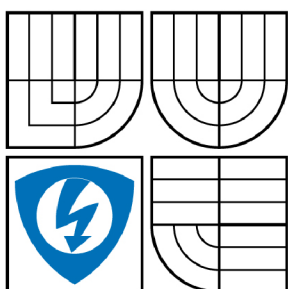


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

NÁVRH JEDNOFÁZOVÉHO ASYNCHRONNÍHO MOTORU S POMOCNOU FÁZÍ

SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR CALCULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

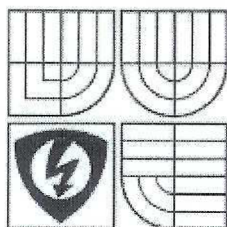
Bc. PETR SCHLESINGER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. VÍTĚZSLAV HÁJEK, CSc.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Schlesinger Petr, Bc.

Ročník: 2

ID: 89204

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Návrh jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Analyzujte teoreticky jednofázový asynchronní motor a možnosti získání záběrového momentu.
2. Navrhněte základní schéma postupu výpočtu jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází.
3. Vypracujte demonstrační příklad výpočtu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 10.10.2007

Termín odevzdání: 30.5.2008

Vedoucí projektu: prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Petr Schlesinger

Bytem:

Narozen/a (datum a místo): 26.10.1983, Brno

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Návrh jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází

Vedoucí/školitel VŠKP: prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

Ústav: Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2
Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3
Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt

Tato diplomová práce má za cíl seznámit se základními poznatky o jednofázových asynchronních motorech, jejich odvození od motorů trojfázových a základy postupu výpočtu a návrhu jednofázových asynchronních motorů s kotvou nakrátko. Základ návrhu a výpočtu je tvořen klasickými postupy pro trojfázové motory nízkého napětí, 50 Hz

Abstract

This master's thesis's target is to introduce the basic findings about single-phase asynchronous motors, their derivation from three-phase motors and the basics of a computation process and a concept of a single-phase asynchronous squirrel cage motor.

The inbeing of this concept and the computation is created by classical processes for three-phase motors with a low voltage, 50 Hz.

Klíčová slova

Asynchronní motor; pomocná fáze; momentová charakteristika

Keywords

asynchronous motor; auxilliary phase; speed-torque characteristic

Bibliografická citace

SCHLESINGER, P. Návrh jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 43s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Návrh jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

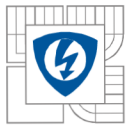
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Vítězslavu Hájkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

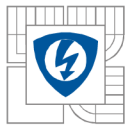
V Brně dne

Podpis autora



Obsah

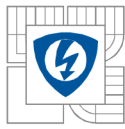
OBSAH.....	1
SEZNAM SYMBOLŮ A INDEXŮ	2
SYMBOLY	2
INDEXY.....	4
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	5
1 ÚVOD.....	6
1.1 ASYNCHRONNÍ MOTORY.....	6
1.1.1 <i>Konstrukce</i>	6
1.1.2 <i>Točivé magnetické pole</i>	6
1.1.3 <i>Princip činnosti</i>	7
1.1.4 <i>Synchronní otáčky</i>	7
1.1.5 <i>Provozní vlastnosti</i>	7
1.2 JEDNOFÁZOVÝ INDUKČNÍ MOTOR BEZ POMOCNÉ FÁZE.. ..	8
1.2.1 <i>Princip a vlastnosti</i>	8
1.2.2 <i>Výsledná momentová charakteristika</i>	9
1.2.3 <i>Použití</i>	10
1.3 ZPŮSOBY ZÍSKÁVÁNÍ ZÁBĚRNÉHO MOMENTU	11
1.3.1 <i>Odporový rozběh</i>	11
1.3.2 <i>Kapacitní rozběh</i>	12
1.4 DALŠÍ ZPŮSOBY ZÍSKÁVÁNÍ ZÁBĚRNÉHO MOMENTU.....	12
1.4.1 <i>Jednofázový indukční motor se stíněnými póly</i>	12
1.4.2 <i>Použití</i>	13
1.4.3 <i>Popis a princip</i>	13
1.4.4 <i>Pomaluběžný motor se stíněnými póly</i>	14
1.5 JEDNOFÁZOVÝ MOTOR S TRVALE PŘIPOJENÝM KONDENZÁTOREM	15
1.5.1 <i>Provedení pro velký záběrný moment</i>	15
1.5.2 <i>Trojfázový motor připojený na jednofázovou síť</i>	17
1.6 URČENÍ KAPACITY KONDENZÁTORU	19
2. ZÁKLADNÍ NÁVRH STROJE	23
2.1 VÝPOČET HLAVNÍCH ROZMĚRŮ STROJE	23
2.2 VINUTÍ STATORU.....	23
2.3 VÝPOČET ROTORU	26
2.4 KONSTANTY STROJE	27
2.5 ZTRÁTY A ÚČINNOST.....	32
3. PŘÍKLAD VÝPOČTU PRO MOTOR $P = 2,2\text{KW}$	33
3.1 VÝPOČET HLAVNÍCH ROZMĚRŮ STROJE	33
3.2 VINUTÍ STATORU.....	34
3.3 VÝPOČET ROTORU	36
3.4 KONSTANTY STROJE	37
3.5 ZTRÁTY A ÚČINNOST.....	42
7 ZÁVĚR.....	43
8 POUŽITÁ LITERATURA	44



Seznam symbolů a indexů

Symbole

Značka	Název	Jednotka
A	Lineární proudová hustota	$A \cdot m^{-1}$
b_1	Šířka drážek statoru	cm
$b_{1,2}$	Otevření drážky	cm
b_{z1}	Šířka zubů statoru	cm
b_{z2}	Šířka zubu rotoru	cm
B_{j1}	Indukce ve jhu statoru	T
B_{j2}	Indukce ve jhu rotoru	T
B_{z1}	Indukce v zubech statoru	T
B_{z2}	Indukce v zubech rotoru	T
C	Kapacita kondenzátoru	μF
D	Vnitřní průměr statoru	cm
D_1	Vnější průměr statoru	m
$h_{d1,2}$	Hloubka drážky statoru, rotoru	cm
H_{j1}	Intenzita magnetického pole ve jhu statoru	$A \cdot m^{-1}$
H_{z1}	Intenzita magnetického pole v zubech statoru	$A \cdot m^{-1}$
H_{j2}	Intenzita magnetického pole ve jhu rotoru	$A \cdot m^{-1}$
H_{z2}	Intenzita magnetického pole v zubech rotoru	$A \cdot m^{-1}$
I_A	Proud hlavní fáze	A
I_B	Proud pomocné fáze	A
I_{dt}	Proud rotorové tyče	A
I_{dkr}	Proud v rotorovém kruhu	A
k_{VA}	Činitel vinutí hlavní fáze	
k_{VB}	Činitel vinutí pomocné fáze	
k_{Vt}	Činitel vinutí rotoru	
k_d	Činitel plnění drážky	
$k_{\delta 1}$	Carterův činitel pro stator	
$k_{\delta 2}$	Carterův činitel pro rotor	
l	Ideální délka železa	cm
l_z	Délka závitů statorového vinutí	cm
m	Počet fází statoru	
m_j	Hmotnost jha statoru a rotoru	kg
m_z	Hmotnost zubů statoru a rotoru	kg
n	Otáčky motoru	$ot \cdot min^{-1}$
N_A	Počet závitů hlavní fáze	
N_B	Počet závitů pomocné fáze	
$p_{1,0}$	Ztrátové číslo magnetického materiálu	$W \cdot kg^{-1}$
p	Počet pólových dvojic	
P_1	Příkon motoru	W
q	Počet drážek na pól a fázi	
Q_1	Počet drážek statoru	
Q_{1A}	Počet drážek připadající pro hlavní vinutí	
Q_2	Počet drážek rotoru	
R_A	Činný odpor hlavního vinutí statoru	Ω
R_t	Činný odpor rotorové tyče	Ω
R_{kr}	Činný odpor rotorového kruhu	Ω
R_r	Činný odpor "jedné fáze" rotoru	Ω
R_2	Odpor rotoru přepočtený na stator	Ω
S_A	Průřez vodiče hlavního vinutí	mm^2
S_A'	Průřez vodiče s izolací	mm^2
S_d	Potřebná plocha drážky	mm^2
S_t	Průřez rotorové tyče	mm^2
S_{kr}	Průřez rotorového kruhu	mm^2
S_3	Výkon trojfázového stroje stejných rozměrů jako jednofázový	VA
$t_{p..}$	Pólová rozteč	cm
U_B	Napětí na pomocném vinutí	V

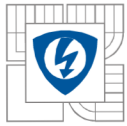


Značka	Název	Jednotka
U_m	Celkové magnetické napětí na obvodu	A
U_{mj1}	Magnetické napětí jha statoru	A
U_{mj2}	Magnetické napětí jha rotoru	A
U_{mz1}	Magnetické napětí na zubech statoru	A
U_{mz2}	Magnetické napětí na zubech rotoru	A
$U_{m\delta}$	Magnetické napětí na vzduchové mezeře	A
X_{A0}	Diferenční rozptylová reaktance statoru	Ω
$X_{A\check{c}}$	Rozptylová reaktance přes čela vinutí	Ω
X_{Ad}	Rozptylová reaktance statorové drážky	Ω
X_{Aq}	Rozptylová reaktance od natočení drážek	Ω
X_h	Magnetizační reaktance	Ω
X_h	Reaktance samotné vzduchové mezery	Ω
X_z	Rozptylová reaktance pro hlavy zubů	Ω
X_{2d}	Drážková rozptylová reaktance rotoru	Ω
X_{2q}	Rozptylová reaktance od natočení drážek rotoru	Ω
$X_{\sigma 1}$	Rozptylová reaktance statoru	Ω
$X_{\sigma 2}$	Rozptylová reaktance rotoru	Ω
X_{20}	Diferenční rozptylová reaktance rotoru	Ω
α	Úhel mezi sousedními drážkami ve stupních	$^\circ$
δ	Šířka vzduchové mezery	cm
δ'	Efektivní vzduchová mezera	cm
δ''	Ekvivalentní vzduchová mezera	cm
ΔP_{CuA}	Ztráty ve vinutí statoru	W
ΔP_{Cu2}	Ztráty ve vinutí rotoru	W
ΔP_{Fe}	Ztráty v železe	W
ΔP_m	Mechanické ztráty motoru	W
$\varepsilon_{1,2}$	Úbytky na vinutí	
ϕ	Magnetický tok	Wb
λ	Štíhlostní poměr	
λ_d	Vodivost statorové drážky	
λ_{d2}	Vodivost uzavřené drážky	
λ_{z1}	Rozptyl přes hlavy zubů	
η	Účinnost motoru	
ρ	Rezistivita	$\Omega.m$
ρ_{Fe}	Hustota železa	$kg.m^{-3}$
σ_A	Proudová hustota ve vinutí hlavní fáze	$A.mm^{-1}$
σ_{A0}	Součinitel diferenčního rozptylu	
σ_{dt}	Proudová hustota v tyči rotoru	$A.mm^{-1}$
σ_{dkr}	Proudová hustota v rotorovém kruhu	$A.mm^{-1}$
σ_q	Součinitel rozptylu od natočení drážek	
σ_{20}	Činitel diferenčního rozptylu rotoru	
τ_d	Drážková rozteč	



Indexy

Index	Význam
A	týkající hlavní fáze
B	týkající se pomocné fáze
č	týkající se čela
d	týkající se drážek
j	týkající se jha
z	týkající se zubů
max	maximální
m	mechanický
min	minimální
Al	hliníkový
Cu	měděný
Fe	železný
N	jmenovitý
1	statorový
2	rotorový
δ	týkající se vzduchové mezery
σ	rozptylový



Seznam obrázků

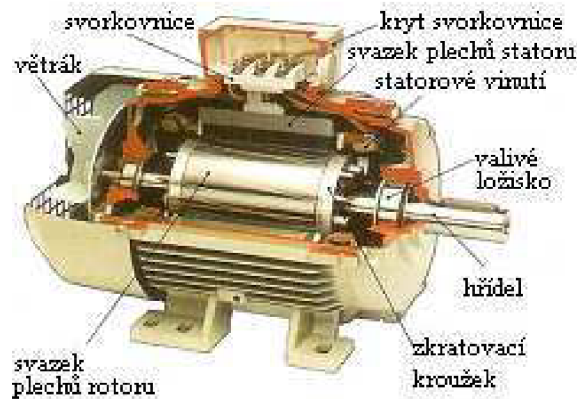
obr. 1 ukázka motoru s kotvou nakrátko.....	6
obr.2 ukázka motoru s kroužkovou kotvou.....	6
obr.3 pulzující elektromagnetické pole.....	6
obr.4 trojfázový napájecí proud.....	7
obr.5. celková momentová charakteristika.....	8
obr.6. Náhradní schéma.....	8
obr. 7. momentová charakteristika jednofázového indukčního motoru.....	9
obr.8. Fázorový diagram.....	10
obr. 9. Zapojení jednofázového indukčního motoru.....	11
obr. 10. Fázorový diagram.....	12
obr.11. Fázorový diagram.....	12
obr. 12. jednofázový motor se stíněnými póly.....	13
obr.13. ukázka provedení motoru se stíněnými póly.....	14
obr. 14. motor se stíněnými póly v asymetrickém provedení.....	14
obr.15. ukázka pomaluběžného motoru se stíněnými póly.....	15
obr.16 zapojení pro běh doleva a zapojení pro běh doprava.....	16
obr. 17 jednofázový motor s trvale připojeným kondenzátorem v provedení pro velký záběrný moment.....	16
obr. 18. Momentová charakteristika.....	17
obr. 19. Steinmetzovo zapojení trojfázového motoru.....	18
obr. 20. kruhové točivé magnetické pole při trojfázovém provozu.....	19
obr. 21 eliptické točivé magnetické pole při Steinmetzově zapojení nebo u jednofázového motoru s trvale připojeným kondenzátorem.....	19
obr. 22 Další možnost napájení trojfázového motoru z jednofázové sítě.....	20
obr.23. zapojení se dvěma kondenzátory.....	22
obr. 24. Ukázka plechu statoru.....	25
obr. 24. Ukázka plechu rotoru.....	27
obr. 25 Náhradní schéma jedné fáze počítaného motoru.....	31

1. Úvod

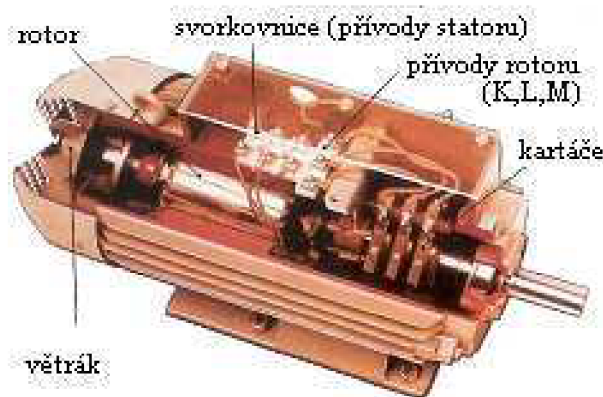
1.1. asynchronní motory - jedná se o motory, kde proud v motoru je vyvolán magnetickou indukcí. Proto bývají mnohdy označovány také jako indukční motory. Tyto motory jsou nejdůležitější trojfázové motory.

