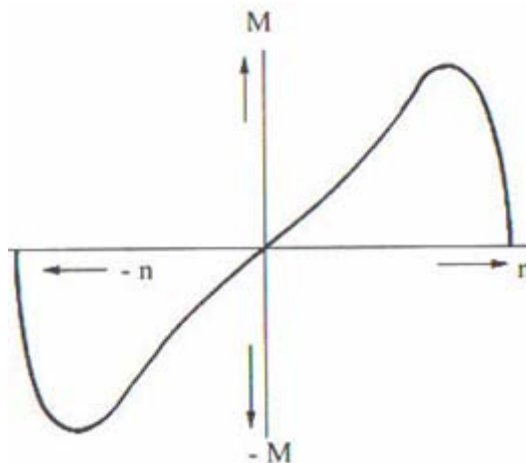
6.4.1 Jednofázový asynchronní motor s kotvou nakrátko

Jednofázový asynchronní motor s kotvou nakrátko se liší od trojfázového motoru s kotvou na krátko především v provedení statorového vinutí.

Na statoru je obvykle jednofázové vinutí, které vyplňuje 2/3 statorových drážek. Po přivedení napětí na jednofázové vinutí vzniknou ve statorovém a rotorovém vinutí magnetické toky opačného smyslu, které vytvoří stojaté (pulzující) střídavé magnetické pole. Takové pole nevytvoří žádný moment, a proto se jednofázový asynchronní motor nemůže sám rozběhnout

Roztočíme-li motor v libovolném směru, indukuje se v rotoru napětí, které se skládá s původním rotorovým napětím. Výsledkem je rotorový proud, jenž vytvoří magnetický tok rotoru. Tento tok je již oproti toku statoru posunut o méně než 180° , a proto může vzniknout točivý moment.

Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru je na obr. 6.10. Podle obrázku se zvyšuje moment motoru z klidu na obě strany, proto se motor otáčí tím směrem, kterým byl roztočen. Tohoto způsobu lze použít jen u malých motorů, v praxi se však využívají vlastní způsoby rozběhu jednofázových asynchronních motorů. [3]



Obr. 6. 10 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru

6.4.2 Jednofázové motory s pomocným vinutím

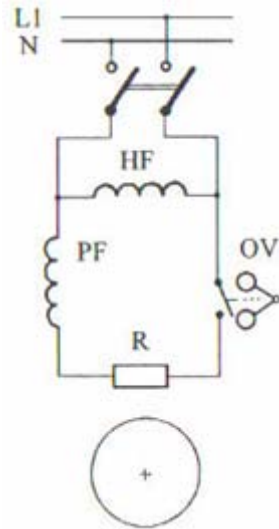
Aby se jednofázový asynchronní motor sám rozběhl, ukládá se do zbývajících 1/3 statorových drážek tzv. pomocná rozběhová fáze. Obě vinutí jsou prostorově posunuta o 90° .

Pomocné vinutí je obvykle paralelně připojeno k vinutí hlavnímu.

Aby se motor rozběhl, musí být jeho proud posunut fázově (časově) o 90° proti proudu hlavního vinutí. Tohoto posunutí dosáhneme zapojením činného odporu, tlumivky nebo kondenzátoru do obvodu pomocné fáze. V pomocném vinutí vznikne při zapojení motoru na síť příčné fázové posunuté pole, které společně s hlavním polem vytváří výsledné točivé eliptické pole.

Pomocná fáze se obvykle používá pouze na rozběh. Proto bývá jednofázový motor vybaven odstředivým vypínačem, který odpojí po rozběhu motoru pomocnou fázi.

Odporová fáze je nejjednodušší způsob pro posunutí pomocné fáze o 90° . Zapojení je na obr. 6.11. Posunutí proudu v pomocné fázi PF dosáhneme zapojením odporu R do jejího obvodu nebo se rozběhové vinutí pomocné fáze navine z tenkého mosazného nebo odporového drátu. Po rozběhu je pomocná fáze odepnuta odstředivým vypínačem OV a motor potom běží pouze na hlavní fázi HF. Tento způsob se používá do výkonu asi 500W. Záběrný moment je přibližně roven jmenovitému momentu.



Obr. 6. 11 Jednofázový asynchronní motor s odporovou klecí

Má-li být proudový náraz menší, vyrobí se pomocná fáze z odporového materiálu a do hlavní fáze se zapojí tlumivka. Záběrný proud poklesne asi 2,5 násobek proudu jmenovitého, avšak moment klesne až na 20% jmenovitého momentu.

Nevýhodou tohoto zapojení je, že odpor nebo tlumivka zhoršují účinník a účinnost. Proto se místo odporu nebo tlumivky pro rozběh používá kondenzátor. Potom se jednofázový motor, u kterého je v pomocné fázi zapojen kondenzátor, nazývá kondenzátorový motor. Kondenzátorové motory dělíme podle záběrného momentu na:

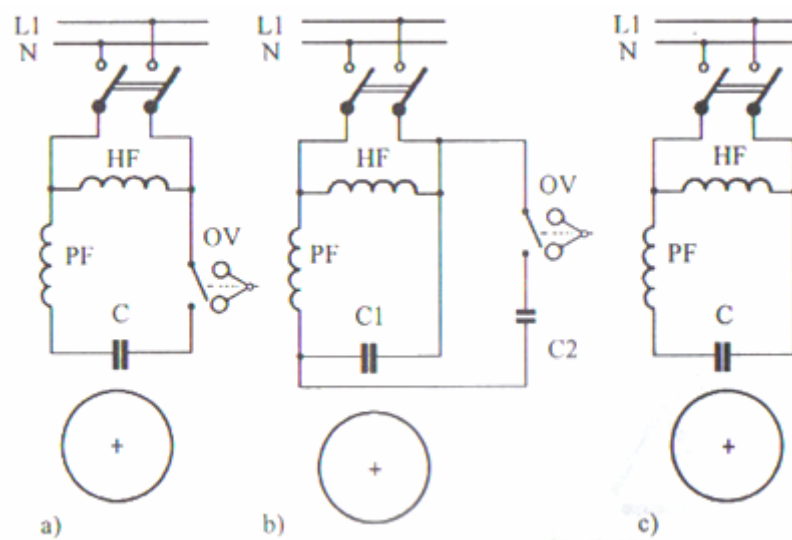
- a) Motor s kondenzátorem zapojeným jen při rozběhu
- b) Motor s dvojitým kondenzátorem
- c) Motor s trvale připojeným kondenzátorem.

