

# 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

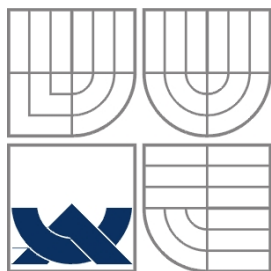
## **JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR S POMOCNOU FÁZÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

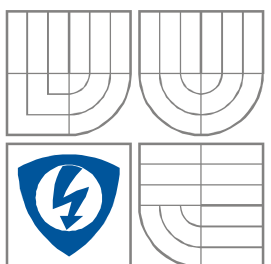
Pavel Vácha

BRNO 2009



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLÓGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# **JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR S POMOCNOU FÁZÍ**

**SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

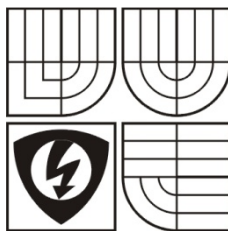
Pavel Vácha

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

**Student:** Vácha Pavel

**Ročník:** 3

**ID:** 100293

**Akademický rok:** 2008/09

**NÁZEV TÉMATU:**

## Jednofázový asynchronní motor s pomocnou fází

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Analyzujte 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 doporučení vedoucího.

**Termín zadání:** 01.10.2008

**Termín odevzdání:** 29.05.2009

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

**doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.**  
*předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku 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: Pavel Vácha

Bytem: Novodvorská 165

Narozen/a (datum a místo): 30.07.1986 v Jindřichově Hradci

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc., předseda oborové rady Silnoproudá

elektrotechnika a elektroenergetika

(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 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: .....

Vedoucí/ školitel VŠKP: .....

Ústav: .....

Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

tištěné formě – počet exemplářů 1

elektronické formě – počet exemplářů 1

---

\* hodící se zaškrtněte

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 se 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**

Bakalářská práce se zabývá problematikou dnes ve světě čím dál více využívaných jednofázových asynchronních motorů. Jejím cílem je shromáždit informace o tomto typu motoru a jeho výpočtu. Obsahem první části je teoretická analýza jednofázového asynchronního motoru a způsoby získání záběrného momentu.

Praktická část obsahuje základní schéma výpočtu jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází a zpracování demonstračního příkladu výpočtu jednofázového motoru konkrétních parametrů dle navrženého postupu.

V závěru je celý postup vyhodnocen.

## **Abstract**

The bachelor work is concerned the thesis of a single-phase induction motor that's perpetually more used in all over the world. Its aim is assembling the information about this type of motor and its calculation. The content of the first part is the theoretical analysis of a single-phase induction motor and acquirement ways of the stroke moment.

The practical part contains a basic schema calculation of the single-phase induction motor with an auxiliary phase and a processing demonstrate example of calculation of the single-phase induction motor with concrete parameters along suggested process.

In the conclusion there is the evaluation of the whole process.

## **Klíčová slova**

Jednofázový asynchronní motor; pomocná fáze; stator; statorový proud; vrtání statoru; statorové plechy; rotor; rotorová klec; rotorové jho; moment; fázorový diagram; magnetické pole; rozteč; vinutí; drážka; odpor; reaktance; kapacita; rozběh motoru; rozptylový magnetický tok; účinnost.

## **Keywords**

Single-Phase Induction Motor; auxiliary phase; stator; stator current; stator bore; stator laminations; rotor; rotor cage; rotor yoke; moment; phasor diagram; magnetic pole; pitch; winding; slot; resistance; reaktance; capacitance; start up motor; magnetic leakage; efficiency.

## **Bibliografická citace**

VÁCHA, P. *Jednofázový asynchronní motor s pomocnou fází*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 66 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Jednofázový asynchronní motor s pomocnou fází jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 .....

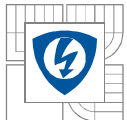
Podpis autora .....

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

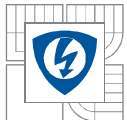
V Brně dne .....

Podpis autora .....

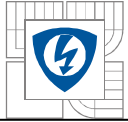


## OBSAH

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>18</b>
<b>1.1 ROZDĚLENÍ</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2 KONSTRUKCE</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3 VZNIK TOČIVÉHO MAGNETICKÉHO POLE</b> .....	<b>20</b>
<b>1.4 VLASTNOSTI ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ</b> .....	<b>20</b>
<b>2 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 PRINCIP A VLASTNOSTI</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2 VÝSLEDNÁ MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3 FÁZOROVÝ DIAGRAM</b> .....	<b>24</b>
<b>3 ZPŮSOBY ZÍSKÁVÁNÍ ZÁBĚRNÉHO MOMENTU</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 JEDNOFÁZOVÝ VINUTÍ SE SOUSTŘEDĚNÝMI CÍVKAMI A POMOCNOU FÁZÍ</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2 DALŠÍ MOŽNOSTI ZÍSKÁVÁNÍ ZÁBĚRNÉHO MOMENTU</b> .....	<b>27</b>
3.2.1 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR SE STÍNĚNÝMI PÓLY.....	27
3.2.2 POPIS A PRINCIP MOTORU SE STÍNĚNÝMI PÓLY.....	28
3.2.3 POMALOBĚŽNÝ MOTOR SE STÍNĚNÝMI PÓLY.....	28
<b>4 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR S POMOCNOU FÁZÍ A TRVALE PŘIPOJENÝM KONDENZÁTOREM</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1 MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2 VLASTNOSTI A POUŽITÍ</b> .....	<b>32</b>
<b>5 STEINMETZOVO ZAPOJENÍ</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1 PRINCIP ČINNOSTI</b> .....	<b>33</b>
<b>5.2 KRUHOVÉ MAGNETICKÉ POLE PŘI TROJFÁZOVÉM PROVOZU</b> .....	<b>34</b>
<b>5.3 ELIPTICKÉ MAGNETICKÉ POLE PŘI TROJFÁZOVÉM PROVOZU NEBO PRO JEDNOFÁZOVÝ MOTOR S TRVALE PŘIPOJENÝM KONDENZÁTOREM</b> .....	<b>34</b>
<b>6 ZPŮSOBY URČENÍ VELIKOSTI KONDENZÁTORU</b> .....	<b>35</b>
<b>6.1 PŘÍKLADY RŮZNÝCH URČENÍ KAPACITY KONDENZÁTORU - EMPIRICKÉ VZORCE</b> .....	<b>35</b>
<b>6.2 DALŠÍ MOŽNOST URČENÍ KAPACITY KONDENZÁTORU - TABULKOVÁ METODA</b> .....	<b>36</b>
<b>6.3 PROVOZ SE DVĚMA KONDENZÁTORY</b> .....	<b>36</b>
<b>7 SHRNU TÍ</b> .....	<b>37</b>
<b>8 ZÁKLADNÍ VÝPOČET JEDNOFÁZOVÉHO ASYNCHRONNÍHO MOTORU S POMOCNOU FÁZÍ</b> .....	<b>38</b>
<b>8.1 ÚVOD</b> .....	<b>38</b>
<b>8.2 POSTUP VÝPOČTU JEDNOFÁZOVÉHO ASYNCHRONNÍHO MOTORU S POMOCNOU FÁZÍ</b> .....	<b>38</b>
<b>8.3 VÝPOČET HLAVNÍCH ROZMĚRŮ ŽELEZNÝCH SOUČÁSTÍ</b> .....	<b>38</b>
<b>8.4 PŘEDBĚŽNÝ VÝPOČET ROZMĚRŮ DRÁŽEK A VINUTÍ</b> .....	<b>41</b>
<b>8.5 SHRNU TÍ ZÁKLADNÍHO VÝPOČTU</b> .....	<b>45</b>

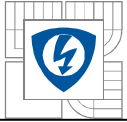


<b>8.6 VÝPOČET KONSTANT JEDNOFÁZOVÉHO ASYNCHRONNÍHO MOTORU .....</b>	<b>47</b>
8.6.1 ČINNÉ ODPORY .....	47
8.6.2 ČINITELÉ VINUTÍ .....	48
8.6.3 REAKTANCE .....	50
<b>8.7 SHRNUÍ VÝPOČTU KONSTANT.....</b>	<b>55</b>
<b>9 DEMONSTRAČNÍ PŘÍKLAD VÝPOČTU .....</b>	<b>57</b>
9.1 VÝPOČET HLAVNÍCH ROZMĚRŮ ŽELEZA A ROZMĚRŮ DRÁŽEK A VINUTÍ .....	57
9.2 KONTROLA NÁVRHU STROJE (VÝPOČET KONSTANT PRO NÁHRADNÍ SCHÉMA).....	61
<b>10 ZÁVĚR.....</b>	<b>65</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>66</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1-1 Ukázka a popis asynchronního motoru s kotvou nakrátko.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 1-2 Ukázka a popis asynchronního motoru s kotvou vinutým rotorem.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 1-3 Stojaté magnetické pole.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 1-4 Trojfázové magnetické pole.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 1-5 Úplná momentová charakteristika.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2-1 Jednofázový asynchronní motor bez pomocné fáze – náhradní schéma.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 2-2 Vznik momentové charakteristiky jednofázového asynchronního motoru .....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 2-3 Ukázka fázorového diagramu.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3-1 Zapojení jednofázového asynchronního motoru.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3-2 Fázorový diagram jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 3-3 Fázorový diagram jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází pro kapacitní rozběh.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 3-4 Řez jednofázového asynchronního motoru se stíněnými póly a průběhy mag. toků.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 3-5 Ukázka a popis jednofázového asynchronního motoru se stíněnými póly .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 3-6 Jednofázový asynchronní motor se stíněnými póly v asymetrickém provedení.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 3-7 Ukázka jednofázového pomaloběžného motoru se stíněnými póly.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 4-1 Jednofázový asynchronní motor s pomocnou fází a trvale zapojeným kondenzátorem..</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 4-2 Zapojení hlavní a pomocné fáze s rozběhovým a trvale zapojeným kondenzátorem.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 4-3 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 5-1 Steinmetzovo zapojení pro běh doleva a doprava .....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5-2 Kruhové magnetické pole.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 5-3 Eliptické magnetické pole.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 6-1 Steinmetzovo zapojení se dvěma kondenzátory.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 8-1 Součin účinníku a účinnosti pro trojfázové motory.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 8-2 Výkonová konstanta C podle Kuhlmana .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 8-3 Součin účinnosti a účinníku na svorkách sítě pro jednofázové asynchronní motory s trvale připojeným kondenzátorem v pomocné fázi.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 8-4 Ukázka vypočteného a navrhnutého tvaru plechů a drážek statoru.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 8-5 Ukázka vypočteného a navrhnutého tvaru plechů a drážek rototru.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 8-6 Ukázka nejběžnějšího typu vinutí hlavní a pomocné fáze u jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 8-7 Ukázka sestavy jednofázového asynchronního motoru.....</i>	<i>46</i>



<i>Obr. 8-8 Zešíkmení drážek rotoru.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 8-9 Rozměry různých druhů drážek (pro výpočet rozptylu).....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 8-10 Diagram pro výpočet rozptylu v uzavřené drážce.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 8-11 Zjednodušené náhradní schéma pro souslednou složku.....</i>	<i>56</i>



## SEZNAM TABULEK

<i>Obr. 6-1 Velikost kapacity kondenzátoru.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 6-2 Empirická tabulka pro určení kapacity kondenzátoru u Steinmetzova zapojení.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 8-1 Plnění drážek.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 8-2 Používané počty drážek.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 8-3 Měrná vodivost.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 8-4 Hodnoty <math>\sigma_o \cdot 100</math> pro vinutí s plným krokem.....</i>	<i>52</i>



## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

$\alpha$	komplexní výraz
A	proudové zatížení obvodu statoru
b	šířka drážky
b'	otevření drážky
$b_{z1}$	šířka zubu
$b_1$	otevření drážky statoru
$b_2$	otevření drážky rotoru
B	magnetická indukce
$B_\delta$	maximální indukce ve vzduchové mezeře
$b_{z1}$	šířka zubu
$b_1$	otevření drážky statoru
$b_2$	otevření drážky rotoru
$C_A$	kapacita rozběhového kondenzátoru
$C_B$	kapacita provozního kondenzátoru
C	kapacita kondenzátoru, Essonská konstanta
d	vrtání statoru
$d_1$	vnější průměr statorových plechů
$d_2$	průměr statoru na dně drážky
$d_3$	průměr
$d_4$	průměr
$d_A$	průměr holého vodiče vinutí A
$d_A'$	průměr vodiče s izolací vinutí A
$d_{kr}$	střední průměr spojovacího kruhu
f	frekvence
$\gamma$	měrná vodivost, využití stroje
i	okamžitý proud
$I_{max}$	maximální proud
$I_a$	fázor proudu hlavní fáze
$I_a$	fázor proudu pomocné fáze
$I_A$	proud hlavní fáze
$I_B$	proud pomocné fáze
$I_1$	proud statoru



$I_2$	proud rotoru přepočtený na stator
$I_{dkr}$	sousledná složka proudu ve spojovacím
$I_t$	efektivní proud rotorové tyče
$I_{tk}$	efektivní proud nakrátko v rotorové tyči
$I_k$	proud nakrátko
$k_{cu}$	poměr drážkového prostoru obou vinutí
$k_d$	plnění drážky
$k_{\delta 1}$	Carterův činitel pro drážkování statoru
$k_{\delta 2}$	Carterův činitel pro drážkování rotoru
$l$	délka statorového železa
$l_t$	délka tyče
$l_z$	délka závitů
$l_{\xi}$	délka čela vinutí statoru
$L_3$	indukčnost prezentující ztráty v železe
$L_2$	indukčnost rotoru přepočítaná na stator
$L_1$	indukčnost statoru
$m$	počet fází statoru
$M$	točivý moment na hřídeli
$n$	otáčky
$n_s$	synchronní otáčky
$N_A$	počet závitů hlavního vinutí
$p$	počet pólových dvojic
$P$	činný výkon motoru
$Q_{IA}$	počet drážek připadajících na hlavní vinutí
$Q_1$	počet drážek na statoru
$Q_2$	počet drážek na rotoru
$Q_p$	počet drážek statoru na pól
$q$	počet drážek na pól a fázi
$R_1$	ohmický odpor statoru
$R_2$	ohmický odpor rotoru přepočítaný na stator
$R_{Fe}$	ohmický odpor prezentující ztráty v železe
$R_t'$	odpor spojovacích kruhů

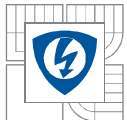




$R_{kr}$	odpor kruhu
$s$	skluz
$S$	plocha, zdánlivý výkon motoru
$S_A$	průřez hlavního vinutí bez izolace
$S_A'$	průřez hlavního vinutí s izolací
$S_d$	plocha drážky bez izolace
$S_d'$	plocha drážky s izolací
$S_t$	průřez rotorové tyče
$\check{s}$	zešikmení
$t$	čas
$U$	napětí
$U_m$	magnetické napětí
$U_{mz1}$	magnetické napětí zubů statoru
$U_{mz2}$	magnetické napětí zubů rotoru
$U_{mj1}$	magnetické napětí jha statoru
$U_{mj2}$	magnetické napětí jha rotoru
$x$	činitel vinutí
$x'$	činitel rozlohy
$x''$	činitel zkrácení kroku
$x_t$	činitel vinutí pro rotorovou klec
$X_h$	magnetizační reaktance
$X_{rA}$	rozptylová reaktance
$X_{A0}$	diferenciální rozptyl,
$X_{Ad}$	rozptyl v drážce
$X_{A\check{c}}$	rozptyl přes čela vinutí
$X_{Aq}$	rozptyl statoru přizpůsobený natočením drážek rotoru
$X_{r2}$	rozptylová reaktance přepočtená na statoru
$X_{2d}$	drážkový rozptyl klecového rotoru přepočítaný na stator
$X_{20}$	diferenční rozptyl klecového rotoru
$X_{2q}$	rozptyl od natočení drážek
$\delta$	ekvivalentní vzduchová mezera
$\varepsilon_l$	poměrný úbytek napětí na rozptylové reaktanci a činném odporu statoru
$\Phi_{max}$	maximální magnetický tok



$\varphi$	fázový posuv mezi fázory napětí a proudu
$\eta$	účinnost
$\omega$	úhlová rychlost
$\psi$	fázový posuv mezi fázory proudu pomocné a hlavní fáze
$u$	teplota
$\tau$	pólová rozteč



# 1 ÚVOD

Asynchronní stroj je točivý elektrický stroj, jehož magnetický obvod je malou vzduchovou mezerou rozdělen na dvě části: *stator a rotor*. Proud v motoru je zde vyvolán elektromagnetickou indukcí. Z toho důvodu se tyto motory nazývají často též indukční. Nejčastějším druhem asynchronního stroje je trojfázový asynchronní motor, který využívá silového působení statorového proudu (ze sítě) a rotorového proudu (indukovaného ve vinutí spojeném nakrátko).