1.1.1. konstrukce - stator se skládá z nosného tělesa (krytu) svazku statorových plechů a statorového vinutí, jehož začátky a konce jsou vyvedeny na svorkovnici. Rotor je sestaven z rotorových plechů nasazených ve svazku na hřídeli. V drážkách rotoru jsou uloženy vodiče, které jsou tvořeny buď tyčemi na čelních stranách spojenými zkratovacími kroužky - kotva nakrátko (obr.1.) nebo obdobným vinutím jako na statoru, spojeným do hvězdy a vyvedeným na sběrací kroužky - kroužková kotva (obr.2.). Tato kotva se užívá převážně pro motory velkých výkonů

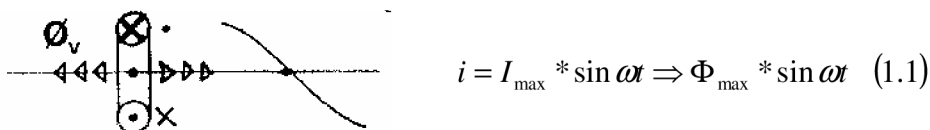
obr. 1 ukázka motoru s kotvou nakrátko



obr.2 ukázka motoru s kroužkovou kotvou



1.1.2. Točivé magnetické pole: Vznik točivého magnetického pole - při napájení cívky střídavým jednofázovým proudem vznikne okolo cívky stojaté magnetické pole (obr.3.).

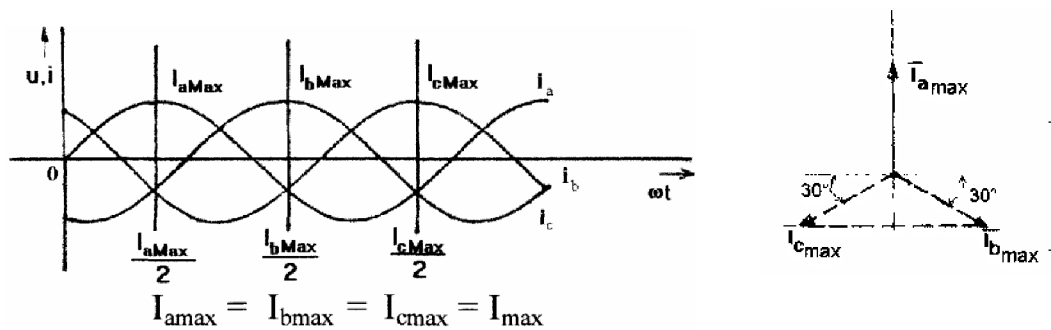


obr.3 pulzující elektromagnetické pole

Podmínky vzniku točivého magnetického pole:

- 1) minimálně tři cívky - třífázové vinutí
- 2) Cívky budeme napájet třífázovým napětím fázově posunutým o 120°

obr.4 trojfázový napájecí proud



Výsledný magnetický tok a směr pole:

Výsledný fázor nemění s časem svou velikost a otáčí se ve směru postupu fází rychlostí ω . Výsledný magnetický tok je vždy dán součtem okamžitých hodnot toků ϕ_a , ϕ_b a ϕ_c . Jeho koncový bod popisuje kružnici a proto mluvíme o kruhovém točivém magnetickém poli.

Lze si představit, že statorové vinutí uložené v drážkách je možno si nahradit permanentním magnetem, který by se otáčel rychlostí ω .

1.1.3.princip činnosti - magnetické pole statoru indukuje v rotoru napětí, tímto vzniklý proud vytváří druhé magnetické pole rotoru, působící proti poli statoru. Tímto působením vzniká moment, který otáčí rotorem ve směru točivého pole statoru.

1.1.4.synchronní otáčky - otáčky, kterými se tzv. otáčí točivé pole statoru. Pokud se rotor motoru otáčí těmito otáčkami, v rotoru se neindukuje žádný proud, tudíž nevzniká žádný moment. Proto se motor za provozu otáčí otáčkami nižšími. Rozdílu synchronních otáček a otáček rotoru říkáme skluz (s).

synchronní otáčky vypočteme ze vztahu

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (1.2)$$

kde: f ... je kmitočet napájecí sítě a p...je počet pólových dvojic motoru

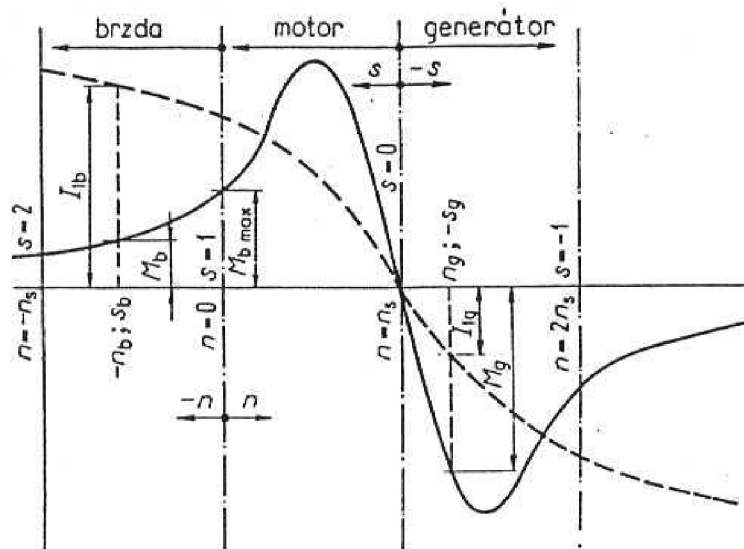
1.1.5.provozní vlastnosti - bývají dány momentovou charakteristikou, kterou lze získat různými způsoby. Jedním z nich býval dříve například kruhový diagram.

Zvětšíme-li vnějším momentem otáčky motoru nad synchronní otáčky, je $n > n_s$ a skluz vychází záporný.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} < 0 \quad (1.3)$$

Určitým nadsynchronním otáčkám (skluz s_g) odpovídá statorový proud I_{1g} . Jeho činná složka, úměrná výkonu $I_{1g} \cdot \cos \varphi_1$, je záporná, takže indukční stroj se stal generátorem a dodává do sítě činný výkon. Jalová složka proudu zůstává kladná, indukční generátor jalový výkon sám nevyrobí, ale odebírá ho ze sítě, do které pracuje. Velikost proudu, který dodává indukční generátor do sítě a jeho účinník jsou určeny otáčkami (skluzem).

obr.5. celková momentová charakteristika

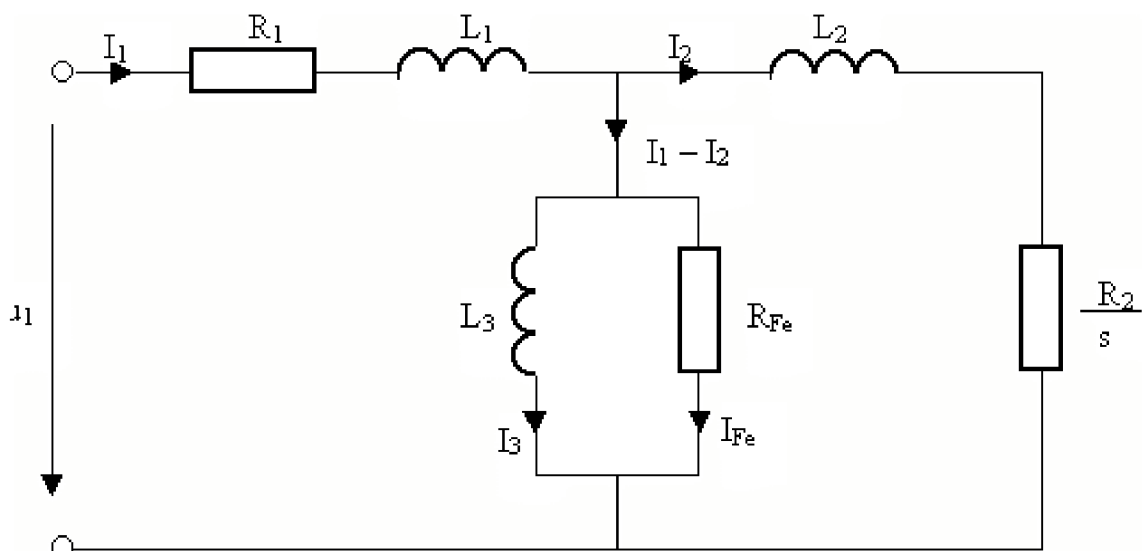


Z trojfázových indukčních motorů je odvozen **jednofázový indukční motor**.

1.2. Jednofázový indukční motor bez pomocné fáze

1.2.1. Princip a vlastnosti

obr.6. Náhradní schéma



Pro toto náhradní schéma platí tato zjednodušení:

- lineární magnetizační charakteristika motoru
- vlastní mechanické ztráty v motoru se zanedbávají
- rotorové veličiny jsou přepočítané na stator
- vinutí statoru a rotoru jsou symetrická

Vysvětlení použitých symbolů

R_1 - ohmický odpor statoru

L_1 - indukčnost statoru

L_3 - indukčnost prezentující ztráty v železe

R_{Fe} - ohmický odpor prezentující ztráty v železe

L_2 - indukčnost rotoru přepočítaná na stator

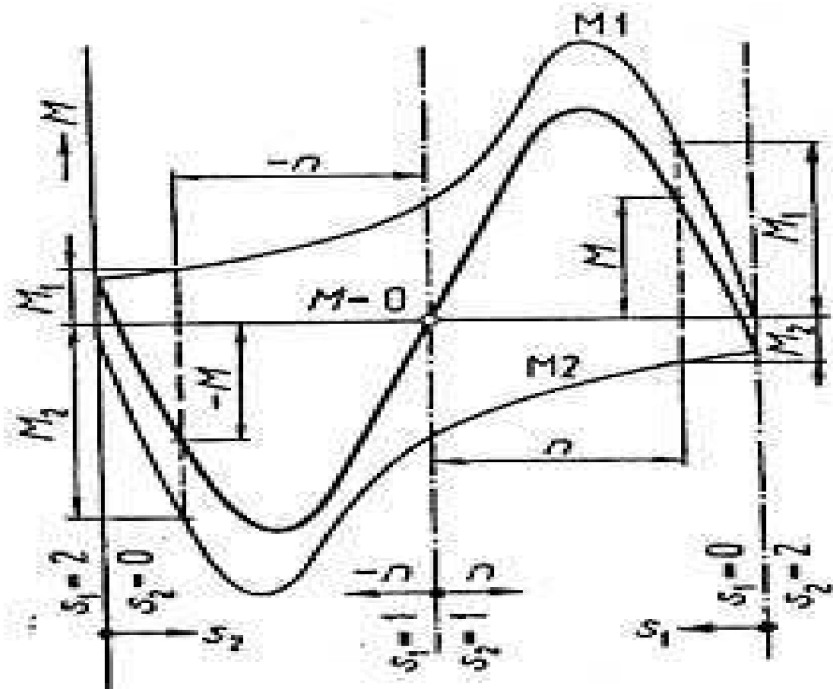
s - skluz

R_2 - ohmický odpor rotoru přepočítaný na stator

Jednofázové indukční motory jsou vždy s kotvou nakrátko (na rozdíl od třífázových).

Otáčky těchto motorů jsou dány stejně jako u trojfázových motorů kmitočtem napájecí sítě a počtem pólů stroje.

Statorové vinutí je uloženo do dvou třetin celkového počtu drážek, ve zbývajících drážkách je uloženo vinutí rozběhové (pomocné) fáze. Motor by se bez ní sám nerozběhl (protože má pulsující, stojaté magnetické pole a ne točivé jako třífázový motor). Vinutí hlavní a pomocné fáze jsou vzájemně pootočená o 90 stupňů elektrických. Stojaté magnetické pole můžeme nahradit dvěma stejnými točivými póly, obíhajícími proti sobě.



obr. 7. momentová charakteristika jednofázového indukčního motoru

Jestliže se rotor jakýmkoliv způsobem roztočí, např. na otáčky n , moment M_1 je větší než moment M_2 a rotor se začne otáčet působením rozdílů obou momentů. Po roztočení

opačným směrem(-n) je výsledný moment stejně velký, ale opačný a rotor se bude otáčet opačně.

1.2.2. Výsledná momentová charakteristika - je dána součtem obou charakteristik M_1 a M_2 . Pro oba směry je tato charakteristika stejná, takže jednofázový indukční motor pracuje stejně v obou směrech, podle toho, na kterou stranu se roztočí. Z průběhu charakteristiky je vidět, že rotor nemůže dosáhnout nikdy synchronních otáček, neboť při nich je jeho moment záporný. Pro roztočení jednofázového indukčního motoru můžeme použít jakéhokoliv

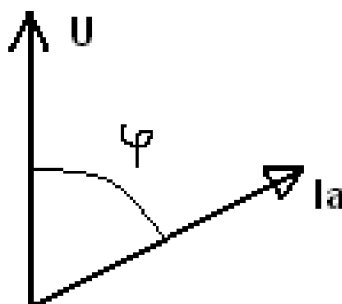
způsobu, třeba i roztočení rukou (zatahnutím za řemen, klikou apod.).

1.2.3. Použití

Jednofázový indukční motor bez pomocné fáze lze realizovat například tak, že u trojfázového motoru napájíme pouze jedno vinutí střídavým proudem.