ad. a) Motor s kondenzátorem připojeným jen při rozběhu obr. 6.12a má velký záběrný moment (2 až $2,5M_n$). Záběrný proud je 3 až $4,5 I_n$. Používá se pro pohony strojů s těžkým rozběhem.

ad. b) Motor s dvojitým kondenzátorem obr. 6.12b je nejvhodnějším způsobem zapojení jednofázového asynchronního motoru. Při rozběhu jsou zapojeny oba kondenzátory C1 i C2. To umožní velký záběrný moment 1,3 až $1,5 M_n$. Záběrný proud je

3 až 4,5 I_n . Jejich výhodou je v tom, že kondenzátor C1 zůstává trvale připojen a kompenzuje účinník.

ad c) Motor s trvale připojeným kondenzátorem obr. 6.12c můžeme použít tam, kde nevyžadujeme velký záběrný moment. Záběrný proud je 3 až 4 I_n , záběrný moment asi $0,24M_n$. Kondenzátor nemusí mít velkou kapacitu, při chodu motoru opět kompenzuje jeho účinník. Oproti stejně velikému motoru v zapojení podle obr. 6.12a dosáhneme vyššího momentu zvratu, vyššího jmenovitého výkonu a klidnějšího chodu. Pomocné vinutí se využívá i při běhu a motor pracuje trvale jako dvojfázový. [3]



Obr. 6. 12 Zapojení kondenzátorového motoru

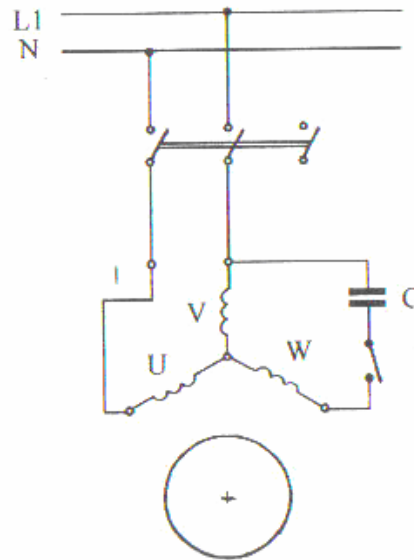
6.4.3 Trojfázový motor v jednofázové síti

Jestliže rozběhneme trojfázový asynchronní motor naprázdno, bude se točit i když odpojíme jednu jeho fázi od sítě. Tento motor připojený na dvě fáze má výkon asi $2/3$ původního výkonu. Kdybychom tento motor zastavili, museli bychom ho při jeho připojení na dvě fáze roztočit mechanicky.

Pro samostatné roztočení je třeba zapojit do obvodu třetí fáze krátkodobě kondenzátor obr. 6.13. Z obrázku je vidět, že nyní trojfázový motor poběží jako jednofázový asynchronní motor s kondenzátorem zapojeným jen při rozběhu. Při zapojení trojfázového motoru do jednofázové sítě je třeba dbát na to, aby jeho vinutí bylo zapojeno pro napětí této sítě. Kapacita trvale připojeného kondenzátoru se přibližně vypočte:

$$C = \frac{3180}{U} \cdot I_f \text{ pro zapojení Y a}$$

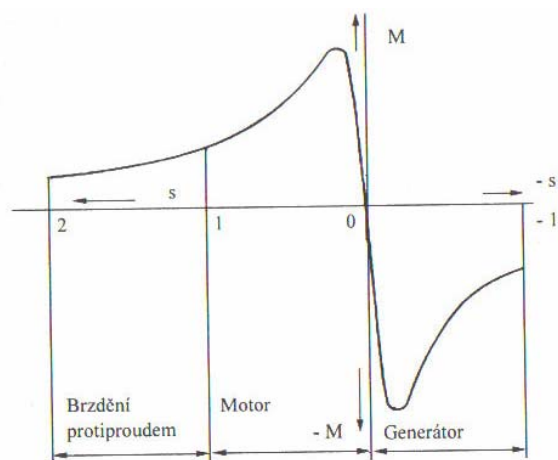
$$C = \frac{3180}{\sqrt{3} \cdot U} \cdot I_s \text{ pro zapojení do D.}$$



Obr. 6. 13 Trojfázový motor na krátko v třífázové síti

6.5 Asynchronní generátor

Vyneseme –li celou závislost momentu na otáčkách (skluzu) asynchronního stroje, dostaneme závislost na obr. 6.14.



Obr. 6. 14 Momentová charakteristika asynchronního stroje

Indukčního motoru se stane generátor, zvýšíme-li jeho otáčky nad otáčky synchronní. Poněvadž pro skluz platí vztah:

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

je vidět, že $n > n_s$ bude v generátorickém stavu skluz záporný.

Pro přechod asynchronního motoru do generátorického stavu potřebujeme, a byl poháněn nadsynchronní rychlostí a byl připojen na síť. Toto připojení je nutné proto, aby si stroj mohl ze sítě odebrat magnetizační proud, který je potřebný k vytvoření magnetického toku.

Asynchronní stroj je nafázován a připojen k síti. V případě, že na jeho hřídel není dodávána energie, běží v motorickém režimu. Jestliže se vlivem vodní energie na turbínu nebo větrné energie na lišty vrtule zvýší otáčky stroje na nadsynchronní, přechází stroj do generátorického režimu a energie vody nebo větru se dodává do sítě.