## 1.1 Rozdělení

Asynchronní motor může pracovat jako:

- a) motor
- b) generátor
- c) brzda
- d) měnič kmitočtu

Asynchronní motor může být podle statorového vinutí:

- a) trojfázový (resp. vícefázový)
- b) jednofázový (pro menší výkony)

Asynchronní motor může být podle rotorového vinutí:

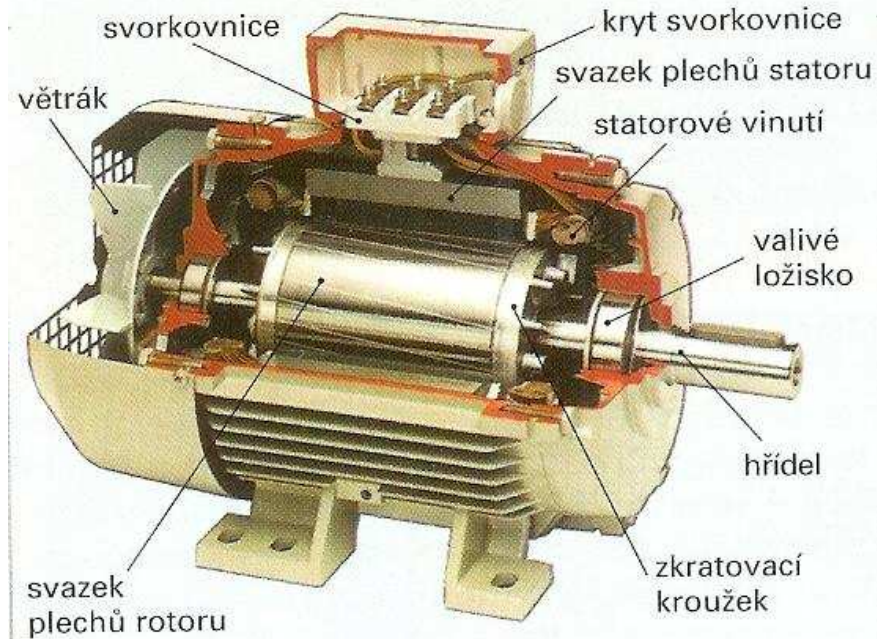
- a) s kotvou nakrátko
- b) s vinutým rotorem

## 1.2 Konstrukce

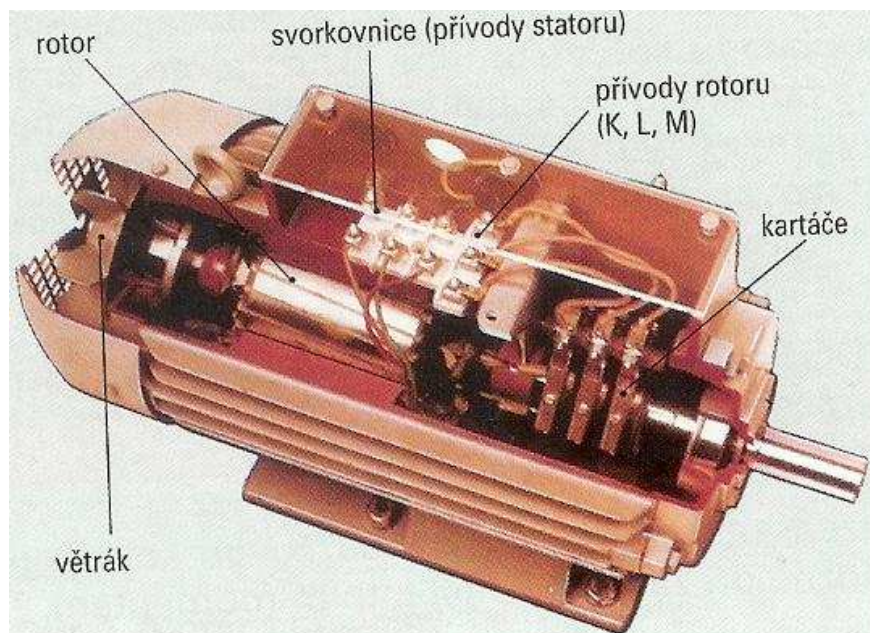
Asynchronní motory jsou rozděleny malou vzduchovou mezerou na dvě hlavní části: *stator a rotor*. Stator se skládá z nosného tělesa (krytu) svazku statorových plechů a statorového vinutí, jehož začátky a konce jsou vyvedeny na svorkovnici. Rotor je sestaven z rotorových plechů nasazených ve svazku na hřídeli. V drážkách rotoru jsou uloženy vodiče, které jsou tvořeny buď tyčemi na čelních stranách spojenými zkratovacími kroužky - kotva nakrátko - nebo obdobným vinutím jako na statoru, spojeným do hvězdy a vyvedeným na sběrací kroužky – vinutý rotor. Tato kotva se užívá převážně pro motory velkých výkonů.

**Motor s kotvou nakrátko** má rotorové vinutí spojeno trvale nakrátko. Vinutí je zhotoveno z masivních tyčí, spojených po obou stranách vodivými kruhy. Ukázka takového motoru je na obrázku 1-1.

**Motor s vinutým rotorem** má na rotoru trojfázové vinutí. Začátky vinutí jsou vyvedeny na tři kroužky umístěné na hřídeli. Na kroužky dosedají uhlíkové sběrací kartáče, kterými můžeme do rotorového vinutí zařadit vhodný odpor a tím zmenšit záběrný proud motoru nebo jeho otáčky a zvětšit záběrný moment. Dnes se již moc nepoužívá. Ukázka tohoto typu motoru je na obrázku 1-2.



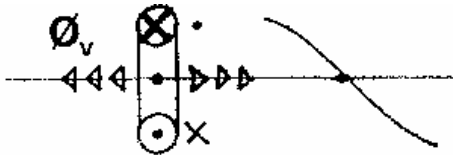
*Obr. 1-1 Ukázka a popis asynchronního motoru s kotvou nakrátko*



*Obr. 1-2 Ukázka a popis asynchronního motoru s vinutým rotorem*

### 1.3 Vznik točivého magnetického pole

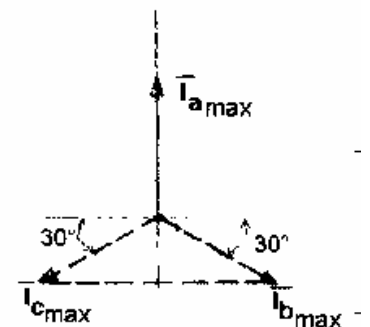
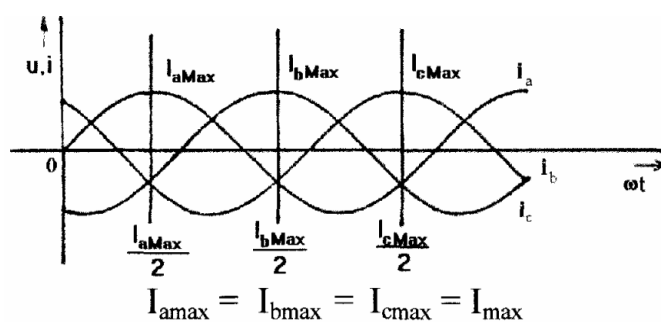
Při napájení cívky střídavým jednofázovým proudem vznikne okolo cívky stojaté magnetické pole. Toto pole nedokáže vytvořit točivé magnetické pole.



$$i = I_{\max} * \sin \omega t \Rightarrow \Phi_{\max} * \sin \omega t \quad (1)$$

Obr. 1-3 Stojaté magnetické pole

Točivé magnetické pole můžeme například vytvořit pomocí tří cívek navzájem pootočených o 120°, jestliže jsou napájeny trojfázovým proudem též posunutým o 120° elektrických.



Obr. 1-4 Trojfázové točivé magnetické pole

Pro vytvoření kruhového magnetického pole potřebujeme nejméně dvě cívky pootočené proti sobě o 90°, jestliže je napájíme dvěma proudy posunutými proti sobě také o 90° elektrických. Tři cívky vybudí pole dvojpólové. Několika vhodně zapojenými cívkami můžeme vybudit točivé pole několikapólové. Například šest cívek, ze kterých jsou vždy dvě zapojeny do série, vybudí pole čtyřpólové. Z hlediska funkčnosti, použití a ekonomičnosti se nejčastěji setkáváme s asynchronními motory třífázovými.

Výsledný směr magnetického toku pole je dán vždy součtem okamžitých hodnot toků  $\phi_a$ ,  $\phi_b$  a  $\phi_c$ . Jeho koncový bod opisuje kružnici, a proto mluvíme o kruhovém točivém magnetickém poli. Výsledný fázor nemění s časem svou velikost a otáčí se ve směru postupu fází rychlostí  $\omega$ . Můžeme si představit, že statorové vinutí uložené v drážkách je možno nahradit permanentním magnetem, který by se otáčel rychlostí  $\omega$ .

### 1.4 Vlastnosti asynchronních motorů

**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.

**synchronní otáčky** - otáčky, kterými se 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. Rozdíl synchronních otáček a otáček rotoru říkáme skluz ( $s$ ).

synchronní otáčky vypočteme ze vztahu:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (2)$$

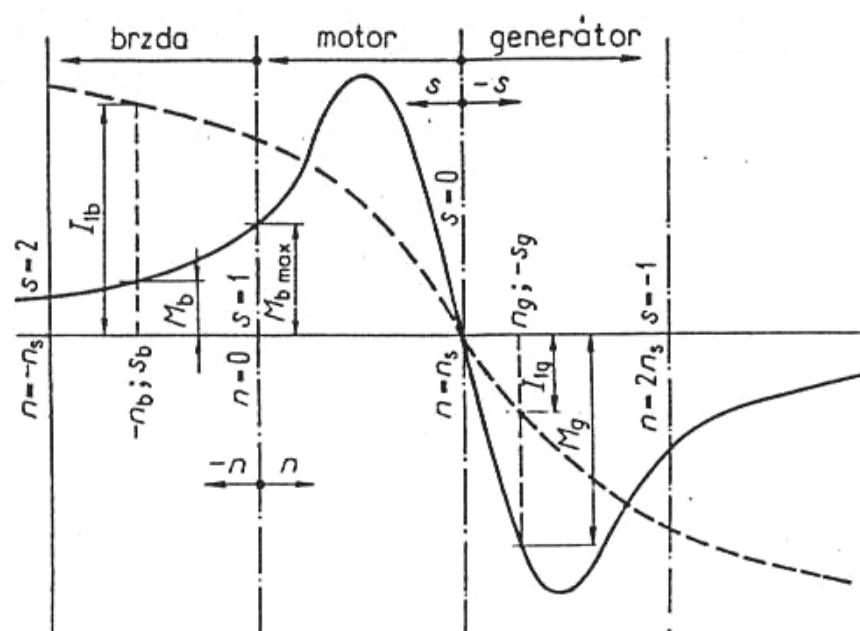
kde  $f$  je kmitočet napájecí sítě a  $p$  je počet pólových dvojic motoru.

**provozní vlastnosti** - bývají dány momentovou charakteristikou, kterou lze získat různými způsoby. Jedním z nich je například kruhový diagram. Úplná momentová charakteristika je na obrázku 1-3.

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

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} < 0 \quad (3)$$

Určitým nadsynchronním otáčkám (skluz  $s_g$ ) odpovídá na kružnici zatěžovací bod  $A_g$  a satorový proud  $I_{lg}$ . Jeho činná složka, úměrná výkonu  $I_{lg} \cdot \cos \phi_1$ , je záporná, takže asynchronní 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 asynchronní generátor do sítě a jeho účinník jsou určeny otáčkami (skluzem).



Obr. 1-3 Úplná momentová charakteristika

Pozn. Z třífázových asynchronních motorů je odvozen asynchronní motor jednofázový.



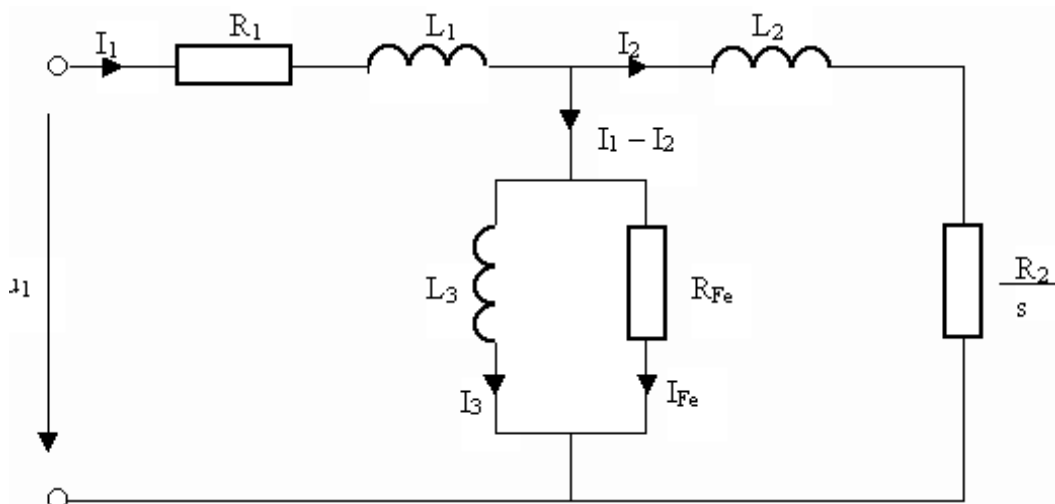
## 2 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR

Jednofázový asynchronní motor se používá pro pohon malých výkonů a tam, kde není možnost se připojit na třífázovou síť. Používá se pro pohon malých spotřebičů, které umožňují mechanizovat mnoho různých prací v domácnosti (pračky, chladničky, kuchyňské roboty, ventilátory, odstředivky apod.). Stator jednofázového motoru je drážkovaný a má jednofázové vinutí. Rotor má obvykle klecové vinutí.