S touto konstrukcí motoru - motorem s kotvou nakrátko s jedním vinutím se můžeme setkat u některých starších brusek - podle potřeby se zvolil směr otáčení (otočilo se kotoučem na příslušnou stranu)

obr.8. Fázorový diagram



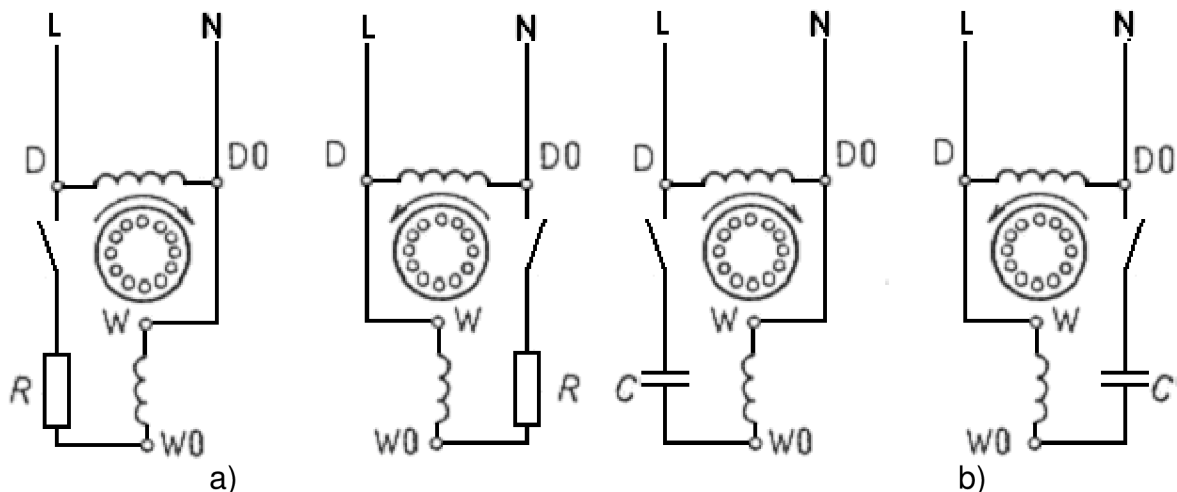
Všechny jednofázové indukční motory se vyrábí pouze s kotvou nakrátko. Provedení s kroužkovou kotvou je teoreticky možné, ale v praxi nemá význam, protože jednofázové motory se vyrábí o výkonech do 1kW a tudíž není nutné se starat o snížení záběrného proudu, což je hlavní účel kroužkové kotvy.

1.3. Způsoby získávání záběrného momentu

Dnes se jednofázové motory vyrábí výhradně s pomocným rozběhovým vinutím a rozbíhají se jako dvoufázové. Pomocná fáze má kapacitní, odporový, nebo induktivní charakter, aby vznikl potřebný fázový posun mezi polem hlavní a pomocné fáze. Po rozběhu se pomocná fáze zpravidla odpojí (nejčastěji odstředivým vypínačem). Na síť je možno připojit motor do výkonu asi 500W. Reverzaci provádíme záměnou přívodu u pomocné fáze.

Nejjednodušší jednofázové vinutí se soustředěnými cívkami a pomocnou rozběhovou fází.

Pomocná fáze (W – W0) se připojí paralelně k hlavní fázi. Potřebný fázový posun ψ bývá dán rozdílnými elektrickými vlastnostmi obou paralelních větví. Obvykle bývá menší než 90° , tudíž vzniklé točivé pole není kruhové, ale jen eliptické. K rozběhu motoru však stačí. Aby vznikl fázový posun, tak se do série s pomocným vinutím zapojuje činný odpor (odporový rozběh), nebo kondenzátor (kapacitní rozběh).



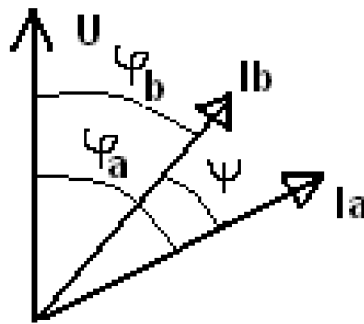
obr. 9. Zapojení jednofázového indukčního motoru:

- a) s odporovým rozběhem
- b) s kapacitním rozběhem

1.3.1. Odporový rozběh

Předřadný odpor R se obvykle nahrazuje přímo zvětšením odporu pomocného vinutí (odporová fáze). Zvětšení odporu dosáhneme použitím mosazného vodiče, nebo větším počtem závitů, z nichž poslední jsou navinuty v opačném směru, aby buzení cívky zůstalo nezměněno. Samotné zmenšení průměru není vhodné, neboť znamená zmenšení tepelné kapacity vinutí.

Taktéž je možné použít tzv. bifilární vinutí, které potom má výrazně nižší indukčnost nežli vinutí hlavní. Bifilární vinutí je takové, které je navinuto smyčkou z vodiče - má stejný počet závitů navinutých v jednom i ve druhém směru.



obr. 10. Fázorový diagram

ψ - fázový posun mezi proudy v hlavním a pomocném vinutí

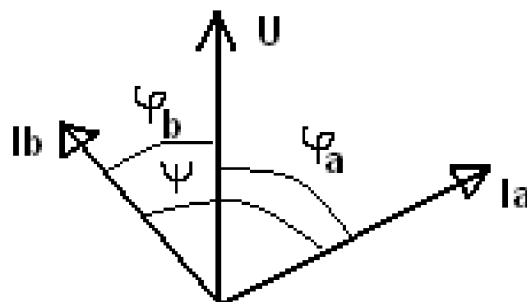
$$\psi = \varphi_A - \varphi_B$$

Rozběhové vinutí je většinou dimenzováno jen na krátkodobé zatížení a musí se po skončeném rozběhu odpojit. Vinutí můžeme odpojit např. trojpolovým přepínačem. Výhodnější je použití odstředivého vypínače, namontovaného přímo na hřídel motoru. V dnešní době se zejména kvůli poruchovosti odstředivých spínačů používají se různá relé, nejčastěji relé časová.

1.3.2. Kapacitní rozběh

K dosažení lepšího a tiššího rozběhu (jednofázový motor při eliptickém magnetickém poli hlučí během rozběhu) a tam, kde pro dosažení potřebného záběrného momentu odporový způsob rozběhu nestačí, zapojujeme do obvodu rozběhového vinutí kondenzátor. Bývá to zpravidla lehký a malý bipolární elektrolytický kondenzátor, dimenzovaný na krátkodobé zatížení. Na něm bývá i údaj o hustotě spouštění, kterou je schopen vydržet. Rozběhovým kondenzátorem můžeme dosáhnout až čtyřnásobného záběrného momentu při zmenšeném záběrném proudu. Proto je zvlášť vhodný pro pohon kompresorových chladniček, které při rozběhu vyžadují velký záběrný moment.

obr.11. Fázorový diagram



$$\psi = \varphi_A + \varphi_B \quad (1.4)$$

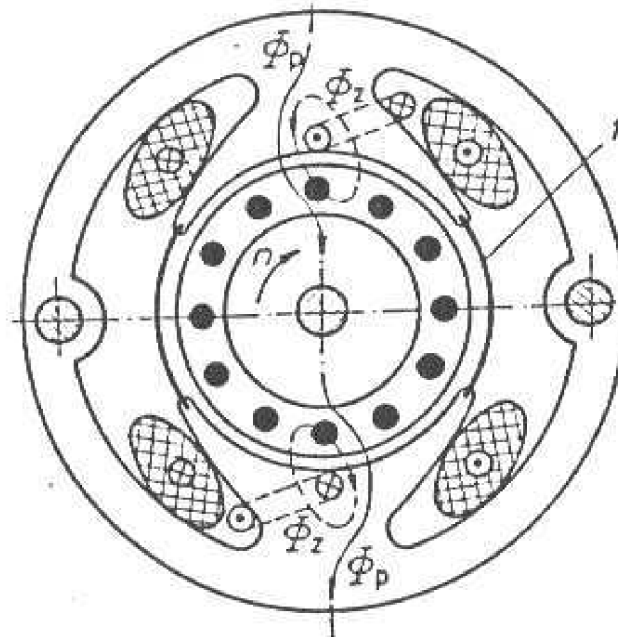
Jak je zřejmé z fázorového diagramu, pouze u kapacitního rozběhu je možno docílit pravého úhlu mezi proudy v jednotlivých vinutích, což má za následek vznik kruhového magnetického pole, kdy má motor nejtišší chod a největší záběrný moment. Při jakémkoliv jiném úhlu vzniká pole eliptické, které se projeví zvýšenou hlučností motoru, menším záběrným momentem a mnoha dalšími nežádoucími vlastnostmi.

1.4. Další možnosti získání záběrného momentu

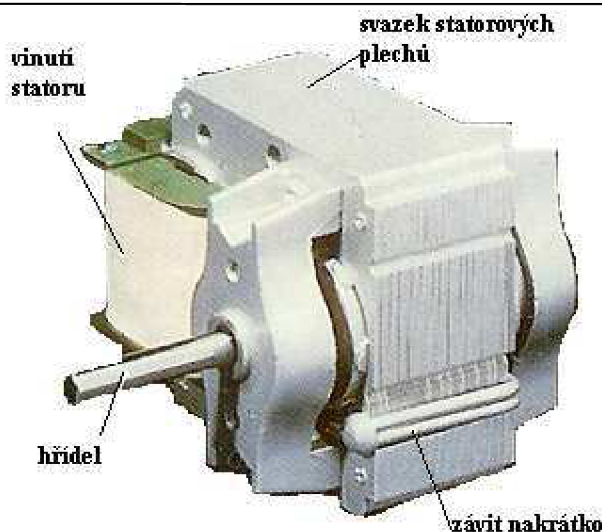
1.4.1. Jednofázový indukční motor se stíněnými póly

Jedná se zpravidla o velmi malé motorky na jednofázový proud mají stator s vyjádřenými póly, složenými z dynamových plechů.

obr. 12. jednofázový motor se stíněnými póly



1 – magnetické plíšky



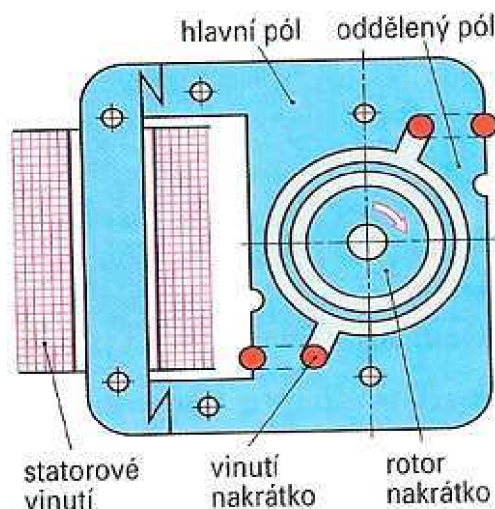
obr.13. ukázka provedení motoru se stíněnými póly

1.4.2. Použití

Motor se stíněnými póly se používá k pohonu gramofonů, ventilátorů, šlehačů apod. Mívá tichý chod. Používá se jen pro malé výkony.

1.4.3. Popis a princip

Statorové vinutí je na vyniklých pólech. Motor se otáčí stále stejným směrem. Část hlavního magnetického toku protéká plochou, kterou objímá závit nakrátko a indukuje v něm proud, který vybudí druhý - pomocný magnetický tok. Tento tok se vektorově sčítá s hlavním tokem, vznikne malý záběrný moment, který stačí na roztočení nezatíženého motoru. Účinnost těchto motorů je malá, závit nakrátko se trvale zahřívá. Výhodou těchto motorů je jednoduchost a s tím spojená malá poruchovost.

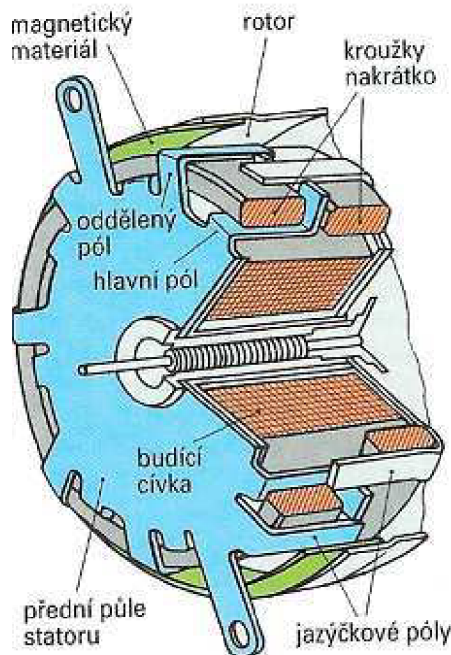


obr. 14. motor se stíněnými póly v asymetrickém provedení

1.4.4. Pomaloběžný motor se stíněnými póly

Tyto motory mívají 10 nebo 16 pólů a tomu odpovídající nízké otáčky. Jsou většinou provedeny s vnějším rotorem. Stator se pak skládá z prstencové budicí cívky a dvou statorových polovin z ocelového plechu. Obě poloviny mají po obvodu plechové jazyky

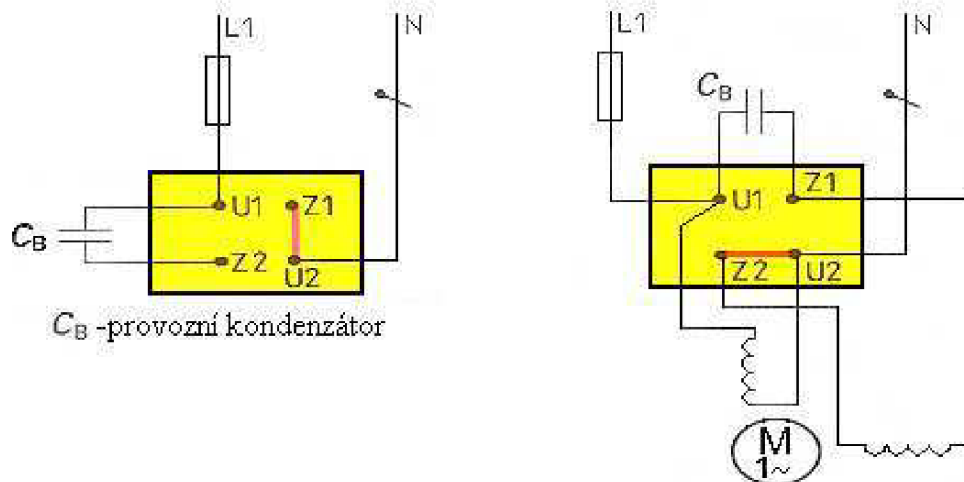
(zahnuté pásky), které působí jako jazýčkové póly. Pólování jazýčkových pólů obou statorových polovin je stejné, neboť je určováno magnetickým polem cívky. Každý druhý pólový jazyk působí jako oddělený (odstíněný) pól. Kolem všech stíněných pólů jedné poloviny statoru leží společný prstenec nakrátko, který způsobuje fázové posunutí magnetických toků oddělených pólů oproti magnetickým tokům hlavních pólů. Rotor je přes jazýčkové póly nasazen jako hrnec. Na jeho vnitřní straně je kroužek z magneticky tvrdého materiálu. Magnetické pole statoru indukuje v rotoru vířivé proudy, které způsobují asynchronní chod rotoru. V magnetickém materiálu rotoru se vytvářejí točivým polem oddělené póly a rotor se pak otáčí otáčkami stejnými jako točivé magnetické pole. Tyto motory jsou v podstatě jednofázové synchronní motory. Mívají výkony od 1W do 3W. Používají se např. v hodinách, časových relé apod.