Kmitočet asynchronního generátoru souhlasí s kmitočtem této sítě. Činný výkon dodávaný do sítě závisí pouze na otáčkách generátoru. Tyto otáčky se nastaví zcela automaticky tak aby odpovídali přiváděnému poháněcímu výkonu. Je třeba pouze dbát na to, aby poháněcí moment nepřekročil hodnotu generátorického momentu zvratu. Nadsynchronní otáčky bývají 1 až 3 % nad synchronními otáčkami. Výhoda asynchronního generátoru spočívá v tom, že nepotřebuje žádné zařízení k regulaci frekvence a napětí. [3]

Vlastnosti asynchronního generátoru se s výhodou užívá např. v malých vodních nebo větrných elektrárnách.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 VÝROBCI ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ

Na českém trhu je mnoho firem, které se zabývají výrobou a prodejem motorů a generátorů. Firmy nabízí mnoho druhů těchto strojů o různých výkonech. Takže je jen na zákazníkovi jaký motor si vybere, aby splňoval jeho požadavky.

7.1 Výrobci motorů a generátorů.

Níže jsou uvedeny vybrané firmy zabývající se výrobou elektrických točivých strojů.

ATAS elektromotory Náchod a.s.

ATAS elektromotory Náchod, akciová společnost je firma s dlouholetou tradicí. Podnik zajišťuje vývoj a výrobu výrobků dle normy ČSN EN ISO 9001 a v jejich nabídce lze najít: jednofázové a trojfázové asynchronní motory, stejnosměrné motory, komutátorové motory, axiální a radiální ventilátory, převodové motory, tachodynamy a tachogenerátory, bezkontaktní návlekové resolvers, dentální vysokootáčkové mikromotorky a motory pro letecký průmysl.

Výroba:

Asynchronních motorů:

1. Jednofázové motory s trvale připojeným kondenzátorem (do 800W)
2. Jednofázové motory se stíněným pólem (2-20W)
3. Trojfázové motory (15-180W)

Komutátorových elektromotorů

1. Stejnosměrné komutátorové motory s permanentními magnety (do 1100W)
2. Stejnosměrné komutátorové motory derivační (do 500W)
3. Univerzální komutátorové motory sériové (50-50W)

Odkaz: www.atas.cz

Z&Z Dřevohostice s.r.o.

Firma se zabývá opravou a speciálními úpravami motorů, výrobou kroužkových motorů podle dokumentace a „know-how“ firmy siemens. Vyrábí v množství, jehož rozsah odpovídá kusové výrobě.

Vyrábí:

1. Elektromotory střídavé s kroužkovou kotvou (2,7- 180kW)
2. Elektromotory střídavé s kroužkovou kotvou (22 - 100kW)

Odkaz: www.elektromotory-cz.cz

REGULACE - AUTOMATIZACE BOR, spol. s r.o.

Firma se zabývá výrobou synchronních a krokových elektromotorů, převodových elektromotorů, stejnosměrných servomotorů (hyperservomotorů) a svorkovnic URS.

Vyrábí:**Synchronní motory**

1. Jednofázové reverzační motory s trvale připojeným kondenzátorem (100-1200W)

Krokové motory

1. Krokové reverzační pohony (2 mNm-5 mNm)

Odkaz: www.regulace.cz

ŠKODA HOLDING a.s.

Skupina ŠKODA HOLDING se cíleně zaměřuje na dva klíčové obory. V oblasti klasické energetiky patří mezi jejich hlavní výrobky turbíny a strojovny a v oblasti dopravního strojírenství pak nízkopodlažní tramvaje, elektrické lokomotivy, metro, příměstské vlakové jednotky, trolejbusy, trakční motory či kompletní pohony pro dopravní systémy.

Vyrábí:

1. Trakční motory pro: metra, trolejbusy, tramvaje, lokomotivy

Odkaz: www.skoda.cz

JKO MEZ CZ spol. s r.o.

Firma se zabývá projekcí, výrobou, prodejem náhradních dílů, opravami a servisem elektropohonů a motorů do 1000kW.

Vyrábí:

Asynchronní motory

1. Trojfázové asynchronní motory nakrátko (0,6-1000kW)
2. Trojfázové asynchronní motory kroužkový (0,75 – 530kW)

Stejnoseměrné motory

1. Stejnoseměrné motory (2,3-225kW)

Odkaz: www.mez-cz.eu

Kusý-Elektro Motory

Firma se zabývá výrobou motorů podle australského „know – how“ v CN a distribuovaných v ČR pod obchodním názvem KEM.

Vyrábí:

Trojfázové nízkonapět'ové motory nakrátko

1. Trojfázové nízkonapět'ové motory nakrátko (0,18 - 315 kW)

Odkaz: www.kem.cz

SEW-EURODRIVE

Dodává klasické elektropřevodovky, samostatné převodovky, velké průmyslové převodovky, elektromotory, elektroniku pro řízení pohonů, frekvenční měniče, servoměniče a servotechniku. Nabízí také ovládacího softwary a výrobu motorů podle přání zákazníka.

Vyrábí:

Asynchronní motory

1. Třífázové motor (0,9-200kW)

Odkaz: www.sew-eurodrive.cz

Baumüller Nürnberg GmbH

Firma Baumüller navrhuje, vyvíjí a vyrábí optimalizované pohony a automatizační systémy pro různé aplikace od jednoduchých jednorázových až po rozsáhlé s velkou opakovatelností. V nabídce má veškeré typy pohonných systémů od řídicích skříní přes řídicí systémy a měniče po napájecí jednotky a motory.

Vyrábí:

Synchronní motory

1. Synchronní motory pro všeobecné použití (do 290kW)
2. Dynamické motory (do 17kW)
3. Třífázové synchronní motory s převodovkou

Asynchronní motory

1. Asynchronní motory (265kW)

Stejnoseměrné motory

1. Stejnoseměrné motory (5-500kW)

Odkaz: www.baumueller.cz

SIEMENS

Siemens patří mezi největší globální elektrotechnické a elektronické koncerny. Společnost působí v oblastech informací a komunikace, automatizace a pohonů, energetiky, dopravy, zdravotnictví a osvětlení.