### 2.1 Princip a vlastnosti

Jednofázový asynchronní motor se po připojení k síti nerozběhne, neboť jeho jednofázové vinutí, napájené jednofázovým napětím, vyvolá pouze pulsující střídavé magnetické pole, které nedokáže vyvolat točivý moment.

Aby se jednofázový asynchronní motor začal otáčet, je třeba ho nějakým způsobem roztočit alespoň na 20% synchronních otáček.



Obr. 2-1 Jednofázový asynchronní motor bez pomocné fáze – náhradní schéma

Toto náhradní schéma platí za daných podmínek:

- 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

$s$  - skluz

$R_2$  - ohmický odpor rotoru přepočítaný na stator

$L_1$  - indukčnost statoru

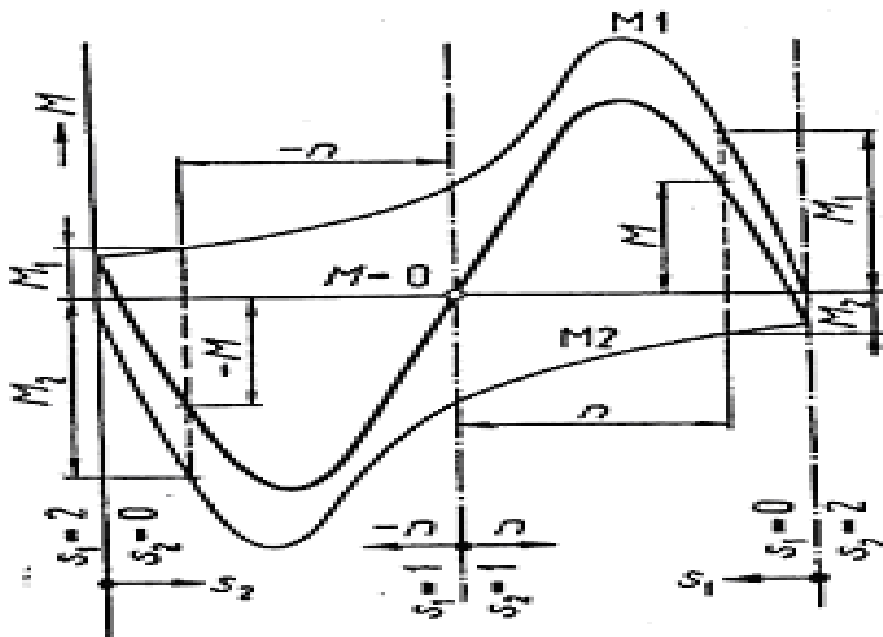
$L_2$  - indukčnost prezentující ztráty v železe

$R_{Fe}$  - ohmický odpor prezentující ztráty v železe

$L_2$  - indukčnost rotoru přepočítaná na stator

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  $90^\circ$  elektrických. Stojaté magnetické pole můžeme nahradit dvěma stejnými točivými poli, obíhajícími proti sobě jak vidíme na obrázku 2-2.



Obr. 2-2 Vznik momentové charakteristiky jednofázového asynchronního motoru

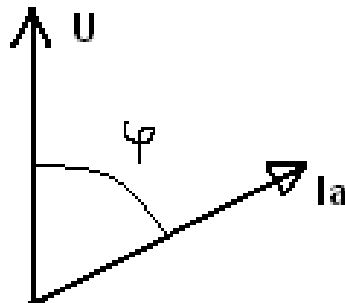
Jestliže se rotor jakýmkoliv způsobem roztočí, např. na otáčky  $n$ , moment  $M_1$  je větší než moment  $M_2$  a rotor se začne otáčet působením rozdílu obou momentů. Po roztočení opačným směrem ( $-n$ ) je výsledný moment stejně velký, ale opačný, a rotor se bude otáčet opačně.

## 2.2 Výsledná momentová charakteristika

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 na grafu charakteristiky je vidět, že rotor nemůže dosáhnout nikdy synchronních otáček, protože by byl jeho moment záporný. Pro roztočení jednofázového indukčního motoru můžeme použít jakýkoli způsob, třeba i roztočení rukou, zatáhnutí za řemen, kliku apod.



## 2.3 Fázorový diagram



*Obr. 2-3 Ukázka fázorového diagramu*

Všechny jednofázové asynchronní motory se vyrábí pouze s kotvou nakrátko. Provedení s vinutou 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.

### Pozn.

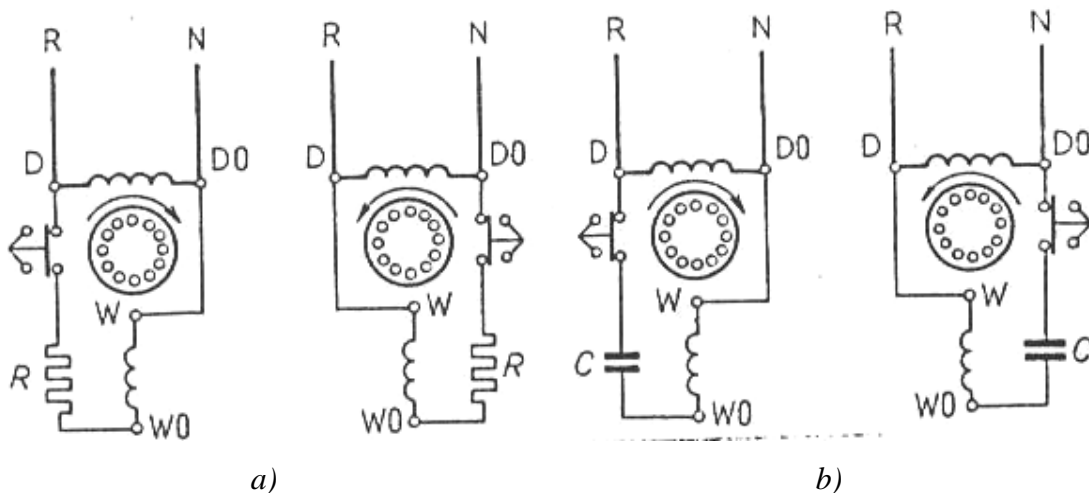
Nevýhodou jednofázového asynchronního motoru jsou nižší otáčky a limitace jednofázové zásuvky na proud (16 A). Proto můžeme ve většině případů připojovat motory pouze do cca 2 kW.

### 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 pólem hlavní a pomocné fáze. Po rozběhu se pomocná fáze zpravidla odpojí (nejčastěji odstředivým vypínačem). Na síť je možno připojit motor do výkonu asi 500 W. Reverzaci provádíme záměnou přívodu u pomocné fáze.

#### 3.1 Jednofázový vinutí se soustředěnými cívkami a pomocnou fází

Pomocná fáze ( $W - W_0$ ) se připojí paralelně k hlavní fázi jak vidíme na obrázku 1-3. Potřebný fázový posun  $\psi$  bývá dán rozdílnými elektrickými vlastnostmi obou paralelních větví. Obvykle bývá menší než  $90^\circ$ , 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).

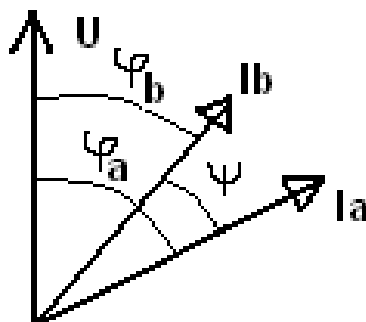


Obr. 3-1 Zapojení jednofázového asynchronního motoru, a) s odporovým rozběhem pro běh doleva i doprava, b) s kapacitním rozběhem pro běh doleva i doprava

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.

### Fázorový diagram:



$\psi$  - fázový posun mezi proudy v hlavním a pomocném vinutí

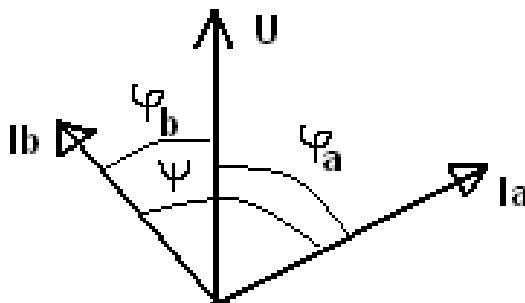
$$\psi = \varphi_A - \varphi_B$$

Obr. 3-2 Fázorový diagram jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází

Rozběhové vinutí je dimenzováno jen na krátkodobé zatížení a musí se po skončeném rozběhu odpojit. Vinutí můžeme odpojit trojpólovým přepínačem. Výhodnější je použití odstředivého vypínače, namontovaného přímo na hřídel motoru. Tam, kde není možné umístit odstředivý vypínač, používají se různá relé, nejčastěji relé časová.

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.

### Fázorový diagram:



$$\psi = \varphi_A + \varphi_B$$

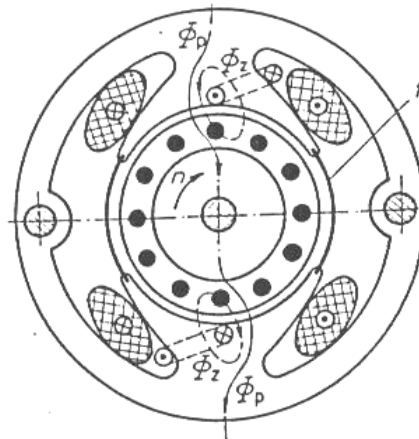
Obr. 3-3 Fázorový diagram jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází pro kapacitní rozběh

Jak je zřejmé z fázorového diagramu na obrázku 3-3, 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.

## 3.2 Další možnosti získávání záběrného momentu

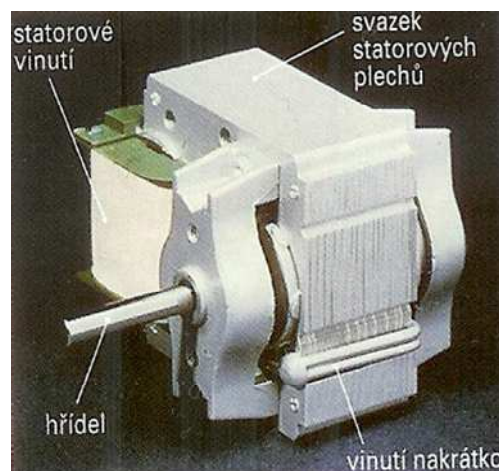
### 3.2.1 Jednofázový asynchronní motor se stíněnými póly

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



1 – magnetické plíšky

Obr. 3-4 Řez jednofázového asynchronního motoru se stíněnými póly a průběhy magnetických toků

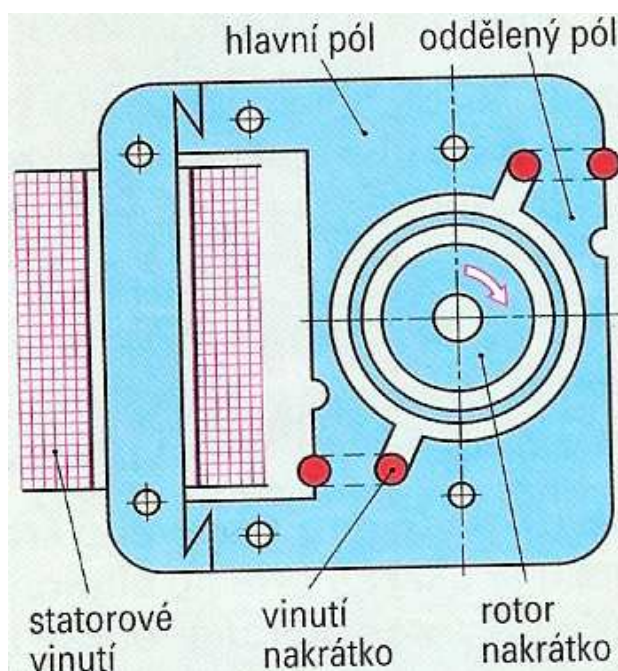


Obr. 3-5 Ukázka a popis jednofázového asynchronního motoru se stíněnými póly

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

### 3.2.2 Popis a princip motoru se stíněnými póly

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 nezátíženého motoru. Účinnost těchto motorů je malá, závit nakrátko se trvale zahřívá. Výhodou těchto motorů je jednoduchost a s tím spojená malá poruchovost.



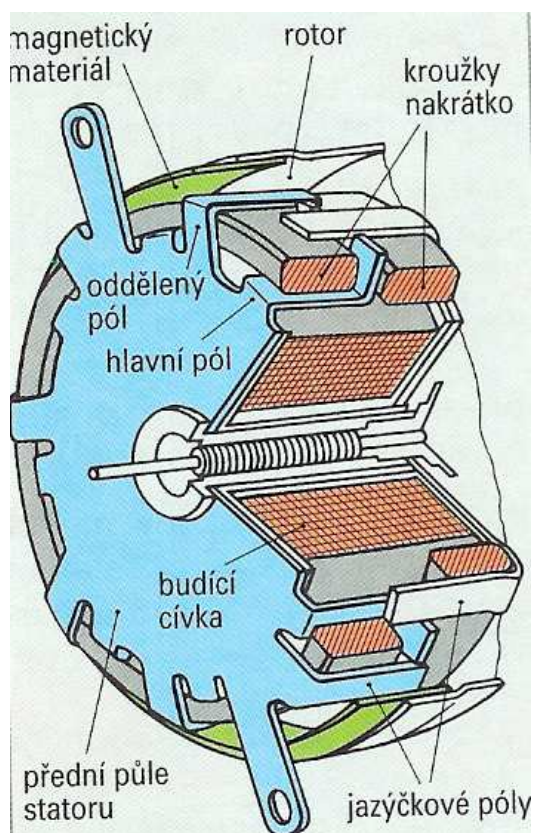
Obr. 3-6 Jednofázový asynchronní motor se stíněnými póly v asymetrickém provedení

### 3.2.3 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 pásy), 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. Mývají výkony od 1 W do 3 W. Používají se např. v hodinách, časových relé apod.