obr.15. ukázka pomaluběžného motoru se stíněnými póly

1.5. Jednofázový motor s trvale připojeným kondenzátorem

Jedná se o jednofázový asynchronní motor s kondenzátorem v pomocné fázi. Kondenzátor vytváří potřebné fázové posunutí v pomocné fázi, potřebné pro vznik točivého pole. Při neděleném pomocném vinutí je kondenzátor sériově předřazen a při děleném pomocném vinutí je kondenzátor sériově zapojen mezi jeho dílčí části.



obr.16 zapojení pro běh doleva

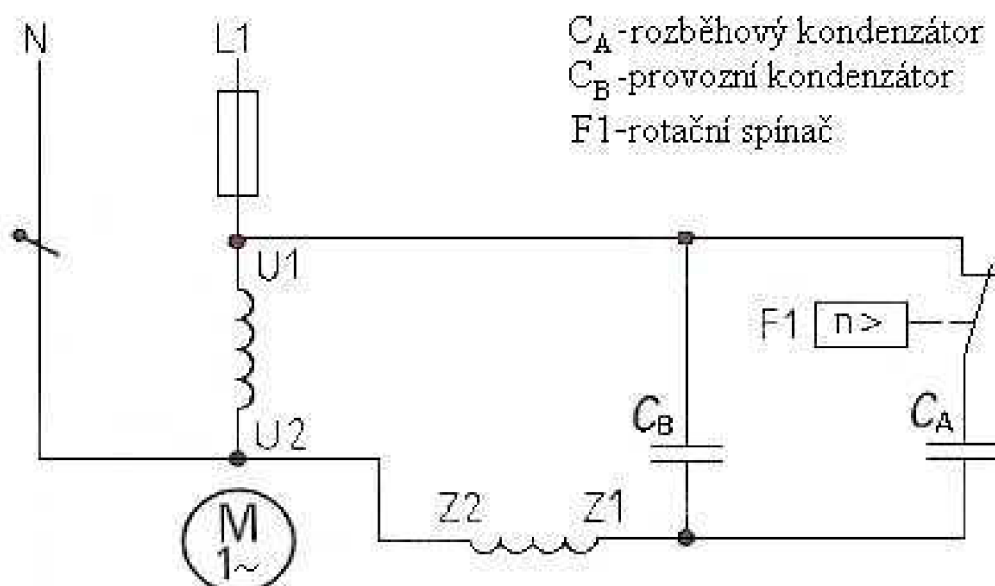
zapojení pro běh doprava

Pro změnu směru otáčení motoru je třeba přepólovat směr proudu v pomocném vinutí. Toho lze dosáhnout například změnou připojení kondenzátoru na svorkovnici.

1.5.1. Provedení pro velký záběrný moment

Pro dosažení velkého záběrného momentu je výhodné použití rozběhového kondenzátoru C_A a provozního kondenzátoru C_B (obr. 17). Záběrný moment může být díky kapacitě obou kondenzátorů zvýšen na dvojnásobek až trojnásobek jmenovitého momentu. Motor se pak může rozbíhat i se zátěží. Po rozběhu se rozběhový kondenzátor C_A odpojuje a v činnosti

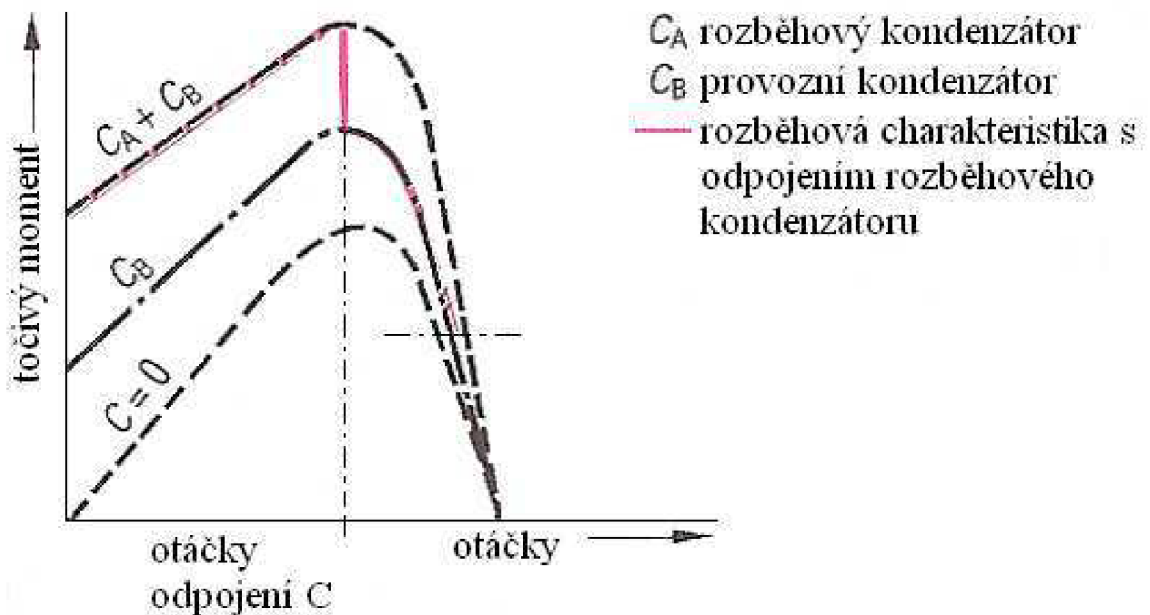
zůstává pouze provozní kondenzátor C_B (obr. 18). Odpojení C_A je nutné, protože jinak by pomocným vinutím protékal příliš velký proud, který by ho přehřál. Odpojení se uskutečňuje tepelným nebo nadproudovým relé, případně odstředivým vypínačem.



obr. 17 jednofázový motor s trvale připojeným kondenzátorem v provedení pro velký záběrný moment

Provozní kondenzátor by měl mít přibližně 1,3 kVAr jalového výkonu na 1 kW výkonu motoru. Rozběhový kondenzátor by měl mít asi trojnásobnou kapacitu nežli provozní kondenzátor.

obr. 18. Momentová charakteristika

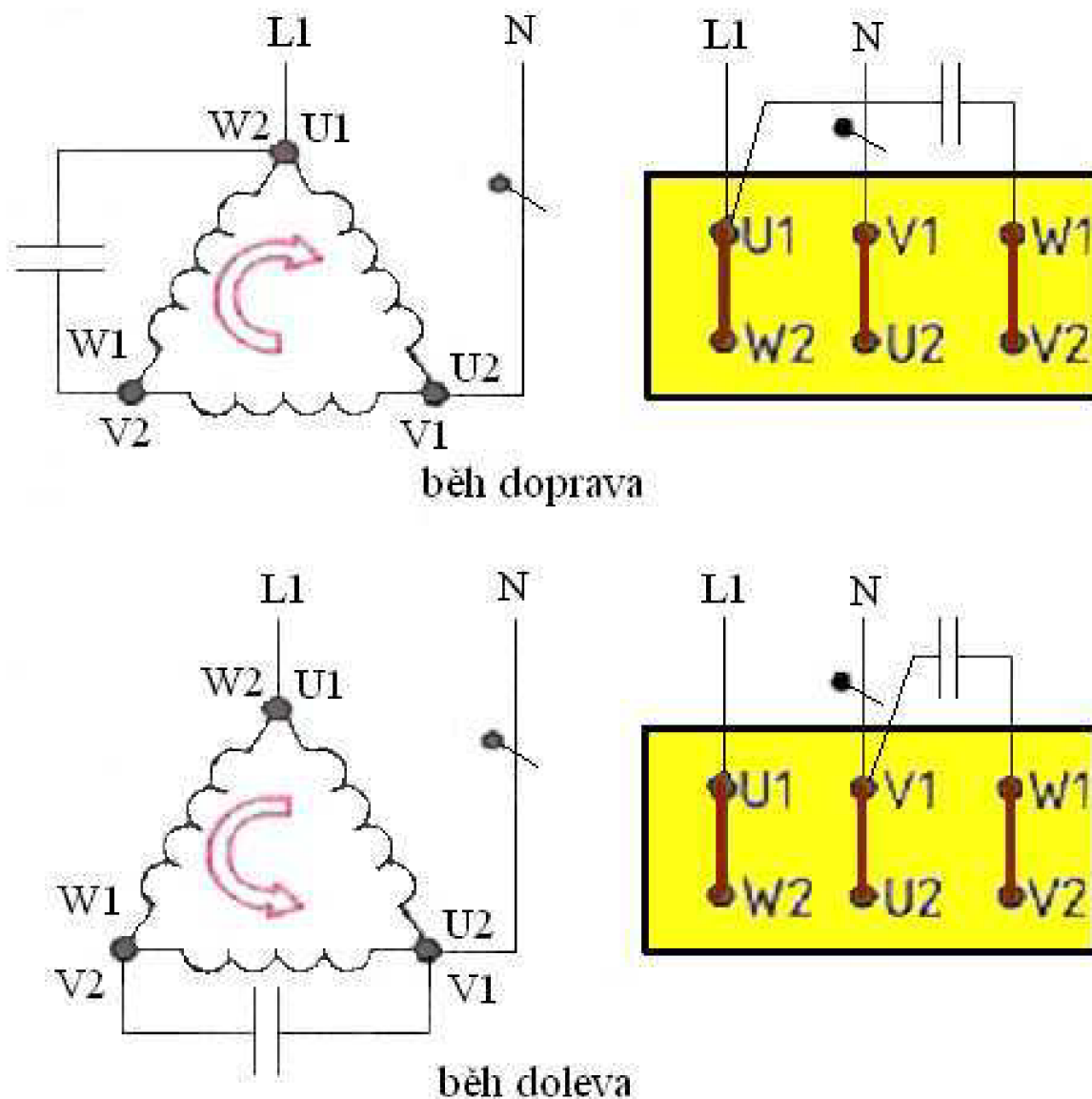


Kondenzátor tvoří spolu s indukčností pomocného vinutí sériový kmitavý obvod. Proto je na kondenzátoru napětí vyšší než je napětí síťové. Toto napětí je největší při chodu motoru naprázdno.

Motory s trvale připojeným kondenzátorem se používají o výkonech do 2 kW a můžeme se s nimi setkat v domácích spotřebičích a menších pracovních strojích.

K těmto motorům můžeme zařadit také trojfázový motor zapojený na jednofázovou síť - například ve Steinmetzově zapojení.

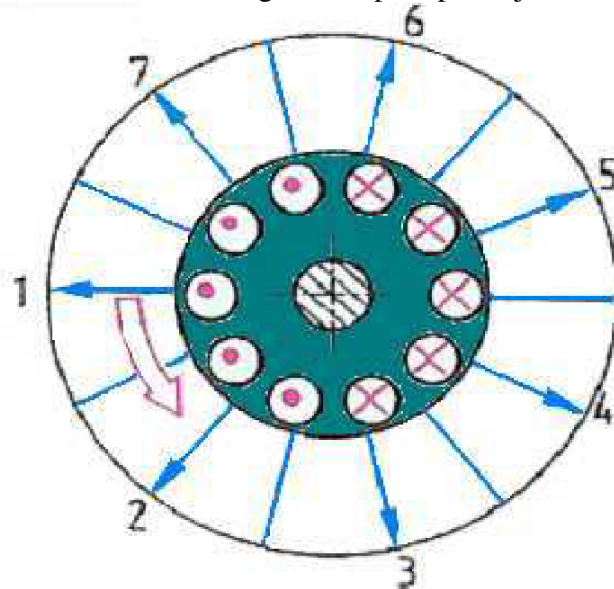
obr. 19. Steinmetzovo zapojení trojfázového motoru



1.5.2. Trojfázový motor připojený k jednofázové síti

Při provozu na jednofázové střídavé napětí je proud přivedený přes kondenzátor oproti síťovému proudu fázově posunut (obr. 19.). Při tomto posunutí opět vznikne točivé magnetické pole. Vlivem kondenzátoru jsou proudy v jednotlivých vinutích různě velké. Tím se mění indukční tok periodicky s každou periodou střídavého napětí.

obr. 20. kruhové točivé magnetické pole při trojfázovém provozu

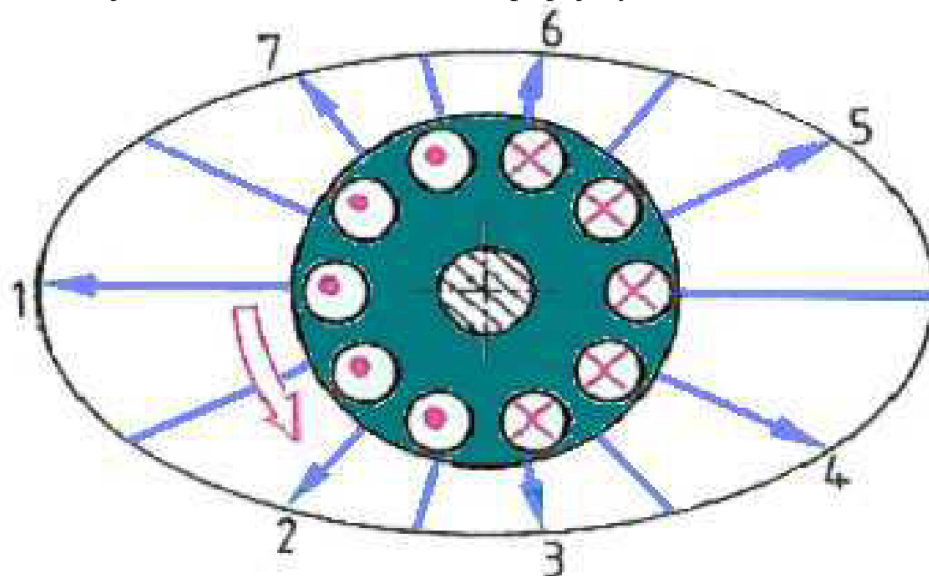


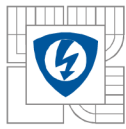
magnetické pole statoru

← směr otáčení

← vektor magnetické indukce

obr. 21 eliptické točivé magnetické pole při Steinmetzově zapojení nebo u jednofázového motoru s trvale připojeným kondenzátorem



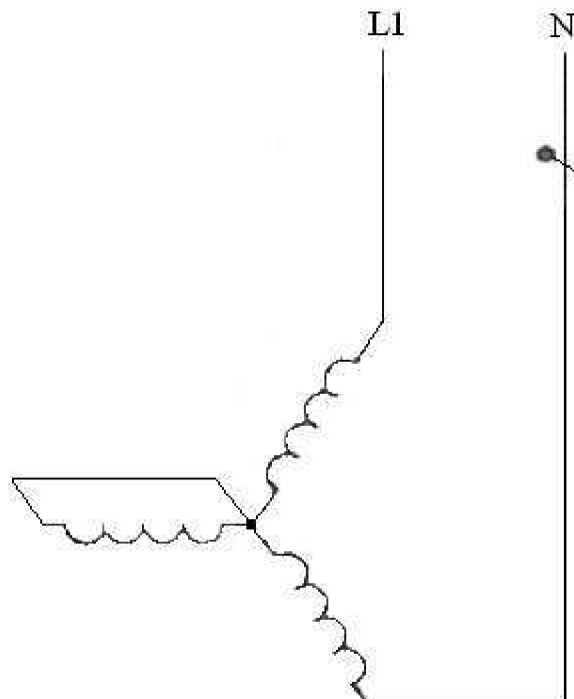


Při trojfázovém provozu lze směr otáčení motoru změnit přehozením dvou libovolných fází, při jednofázovém provozu lze reverzaci provést změnou připojení kondenzátoru - viz. obrázek. Trojfázové motory mohou být provozovány na jednofázové střídavé napětí, jsou-li pomocí zapojení do trojúhelníku nebo do hvězdy přizpůsobena napětí na vinutích na napětí sítě.