Vyrábí:

Asynchronní elektromotory

1. Trojfázové nízkonapěťové asynchronní motory nakrátko (0,09- 200kW)

2. Velké nízkonapěťové motory s kotvou nakrátko (160-1000kW)
3. Vysokonapěťové asynchronní kroužkové motory (do 7 MW a počtu pólů 16)
4. Vysokonapěťové asynchronní motory s kotvou nakrátko (200 kW - 10 MW a 2 - 16 pólů)

Stejnoseměrné motory

1. Stejnoseměrné motory (31,5 - 1610 kW)

Permanentním magnetem buzené synchronní motory

1. Synchronní motory s kotvou na krátko (0,31-22,9kW)

Odkaz: www.siemens.cz

MAGNETON a.s.

Firma MAGNETON je zaměřena na oblast automobilového průmyslu. Základní sortiment tvoří alternátory, startéry, relé a bimetalové pojistky a také celá řada dalších výrobků, jako jsou např. systémy zapalování pro motory na alternativní pohon.

Vyrábí:

Alternátory

1. Kompaktní alternátor s vnitřním ventilátorem (14-28V, 70-90A)
2. Klasické alternátor s vnějším ventilátorem 14-28V, 35-150A)
3. Speciální alternátor (28-60V, DC 45-180A)

Odkaz: www.magneton.cz

TES VSETÍN, s. r. o.

Firma TES VSETÍN vyrábí stejnosměrné motory, generátory, natáčivé transformátory, mechanické díly a nářadí. Je držitelem certifikátu ISO 9001:2000.

Vyrábí:

Asynchronní motory

1. Asynchronní motory s kotvou nakrátko (5 – 1000 kW, 4 – 12 pólů)

Stejnoseměrné motory

1. Stejnoseměrné motory (7,5 - 533 kW)
2. Stejnoseměrné motory (3,5 - 1000 kW)

Asynchronní generátory

1. Asynchronní generátory pro vodní elektrárny (30 - 1500 kVA, 4 – 24 pólů)

Synchronní generátory

1. Synchronní generátory pro vodní elektrárny (30 - 4000 kVA)

Odkaz: www.tes.cz

EXMONT-Energo a.s.

Společnost EXMONT-Energo a.s. zajišťuje kompletní služby v oboru vodních a parních turbin, elektromotorů a generátorů. Spolupracuje s katedrou vodních strojů při VUT Brno.

Vyrábí:

Asynchronní elektromotory

1. Asynchronní motory (do 10 000 kW)

Asynchronní generátory

1. Asynchronní generátory (do 10,5 kW)

Synchronní alternátory

1. Synchronní alternátory s vyniklými poly (do 10,5 kW)

Odkaz: www.exmont.cz

BRUSH SEM s.r.o.

Společnost BRUSH SEM s.r.o. se zabývá výrobou turbogenerátorů o výkonech 50 až 150 MW.

Vyrábí:

Turbogenerátory

1. Turbogenerátorů o výkonech (50 - 150 MW)

Odkaz: *www.brush-sem.cz*

8 CENY ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ

Na našem trhu je široká nabídka motorů a generátorů. Generátory s menším výkonem jsou nabízeny převážně jako alternátory do automobilů. Generátory s větším výkonem (a to synchronní i asynchronní) jsou konstruovány pro využití v elektrárnách. Cena těchto strojů závisí na jejich velikosti a konstrukčním provedení - výrobce ji udává jen na vyžádání ke konkrétní zakázce. Ceny u motorů nabízených na našem trhu se liší podle typu motoru a výkonu. U výkonnějších motorů, u kterých je výroba spíše kusová, prodejci cenu neuvádí.

Pro představu jsou níže uvedeny ceny různých typů motorů o vybraných výkonech:

Motory malých výkonů

U motoru o malých výkonech (W) se ceny pohybují:

- od 1 860 Kč do 3 890 Kč u motorů jednofázových asynchronních (4W-1000W)
- od 1 270 Kč do 2 053 Kč u třífázových asynchronních motorů (120 W -1000W)
- od 260 Kč do 1 900 Kč u motorů synchronních (100W- 1200W)
- od 440 Kč do 830 Kč u motorů krokových (2 mNm-5 mNm)
- od 2 095 Kč do 10 900 Kč u motorů komutátorových (25W-250W)

Cena se odvíjí od provedení motoru a jeho výkonu.

Motory velkých výkonů

U motorů o velkém výkonu (kW) se cena pohybuje:

- od 3 430 Kč do 5 111 Kč u jednofázových asynchronních motorů (1,1 kW- 3kW)
- od 2 052 Kč do 205 230 Kč u třífázových asynchronních motorů (1,1kW – 200 kW)

Ceny jsou dány typem a velikostí výkonu.

Alternátory

Ceny alternátorů se pohybují:

- od 1 200 Kč do 5 300 Kč u synchronních alternátorů (14V/ 42A - 28V/ 75A)

9 VYUŽITÍ V BEZPEČNOSTNÍCH TECHNOLOGIÍCH

Elektrické točivé stroje našly v bezpečnostních technologiích hojného využití, dají se zde využít jak stroje střídavé tak i stejnosměrné.

Stejnosemřné motory jsou lépe regulovatelné a pracují většinou s nízkým napětím (12V nebo 24V), a proto je lze použít v nebezpečném prostředí, kde by mohlo dojít k úrazu elektrickým proudem. Lze využít napájení ze záložních zdrojů. Mohou se použít v elektromotorických zámčích, v pohonech bran a vrat atd.

Ze střídavých strojů mohou najít uplatnění asynchronní motory 1-fázové o napětí 230V, které se dají regulovat. Lze je využít např. v pohonech vrat, bran a závor. 3-fázové motory o napětí 400V můžeme použít tam, kde potřebujeme vyšší výkon a kde není potřeba regulace, např. silniční bariery.

Ze synchronních motorů se dají nejlépe využít krokové motory, kvůli jejich vlastnosti natáčet se jen po jednotlivých pulzech. Této vlastnosti se dá dobře využít v polohování kamer.

Střídavé generátory lze uplatnit jako alternátory v elektrocentrálách a automobilech.