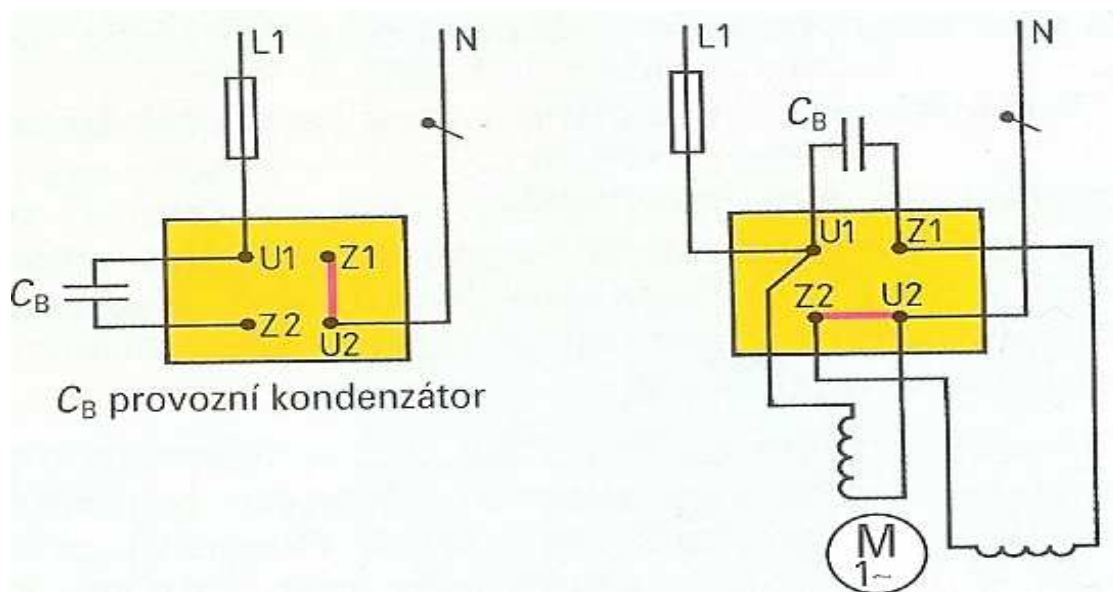


*Obr. 3-7 Ukázka jednofázového pomaloběžného motoru se stíněnými póly*



## 4 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR S POMOCNOU FÁZÍ A 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 částí.



zapojení pro běh doleva

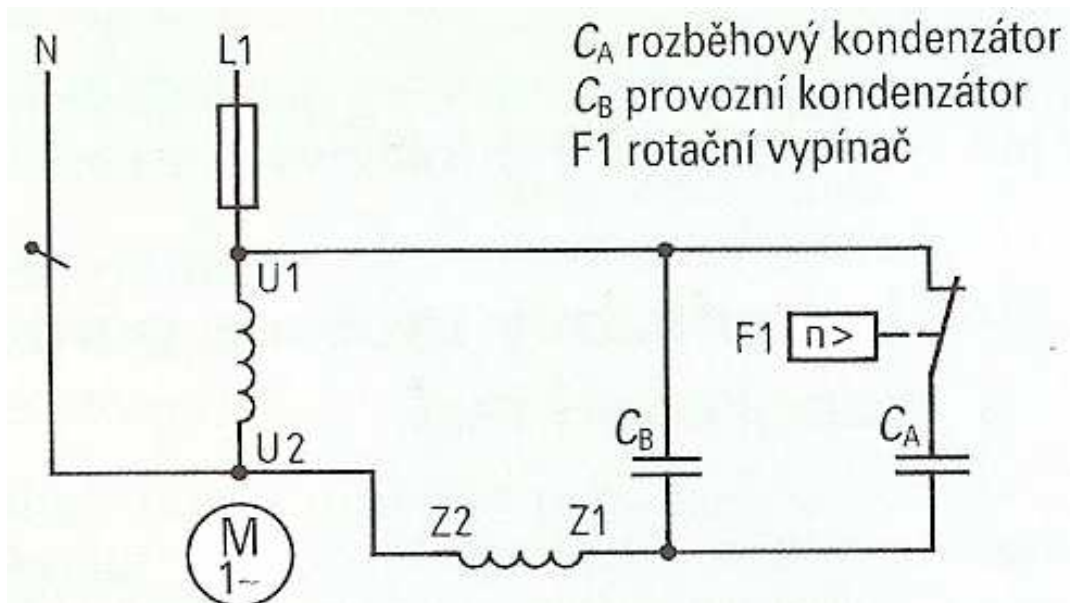
zapojení pro běh doprava

Obr. 4-1 Jednofázový asynchronní motor s pomocnou fází a trvale zapojeným kondenzátorem

### Pozn.

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

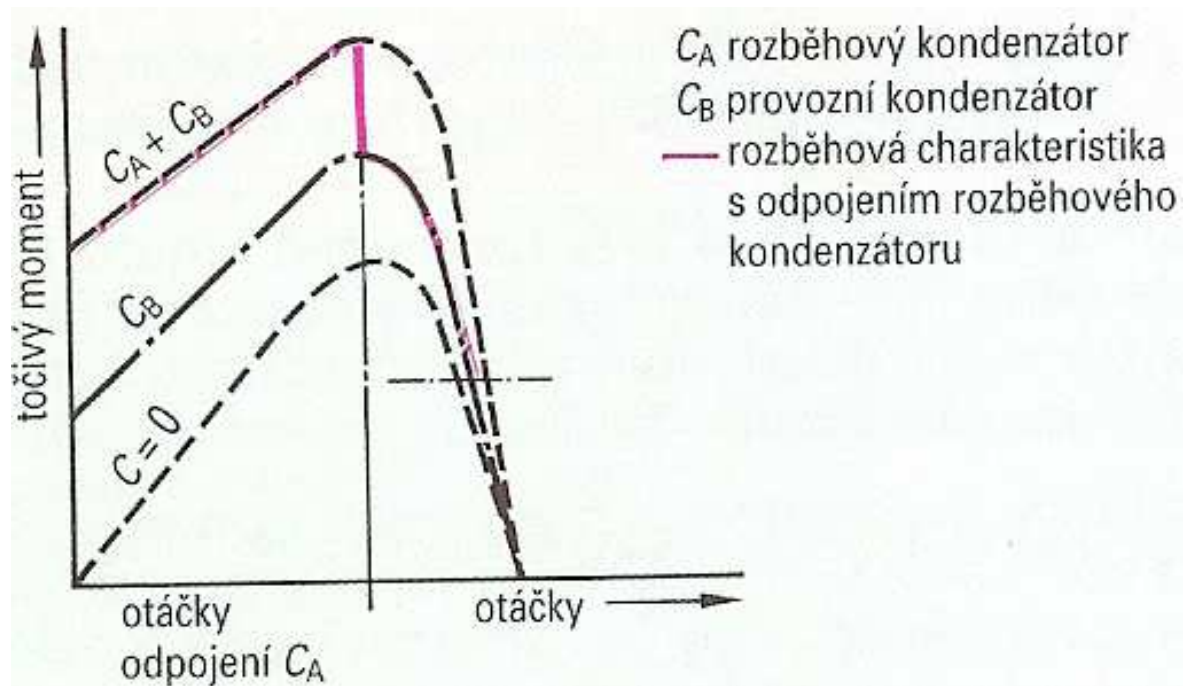
Pro dosažení velkého záběrného momentu je výhodné použití rozběhového kondenzátoru  $C_A$  a provozního kondenzátoru  $C_B$ . Záběrný moment může být díky kapacitě obou kondenzátorů zvýšen na dvojnásobek až trojnásobek jmenovitého momentu, jak můžeme vidět na obrázku 4-3. Motor se pak může rozbíhat i se zátěží. Po rozběhu se rozběhový kondenzátor  $C_A$  odpojuje a v činnosti zůstává pouze provozní kondenzátor  $C_B$ . 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, jak je naznačeno na obrázku 4-2..



Obr. 4-2 Řez jednofázového asynchronního motoru se stíněnými póly a průběhy

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.

#### 4.1 Momentová charakteristika



Obr. 4-3 Momentová charakteristika Jednofázového asynchronního motoru





## 4.2 Vlastnosti a použití

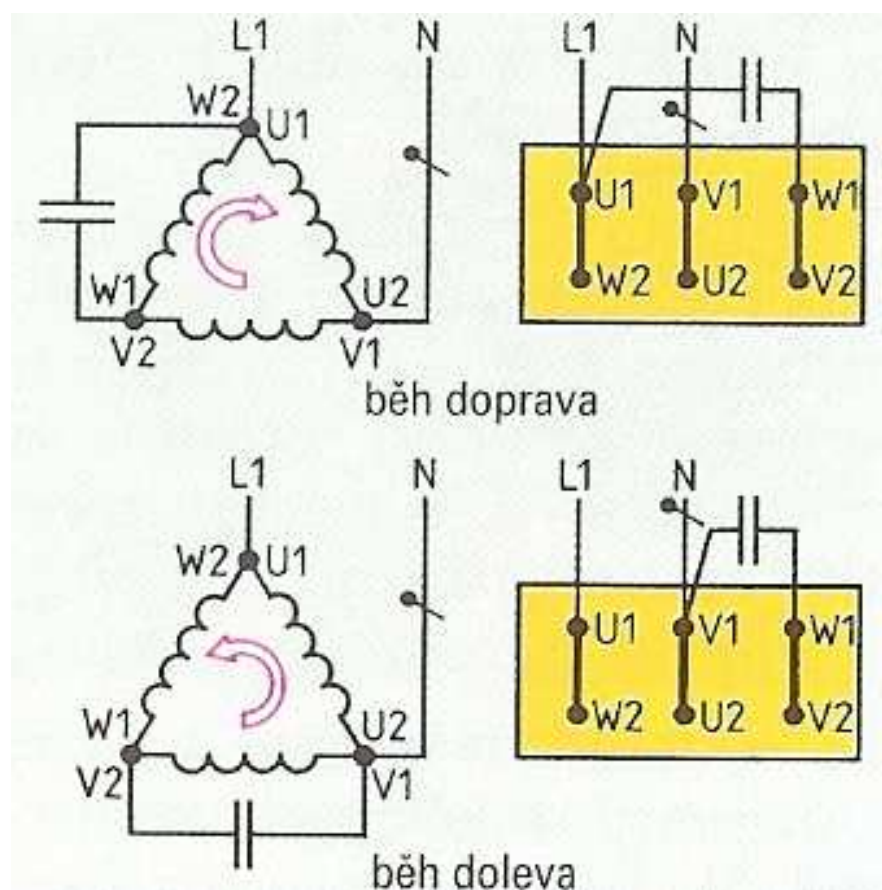
Kondenzátor tvoří spolu s indukčností pomocného vinutí sériový kmitavý obvod. Proto je na kondenzátoru napětí vyšší, než je napětí síťové. Toto napětí je největší při chodu motoru naprázdno. Motory s trvale připojeným kondenzátorem se používají o výkonech do 2 kW a můžeme se s nimi setkat v domácích spotřebičích a menších pracovních strojích.

### Pozn.

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

## 5 STEINMETZOVO ZAPOJENÍ

Jedná se o klasický Trojfázový asynchronní motor, který je ovšem připojen na jednofázovou síť.



Obr. 5-1 Steinmetzovo zapojení pro běh doleva a doprava

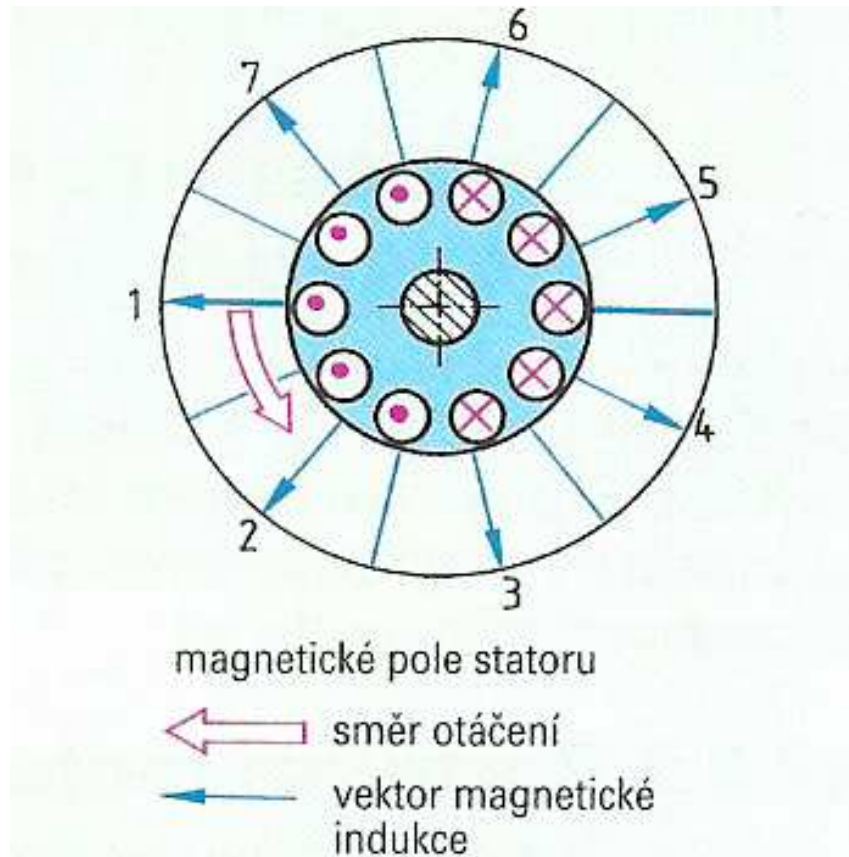
### 5.1 Princip činnosti

Při provozu na jednofázové střídavé napětí je proud přivedený přes kondenzátor oproti síťovému proudu fázově posunut. 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.

Při trojfázovém provozu lze směr otáčení motoru změnit přehozením dvou libovolných fází, při jednofázovém provozu lze reverzaci provést změnou připojení kondenzátoru - viz. Obrázek 5-1. 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.

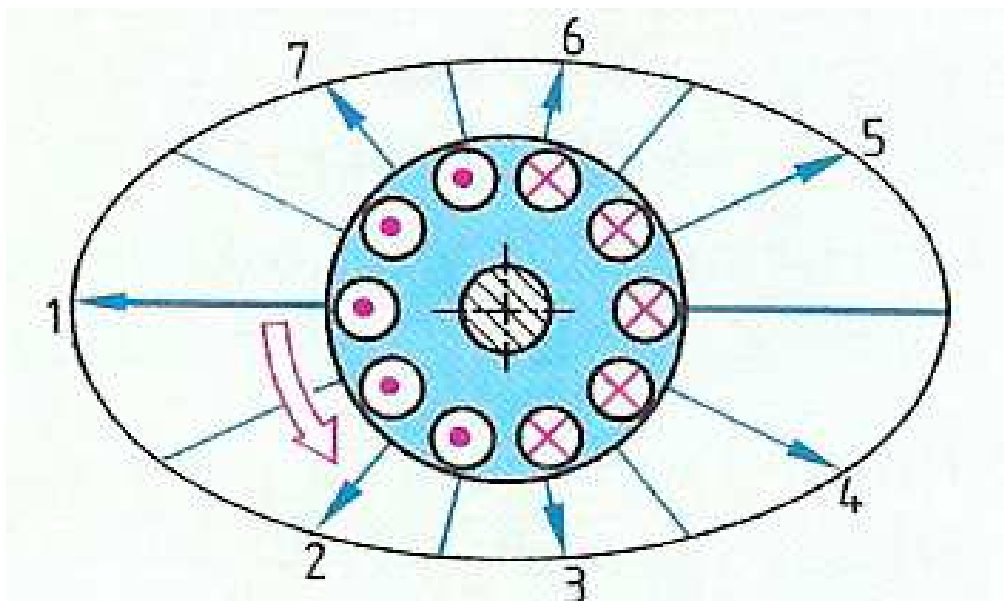
Při eliptickém točivém poli je oproti kruhovému poli při trojfázovém provozu menší výkon motoru a to maximálně 70 % jmenovitého výkonu. Záběrný moment se zmenší při tomto jednofázovém provozu většinou na polovinu.