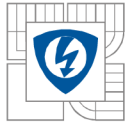
Při eliptickém točivém poli je oproti kruhovému poli při trojfázovém provozu menší výkon motoru a to maximálně 70% jmenovitého výkonu. Záběrný moment se zmenší při tomto jednofázovém provozu většinou na polovinu.

Ve Steinmetzově zapojení jsou provozovány motory do výkonu maximálně 2kW, pokud není možnost jejich připojení na trojfázovou síť. Toto zapojení bývá užíváno například u oběhových čerpadel ústředního topení.

Další možností je zapojení trojfázového motoru jako motor se stíněným pólem. Toto zapojení spočívá v tom že se 2 vinutí spojené v sérii napájí jednofázově a třetí vinutí se spojí nakrátko (viz. obr. 22). Při tomto provozu však motor můžeme zatěžovat maximálně třetinovým výkonem. Tohoto zapojení se užívalo hlavně v době kdy kondenzátory větších kapacit na vyšší napětí bývaly velmi drahé a proto se vyplatilo provozovat z větší části nevyužitý motor. V dnešní době se však toto zapojení již nepoužívá, jelikož vyjde cenově mnohem výhodněji provozovat motor s kondenzátorem, nehledě k tomu že celé zařízení je mnohem méně rozměrné.



obr. 22 Další možnost napájení trojfázového motoru z jednofázové sítě



1.6. Způsoby určení kapacity kondenzátoru

Požadovaná kapacita kondenzátoru je závislá na síťovém napětí. Při 230V a kmitočtu 50Hz je 70 μ F na 1kW výkonu motoru.

V elektrotechnické literatuře jsou uváděny různé vzorce podle kterých je možné určit kapacitu kondenzátoru.

Příklady různých empirických vzorců:

$$C = k.P \quad (1.5)$$

kde je:

C - kapacita kondenzátoru (μ F)

k - konstanta závislá na napětí sítě

P - výkon trojfázového motoru (kW)

platí:

k = 25 pro napětí 400V

k = 68 pro napětí 230V

k = 200 pro napětí 110V

$$C = \frac{P}{U^2 \cdot f} \quad (1.6)$$

kde je

C - kapacita kondenzátoru (F)

U - napětí sítě (V)

P - výkon motoru (W)

f - kmitočet sítě (Hz)

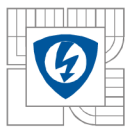
$$C = 68.P \quad (1.7)$$

kde je

C - kapacita kondenzátoru (μ F)

P - výkon trojfázového motoru (kW)

(Karel Štech, elektroinstalace doma a na chatě)

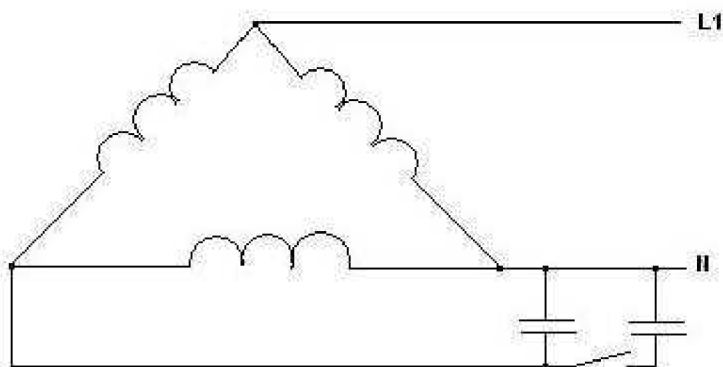


Další možnost určení kapacity kondenzátoru je z následující tabulky

výkon trojfázového motoru (kW)		0,6	0,8	1,1	1,5	2,2	3
C(μF)	lehký rozběh	30	40	60	80	110	150
	těžký rozběh	60	80	110	150	220	300

(Ladislav Voženílek, Kurs elektrotechniky)

Dále je možno provozovat motor se dvěma kondenzátory, z nichž jeden je připojen trvale a druhý je připojen pouze při rozběhu a po rozběhnutí motoru je odpojen. (obr. 23.) V tomto případě je možné pro odpojovaný kondenzátor použít kondenzátor elektrolytický (v případě že nemáme jiný kondenzátor o požadované kapacitě)

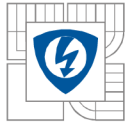


obr.23. zapojení se dvěma kondenzátory

Kapacity kondenzátorů můžeme určit z následující empirické tabulky

Výkon motoru	Trvale připojený kondenzátor	Odpojovaný kondenzátor
W	μF	μF
100 - 200	5 - 8	8 - 10
200 - 300	8 - 12	10 - 16
300 - 500	10 - 16	16 - 24
500 - 750	16 - 25	25 - 40
750 - 1000	25 - 35	40 - 51

(Klaus Tkotz, Příručka pro elektrotechnika)



2. Základní návrh jednofázového asynchronního motoru s trvale připojeným kondenzátorem

2.1. Hlavní rozměry statoru stroje

Výkon trojfázového stroje stejných rozměrů jako jednofázový

$$S_3 = \frac{1}{\gamma} \cdot P \quad P_3 = \frac{1}{\gamma} \cdot P [\text{VA}; \text{W}] \quad (2.1)$$

$\cos \varphi_3 \eta_3$

Vnější průměr statoru

$$D_{1\min} = 0,1056 \cdot P_3^{0,3216} \quad D_{1\max} = 0,1221 \cdot P_3^{0,2897} \quad D_1 = \frac{D_{1\min} + D_{1\max}}{2} [\text{m}] \quad (2.2)$$

Vnitřní průměr statoru

$$D = k_s \cdot D_1 [\text{m}]; \quad k_s = 0,5 \quad \text{pro } 2p = 2; \quad k_s = 0,2 \quad \text{pro } 2p = 4 \quad (2.3)$$

Pólová rozteč

$$t_p = \frac{\pi D}{2p} [\text{cm}; \text{cm}] \quad (2.4)$$

Lineární proudová hustota

$$A = 11153 \ln D_1 + 44999 [\text{A} \cdot \text{m}^{-1}; \text{m}] \quad (2.5)$$

Ideální délka železa

$$l = \frac{8,6 \cdot 10^4}{B_\delta \cdot A \cdot D^2} \cdot \frac{S_3}{n_s} [\text{cm}; \text{A} \cdot \text{cm}^{-1}; \text{T}; \text{VA}; \text{ot. min}^{-1}] \quad (2.6)$$

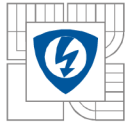
Štíhlostní poměr

$$\lambda = \frac{l}{t_p} [\text{cm}] \quad \lambda = 0,6 \div 1 \quad \text{pro } 2p = 2; \quad \lambda = 1 \div 1,4 \quad \text{pro } 2p = 4 \quad (2.7)$$

2.2. Vinutí statoru

Magnetický tok

$$\phi = \frac{l \cdot D \cdot B_\delta \cdot 10^{-4}}{p} [\text{Wb}; \text{W}; \text{T}; \text{cm}] \quad (2.8)$$



Činitel vinutí hlavní a pomocné fáze

$$k_{VA} = \frac{\sin q_A \cdot \frac{\alpha}{2}}{q_A \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad k_{VB} = \frac{\sin q_B \cdot \frac{\alpha}{2}}{q_B \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (2.9)$$

q - počet drážek na pól a fázi

α - úhel mezi sousedními drážkami ve stupních

Počet závitů hlavní fáze

$$N_A = \frac{U \cdot (1 - \varepsilon_1)}{4,44 \cdot f \cdot k_{VA} \cdot \phi} [V; Hz; Wb; záv.] \quad (2.10)$$

Napětí na pomocném vinutí - přibližně platí

$$U_B' = a \cdot 0,42 \cdot U_A [V] \quad (2.11)$$

Proud hlavní fáze

$$I_A = \frac{P}{\eta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot U \cdot (1 + k_{Cu})} [A] \quad k_{Cu} \approx \frac{1}{2} \quad (2.12)$$

Počet závitů pomocné fáze

$$N_B = \frac{0,63 |U_B'| \cdot k_{VA} \cdot N_A}{|U_B'| \cdot k_{VB}} \quad (2.13)$$

Proud pomocné fáze

$$I_B = k_{Cu} \cdot a \cdot I_A \cdot \frac{k_{VA} \cdot N_A}{k_{VB} \cdot N_B} \quad (2.14)$$

Kapacita kondenzátoru

$$C = \frac{3180 \cdot I_B}{\sqrt{U_A^2 + U_B'^2}} [\mu F; A; V] \quad (2.15)$$

Průřez vodiče hlavního vinutí

$$S_A = \frac{I_A}{\sigma_A} [A; A \cdot mm^{-2}; mm^2] \quad (2.16)$$

Potřebná plocha drážky

$$S_d = \frac{2 \cdot N_A \cdot S_A'}{Q_{1A} \cdot k_d} [mm^2] \quad (2.17)$$

Q_{1A} - počet drážek připadající pro hlavní vinutí

Q_1 - počet drážek statoru, u jednofázových motorů většinou 24

k_d - plnění drážky (0,41)

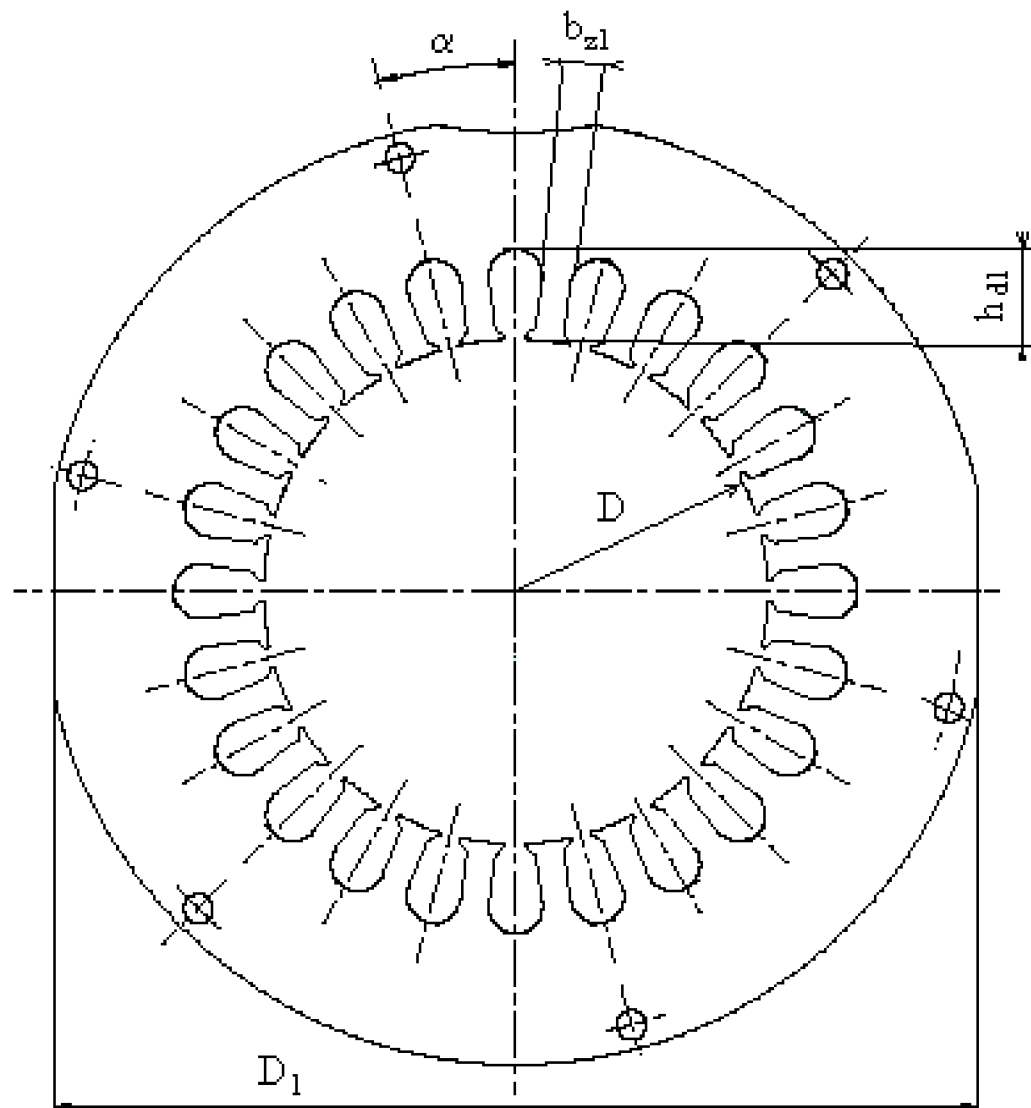
S_A' - průřez vodiče s izolací

Šířka zubů statoru

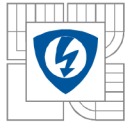
$$b_{z1} = \frac{B_{\delta}}{B_{z1}} \cdot \frac{\pi \cdot (D - \delta)}{2} \cdot 0,9 \cdot Q_1 \quad [cm; T] \quad (2.18)$$