9.1 Pohon pro otočné brány

Jako pohony pro otočné brány se používají elektrické motory, které v kombinaci s převodovkou, přijímačem a dálkovým ovládním ulehčují jejich otevírání. U pohonů pro otočné brány se používají jak stejnosměrné tak střídavé motory. Jako příklad jsou zde uvedeny dva pohony od firmy Hörmann.

a) Pohon RotaMatic pro otočné brány

Nerezová vřetenová jednotka s motorem na stejnosměrné napětí 24 V a samosvornou šnekovou převodovkou.

Technické parametry:

Max. tažná síla: 2000/2200 N

Hmotnost: max. 220 kg



Obr. 9. 1 Pohon pro otočné brány RotaMatic

b) Pohon DTU 250 pro otočné brány

Motor na střídavé napětí 230V se samosvornou převodovkou.

Technické parametry:

Max. tažná síla/krátkodobá špičková síla 2500/3000 N

Hmotnost: max. 500 kg

9.2 Pohon pro posuvné brány

Použití motoru je stejné jako u pohonů pro otočné brány, akorát s tím rozdílem, že pohon neotevívá bránu pomocí ramene, ale pomocí energie, která je přenesená na pastorek. Pastorek chodí po ozubené tyči upevněné na bráně, a tím posouvá bránu dopředu nebo dozadu.

a) Pohon LineaMatic pro posuvné brány

Motor na stejnosměrné napětí 24 V se samosvornou šnekovou převodovkou a s výstupním pastorkem s přímými zuby.

Technické parametry:

Max.tažná síla/krátkodobá špičková síla 1400/1800 N

Hmotnost: max. 300 kg



Obr. 9. 2 Pohon LineaMatic pro posuvné brány

b) Pohon STA 180 pro posuvné brány

Motor na střídavé napětí 230 V se samosvornou šnekovou převodkou a s výstupním pastorkem s přímými zuby.

Technické parametry:

Max. tažná síla/krátkodobá špičková síla: 1400/1800 N

Hmotnost: max. 1800 kg

9.3 Pohon garážových vrat

U pohonů garážových vrat se používá elektrických stejnosměrných motorů, které přenáší energii na řemen a ten otevírá nebo zavírá vrata. Pohon bývá dodáván s řídicí jednotkou, rádiovým ovládáním a malým světlem. Jako příklad je zde uveden pohon od firmy Hörmann.

Pohon garážových vrat ProMatic

Stejnoseměrný motor s Hallovým snímačem. Šneková převodovka a transformátor s tepelnou ochranou.

Technické parametry:

Max. tažná síla/krátkodobá špičková síla

500/750 N



Obr. 9. 3 Pohon garážových vrat ProMatic

9.4 Pohon závor

V automatických závorách se využívá elektrický motor ke zdvihání a sklápění ramene závory. Jako příklad je zde uvedena automatická závora AG500 od firmy AUTOGARD.

Automatická závora AG500

Elektromechanický pohon, který obsahuje 1-fázový elektromotor 230V se zvýšeným krouticím momentem a brzdou, šnekovou převodovku, klikový mechanismus, nosný hřídel, nastavitelné koncové spínače a vyvažovací pružinu.

Technické parametry

Motor: 230VAC / 370W

Otáčky motoru: 2800 ot./min



Obr. 9. 4 Automatická závora AG500

9.5 Rotátory pro natáčení kamer

U rotátorů, které se používají k polohování kamer, se využívá krokových motorů kvůli možnosti jejich natáčení po jednotlivých pevně definovaných krocích. Tím docílíme přesného natočení na požadovanou polohu.

Technické parametry:

Max. zatížení: 12kg

Napájení: 230Vst

Max. rychlost pohybu horizontálně: $6^\circ / 1s$

Max. rychlost pohybu vertikálně: $3^\circ / 1s$



Obr. 9. 5 Rotátory pro natáčení kamer

9.6 Turniket

V turniketech se využívá stejnosměrných motorů k otáčení hlavice s rameny. Jako příklad je zde uveden turniket od firmy NESSY.

Synchronní turniket Arlberg

Synchronní turniket Arlberg s motorovým pohonem 1 x 100 VA, 2 x 12 V AC, pro provoz jednoho turniketu.



Obr. 9. 6 Synchronní turniket Arlberg

9.7 Silniční bariéra

U silničních barier se používají 1-fázové motory v kombinaci s převodovkou, a nebo 3-fázové, které pohánějí hydraulický agregát řízený elektronikou. Ty pak pracují jako pohon pro vysouvání a zasouvání těchto barier. Jako příklad jsou zde uvedeny silniční bariéra AR300 a RKB350.

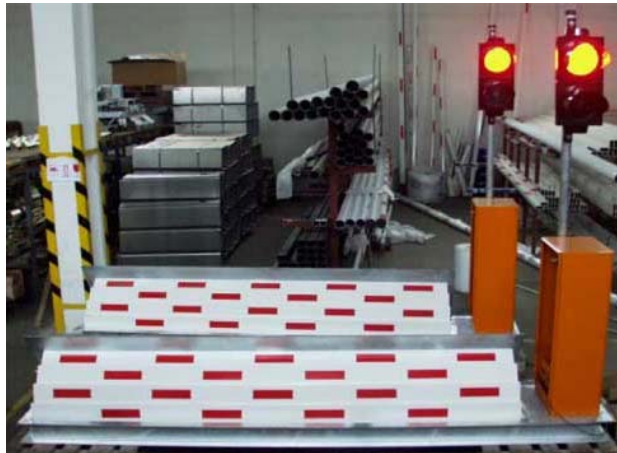
a) Silniční Bariéra ARB300

Elektromechanický pohon, který obsahuje 1-fázový elektromotor, šnekovou převodovku, klínový řemen a řetězový převod s pohonem hlavního hřídele ovládajícího pohyb bariéry, vyvážení pomocí pružin.

Technické parametry:

Motor: 230VAC/550W brzdou

Hmotnost: 570 kg



Obr. 9. 7 Silniční bariéra ARB300

b) Silniční Bariéra RKB350

Hydraulický pohon, který obsahuje 3-fázový elektromotor pohánějící hydraulický agregát řízený elektronikou.