## 5.2 Kruhové magnetické pole při trojfázovém provozu

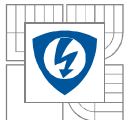


Obr. 5-2 Kruhové magnetické pole

## 5.3 Eliptické magnetické pole při trojfázovém provozu nebo pro jednofázový motor s trvale připojeným kondenzátorem



Obr. 5-3 Eliptické magnetické pole



## 6 ZPŮSOBY URČENÍ VELIKOSTI KONDENZÁTORU

Vlastnosti a použití motoru částečně závisí na velikosti kondenzátoru pro pomocnou fázi. Vždy se snažíme o snížení záběrného proudu a maximalizaci záběrného momentu, rychlý, tichý a ekonomický rozběh, potažmo běh motoru.

Pro určení minimální hodnoty kapacity rozběhového kondenzátoru se udává hodnota 68  $\mu\text{F}$  na 1 kW výkonu motoru, při daných parametrech sítě (230 V, 50 Hz).

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

### 6.1 Příklady různých určení kapacity kondenzátoru - empirické vzorce

$$C = 0,29.k.P \quad (3)$$

kde:

pro k platí:

C - kapacita kondenzátoru ( $\mu\text{F}$ )

k = 25 pro napětí 400V

k - konstanta závislá na napětí sítě

k = 68 pro napětí 230V

P - výkon trojfázového motoru (kW)

k = 200 pro napětí 110V

$$C = \frac{P}{U.f^2} \quad (4)$$

kde:

C - kapacita kondenzátoru (F)

U - napětí sítě (V)

P - výkon motoru (W)

f - kmitočet sítě (Hz)

$$C = 68.P \quad (5)$$

kde:

C - kapacita kondenzátoru ( $\mu\text{F}$ )

P - výkon trojfázového motoru (kW)

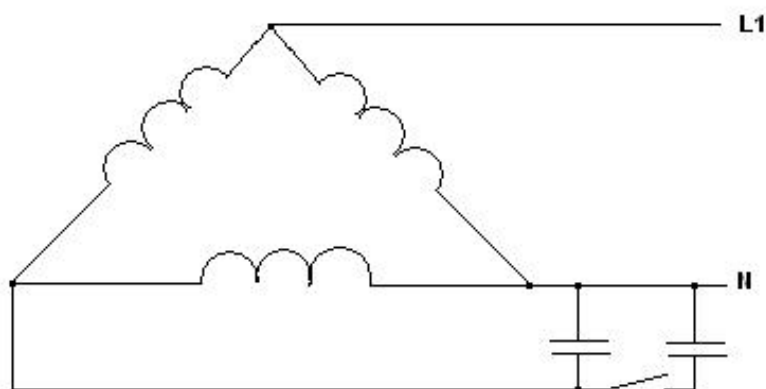
## 6.2 Další možnost určení kapacity kondenzátoru - tabulková metoda

Tab. 6-1 Velikost kapacity kondenzátoru

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

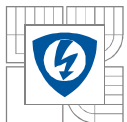
## 6.3 Provoz se dvěma kondenzátory

Pro Steinmetzovo zapojení je možné asynchronní motor provozovat v zapojení se dvěma kondenzátory, kdy jeden je vždy připojen trvale a druhý pouze při rozběhu a po rozběhnutí motoru je odpojen.



Obr. 6-1 Steinmetzovo zapojení se dvěma kondenzátory

Kapacity jednotlivých kondenzátorů můžeme určit z následující empirické tabulky



Tab. 6-2 Empirická tabulka pro určení kapacity kondenzátoru u Steinmetzova zapojení

Výkon motoru	Trvale připojený kondenzátor	Odpojovaný kondenzátor
[W]	[ $\mu\text{F}$ ]	[ $\mu\text{F}$ ]
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

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

## 7 SHRNU TÍ

Jednofázový asynchronní motor je jednoduchý točivý elektrický stroj. Nejběžnější provedení asynchronního motoru je provedení trojfázové. Jednofázový asynchronní motor nabývá na významu v případě, že nemáme v blízkosti možnost připojení na síť trojfázovou, což je velmi časté. U jednofázových asynchronních motoru je z hlediska provozu problém s rozběhem. Z hlediska analýzy rozběhu jednofázového motoru a vzniku záběrného momentu je nejvýhodnější zapojení s pomocným vinutím při kapacitním rozběhu jak je vidět na obrázku 3-3. Velikost kapacity kondenzátoru platí vždy pouze pro jedno zatížení.



## 8 ZÁKLADNÍ VÝPOČET JEDNOFÁZOVÉHO ASYNCHRONNÍHO MOTORU S POMOCNOU FÁZÍ

### 8.1 Úvod

Úvodem do této kapitoly je třeba říci, že předpokládaný výpočet bude orientační, neboť až po určitých zkušenostech s výpočtem ověřeným zároveň praxí, lze dosáhnout spolehlivých výsledků. V žádném výpočtu totiž nelze uvažovat výrobní odchylky, který právě u malých strojů mají velký vliv.

### 8.2 Postup výpočtu jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází

Při postupu návrhu jednofázového asynchronního motoru, ať už s trvale zapojeným kondenzátorem či bez něj, se určí nejdříve **hlavní rozměry železných součástí**. Dále pak vypočteme předběžně veškeré údaje pro **rozměry drážek a údajů o vinutí**.

### 8.3 Výpočet hlavních rozměrů železných součástí

Při předběžném určení hlavních rozměrů železa vyjdeme z rozměrů železa pro stroj trojfázový. Takto určené hodnoty je třeba zvětšit podle využití stroje  $\gamma$ , které je dané podle použitého zapojení. V praxi se často používá stejných statorů a rotorů jak pro motory trojfázové, tak i jednofázové. Nejjednodušší je tedy určit hlavní rozměry jednofázového asynchronního motoru s výkonem  $P$  jako rozměry motoru trojfázového s výkonem  $\alpha P$  krát větším.

Zdánlivý příkon trojfázového asynchronního motoru stejných rozměrů je

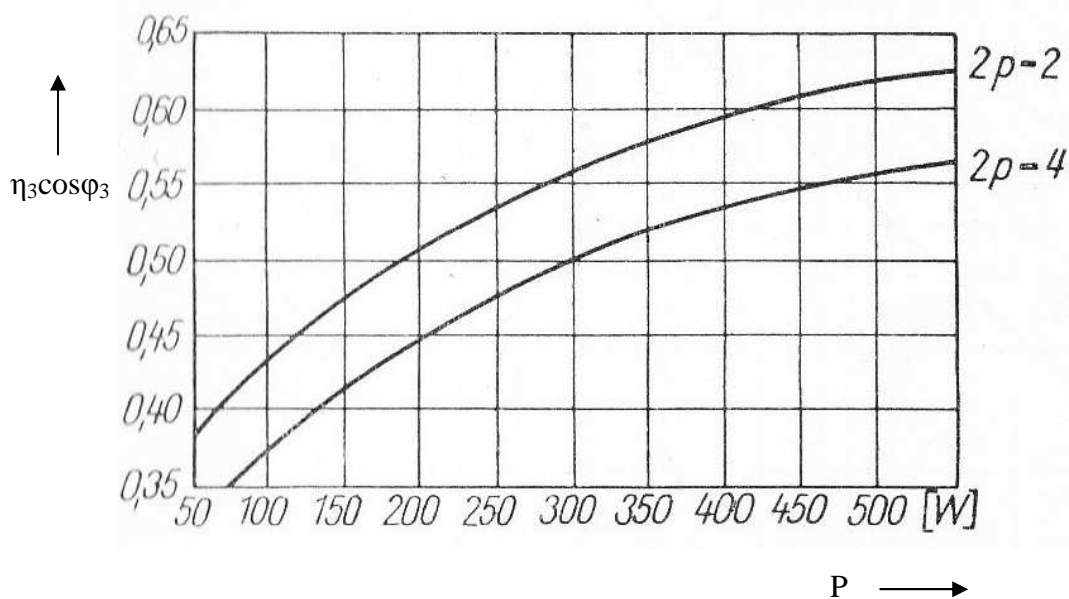
$$S_3 = \frac{\alpha P}{\cos \varphi \eta_3} \quad [\text{VA}; \text{W}] \quad (6)$$

kde  $\alpha$  je převrácená hodnota využití stroje  $\gamma$ , jehož velikost závisí na tom, zda pomocné vinutí je zapojeno či nikoliv a na druhu zapojení a platí tedy

$$\alpha = \frac{1}{\gamma} \quad (7)$$

#### Pozn.

Využití  $\gamma$  u základního zapojení s pomocným vinutím bývá v rozmezí 0,45 až 65. Veličiny  $\cos \varphi_3$  a  $\eta_3$  se vztahují na trojfázový asynchronní motor výkonu  $\alpha P$  a proto je označíme indexem 3. Jejich velikost lze předběžně odhadnout podle provedení strojů nebo například podle diagramu na obrázku 8-1.



Obr. 8-1 Součin účinníku a účinnosti pro trojfázové motory

Známe-li zdánlivý příkon  $S_3$  náhradního trojfázového asynchronního motoru, můžeme určit rozměry podle daných rovnic. Pro hlavní rozměry stroje platí

$$d^2 l = \frac{8,6 (1 - \varepsilon_3) S_3 10^4}{B_\delta A x_1 n_s} \quad [\text{cm; VA, T, A/cm, ot/min}] \quad (8)$$

- kde  $d$  je vrtání statoru  
 $l$  délka statorového železa  
 $\varepsilon_1$  poměrný úbytek napětí na rozptylové reaktanci a činném odporu statoru  
 $S_3$  zdánlivý výkon stroje  
 $B_\delta$  maximální indukce ve vzduchové mezeře  
 $x_1$  činitel vinutí statoru  
 $n_s$  synchronní otáčky  
 $A$  proudové zatížení obvodu statoru

U nejběžnějších dvoupólových a čtyřpólových motorů můžeme položit veličiny  $(1 - \varepsilon_1)$  a  $x_1$  sobě rovné a vztah upravit na tvar

$$d^2 l = \frac{8,6 \cdot 10^4}{B_\delta A} \frac{S_3}{n_s} \quad [\text{cm; VA, T, A/cm, ot/min}] \quad (9)$$





a stručně můžeme psát

$$d^2l = C \frac{S_3}{n_s} \quad [\text{cm}; \text{VA}, \text{ot/min}] \quad (10)$$

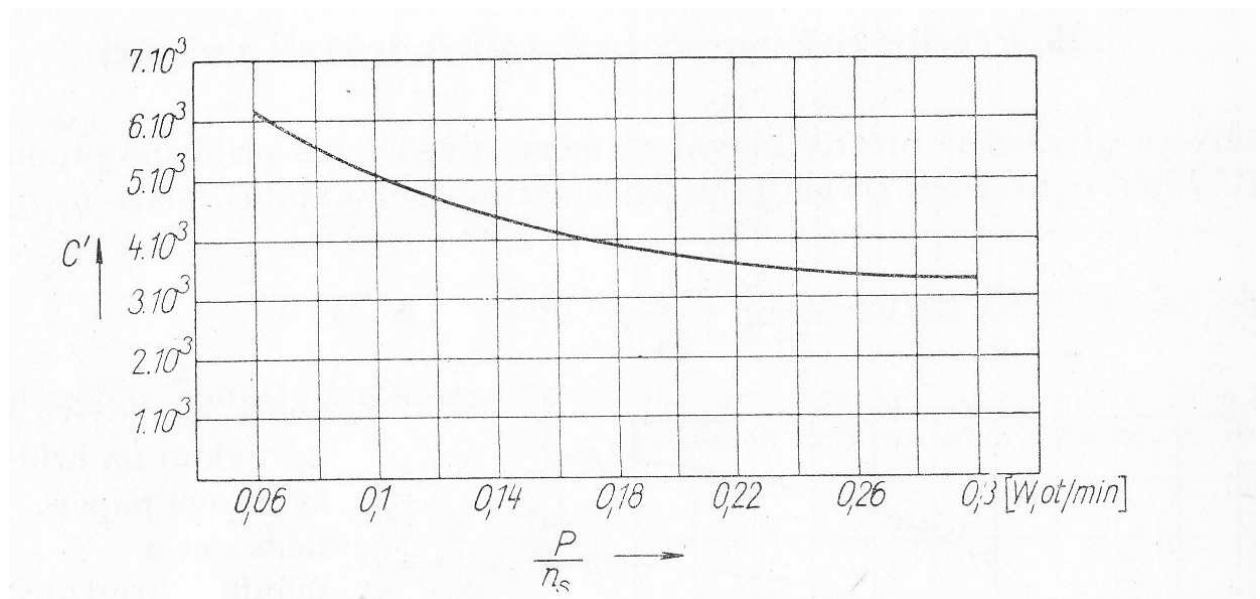
kde výraz  $C$  představuje Essonskou konstantu pro kterou platí

$$C = \frac{8,6 \cdot 10^4}{B_\delta A} \quad [\text{T}, \text{A/cm}] \quad (11)$$

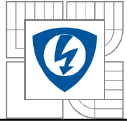
Pozn.

Je třeba upozornit, že tyto vztahy platí pro uvažování účinnosti a účinníku pro stroj trojfázový a pro takto zvolené využití stroje  $\gamma$ . V jiné literatuře se můžeme setkat se stejným vztahem, který ovšem počítá s účinností a účinníkem stroje jednofázového, což se projevuje použitím jiné konstanty  $\alpha$  a je třeba dbát na volbu způsobu návrhu. Jde-li o návrh hlavních rozměrů motoru s trvale zapojeným kondenzátorem a jestliže je pomocné vinutí plně využito, dosadíme za  $\alpha = 1,1$ .

Essonskou konstantu  $C$  můžeme určit buď výpočtem ze zvoleného sycení  $B_\delta$  ve vzduchové mezeře a proudového zatížení obvodu statoru  $A$ , nebo odečteme z diagramu sestrojeném podle již provedených a vyhovujících strojů jako na obrázku 8-2 sestrojeného podle Kuhlmannna. Sycení bývá u jednofázových motorů  $B_\delta = 0,5$  až  $0,6$  T. Proudové zatížení statorového obvodu bývá v mezích  $A = 120$  až  $200$  A/cm.