B_{z1} - indukce v zubech statoru (1,55T)

δ - šířka vzduchové mezery



Obr. 24. Ukázka plechu statoru



2.3. Výpočet rotoru

Šířka zubu rotoru

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta}}{B_{z2}} \cdot \frac{\pi \cdot (D - \frac{\delta}{2})}{0,9 \cdot Q_2} [cm; T] \quad (2.19)$$

Q_2 - počet drážek rotoru

B_{z2} - indukce v zubech rotoru (1,7T)

Odpor rotorového vinutí pro zvolený skluz

$$R_t' = \frac{(1-s) \cdot s \cdot U^2 \cdot (1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot Q_2 \cdot k_{vt}}{4 \cdot N_A^2 \cdot k_{vA}^2 \cdot (P + 2 \cdot \Delta P_m)} [mm^2] \quad (2.20)$$

$\varepsilon_{1,2}$ - úbytky na vinutí

ΔP_m - mechanické ztráty motoru

Činitel vinutí rotoru

$$k_{vt} = \frac{\sin \frac{0,8 \cdot \pi}{2 \cdot t_p}}{\frac{0,8 \cdot \pi}{2 \cdot t_p}} \quad (2.21)$$

Proud rotorové tyče

$$I_{dt} = \frac{s \cdot U \cdot (1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot k_{vt}}{2 \cdot N_A \cdot k_{vA} \cdot R_t'} [A; V; \Omega] \quad (2.22)$$

Průřez rotorové tyče

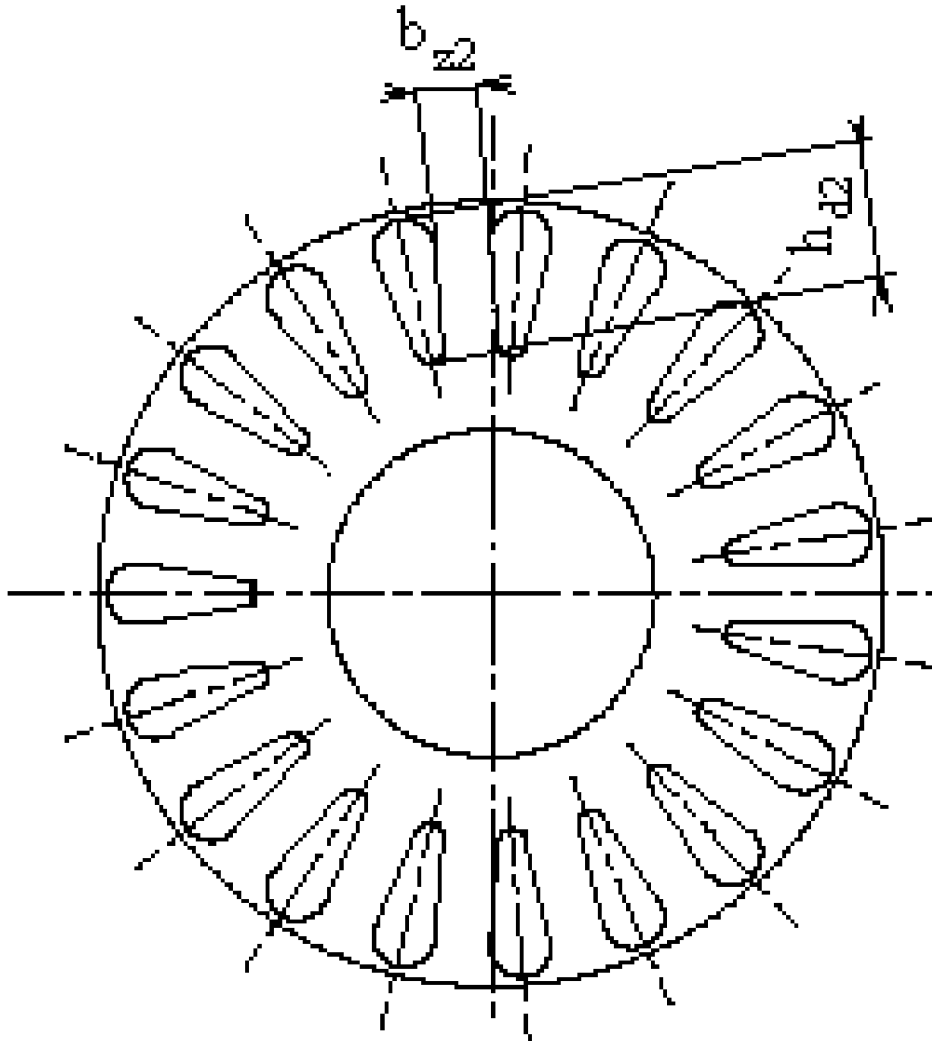
$$S_t = \frac{I_{dt}}{\sigma_{dt}} [A; A \cdot mm^{-2}; mm^2] \quad (2.23)$$

Proud v rotorovém kruhu

$$I_{dkr} = \frac{I_{dt}}{2 \cdot \sin \frac{p \cdot \pi}{Q_2}} [A] \quad (2.24)$$

Průřez rotorového kruhu

$$S_{kr} = \frac{I_{dkr}}{\sigma_{dkr}} [A; A \cdot mm^{-2}; mm^2] \quad (2.25)$$



obr. 24. Ukázka plechu rotoru

2.4.Konstanty stroje

Délka závitů statorového vinutí

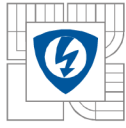
$$l_z = 2l + \pi \cdot D_1 [cm] \quad (2.26)$$

Činný odpor hlavního vinutí statoru

$$R_A = \frac{N_A \cdot l_z \cdot \rho}{S_A} = \frac{N_A \cdot l_z}{47 \cdot S_A} [\Omega; \Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}; m; mm^2] \quad (2.27)$$

Činný odpor rotorové tyče

$$R_r = \frac{l_r \cdot \rho}{S_r} [\Omega; \Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}; m; mm^2] \quad (2.28)$$



Činný odpor rotorového kruhu

$$R_{kr} = \frac{\pi \cdot d_{kr} \cdot \rho}{S_{kr} \cdot Q_2} [\Omega; \Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}; m; mm^2] \quad (2.29)$$

Činný odpor "jedné fáze" rotoru

$$R_t' = R_t + \frac{R_{kr}}{2 \cdot \sin^2 \frac{p \cdot \pi}{Q_2}} [\Omega] \quad (2.30)$$

Odpor rotoru přepočtený na stator

$$R_2 = \frac{4 \cdot m \cdot (N_A \cdot k_{VA})^2}{Q_2 \cdot k_{Vt}^2} \cdot R_t' [\Omega] \quad (2.31)$$

m - počet fází statoru

Konstanty pro určení magnetizační reaktance

Carterův činitel pro stator

$$k_{\delta 1} = \frac{\tau_{d1}}{\tau_{d1} + \delta - \frac{3}{4} b_1'} [-; mm] \quad (2.32)$$

Carterův činitel pro rotor

$$k_{\delta 2} = \frac{\tau_{d2}}{\tau_{d2}} = 1 [-; mm] \quad (2.33)$$

τ_d - drážková rozteč

$b_{1,2}'$ - otevření drážky

Efektivní vzduchová mezera

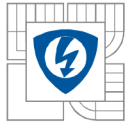
$$\delta' = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} \cdot \delta [mm] \quad (2.34)$$

Magnetické napětí na vzduchové mezeře

$$U_{m\delta} = 1,6 \cdot \delta' \cdot B_\delta \cdot 10^4 [A; cm; T] \quad (2.35)$$

Magnetické napětí na zubech statoru

$$U_{mz1} = H_{z1} \cdot h_{d1} \cdot 10^{-2} [A; A \cdot m^{-1}; cm] \quad (2.36)$$



Indukce ve jhu statoru

$$B_{j1} = \frac{B_{\delta}}{D_1 - (D - 2 \cdot h_{d1})} \cdot \frac{D}{p \cdot 0,9} [T; cm] \quad (2.37)$$

Magnetické napětí jha statoru

$$U_{mj1} = H_{j1} \cdot D_1 \cdot 10^{-2} [A; A \cdot m^{-1}; cm] \quad (2.38)$$

Magnetické napětí na zubech rotoru

$$U_{mz2} = H_{z2} \cdot h_{d2} \cdot 10^{-2} [A; A \cdot m^{-1}; cm] \quad (2.39)$$

$h_{d1,2}$ - hloubka drážky statoru, rotoru

Indukce ve jhu rotoru

$$B_{j2} = \frac{B_{\delta}}{D - 2h_{d2}} \cdot \frac{D - 2\delta}{p \cdot 0,9} [T; cm] \quad (2.40)$$

Magnetické napětí jha rotoru

$$U_{mj2} = H_{j2} \cdot (D - 2\delta) \cdot 10^{-2} [A; A \cdot m^{-1}; cm] \quad (2.41)$$

Celkové magnetické napětí na obvodu

$$U_m = U_{m\delta} + U_{mz1} + U_{mz2} + U_{mj1} + U_{mj2} [A] \quad (2.42)$$

Ekvivalentní vzduchová mezera

$$\delta'' = \delta \cdot \frac{U_m}{U_{m\delta}} [A; cm; A]$$

Magnetizační reaktance

$$X_h = 1,6 \cdot m \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A \cdot k_{VA}}{100} \right)^2 \cdot \frac{t_p}{100 \cdot \delta''} \cdot \frac{l}{p} [\Omega; cm; Hz] \quad (2.43)$$

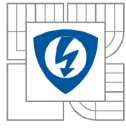
Reaktance samotné vzduchové mezery

$$X_h' = X_h \cdot \frac{\delta''}{\delta} [\Omega; cm; \Omega] \quad (2.44)$$

Konstanty pro určení rozptylové reaktance statoru

Součinitel diferenčního rozptylu

$$\sigma_{A0} = \frac{\pi^2 \cdot p}{k_{VA}^2 \cdot Q_1} \cdot \left(-\frac{1}{6} \cdot q + \frac{1}{4} \cdot \frac{Q_1}{2 \cdot p} + \frac{1}{6 \cdot q} \right) [-] \quad (2.45)$$



Diferenční rozptylová reaktance statoru

$$X_{A0} = \sigma_{A0} \cdot X_h' [\Omega] \quad (2.46)$$

Rozptyl přes hlavy zubů

$$\lambda_{z1} = \frac{(\tau_{d2} - 0,75(b_1' + b_2'))^2}{6 \cdot \tau_{d2} \cdot \delta} [-; cm; cm] \quad (2.47)$$

Rozptylová reaktance pro hlavy zubů

$$X_z = 0,158 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A}{100}\right)^2 \cdot \frac{l}{p} \cdot \frac{\lambda_z}{q} [\Omega; Hz; cm] \quad (2.48)$$

Součinitel rozptylu od natočení drážek

$$\sigma_q = 1,64 \cdot \left(\frac{p}{Q_2} \cdot \frac{0,8}{\tau_{d2}}\right)^2 [-; cm] \quad (2.49)$$

Rozptylová reaktance od natočení drážek

$$X_{Aq} = \sigma_q \cdot X_h' [\Omega; \Omega] \quad (2.50)$$

Vodivost statorové drážky

$$\lambda_d = \frac{0,531h_{d1}}{3b_1} + 0,66 + \frac{0,046h_{d1}}{b_1} [-; cm; cm] \quad (2.51)$$

b_1 - šířka drážek statoru

Rozptylová reaktance statorové drážky

$$X_{Ad} = 0,158 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A}{100}\right)^2 \cdot \frac{l}{p} \cdot \frac{\lambda_d}{q} [\Omega; Hz; cm] \quad (2.52)$$

Rozptylová reaktance přes čela vinutí

$$X_{Ac} = 0,158 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A}{100}\right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} \cdot 0,15 [\Omega; Hz; cm] \quad (2.53)$$

Rozptylová reaktance statoru

$$X_{\sigma 1} = X_{A0} + X_{Ad} + X_{Ac} + X_{Aq} [\Omega] \quad (2.54)$$

Konstanty pro výpočet rozptylové reaktance rotoru

Činitel diferenčního rozptylu rotoru

$$\sigma_{20} = 3,33 \cdot \left(\frac{p}{Q_2} \right)^2 [- -] \quad (2.55)$$

Diferenční rozptylová reaktance rotoru

$$X_{20} = \sigma_{20} \cdot X'_h [\Omega; \Omega] \quad (2.56)$$

Vodivost uzavřené drážky

$$\lambda_{d2} = \frac{0,531h_{d2}}{3 \cdot b_2} + 0,66 + 3,6 [- - ; cm; cm] \quad (2.57)$$

Drážková rozptylová reaktance rotoru

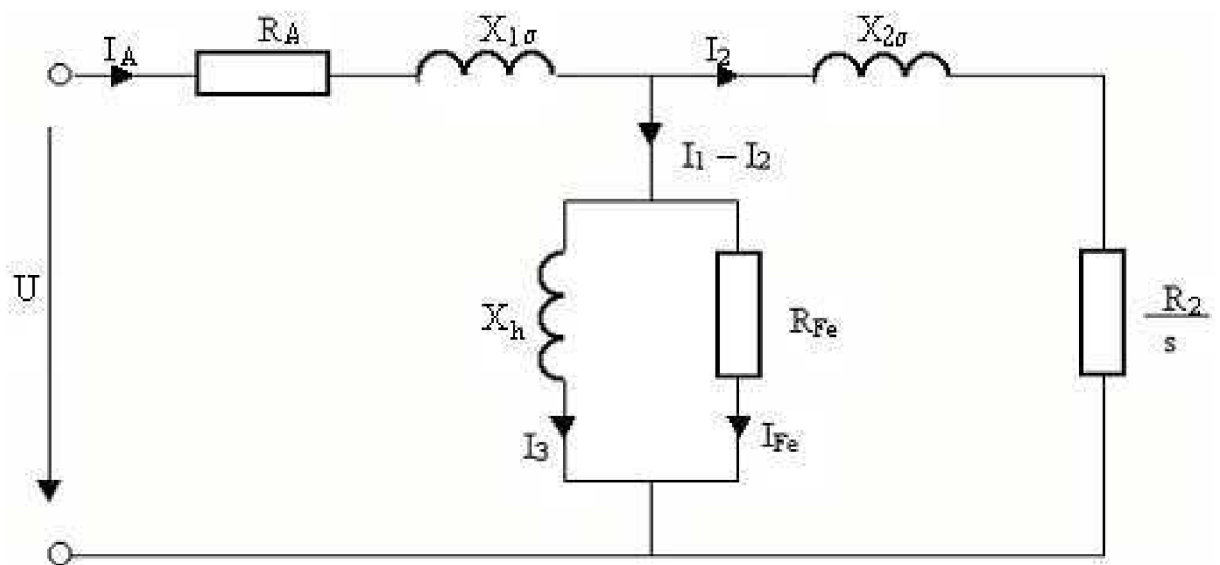
$$X_{2d} = 0,316 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A \cdot k_{VA}}{100 \cdot k_{Vt}} \right)^2 \cdot l \cdot \frac{m \cdot \lambda_{d2}}{Q_2} [\Omega; Hz; cm] \quad (2.58)$$