Technické parametry:

Motor: 380VAC/550W



Obr. 9. 8 Silniční bariéra RKB350

9.8 Elektrocentrála

Elektrocentrál se využívá jako záložních zdrojů pohonem bývá bud benzínový nebo dieselový motor který je spojen s alternátorem který převádí točivou sílu na el. energii.

Mohou být jednofázové nebo třífázové. Jako příklad je zde uvedena elektrocentrála Mitsubishi.

Elektrocentrály Mitsubishi

Elektrocentrály Mitsubishi série MGE jsou určeny především k napájení spotřebičů, které vyžadují napájení stabilizovaným napětím. Stroje jsou vybaveny jednotkou AVR (Automatic Voltage Regulation) = elektrickou regulací napětí v rozpětí 220 - 235 V.

Technické parametry:

Frekvence: 50 Hz

Generátor: Synchronní, Jednofázový

Hmotnost: 70 Kg

Jmenovitý výkon generátoru: 3300 W

Motor: Atmosferický, čtyřtaktní, benzínový



Obr. 9. 9 Elektrocentrála Mitsubishi

ZÁVĚR

I když jsou elektrické točivé stroje více než 180 let staré, nachází, a v budoucnu ještě budou nacházet, široké uplatnění. Jedním z příkladů je jejich použití v automobilovém průmyslu. Ten hledá alternativní pohony do vozů a elektrický motor je jedno z mnoha prakticky už dnes využívaných řešení. V současné době jsou i hojně využívané lineární motory, ale tento typ motorů je založen na jiném principu činnosti, o kterém má práce nepojednává.

Při získávání materiálů, ke zpracování praktické části, jsem se setkal s nedostatkem informací o druzích motorů, které jsou využívány v průmyslu komerční bezpečnosti. Například při zjišťování typu motorků využívaných v elektromotorických zámcích, mi oslovené firmy nedokázaly poskytnout informaci o typu použitého motorku, jelikož tato konstrukční záležitost je výrobní „know-how“ firmy.

Teoretickou část, jak jsem uvedl již v úvodu, jsem zpracovával z literatury vypůjčené ve zdejších knihovnách. Použitá literatura je však většinou staršího data vydání.

V praktické části jsou uvedeni jak výrobci elektrických točivých strojů, tak i využití v aplikacích, které souvisí s průmyslem komerční bezpečnosti. Při průzkumu nabídky našeho trhu jsem zjistil, že většina firem je pouze distributorem těchto motorů a jen pár společností se zabývá samotnou výrobou. Na našem trhu je nejvýznamnějším dodavatelem elektrických točivých strojů firma Siemens. Je to zřejmé z dostupných materiálů. V současnosti tato firma nabízí nejširší škálu motorů o různých výkonech a generátorů s různými možnostmi využití.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Although are electric rotary machines older than 180 years, they are finding and in the future will be finding wide space for the use. One of example is their using in automobile industry. They are looking for an alternative drive for a cars and use of electric motor is one of lots solutions of today. In a present time are also used linear motors, but these kind of motors are working on another principec, but my work is not about this problem.

During getting of materials for process of practical part, I met absence of informations about kinds of motors, which are used in a comercial safety industry. For example at taking informations about kind of used motors in electronic locks, adresses companies cannot give me any informations, because this construction matter is a production "know-how" of producer.

Teoretical part, how I present before, I process from literature from a lending library. All this books was older publications. In practical part are presented producers of electric rotary machines and also possibility of use in aplications, which have connection to comercial safety industry. During exploration of our market I find out, so most companies are only distributors of motors and just few companies are producers. On our market is the most important supplier Siemens. Reason for this is maybe availability of materials. In a present time Siemens has a widest offer of motors and generators of all possible out puts and possibility for use.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BAŠTA, J., CHLÁDEK, J., MAYER, I. *Teorie elektrických strojů*. vyd. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p, 1968. 584 s.
- [2] MRAVENEC, R. *Elektrické stroje a přístroje : I.Elektrické stroje* . Praha : SNTL/ALFA –Nakladatelství technické literatury, 1979. 432 s.
- [3] HAVELKA, Jiří, DRESLER, Jaromír, JÍLEK, Vladimír. *Montáž, údržba a opravy elektrických strojů točivých*. Praha : STRO.M, 1995. 227 s.
- [4] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony*. Praha : BEN-technická literatura, 2004. 192 s. ISBN 80-7300-092-X.
- [5] CIGÁNEK, Lad. *Elektrické stroje*. Praha : Vědecko-technické nakladatelství, 1950. 814 s.
- [6] MAJER, Daniel. *Pohled do minulosti elektrotechniky*. České Budějovice : Kopp, 1999. 296 s. ISBN 80-7232-092-0.
- [7]
- [8] *Www.atas.cz* [online]. 2008 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <www.atas.cz>.
- [9] *Www.baumuller.cz* [online]. 2007 [cit. 2008-04-29]. Dostupný z WWW: <www.baumuller.cz>.
- [10] *Www.elektromotory-cz.cz* [online]. 2007 [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <www.elektromotory-cz.cz>.
- [11] *Www.regulace.cz* [online]. 2005-2008 , 6.5.2008 [cit. 2008-05-11]. Dostupný z WWW: <www.regulace.cz>.
- [12] *Www.skoda.cz* [online]. 2001-2008 , 31.8.2008 [cit. 2008-05-09]. Dostupný z WWW: <www.skoda.cz>.
- [13] *Www.mez-cz.eu* [online]. 2008 , 10.4.2008 [cit. 2008-05-09]. Dostupný z WWW: <www.mez-cz.eu>.
- [14] *Www.kem.cz* [online]. 2002-2008 [cit. 2008-05-11]. Dostupný z WWW: <www.kem.cz>.