Obr. 8-2 Výkonová konstanta  $C$  podle Kuhlmannna



Poměr vnějšího průměru  $d_1$  statorových plechů k vrtání statoru závisí na počtu pólů a platí přibližně u dvoupólových strojů

$$\frac{d}{d_1} = k_s \sim 0,5 \quad (12)$$

a u čtyřpólových

$$\frac{d}{d_1} = k_s \sim 0,6 \quad (13)$$

Podobně také poměr délky železa  $l$  k pólové rozteči  $\tau$ , který značíme  $\lambda$  a platí:

$$\lambda = \frac{l}{\tau} \quad ; \quad \tau = \frac{\pi d}{2p} \quad (14); (15)$$

$\lambda$  bývá u dvoupólových strojů  $\lambda = 0,6$  až  $1,0$

u čtyřpólových  $\lambda = 1,0$  až  $1,4$

## 8.4 Předběžný výpočet rozměrů drážek a vinutí

Máme-li předběžně určeny hlavní rozměry železa, vypočteme přibližně **proud hlavního vinutí**. Jde-li o motor s pomocným vinutím a trvale zapojeným kondenzátorem je proud hlavního vinutí dán rozšířeným vztahem

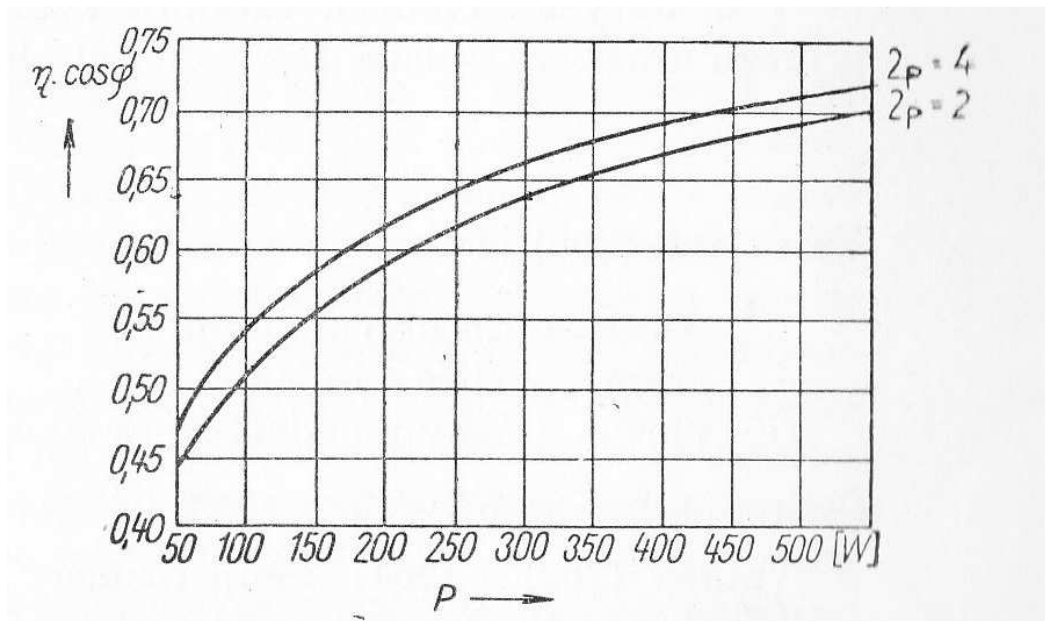
$$I_A = \frac{P_n}{\eta'_1 \cos \varphi'_1 U (1+k_{cu})} \quad [A; W, V] \quad (16)$$

kde  $P_n$  značí jmenovitý mechanický výkon na hřídeli

$U$  svorkové napětí

$k_{cu}$  značí poměr drážkového prostoru obou vinutí

Součin  $\eta'_1 \cos \varphi'_1$  bude co do velikosti někde mezi hodnotami pro trojfázový asynchronní motor a jednofázový, což závisí na váze mědi a využití pomocného vinutí. Daný vztah platí ale pouze pro plně využitá pomocná vinutí. Proto u motorů s trvale připojeným kondenzátorem je daný součin dokonce vyšší než u motorů třífázových. Vyšší hodnoty jsou způsobeny vlivem účinníku kompenzace kondenzátorem. Součin  $\eta'_1 \cos \varphi'_1$  pro motor s trvale připojeným kondenzátorem odečteme z diagramu na obrázku 8-3.



Obr. 8-3 Součin účinnosti a účinníku na svorkách sítě pro jednofázové asynchronní motory s trvale připojeným kondenzátorem v pomocné fázi

Ze dříve zvolené indukce ve vzduchové mezeře určíme magnetický tok

$$\Phi = \frac{ldB_{\delta}10^4}{p} \quad [\text{A; W, V}] \quad (17)$$

Plocha jednoho pólu ve vzduchové mezeře je

$$S = \frac{\pi dl}{2p} \quad [\text{A; W, V}] \quad (18)$$

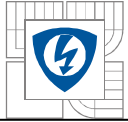
Závity hlavního vinutí vypočteme dle vztahu

$$N_A = \frac{U(1 - \varepsilon_1)}{4,44fx_4\Phi} \quad [\text{V; c/s, Wb}] \quad (19)$$

kde  $\varepsilon_1$  je poměrný úbytek napětí na rozptylové impedanci statoru. Úbytek  $\varepsilon_1$  předběžně odhadneme podle provedených strojů. Šířku zubu zvolíme takovou, aby sycení v zubech vycházelo  $B_z = 1,5$  až  $1,7$  T.

Šířka zubu je dána vztahem

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta}}{B_z} \frac{\pi d}{0,9 Q_1} \quad (20)$$



kde předpokládáme při dobrém stažení plechů plnění železa 0,9. Průřez statorového vodiče hlavního vinutí  $A$  volíme podle proudu  $I_A$  tak, aby proudová hustota byla v mezích  $\sigma = 6$  až  $8,5 \text{ A/mm}^2$ .

Průřez vinutí hlavního vinutí  $A$  bude

$$S = \frac{I_A}{\sigma_A} \quad [\text{mm}^2; \text{A}, \text{A/mm}^2] \quad (21)$$

Potřebná plocha drážky bez izolace

$$S_d = \frac{2N_A S'_A}{Q_{1A} k_d} \quad [\text{mm}^2] \quad (22)$$

kde  $S_A$  je průřez vodiče vinutí  $A$  s izolací

$Q_{1A}$  je počet drážek připadajících na hlavní vinutí.

$k_d$  je poměr součtu kruhových průřezů všech izolovaných vodičů v drážce k ploše neizolované drážky. U malých strojů bývá podle tabulky.

Tab. 8-1. Plnění drážek

Počet pólů $2p$	2	4	6
Plnění drážky $k_d$	0,41	0,39	0,37

V některých firmách vztahují využití drážky na plochu drážky po odečtení průřezu drážkové izolace. Pak činitel plnění bývá až 70 % a je dán vztahem:

$$k'_d = \frac{2N_A d_A^2}{Q_{1A} S'_d} \quad (23)$$

kde  $N_A$  značí počet závitů hlavního vinutí

$d'_A$  průměr vodiče s izolací

$S'_d$  plocha drážky po odečtení drážkové izolace

Pomocí předchozích vztahů určíme tedy rozměry statorových drážek. Počty drážek se ale většinou volí dle zkušenosti. Nejčastěji se počty drážek statoru a rotoru určí zároveň, neboť musejí být navzájem přizpůsobeny. Často se také používají stejné plechy jak pro stroj trojfázový, tak i pro jednofázový. V tabulce 8-2 jsou uvedeny často používané počty drážek.



Tab. 8-2. Používané počty drážek

2p	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>
2; 4	24	30
2	18	30
4; 6; 8	36	48
2; 4; 8	24	36
4	32	26
2	24	18

Počet drážek na pól  $Q_p$  bývá obvykle větší nebo roven *šesti* vzhledem k velkému diferenčnímu rozptylu při malém počtu drážek. Malého počtu drážek se snažíme vyvarovat. Drážky rotoru provádíme obvykle natočené nejvýše o jednu rozteč drážek statorových. Potřebná šířka statorového jha je dána vztahem:

$$d_1 - d_2 = \frac{\Phi 10^4}{B_{j1} l 0,9} = \frac{B_\delta}{B_{j1}} \frac{d}{p 0,9} \quad [\text{cm, T, Wb}] \quad (24)$$

kde  $B_{j1} = 1,3$  až  $1,5$  T

Pro šířku zubu rotorů  $b_{z2}$  platí stejně jako pro stator vztah (20), přičemž dosadíme místo počtu drážek statoru počet drážek rotoru  $Q_2$ . Sycení železa zubů rotoru volíme v mezích  $B_{z2} = 1,5$  až  $1,8$  T.

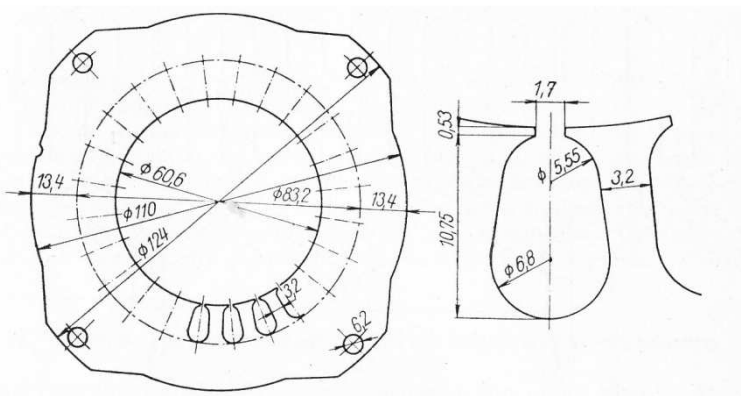
Obdobně pro šířku rotorového jha platí vztah (24), do něhož se zahrnou dané parametry rotoru. Sycení rotoru může být i vyšší nežli statorové, ale často o sycení rozhoduje mechanické provedení (průměr hřídele), takže rotor bývá sycen většinou méně nežli stator.

Poměrně závažná otázka při návrhu je odpor rotoru. Při volbě průřezu vodivého materiálu rotoru je nutné uvědomit si, že odpor rotoru je ovlivňován nejen jmenovitým skluzem a záběrným momentem jako u motorů třífázových, ale také momentem zvratu a přídavnými momenty vyššími harmonickými. U stroje s trvale připojeným kondenzátorem tento vliv není až tak velký, ale přesto se snažíme volit průřez vodivého materiálu rotoru větší. Se vzrůstajícím odporem rotoru se zmenšuje moment zvratu a vzrůstá jmenovitý skluz. U motoru s trvale připojeným kondenzátorem roste jmenovitý skluz jen do určité míry. Jestliže máme daný jmenovitý skluz, který chceme dodržet, určíme odpor rotorové tyče  $R_t$ , který v sobě již zahrnuje odpor spojovacích kruhů, podle vztahu (25), kde  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\Delta P$  a  $\Delta P_{cui}$  odhadneme.

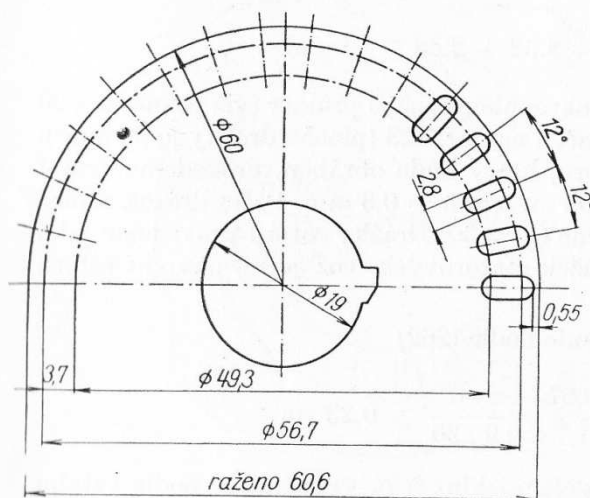
$$R'_t = \frac{(1-s) s U^2 (1-\varepsilon_1-\varepsilon_2)^2 Q_2 x_t}{4 N_A^2 x_A^2 (P+\Delta P_{cui}+\Delta P)} \quad [\Omega; \text{V, W}] \quad (25)$$

## 8.5 Shrnutí základního výpočtu

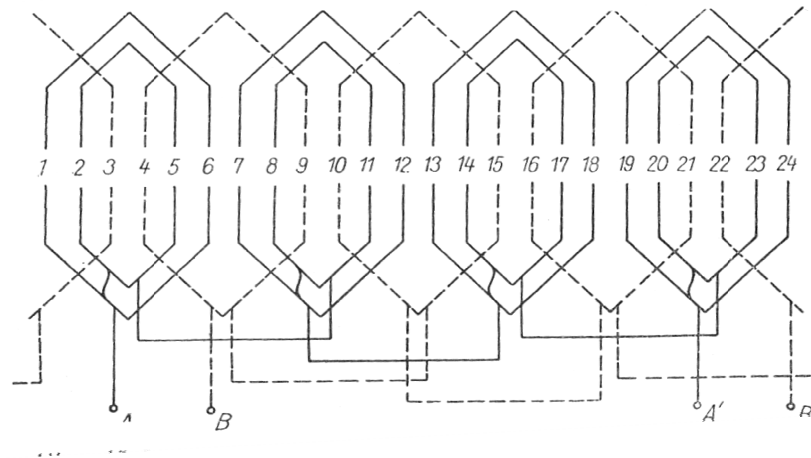
V kapitole 8 se zabýváme výpočtem jednofázového asynchronního motoru. Při postupu výpočtu nejdříve vypočteme předběžně hlavní rozměry železa a poté veškeré údaje o vinutí, drážkách a dalších potřebných veličin a rozměrů. Při návrhu využíváme tvarů a rozměrů součástí strojů trojfázových, neboť se používá velmi často stejných rozměrů a tvarů jednotlivých součástí jak pro stroje trojfázové, tak i pro motory jednofázové. Pro zjednodušení výpočtu můžeme různé konstanty či jiné veličiny vyčíst z diagramů, který je vytvořen podle již dříve vyrobených motorů, a diagramy jsou tedy podloženy praxí. Na obrázku 8-4 je uvedena ukázka základního tvaru plechů a drážek pro asynchronní motor, který se běžně vyrábí. Obdobně na obrázku 8-5 je znázorněn tvar plechů a drážek rotoru asynchronního motoru. Obrázek 8-6 znázorňuje nejběžnější a nejzákladnější typ vinutí hlavní a pomocné fáze, kdy hlavní fáze je navinuta do 2/3 drážek a na obrázku 8-7 je celá sestava jednofázového asynchronního motoru. Pro velikost kapacity kondenzátoru je třeba zhodnotit využití kondenzátoru, zda bude trvale připojen nebo jen krátkodobě zatížen při rozběhu. Výpočet provedeme dle kapitoly 6.