Rozptylová reaktance od natočení drážek rotoru

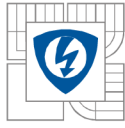
$$X_{2q} = X_{Aq} [\Omega; \Omega] \quad (2.59)$$

Rozptylová reaktance rotoru

$$X_{\sigma 2} = X_{20} + X_{2d} + X_{2q} [\Omega] \quad (2.60)$$



obr. 25 Náhradní schéma jedné fáze počítaného motoru



2.5. Ztráty a účinnost

hmotnost jha statoru a rotoru $\rho_{Fe} = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$

$$m_j = \left\{ \left(\frac{\pi \cdot D_1^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D - 2 \cdot h_{d1})^2}{4} \right) \cdot l + \left(\frac{\pi \cdot (D - 2 \cdot h_{d2})^2}{4} \right) \cdot l \right\} \cdot \rho_{Fe} \cdot 10^{-8} [\text{kg}; \text{cm}; \text{kg.m}^{-3}] \quad (2.61)$$

hmotnost zubů statoru a rotoru $\rho_{Fe} = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$

$$m_z = (24 \cdot b_{z1} \cdot h_{d1} \cdot l + 19 \cdot b_{z2} \cdot h_{d2} \cdot l) \cdot \rho_{Fe} \cdot 10^{-8} [\text{kg}; \text{cm}; \text{kg.m}^{-3}] \quad (2.62)$$

Ztráty v železe

$$\Delta P_{Fe} = 1,8 \cdot (p_{1,0} \cdot m_j + p_{1,0} \cdot m_z) \quad (2.63)$$

$m_{j,z}$ - hmotnost jha, zubů

$p_{1,0}$ - ztrátové číslo magnetického materiálu

Fiktivní odpor železa

$$R_{Fe} = \frac{U^2}{\Delta P_{Fe}} [\Omega; V; W] \quad (2.64)$$

Ztráty ve vinutí statoru

$$\Delta P_{CuA} = R_A \cdot I_A^2 [W; \Omega; A] \quad (2.65)$$

Ztráty ve vinutí rotoru

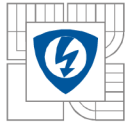
$$\Delta P_{Cu2} = R_2 \cdot I_A^2 [W; \Omega; A] \quad (2.66)$$

Příkon motoru

$$P_1 = P + 2 \cdot \Delta P_{CuA} + 2 \cdot \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_m [W] \quad (2.67)$$

Účinnost motoru

$$\eta = \frac{P}{P_1} \quad (2.68)$$



3. Příklad výpočtu pro motor $P = 2200W$; $n = 2860\text{ot/min}$; $U = 230V$; $f = 50\text{Hz}$

3.1. Rozměry stroje

Výkon trojfázového stroje stejných rozměrů jako jednofázový

$$S_3 = \frac{\frac{1}{\gamma} \cdot P}{\cos \varphi_3 \eta_3} = \frac{\frac{1}{1} \cdot 2200}{0,95 \cdot 0,92} = 2517VA$$

$$P_3 = \frac{1}{\gamma} \cdot P = \frac{1}{1} \cdot 2200 = 2200W$$

Vnější průměr statoru

$$D_{1\min} = 0,1056 \cdot P_3^{0,3216} = 0,1056 \cdot 2,2^{0,3216} = 0,1360m$$

$$D_{1\max} = 0,1221 \cdot P_3^{0,2897} = 0,1221 \cdot 2,2^{0,2897} = 0,1534m$$

$$D_1 = \frac{D_{1\min} + D_{1\max}}{2} = \frac{0,1360 + 0,1534}{2} = 0,1447m$$

Vnitřní průměr statoru

$$k_s = 0,5 \quad \text{pro } 2p = 2;$$

$$D = k_s \cdot D_1 = 0,5 \cdot 0,1447 = 0,0724m$$

Pólová rozteč

$$t_p = \frac{\pi D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 7,24}{2 \cdot 1} = 11,37cm$$

Lineární proudová hustota

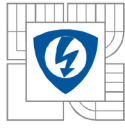
$$A = 11153 \ln D_1 + 44999 = 11153 \cdot \ln 0,1447 + 44999 = 23439 A \cdot m^{-1} = 234,39 A \cdot cm^{-1}$$

Ideální délka železa (volíme $B_\delta = 0,65T$)

$$l = \frac{8,6 \cdot 10^4}{B_\delta \cdot A \cdot D^2} \cdot \frac{S_3}{n_s} = \frac{8,6 \cdot 10^4}{0,65 \cdot 234,39 \cdot 7,24^2} \cdot \frac{2517}{3000} = 10,77cm$$

Štíhlostní poměr ($\lambda = 0,6 \div 1$ pro $2p = 2$)

$$\lambda = \frac{l}{t_p} = \frac{10,77}{11,37} = 0,95$$



3.2. Vinutí statoru

Magnetický tok

$$\phi = \frac{l \cdot D \cdot B_{\delta} \cdot 10^{-4}}{p} = \frac{10,77 \cdot 7,24 \cdot 0,65 \cdot 10^{-4}}{1} = 5,07 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

Počty drážek na pól a fázi

$$q_A = \frac{\frac{2}{3} Q_1}{2 \cdot p} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 24}{2 \cdot 1} = 8$$

$$q_B = \frac{\frac{1}{3} Q_1}{2 \cdot p} = \frac{\frac{1}{3} \cdot 24}{2 \cdot 1} = 4$$

Činitel vinutí hlavní a pomocné fáze

$$k_{VA} = \frac{\sin q_A \cdot \frac{\alpha}{2}}{q_A \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 8 \cdot \frac{15}{2}}{8 \cdot \sin \frac{15}{2}} = \frac{0,866}{1,044} = 0,8295$$

$$k_{VB} = \frac{\sin q_B \cdot \frac{\alpha}{2}}{q_B \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 4 \cdot \frac{15}{2}}{4 \cdot \sin \frac{15}{2}} = \frac{0,5}{0,5221} = 0,9577$$

Počet závitů hlavní fáze, volíme $\epsilon_1 = 0,15$

$$N_A = \frac{U \cdot (1 - \epsilon_1)}{4,44 \cdot f \cdot k_{VA} \cdot \phi} = \frac{230 \cdot (1 - 0,15)}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,8295 \cdot 5,07 \cdot 10^{-3}} = 209 \text{ záv.}$$

Proud hlavní fáze ($k_{Cu} \approx \frac{1}{2}$)

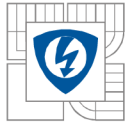
$$I_A = \frac{P}{\eta_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot U \cdot (1 + k_{Cu})} = \frac{2200}{0,95 \cdot 0,92 \cdot 230 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 7,3 \text{ A}$$

Napětí na pomocném vinutí

$$U_B' = a \cdot 0,42 \cdot U_A = j96,6 \text{ V}$$

Počet závitů pomocné fáze

$$N_B = \frac{0,63 |U_B'|}{|U_B'|} \cdot \frac{k_{VA} \cdot N_A}{k_{VB}} = \frac{0,55 \cdot 96,6}{96,6} \cdot \frac{0,8295 \cdot 209}{0,9577} = 100 \text{ záv.}$$



Proud pomocné fáze

$$I_B = k_{Cu} \cdot a \cdot I_A \cdot \frac{k_{VA} \cdot N_A}{k_{VB} \cdot N_B} = j \frac{1}{2} \cdot 7,3 \cdot \frac{0,8295 \cdot 209}{0,9577 \cdot 100} = j6,6A$$

Kapacita kondenzátoru

$$C = \frac{3180 \cdot |I_B|}{\sqrt{U_A^2 + (0,63 \cdot |U_B'|)^2}} = \frac{3180 \cdot 6,6}{\sqrt{230^2 + (0,63 \cdot 96,6)^2}} = 88,2 \mu F$$

Průřez vodiče hlavního vinutí

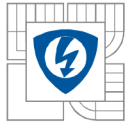
$$S_A = \frac{I_A}{\sigma_A} = \frac{7,3}{6,5} = 1,12 \text{ mm}^2 \quad \text{volíme } d_A = 1,2 \text{ mm}, S_A = 1,13 \text{ mm}^2$$

Potřebná plocha drážky

$$S_d = \frac{2 \cdot N_A \cdot S_A'}{Q_{1A} \cdot k_d} = \frac{2 \cdot 209 \cdot 1,13 \cdot 1,6}{\frac{2}{3} \cdot 24 \cdot 0,41} = 115 \text{ mm}^2$$

Šířka zubů statoru , volíme: $\delta = 0,03 \text{ cm}$; $B_{z1} = 1,55 \text{ T}$

$$b_{z1} = \frac{B_\delta}{B_{z1}} \cdot \frac{\pi \cdot (D - \frac{\delta}{2})}{0,9 \cdot Q_1} = \frac{0,65}{1,55} \cdot \frac{3,14 \cdot (7,24 - 0,015)}{0,9 \cdot 24} = 0,44 \text{ cm}$$



3.3 Výpočet rotoru

Šířka zubu rotoru, volíme $B_{z2} = 1,7T$, $Q_2 = 19$

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta}}{B_{z2}} \cdot \frac{\pi \cdot (D - \frac{\delta}{2})}{0,9 \cdot Q_2} = \frac{0,65}{1,7} \cdot \frac{3,14 \cdot (7,24 - 0,015)}{0,9 \cdot 19} = 0,51 \text{ cm}$$

Činitel vinutí rotoru

$$k_{Vr} = \frac{\sin \frac{0,8 \cdot \pi}{2 \cdot t_p}}{\frac{0,8 \cdot \pi}{2 \cdot t_p}} = \frac{\sin \frac{0,8 \cdot \pi}{2 \cdot 11,37}}{\frac{0,8 \cdot \pi}{2 \cdot 11,37}} = 0,998$$

Odpor rotorového vinutí pro zvolený skluz, volíme $s = 0,046$; $\varepsilon_2 = 0,1$; $\Delta P_m = 10W$

$$R_t' = \frac{(1-s) \cdot s \cdot U^2 \cdot (1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot Q_2 \cdot k_{Vr}}{4 \cdot N_A^2 \cdot k_{VA}^2 \cdot (P + 2 \cdot \Delta P_m)} =$$
$$= \frac{(1 - 0,046) \cdot 0,046 \cdot 230^2 \cdot (1 - 0,15 - 0,1) \cdot 19 \cdot 0,998}{4 \cdot 134^2 \cdot 0,8295^2 \cdot (2200 + 20)} = 2,98 \cdot 10^{-4} \Omega$$

Proud rotorové tyče

$$I_{dt} = \frac{s \cdot U \cdot (1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot k_{Vr}}{2 \cdot N_A \cdot k_{VA} \cdot R_t'} = \frac{0,046 \cdot 230 \cdot (1 - 0,15 - 0,1) \cdot 0,998}{2 \cdot 134 \cdot 0,8295 \cdot 2,98 \cdot 10^{-4}} = 119,54A$$

Průřez rotorové tyče volíme $\sigma_{dt} = 4,25A/mm^2$

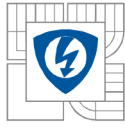
$$S_t = \frac{I_{dt}}{\sigma_{dt}} = \frac{119,54}{4,25} = 28,13mm^2$$

Proud v rotorovém kruhu

$$I_{dkr} = \frac{I_{dt}}{2 \cdot \sin \frac{p \cdot \pi}{Q_2}} = \frac{119,54}{2 \cdot \sin \frac{\pi}{19}} = 363,13A$$

Průřez rotorového kruhu

$$S_{kr} = \frac{I_{dkr}}{\sigma_{dkr}} = \frac{363,13}{4,25} = 85,44mm^2$$



3.4. Konstanty stroje

Délka závitů statorového vinutí

$$l_z = 2.l + \pi.D_1 = 2.10,77 + \pi.14,47 = 67 \text{ cm}$$

Činný odpor hlavního vinutí statoru

$$R_A = \frac{N_A I_z \cdot \rho}{S_A} = \frac{N_A I_z}{47.S_A} = \frac{134.0,67}{47.1,13} = 0,137 \Omega$$

Činný odpor rotorové tyče

$$R_t = \frac{l_t \cdot \rho}{S_t} = \frac{10,77.0,0267.10^{-6}}{28,13.10^{-4}} = 1,02.10^{-4} \Omega$$

Činný odpor rotorového kruhu

$$R_{kr} = \frac{\pi.d_{kr} \cdot \rho}{S_{kr} \cdot Q_2} = \frac{\pi.7,24.2.0,0267.10^{-6}}{85,44.10^{-4}.19} = 7,48.10^{-6} \Omega$$

Činný odpor "jedné fáze" rotoru

$$R_t' = R_t + \frac{R_{kr}}{2 \cdot \sin^2 \frac{p \cdot \pi}{Q_2}} = 1,02.10^{-4} + \frac{7,48.10^{-6}}{2 \cdot \sin^2 \frac{1 \cdot \pi}{19}} = 2,4.10^{-4} \Omega$$

Odpor rotoru přepočtený na stator

$$R_2 = \frac{4.m.(N_A.k_{VA})^2}{Q_2.k_{Vt}^2} \cdot R_t' = \frac{4.2.(134.0,8295)^2}{19.0,988^2} \cdot 2,4.10^{-4} = 1,28 \Omega$$

Konstanty pro určení magnetizační reaktance

Carterův činitel pro stator

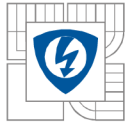
$$k_{\delta 1} = \frac{\tau_{d1}}{\tau_{d1} + \delta - \frac{3}{4}b_1'} = \frac{9,48}{9,48 + 0,3 - \frac{3}{4}.7,5} = 2,28$$