- [15] *Www.sew-eurodrive.cz* [online]. 2008 , 9.5.2008 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <www.sew-eurodrive.cz>.
- [16] *Www.siemens.cz* [online]. 2008 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://w1.siemens.com/answers/cz/cz/>>.
- [17] *Www.magneton* [online]. 2002-2008 [cit. 2008-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.magneton.cz/cz/uv00.asp>>.
- [18] *Www.tes.cz* [online]. 2003-2008 [cit. 2008-05-09]. Dostupný z WWW: <www.tes.cz>.
- [19] *Www.exmont.cz* [online]. 2001-2008 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.exmont.cz/profil.html>>.
- [20] *Www.brush-sem.cz* [online]. 2005-2008 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <www.brush-sem.cz>.
- [21] *Www.hormann.cz* [online]. 2003-2008 , 1.3.2008 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.hormann.cz/cz/cs/>>.
- [22] *Www.autogard.cz* [online]. 2008 [cit. 2008-05-11]. Dostupný z WWW: <www.autogard.cz>.
- [23] *Www.nessy.cz* [online]. 2006-2008 [cit. 2008-05-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.nessy.cz/turnikety.php>>.
- [24] *Www.elektromotory.cz* [online]. 1998-2008 , 25.3.2008 [cit. 2008-05-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektromotory.cz/inshop/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$U[V]$	napětí
$U_r[V]$	úbytek napětí způsobený přesyčeným železem
$U_i[V]$	indukované napětí
$\Delta U_k[V]$	úbytek napětí na kartáčcích
$R[\Omega]$	odpor
$U_r[V]$	úbytek napětí způsobený přesyčením železa
$I[A]$	Proud
$I_k[A]$	proud na krátko
$I_a[A]$	proud kotvy
$I_b[A]$	proud buzení
$R_{bd}[\Omega]$	odpor budicího vinutí
$R_r[\Omega]$	odpor budicího reostatu
$R_s[\Omega]$	spouštěcí odpor
M	točivý moment
$\Phi[Wb]$	magnetický tok
$f[Hz]$	kmitočet
$R_\sigma[\Omega]$	omezovací odpor
$R_A[\Omega]$	odpor kotvy
$C[F]$	kapacita
$Z[\Omega]$	zdánlivý odpor jedné fáze motoru
$B_\delta[T]$	magnetická indukce ve vzduchové mezeře
$F_b[A]$	magnetomotorické napětí
c	konstanta
n	počet otáček
N	počet zavitu
p	počet pólů
L	tlumivka
D	trojúhelník
Y	hvězda
PF	pomocná fáze
HF	hlavní fáze
DC	stejnoseměrný proud
AC	střídavý proud
k	konstanta empiricky zjištěná závisující na konstrukci motoru
a	paralelní počet větví
V	počet vodičů
s	skluz motoru

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. 1 Faradayův experiment, v němž dochází k otáčení proudovodiče zavěšeného v magnetickém poli permanentního magnetu a) ... princip experimentu, b) skutečné provedení</i>	12
<i>Obr. 1. 2 Faradayův experiment, při němž se přenáší mechanické energie pomocí elektrického proudu. Zařízení vlevo pracuje jako „generátor“, vpravo jako „motor“</i>	12
<i>Obr. 1. 3 Faradayův homopolární stroj: a) ... princip, b) ... reprodukce z Faradayova deníku, c) ... Faradayovo experimentální uspořádání, d) ... soudobé konstrukční provedení</i>	13
<i>Obr. 1. 4 Dynamo Hypolita Pixiiho z r. 1832</i>	14
<i>Obr. 1. 5 Stohrerův magnetoelektrický stroj z r. 1843</i>	14
<i>Obr. 1. 6 Siemensovo řešení magnetického obvodu stejnosměrného stroje z r. 1856: a) ... princip, b) ... „kotva tvaru dvojitého T“</i>	15
<i>Obr. 1. 7 Siemensův dynamoelektrický strojek s „kotvou tvaru dvojitého T“ o výkonu asi 30 W, z r. 1856</i>	15
<i>Obr. 1. 8 Siemensův stejnosměrný stroj s cizím buzením (a) a s vlastním buzením: sériový (b), derivační (c) a kompaundní (d)</i>	16
<i>Obr. 1. 9 Princip stejnosměrného stroje s Grammovým prstencem</i>	17
<i>Obr. 1. 10 Grammovo dynamo pro ruční pohon, z r. kolem 1880</i>	17
<i>Obr. 1. 11 Princip dvoupólového stejnosměrného stroje s komutátorem</i>	18
<i>Obr. 1. 12 Provedení cívek bubnového vinutí: a), b) jednovrstvové, tzv. koncentrické vinutí, c) dvouvrstvé vinutí</i>	18
<i>Obr. 1. 13 Různá provedení magnetického obvodu stejnosměrných strojů z konce 19. století</i>	19
<i>Obr. 1. 14 Bailyho pokus s točivým magnetickým polem z r. 1879</i>	20
<i>Obr. 1. 15 Aragoův pokus z r. 1825</i>	21
<i>Obr. 1. 16 Experiment z r. 1879, jímž se Baily přiblížil asynchronnímu motoru</i>	21
<i>Obr. 1. 17 Ferrarisův motorek. (Reprodukce z patentního listu.)</i>	22
<i>Obr. 1. 18 Část patentního spisu N. Tesly „Electro-magnetic-motor“ z 1. května 1888</i>	23
<i>Obr. 1. 19 Střídavý alternátor s Grammovým prstencem na statoru</i>	25