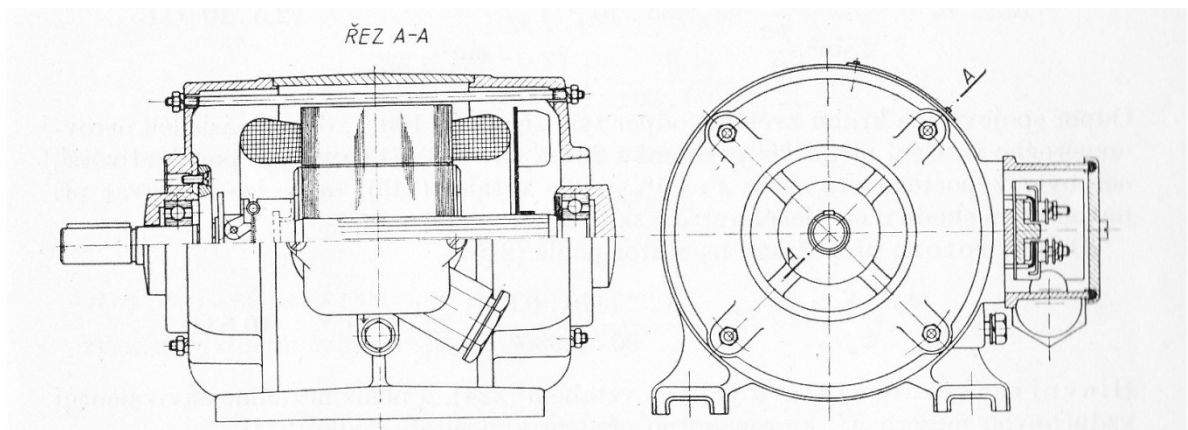
Obr. 8-4 Ukázka vypočteného a navrhnutého tvaru plechů a drážek statoru



Obr. 8-5 Ukázka vypočteného a navrhnutého tvaru plechů rotoru



*Obr. 8-6 Ukázka nejběžnějšího typu vinutí hlavní a pomocné fáze u jednofázového asynchronního motoru s pomocnou fází*



*Obr. 8-7 Ukázka nákresu sestavy jednofázového asynchronního motoru*





## 8.6 Výpočet konstant jednofázového asynchronního motoru

Jestliže jsme navrhli předběžně hlavní rozměry železa a rozměry drážek a vinutí, můžeme vypočítat konstanty náhradního schématu jednofázového asynchronního motoru. Musíme si uvědomit, že pro takto malé stroje menších výkonů mohou být tyto hodnoty určeny pouze orientačně a mnohdy ne zcela přesně. Přesnějších hodnot dosáhneme až dlouhodobými zkušenostmi ověřenými praxí.

### 8.6.1 Činné odpory

Odpor každého fázového vinutí statoru vypočítáme podle známého vztahu

$$R_1 = \frac{Nl_z}{\gamma S} \quad [\Omega; \text{m, S m/mm}^2, \text{mm}^2] \quad (26)$$

kde  $N$  je počet závitů uvažovaného vinutí

$l_z$  je střední délka závitů

$\gamma$  měrná vodivost

$S$  průřez vodiče

Pro odpor jedné tyče rotoru, do níž je započítán vliv odporu spojovacích kruhů, platí

$$R'_t = R_1 + \frac{R_{kr}}{2 \sin^2 \frac{p\pi}{Q_2}} \quad [\Omega] \quad (27)$$

kde  $R_t$  je odpor samostatné rotorové tyče

$$R_t = \frac{l_t}{\gamma S_t} \quad [\Omega; \text{m, S m/mm}^2, \text{mm}^2] \quad (28)$$

a  $R_{kr}$  odpor spojovacího kruhu

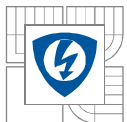
$$R_{kr} = \frac{\pi d_{kr}}{\gamma S_{kr} Q_2} \quad [\Omega; \text{m, S m/mm}^2, \text{mm}^2] \quad (29)$$

kde v předchozích vztazích značí

$Q_2$	počet drážek (tyčí) v rotoru
$p$	počet pólových dvojic
$l_t$	délka tyče
$S_t$	průřez tyče
$d_{kr}$	střední průměr spojovacího kruhu

Měrnou specifickou vodivost  $\gamma$  lze brát podle druhu materiálu z tabulky 8-3 .





Tab. 8-3 Měrná vodivost

Materiál	Teplota $\nu$ [ °C ]	$\gamma$ [ Sm/mm <sup>2</sup> ]
měď	20	56
	70	47
	20 + $\Delta\nu$	56
		$1 + 0,0039 \Delta\nu$
elektrolytický hliník	20	34
	70	28
	20 + $\Delta\nu$	34
		$1 + 0,0037 \Delta\nu$
mosaz	20	11
	70	12
	20 + $\Delta\nu$	11
		$1 + 0,00315 \Delta\nu$

Odpor rotorové klece přepočítaný na stator vypočteme dle vztahu

$$R_2 = \frac{4m (N_1 x_1)^2}{Q_2 x_t^2} \left[ R_t + \frac{R_{kr}}{2 \sin^2 \frac{p\pi}{Q_2}} \right] \quad [\Omega] \quad (30)$$

kde indexem 1 jsou označeny veličiny vztahující se na statoru, t.j.  $x_1$  je činitel vinutí statoru a  $x_t$  činitel natočení drážky rotoru. Dále  $m$  je počet fází statorového vinutí, na který rotorový odpor přepočítáváme. Ten nemusí souhlasit se skutečným počtem fázových vinutí.

### 8.6.2 Činitelé vinutí

Činitel vinutí  $x$  udává poměr mezi geometrickým a algebraickým součtem indukovaných napětí jednotlivých cívek, které tvoří fázové vinutí. Výpočet těchto činitelů můžeme určit několika způsoby. Činitel vinutí je různý pro prvou a vyšší harmonické. Činitel vinutí se obvykle rozkládá na činitele rozlohy  $x'$  a činitele zkrácení kroku  $x''$

$$x = x' x'' \quad (31)$$



Pro prvou harmonickou platí

$$x' = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (32)$$

$$x'' = \sin \frac{y \pi}{\tau 2} \quad (33)$$

kde  $q$  je počet drážek na pól a fázi

$\alpha$  je úhel mezi sousedními drážkami v elektrických stupních

$y/\tau$  je poměr kroku cívky k pólové rozteči

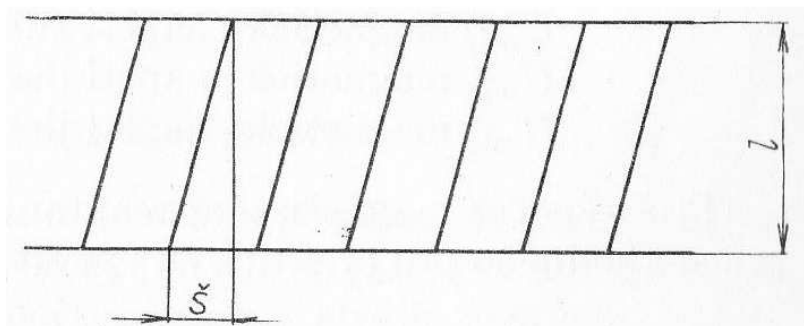
Vinutí jednofázových strojů je nejčastěji se soustřednými čely jako na obrázku 8-6. O takovém vinutí můžeme uvažovat jako o vinutí s plným krokem, neboť každé drážce na jednom pólu odpovídá stejně plněná drážka na pólu druhém, i když je toto vinutí složeno ze souosích cívek s krokem různě zkráceným. Pro tento typ vinutí můžeme položit  $x'' = 1$ . U vinutí sinusových podle výše uvedených vztahů nelze počítat, pro tento případ se činitel vinutí určuje graficky nebo vektorovým součtem napětí ve vodičích.

Činitel vinutí pomocné fáze určíme dle stejného vztahu jako pro vinutí hlavní, je zde změna pouze v počtu drážek a vodičů.

Činitel vinutí pro rotorovou klec, kde jsou drážky zešíkmeny, určíme podle

$$x_t = \frac{\sin \frac{\check{s} \pi}{2\tau}}{\frac{\check{s} \pi}{2\tau}} \quad (34)$$

$\check{s}$  je délka zešíkmení drážek podle obrázku 8-8. a  $\tau$  je pólová rozteč.



Obr. 8-8 Zešíkmení drážek rotoru



### 8.6.3 Reaktance

- a) **Hlavní reaktance** je určena magnetickým tokem procházejícím vzduchovou mezerou do rotoru. Je třeba nejprve zjistit magnetická napětí na jednotlivých částech při jmenovitých sycení magnetického obvodu. Součet  $U_m$  těchto dílčích napětí udává celkové magnetické napětí obvodu na pólovou dvojici.

Platí tedy

$$U_m = U_{m\delta} + U_{mz1} + U_{mz2} + U_{mj1} + U_{mj2} \quad (35)$$

kde

$$U_{m\delta} = 1,6 \cdot 10^4 \delta' B_{\delta}' \quad (36)$$

značí magnetické napětí ve vzduchové mezeře, při čemž efektivní vzduchová mezera  $\delta$  je dána vztahem

$$\delta' = k_{\delta 1} k_{\delta 2} \delta \quad (37)$$

A  $k_{\delta 1}$  a  $k_{\delta 2}$  jsou Carterovy činitele pro stator a rotor, které se určí podle

$$k_{\delta} = \frac{\tau_d}{\tau_d + \delta - \frac{3}{4}b'} \quad (38)$$

kde  $\tau_d$  je rozteč a  $b'$  je otevření drážky uvažované části (rotor či stator).

Pro železné části magnetického obvodu musíme použít magnetizační křivky pro dané plechy, určit podle sycení jednotlivých částí magnetická napětí na 1 cm délky obvodu a násobit indukční čáry v příslušné části pro pólovou dvojici.

Pozn. Ve vztahu (35) značí

$U_{mz1}$  magnetické napětí zubů statoru

$U_{mz2}$  magnetické napětí zubů rotoru

$U_{mj1}$  magnetické napětí jha statoru

$U_{mj2}$  magnetické napětí jha rotoru

Magnetizační reaktanci vypočteme dle upraveného vztahu

$$X_h = 1,6m \frac{f}{100} \left( \frac{Nx}{100} \right)^2 \frac{\tau}{100\delta' p} \frac{l}{p} \quad [\Omega; \text{c/s}; \text{cm}] \quad (39)$$



kde  $m$  je počet fázových vinutí (pro který magnetizační reaktanci počítáme)

$f$  je kmitočet sítě

$N$  počet závitů uvažovaného vinutí

$x$  činitel vinutí

$\tau$  pólová rozteč

$p$  počet pólových dvojic

$l$  ideální délka železa (je rovna přibližně délce železa samotného)

$\delta$  je ekvivalentní vzduchová mezera, která zahrnuje vliv železa a je dána:

$$\delta'' = \delta' \frac{\text{magnetizační napětí celkové}}{\text{magnetické napětí vzduchové mezery}} = \delta' \frac{U_m}{U_{m\delta}} \quad (40)$$

Zanedbáme-li vliv železa platí:  $\delta' = \delta''$

Pro hlavní reaktanci samotné vzduchové mezery můžeme napsat vztah:

$$X'_h = X_h \frac{\delta''}{\delta'} \quad (41)$$

b) **Rozptylová reaktance** zahrnuje všechny magnetické toky uvažovaného satorového vinutí kromě toku základní harmonické ve vzduchové mezeře. Rozptylová reaktance má největší vliv na přetížitelnost, záběrný moment a proud nakrátko motoru. Určení se neliší od strojů třífázových. Rozptylová reaktance je dána součtem dílčích rozptylů:

$$X_{rA} = X_{A0} + X_{Ad} + X_{A\check{c}} + X_{Aq} \quad (42)$$

kde  $X_{A0}$  diferenciální rozptyl,

$X_{Ad}$  rozptyl v drážce

$X_{A\check{c}}$  rozptyl přes čela vinutí,

$X_{Aq}$  rozptyl statoru přizpůsobený natočením drážek rotoru

Podmínkou pro správné určení těchto parametrů je zejména cit a zkušenosti výpočtáře, jelikož u takto malých strojů jsou hodnoty dosti nepřesné, závisí na mnoha parametrech, zejména na sycení železa.

Diferenční rozptyl satorového vinutí určíme z hlavní reaktance podle vztahu

$$X_{rA} = \sigma_{A0} X'_h \quad (43)$$

Součinitel diferenčního rozptylu  $\sigma_{A0}$  volíme podle počtu drážek z tabulky 8-4.



Tab. 8-4 Hodnoty  $\sigma_o \cdot 100$  pro vinutí s plným krokem

Qp	2	3	4	6	8	9	10	12	15	$\infty$
Jednofázová vinutí $q = 2/3 Qp$	---	9,7	---	2,85	---	1,41	---	0,88	0,65	0,22
Jednofázová nebo dvoufázová vinutí $q = 1/2 Qp$	23,4	---	8,45	4,68	3,3	---	2,65	2,29	---	1,64

Diferenční rozptyl se často rozkládá na rozptyl přes hlavy zubů a diferenční rozptyl pro nekonečný počet drážek. Při zjednodušení můžeme předpokládat přibližně pouze rozptyl přes hlavy zubů. Tento rozptyl vypočítáme pro jednovrstvová vinutí podle vztahů

$$X_{Az} = 0,158 \frac{f}{100} \left( \frac{N_A}{100} \right)^2 \frac{l \lambda_z}{p q} \quad [\Omega; \text{c/s, cm}] \quad (44)$$

$$\lambda_z \sim \frac{[\tau_d - 0,75(b'_1 + b'_2)]^2}{6\tau_{d2}\delta} \quad (45)$$

kde  $b_1$  a  $b_2$  značí otevření drážky statoru a rotoru ve vzduchové mezeře (na obrázku 8-9 označeno  $b_4$ ).

Drážkový rozptyl vypočítáme jako u motorů třífázových

$$X_{Ad} = 0,158 \frac{f}{100} \left( \frac{N_A}{100} \right)^2 \frac{l \lambda_d}{p q} \quad [\Omega; \text{c/s, cm}] \quad (46)$$

Kde  $q$  je počet drážek na pól obsazených uvažovaným vinutím a  $l$  je délka železa. Vodivost drážky  $\lambda_d$  vypočítáme pro tvar drážky podle obrázku 8-9 podle vztahu

$$\lambda_d = \frac{h_1}{3b} + \frac{h_2}{b} + \frac{h_3}{b_3} + \frac{h_4}{b_4} \quad (47)$$

Pro tvar drážky na obrázku 8-9 platí

$$\lambda_d = \frac{h_1}{3b} + 0,66 + \frac{h_4}{b_4} \quad (48)$$

Rozptyl přes čela vinutí určíme podle

$$X_{A\check{c}} = 0,158 \frac{f}{100} \left( \frac{N_A}{100} \right)^2 \frac{l_{\check{c}}}{p} \lambda_{\check{c}} \quad [\Omega; \text{c/s, cm}] \quad (49)$$

kde  $l_{\check{c}}$  je střední délka čela vinutí [cm] (na jedné straně statoru). Vodivost přes čela vinutí bereme cca  $\lambda = 0,11$  až  $0,16$ .