Carterův činitel pro rotor

$$k_{\delta 2} = \frac{\tau_{d2}}{\tau_{d2}} = 1$$

Efektivní vzduchová mezera

$$\delta' = k_{\delta 1}.k_{\delta 2}.\delta = 2,28.1.0,3 = 0,684 \text{ mm}$$



Magnetické napětí na vzduchové mezeře

$$U_{m\delta} = 1,6 \cdot \delta' \cdot B_{\delta} \cdot 10^4 = 1,6 \cdot 0,0684 \cdot 0,65 \cdot 10^4 = 711A$$

Magnetické napětí na zubech statoru

$$B_{z1} = 1,55T \Rightarrow H_{z1} = 1860A \cdot m^{-1}$$

$$U_{mz1} = H_{z1} \cdot h_{d1} \cdot 10^{-2} = 1860 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} = 46,5A$$

Indukce ve jhu statoru

$$B_{j1} = \frac{B_{\delta}}{D_1 - (D - 2 \cdot h_{d1})} \cdot \frac{D}{p \cdot 0,9} = \frac{0,65}{14,47 - (14,47 - 5)} \cdot \frac{7,24}{1 \cdot 0,9} = 1,05T$$

Magnetické napětí jha statoru $B_{j1} = 1,05T \Rightarrow H_{j1} = 300A \cdot m^{-1}$

$$U_{mj1} = H_{j1} \cdot D_1 \cdot 10^{-2} = 300 \cdot 14,47 \cdot 10^{-2} = 43,41A$$

Magnetické napětí na zubech rotoru $B_{z2} = 1,7T \Rightarrow H_{z2} = 2350A \cdot m^{-1}$

$$U_{mz2} = H_{z2} \cdot h_{d2} \cdot 10^{-2} = 2350 \cdot 1,43 \cdot 10^{-2} = 33,6A$$

Indukce ve jhu rotoru

$$B_{j2} = \frac{B_{\delta}}{D - 2h_{d2}} \cdot \frac{D - 2\delta}{p \cdot 0,9} = \frac{0,65}{7,24 - 2,86} \cdot \frac{7,24 - 0,06}{1 \cdot 0,9} = 1,18T$$

Magnetické napětí jha rotoru $B_{j2} = 1,18T \Rightarrow H_{j2} = 480A \cdot m^{-1}$

$$U_{mj2} = H_{j2} \cdot (D - 2 \cdot h_{d2}) \cdot 10^{-2} = 480 \cdot (7,24 - 2,86) \cdot 10^{-2} = 21A$$

Celkové magnetické napětí na obvodu

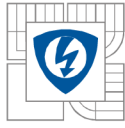
$$U_m = U_{m\delta} + U_{mz1} + U_{mz2} + U_{mj1} + U_{mj2} = \\ = 711 + 46,5 + 43,4 + 33,6 + 21 = 855,5A$$

Ekvivalentní vzduchová mezera

$$\delta'' = \delta' \cdot \frac{U_m}{U_{m\delta}} = 0,0684 \cdot \frac{855,5}{711} = 0,0823cm$$

Magnetizační reaktance

$$X_h = 1,6 \cdot m \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A \cdot k_{VA}}{100} \right)^2 \cdot \frac{t_p}{100 \cdot \delta''} \cdot \frac{l}{p} = \\ = 1,6 \cdot 2 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{209 \cdot 0,8295}{100} \right)^2 \cdot \frac{11,37}{100 \cdot 0,0823} \cdot \frac{10,77}{1} = 71,6\Omega$$



Reaktance samotné vzduchové mezery

$$X_h' = X_h \cdot \frac{\delta''}{\delta'} = 71,6 \cdot \frac{0,0823}{0,0684} = 86,2\Omega$$

Konstanty pro určení rozptylové reaktance statoru

Součinitel diferenčního rozptylu

$$\begin{aligned}\sigma_{A0} &= \frac{\pi^2 \cdot p}{k_{VA}^2 \cdot Q_1} \cdot \left(-\frac{1}{6} \cdot q + \frac{1}{4} \cdot \frac{Q_1}{2 \cdot p} + \frac{1}{6 \cdot q} \right) - 1 = \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 1}{0,8295^2 \cdot 24} \cdot \left(-\frac{1}{6} \cdot 8 + \frac{1}{4} \cdot \frac{24}{2 \cdot 1} + \frac{1}{6 \cdot 8} \right) - 1 = 0,0086\end{aligned}$$

Diferenční rozptylová reaktance

$$X_{A0} = \sigma_{A0} \cdot X_h' = 0,0086 \cdot 86,2 = 0,74\Omega$$

Rozptyl přes hlavy zubů

$$\lambda_{z1} = \frac{(\tau_{d2} - 0,75(b_1' + b_2'))^2}{6 \cdot \tau_{d2} \cdot \delta} = \frac{(0,378 - 0,75(0,75 + 0))^2}{6 \cdot 0,378 \cdot 0,03} = 0,03$$

Rozptylová reaktance pro hlavy zubů

$$X_z = 0,158 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A}{100} \right)^2 \cdot \frac{l}{p} \cdot \frac{\lambda_z}{q} = 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{209}{100} \right)^2 \cdot \frac{10,77}{1} \cdot \frac{0,03}{8} = 0,014\Omega$$

Součinitel rozptylu od natočení drážek

$$\sigma_q = 1,64 \cdot \left(\frac{p}{Q_2} \cdot \frac{0,8}{\tau_{d2}} \right)^2 = 1,64 \cdot \left(\frac{1}{19} \cdot \frac{0,8}{0,378} \right)^2 = 0,0203$$

Rozptylová reaktance od natočení drážek

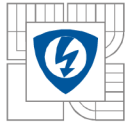
$$X_{Aq} = \sigma_q \cdot X_h' = 0,0203 \cdot 86,2 = 1,75\Omega$$

Vodivost statorové drážky

$$\lambda_d = \frac{0,531 h_{d1}}{3 \cdot b_1} + 0,66 + \frac{0,046 h_{d1}}{b_1} = \frac{0,531 \cdot 2,5}{3 \cdot 0,95} + 0,66 + \frac{0,046 \cdot 2,5}{0,75} = 1,28$$

Rozptylová reaktance statorové drážky

$$X_{Ad} = 0,158 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A}{100} \right)^2 \cdot \frac{l}{p} \cdot \frac{\lambda_d}{q} = 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{209}{100} \right)^2 \cdot \frac{10,77}{1} \cdot \frac{1,28}{8} = 0,59\Omega$$



Rozptylová reaktance přes čela vinutí

$$X_{Ae} = 0,158 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A}{100} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} \cdot 0,15 = 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{209}{100} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 7,24}{2 \cdot 1} \cdot 0,15 = 0,59 \Omega$$

Rozptylová reaktance statoru

$$X_{\sigma 1} = X_{A0} + X_{Ad} + X_{Ae} + X_{Aq} = 0,74 + 0,59 + 0,59 + 1,75 = 3,67 \Omega$$

Konstanty pro výpočet rozptylové reaktance rotoru

Činitel diferenčního rozptylu

$$\sigma_{20} = 3,33 \cdot \left(\frac{p}{Q_2} \right)^2 = 3,33 \cdot \left(\frac{1}{19} \right)^2 = 0,0092$$

Diferenční rozptylová reaktance rotoru

$$X_{20} = \sigma_{20} \cdot X'_h = 0,0092 \cdot 86,2 = 0,8 \Omega$$

Vodivost uzavřené drážky

$$\lambda_{d2} = \frac{0,531 h_{d2}}{3 \cdot b_2} + 0,66 + 3,6 = \frac{0,531 \cdot 1,43}{3 \cdot 0,55} + 0,66 + 3,6 = 4,72$$

Drážková rozptylová reaktance rotoru

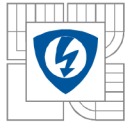
$$X_{2d} = 0,316 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{N_A \cdot k_{vA}}{100 \cdot k_{vT}} \right)^2 \cdot l \cdot \frac{m \cdot \lambda_{d2}}{Q_2} =$$
$$= 0,316 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{209 \cdot 0,8295}{100 \cdot 0,998} \right)^2 \cdot 10,77 \cdot \frac{2 \cdot 4,72}{19} = 0,015 \Omega$$

Rozptylová reaktance od natočení drážek rotoru

$$X_{2q} = X_{Aq} = 1,75 \Omega$$

Rozptylová reaktance rotoru

$$X_{\sigma 2} = X_{20} + X_{2d} + X_{2q} = 0,8 + 0,015 + 1,75 = 2,565 \Omega$$



3.5. Ztráty a účinnost

hmotnost jha statoru a rotoru $\rho_{Fe} = 7800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$m_j = \left\{ \left(\frac{\pi \cdot D_1^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D - 2 \cdot h_{d1})^2}{4} \right) \cdot l + \left(\frac{\pi \cdot (D - 2 \cdot h_{d2})^2}{4} \right) \cdot l \right\} \rho_{Fe} \cdot 10^{-6} =$$
$$= \left\{ \left(\frac{\pi \cdot 14,47^2}{4} - \frac{\pi \cdot (7,24 - 2 \cdot 2,5)^2}{4} \right) \cdot 10,77 + \left(\frac{\pi \cdot (7,24 - 2 \cdot 1,43)^2}{4} \right) \cdot 10,77 \right\} \cdot 7800 \cdot 10^{-8} =$$
$$= 17,3 \text{ kg}$$

hmotnost zubů statoru a rotoru $\rho_{Fe} = 7800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$m_z = (24 \cdot b_{z1} \cdot h_{d1} \cdot l + 19 \cdot b_{z2} \cdot h_{d2} \cdot l) \cdot \rho_{Fe} \cdot 10^{-8} =$$
$$= (24 \cdot 0,44 \cdot 2,5 \cdot 10,77 + 19 \cdot 0,51 \cdot 1,43 \cdot 10,77) \cdot 7800 \cdot 10^{-8} = 0,008 \text{ kg}$$

Ztráty v železe

$$\Delta P_{Fe} = 1,8 \cdot (p_{1,0} \cdot m_j + p_{1,0} \cdot m_z) = 1,8 \cdot (3 \cdot 17,3 + 3 \cdot 0,008) = 93,5 \text{ W}$$

Fiktivní odpor železa

$$R_{Fe} = \frac{U^2}{\Delta P_{Fe}} = \frac{230^2}{93,5} = 566 \Omega$$

Ztráty ve vinutí statoru

$$\Delta P_{CuA} = R_A \cdot I_A^2 = 0,137 \cdot 7,3^2 = 7,3 \text{ W}$$

Ztráty ve vinutí rotoru

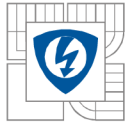
$$\Delta P_{Cu2} = R_2 \cdot I_A^2 = 1,28 \cdot 7,3^2 = 68,2 \text{ W}$$

Příkon motoru $\Delta P_m \equiv 10 \text{ W}$

$$P_1 = P + 2 \cdot \Delta P_{CuA} + 2 \cdot \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_m =$$
$$= 2200 + 2 \cdot 7,3 + 2 \cdot 68,2 + 93,5 + 10 = 2455 \text{ W}$$

Účinnost motoru

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{2200}{2455} = 0,89$$



7. Závěr

ad.1 Bylo pojednáno o asynchronních motorech obecně, o základních parametrech a veličinách a specifických vlastnostech těchto strojů

Setkáme se zde s momentovou charakteristikou, jejím vysvětlením.

Dále v této části jsou popsány jednotlivé možnosti jak získat u jednofázového asynchronního motoru záběrný moment. U jednotlivých uvedených typů motorů je patrné, že dosažení největšího možného záběrného momentu je možné pouze při použití kapacitního rozběhu.

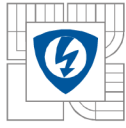
Co se týče jednoduchosti a provozní spolehlivosti, jsou na tom nejlépe motory se stíněnými póly, jednoduše řečeno - pokud je nespálíme přetěžováním, nemá se u nich co pokazit. Mají ale spoustu velkých nevýhod, mezi největší bezesporu patří, že u nich není možná reverzace a mají značné ztráty v závitech nakrátko, z toho vyplývá jejich nízká účinnost - 20 - 40% a také mají malý účinník - $\cos\phi = 0,4 - 0,6$. Z tohoto důvodu se používají pouze při malých výkonech. (do 200W).

Nejllepších provozních vlastností lze dosáhnout použitím trvale připojeného kondenzátoru. Pokud ale kondenzátor není správně navržen, může motor mít i horší vlastnosti nežli motor s odporovým rozběhem. Pomocí kondenzátoru lze i trojfázový motor provozovat jako jednofázový, pokud k jedné z fází připojíme do série kondenzátor.

Také je zde nastíněna problematika určení kapacity rozběhového kondenzátoru. Výpočet vychází ze základního pravidla kdy při kmitočtu 50Hz a napětí 230V je na 1kW výkonu motoru potřeba kapacita 70 μ F. Zde jsou uvedeny vzorce a pravidla od různých autorů vycházející z různých potřeb použití jednofázových asynchronních motorů.

ad.2 Výpočet je zaměřen na základní určení hlavních rozměrů stroje, což je u mnoha poháněných zařízení v dnešní době jedna z nejdůležitějších věcí - například snaha o co největší miniaturizaci zařízení. Dále je zde zmínka o možných rizicích při navrhování asynchronních strojů

ad.3. Zde je proveden příklad výpočtu pro motor $P = 2,2\text{kW}$, $n = 2860\text{ot/min}$, $U = 230\text{V}$, $f = 50\text{Hz}$. Hodnoty magnetických materiálů byly převzaty z návodu na výpočty asynchronních motorů firmy VUES Brno.



8. Použitá literatura

- [1] Tkotz Klaus a kolektiv: Příručka pro elektrotechnika, Europa Sobotáles 2002
- [2] Voženílek Ladislav: Kurs elektrotechniky, SNTL
- [3] Wilda Libor: Elektrotechnická měření, SPŠE Brno 1997
- [4] Štech Karel: Elektroinstalace doma a na chatě, Grada 2001
- [5] Prof. Popadin Stepan, Elektrické mikrostroje na střídavý proud, Vydavatelství Technika, Sofie, Bulharsko 1987
- [6] Kopylov, I. P.: Stavba elektrických strojů. SNTL, Praha 1988
- [7] Štěpina, Jaroslav, Dr. Ing. : Jednofázové indukční motory. SNTL, Praha 1957
- [8] Kolektiv pracovníků VUES Brno : Návod výpočtu jednofázových asynchronních motorů, VUES Brno 1968
- [9] Kolektiv pracovníků autorů : Fyzikálněchemické tabulky, SPN Praha 1988