<i>Obr. 2. 1 Působení dynamy s komutátorem</i>	26
<i>Obr. 2. 2 Dynamo s cizím buzením: a) schéma, b) vnější charakteristika</i>	28
<i>Obr. 2. 3 Sériové dynamo: a) schéma, b) charakteristika</i>	29
<i>Obr. 2. 4 Derivační dynamo: a) schéma spojení, b) vnější charakteristika</i>	31
<i>Obr. 2. 5 Kompaundní dynamo: a) schéma, b) charakteristika</i>	33
<i>Obr. 3. 1 Princip činnosti stejnosměrného motoru</i>	35
<i>Obr. 3. 2 Schéma zapojení motoru s cizím buzením</i>	36
<i>Obr. 3. 3 Charakteristiky motoru s cizím buzením</i>	36
<i>Obr. 3. 4 Brzdění do odporu motoru s cizím buzením</i>	39
<i>Obr. 3. 5 Brzdění protiproudem motoru s cizím buzením</i>	39
<i>Obr. 3. 6 Omezení přepětí vzniklého při vypínání budícího obvodu tlumícím odporem</i> <i>R_{tl} nebo polovodičovou diodou D</i>	40
<i>Obr. 3. 7 Schéma zapojení motoru s paralelním buzením</i>	41
<i>Obr. 3. 8 Schéma zapojení motoru se sériovým buzením</i>	43
<i>Obr. 3. 9 Momentová charakteristika motoru se sériovým buzením 1-teoretický</i> <i>průběh, 2-skutečný průběh, 3-průběh přesycení magnetického obvodu</i>	43
<i>Obr. 3. 10 Charakteristika závislosti momentu na proudu v kotvě</i>	44
<i>Obr. 3. 11 Řízení otáček seriového motoru</i>	45
<i>Obr. 3. 12 Brzdění motoru se sériovým buzením</i>	46
<i>Obr. 3. 13 . Schéma zapojení motoru s kompaundním buzením</i>	47
<i>Obr. 3. 14 Momentová charakteristika, 1-sériové buzení, 2-sériové a</i> <i>paralelní buzení</i>	47
<i>Obr. 3. 15 Momentová charakteristika, 1-sériové a paralelní buzení, 2-paralelní</i> <i>buzení</i>	48
<i>Obr. 4. 1 Stroj s vyjádřenými póly</i>	49
<i>Obr. 4. 2 Buzení stroje s hladkým rotorem</i>	50
<i>Obr. 4. 3 Vzduchová mezera u stroje s vyniklými póly a průběh magnetické indukce</i> <i>B_{δ} ve vzduchové mezeře</i>	51
<i>Obr. 4. 4 Průběh teoretické magnetické indukce a skutečné magnetické indukce b ve</i> <i>vzduchové mezeře s hladkým rotorem</i>	52

<i>Obr. 4. 5 Fázový diagram alternátoru při chodu naprázdno</i>	52
<i>Obr. 4. 6 Charakteristika na prázdno</i>	53
<i>Obr. 4. 7 Reaktance statorového vinutí (kotvy) při odporové zátěži</i>	54
<i>Obr. 4. 8 Reaktance statorového vinutí při indukční zátěži</i>	54
<i>Obr. 4. 9 Reaktance statorového vinutí při kapacitní zátěži</i>	55
<i>Obr. 4. 10 Náhradní schéma synchronního stroje při chodu nakrátko</i>	55
<i>Obr. 4. 11 Fázorový diagram pro chod nakrátko; velikosti fázorů úbytku napětí U_{Xad}, $U_{X\sigma}$ jsou dány vztahy $U_{Xad} = X_{ad}I_k$, $U_{X\sigma} = X_{\sigma}I_k$</i>	56
<i>Obr. 5. 1 Klec synchronních strojů</i>	58
<i>Obr. 5. 2 Spouštění synchronního motoru asynchronně</i>	59
<i>Obr. 5. 3 Spouštění asynchronního motoru tlumivkou</i>	60
<i>Obr. 5. 4 Spouštění spouštěcím autotransfornátorem</i>	60
<i>Obr. 5. 5 Zapojení selsynů k dálkovému přenášení polohy</i>	61
<i>Obr. 5. 6 Princip jednofázového reakčního motoru</i>	62
<i>Obr. 5. 7 Princip dvoufázového motorku, 1-Budící statorová vinutí, 2-Rotory</i>	63
<i>Obr. 6. 1 Přímé připojení motoru nakrátko k síti</i>	67
<i>Obr. 6. 2 Připojení motoru nakrátko k síti přepínačem hvězda – trojúhelník</i>	67
<i>Obr. 6. 3 Průběh spouštění motoru nakrátko přepínačem hvězda – trojúhelník a) momentová charakteristika, b) průběhový proud</i>	69
<i>Obr. 6. 4 Spouštění trojfázového asynchronního motoru nakrátko autotransfornátorem</i>	70
<i>Obr. 6. 5 Vírová klec a) vysvětlení funkce, b) momentová charakteristika</i>	72
<i>Obr. 6. 6 Úprava tyčí dvojitě klece</i>	73
<i>Obr. 6. 7 Vírová klec a) rozložení indukčních čar, b) rozložení proudu při rozběhu, c) rozložení proudu za chodu, d) momentová char. vírové klece</i>	73
<i>Obr. 6. 8 Tvar tyčí vírové klece</i>	74
<i>Obr. 6. 9 Spouštění kroužkového motoru spouštěčem</i>	75
<i>Obr. 6. 10 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru</i>	77
<i>Obr. 6. 11 Jednofázový asynchronní motor s odporovou klecí</i>	78
<i>Obr. 6. 12 Zapojení kondenzátorového motoru</i>	79

<i>Obr. 6. 13 Trojfázový motor na krátko v třífázové síti</i>	80
<i>Obr. 6. 14 Momentová charakteristika asynchronního stroje</i>	80
<i>Obr. 9. 1 Pohon pro otočné brány RotaMatic</i>	92
<i>Obr. 9. 2 Pohon LineaMatic pro posuvné brány</i>	93
<i>Obr. 9. 3 Pohon garážových vrat ProMatic</i>	94
<i>Obr. 9. 4 Automatická závora AG500.....</i>	95
<i>Obr. 9. 5 Rotátory pro natáčení kamer.....</i>	95
<i>Obr. 9. 6 Synchronní turniket Arlberg.....</i>	96
<i>Obr. 9. 7 Silniční bariéra ARB300</i>	97
<i>Obr. 9. 8 Silniční bariéra RKB350</i>	97
<i>Obr. 9. 9 Elektrocentrála Mitsubishi</i>	98

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Prezentace seznamující s problematikou elektrických točivých strojů. (Microsoft Office PowerPoint)