Rozptyl od zešíkmení drážek rotoru se stejnou měrou uplatňuje v rozptylové reaktanci i rotoru a platí tedy

$$X_{Aq} = \sigma_q X'_h \quad (50)$$

kde

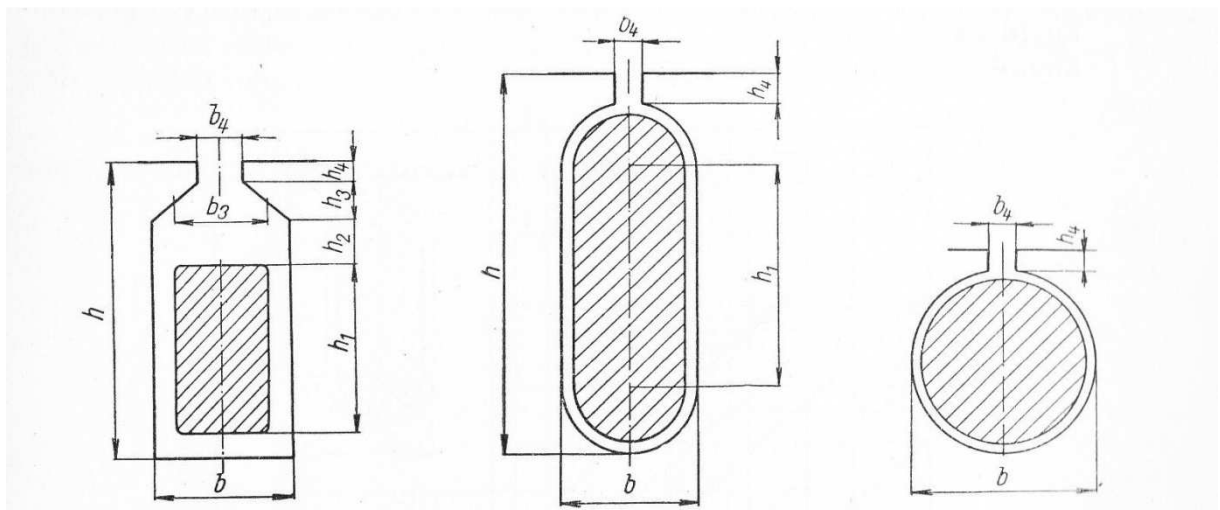
$$\sigma_q = 1,64 \left( \frac{p}{Q_2} \frac{\check{s}}{\tau_{d2}} \right)^2 \quad (51)$$

$\check{s}$  značí délku zešíkmení rotorových drážek

$\tau_{d2}$  je rozteč drážky rotoru

$p$  je počet pólových dvojic

$Q_2$  je počet rotorových drážek (tyčí klece)



Obr. 8-9 Rozměry různých druhů drážek (pro výpočet rozptylu)

- c) **Rozptylová reaktance rotoru přepočtená na stator.** Tato reaktance se skládá opět z dílčích rozptylových reaktancí: (nezahrnujeme do výpočtu zanedbatelný rozptyl přes čela vinutí)

$$X_{r2} = X_{20} + X_{2d} + X_{2q} \quad (52)$$

Diferenční rozptyl klecového rotoru

$$X_{20} = \sigma_{20} X'_h \quad (53)$$

kde platí

$$\sigma_{20} = 3,3 \left( \frac{p}{Q_2} \right)^2 \quad (54)$$

Drážkový rozptyl klecového rotoru přepočítaný na statorové vinutí A je dán vztahem

$$X_{2d} = 0,316 \frac{f}{100} \left( \frac{N_A x_A}{100 x_t} \right)^2 l \frac{m \lambda_d}{Q_2} \quad (55)$$

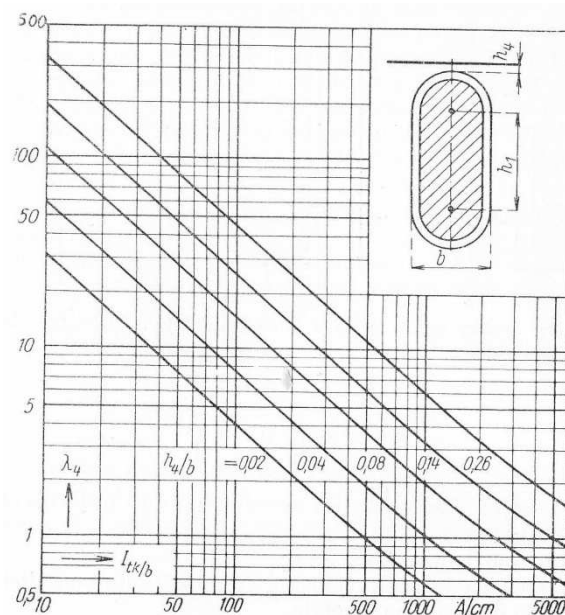
kde  $x_A$  je činitel statorového vinutí A, na něž rotorové konstanty přepočítáváme

$x_t$  je činitel zešíkmení rotorové drážky

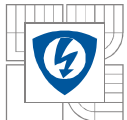
$l$  je délka železa

$m$  je počet fázových vinutí statoru

$f$  je kmitočet



Obr. 8-10 Diagram pro výpočet rozptylu v uzavřené drážce



Vodivost rotorové drážky pro tvar na obrázku 8-5 je dán podle vztahu (3). Pro drážku kruhovou na obrázku 8-5 dostáváme vztah

$$\lambda_d = 0,66 + \frac{h_4}{b_4} \quad (56)$$

Pozn. Máme-li rotorové drážky uzavřeny, ve vztahu (1) použijeme místo  $h_4/b_4$  hodnotu  $\lambda_4$  přečtenou z diagramu na obrázku 8-10. Pro drážku na obrázku 8-10 platí vztah:

$$\lambda_d = \frac{h_1}{3b} + 0,66 + \lambda_4 \quad (57)$$

Vodivost  $\lambda_4$  závisí na proudu tyče  $I_t$  a mění se ve velkých mezích. Protože rozptylová reaktance má největší vliv na moment zvratu a poměry nakrátko, určujeme  $\lambda_4$  obvykle pro chod nakrátko. Diagram na obrázku 8-10 udává hodnoty  $\lambda_4$  pro různé poměrné tloušťky můstku ( $h_4/b$ ) jako funkci proudového zatížení drážky na 1cm její šířky, takže výraz  $I_{tk}/b$  značí poměr efektivního proudu rotorové tyče při chodu nakrátko k její šířce  $b$ . Proud tyče obvykle odhadujeme.

Rozptyl od natočení drážek rotoru se uplatňuje v rotorové rozptylové reaktanci přepočtené na stator stejně jako v reaktanci statorové.

$$X_{2q} = \sigma_q X'_h \quad (58)$$

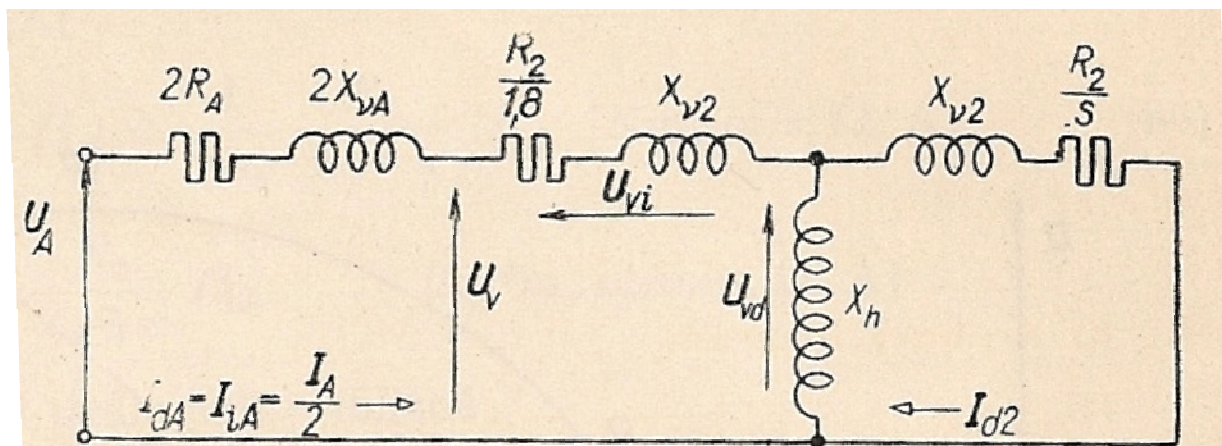
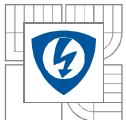
kde  $\sigma_q$  je dáno jako pro stator

$$X_{2q} = X_{Aq} \quad (59)$$

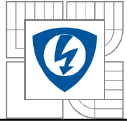
## 8.7 Shrnutí výpočtu konstant

S použitím výše uvedených vzorců jsme vypočítali všechny konstanty pro náhradní schéma jednofázového motoru, které je na obrázku 8-11. Hodnoty jsou určeny orientačně, neboť uvedené vzorce pro takto malé stroje platí pouze přibližně. Při návrhu mnohdy s takovýmto výpočtem vystačíme. Chceme-li však podrobněji vypočtené hodnoty ověřit, můžeme z vypočtených hodnot konstant náhradního schématu sestrojít kruhový diagram a vypočítat tak charakteristické hodnoty pro motor (moment zvratu, moment záběrný, proud nakrátko atd.) .





Obr.8-11 Zjednodušené náhradní schéma pro souslednou složku



## 9 DEMONSTRAČNÍ PŘÍKLAD VÝPOČTU

### Zadání:

Vypočítejte jednofázový asynchronní motor s pomocným vinutím pro kapacitní rozběh, kdy kapacita kondenzátoru je pouze pro provozní účely, který má tyto údaje

$$P_N = 250 \text{ W}; U = 230/110 \text{ V}; f = 50 \text{ Hz}; n = 1425 \text{ ot/min}; 2p = 4$$

### 9.1 Výpočet hlavních rozměrů železa a rozměrů drážek a vinutí

A) Určení hlavních rozměrů. Volím využití  $\gamma = 0,5$  a rozměry železa navrhujeme tedy jako pro stroj trojfázový s výkonem

$$P_3 = \frac{1}{\gamma} \cdot P_N = \frac{250}{0,5} = 500 \text{ W}$$

Účinnost a účinník tohoto trojfázového stroje určíme předběžně z diagramu na obrázku 8-1.

$$\cos \varphi_3 \eta_3 = 0,56$$

Zdánlivý výkon pro trojfázový motor

$$S_3 = \frac{\alpha P}{\cos \varphi \eta_3} = \frac{500}{0,56} = 893 \text{ VA}$$

Dále volíme

$$B_\delta = 0,57 \text{ T a } A = 170 \text{ A/cm}$$

a podle (9) platí

$$d^2 l = \frac{8,6 \cdot 10^4}{B_\delta A} \frac{S_3}{n_s} = \frac{8,6 \cdot 10^4}{0,57 \cdot 170} \cdot \frac{893}{1500} = 528 \text{ cm}^3$$

Volíme-li  $d = l$ , což odpovídá poměru  $\lambda = 1,2$ , vychází  $d = \sqrt[3]{528} = 8,01 \text{ cm}$ , což zaokrouhlíme a provedeme

$$d = l = 8 \text{ cm}$$

B) Předběžný výpočet rozměrů vinutí a drážek. Máme-li vypočteny hlavní rozměry železa, vypočteme proud hlavního vinutí  $I_A$  za chodu motoru. Součin účinnosti a účinníku pro tento typ motoru přečteme z diagramu na obrázku 8.3. Poměr drážkového prostoru obou vinutí volíme podle dříve zvoleného typu vinutí. Pro základní vinutí na obrázku 8-6 vychází  $k_{cu} = 0,5$ .

$$I_A = \frac{P_n}{\eta'_1 \cos \varphi'_1 U (1 + k_{cu})} = \frac{250}{0,71 \cdot 230 \cdot (1 + 0,5)} = 1,02 \text{ A}$$



Průřez vodiče hlavního vinutí je dán vztahem (21). Proudovou hustotu v hlavním vinutí volíme  $\sigma_A = 6,5 \text{ A/mm}^2$ , takže

$$S = \frac{I_A}{\sigma_A} = \frac{1,13}{6,5} = 0,174 \text{ mm}^2$$

Z toho vyplývá průměr holého vodiče 0,5 mm, vezmeme-li měděný drát průměru  $d_A = 0,5 \text{ mm}$ , tj. s izolací  $d'_A = 0,54 \text{ mm}$ . Ze zvolené magnetické indukce ve vzduchové mezeře vychází indukční tok

$$\Phi = \frac{ldB_\delta 10^4}{p} = \frac{0,55 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 10^{-4}}{2} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

Dříve než určíme počet závitů, volme úpravu vinutí. Stator provedeme o 24 drážkách a úpravu vinutí podle obrázku 8-6 (pomocné vinutí bude upřesněno).

Činitel vinutí vypočteme podle vztahu (32)

$$x = x' = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 4 \frac{15}{2}}{4 \sin \frac{15}{2}} = 0,84$$

Odhadneme-li úbytek na rozptylové reaktanci statoru  $\varepsilon_1 = 0,15$ , vychází podle (19) počet závitů hlavního vinutí

$$N_A = \frac{U(1-\varepsilon_1)}{4,44f x_4 \Phi} = \frac{230(1-0,15)}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,96 \cdot 1,76 \cdot 10^{-3}} = 521$$

Tento počet zaokrouhlíme na 524, takže do každé drážky hlavního vinutí přijde 131 vodičů. Potřebná plocha drážky bude

$$S_d = \frac{2N_A S'_A}{Q_{1A} k_d} = \frac{2 \cdot 524 \cdot 0,19}{16 \cdot 0,39} = 32 \text{ mm}^2$$

Volíme sycení v zubech  $B_{z1} = 1,6 \text{ T}$  a vypočítáme podle (20) šířku zubu statoru

$$b_{z1} = \frac{B_\delta}{B_z} \frac{\pi d}{0,9 Q_1} = \frac{0,55}{1,6} \frac{\pi \cdot 8}{0,9 \cdot 24} = 0,4 \text{ cm}$$

Volíme sycení statorového jha a určíme vnější průměr pomocí (24)

$$d_1 - d_2 = \frac{\Phi 10^4}{B_{j1} l 0,9} = \frac{B_\delta}{B_{j1}} \frac{d}{p 0,9} = \frac{0,55}{1,3} \frac{8}{2 \cdot 0,9} = 1,9 \text{ cm}$$

Takže

$$d_1 = d_2 + (d_1 - d_2) = 8,32 + 1,9 = 10,2 \text{ cm}$$



Abychom zachovali celistvý rozměr rotoru, který bude obráběn, provedeme vrtání statoru 60,6 mm, takže volíme vzduchovou mezeru  $\delta = 0,3$  mm. Počet drážek rotoru volíme dle tabulky 8-2  $Q_2 = 30$ . Drážky rotoru provedeme jako uzavřené a natočené o jednu rozteč drážek statorových, což je na obvodu rotoru 8 mm.

Šířka zubu rotoru v nejužším místě bude

$$b_{z2} = \frac{B_\delta}{B_z} \frac{\pi d}{0,9 Q_1} = \frac{0,55}{1,7} \frac{\pi \cdot 8}{0,9 \cdot 30} = 0,3 \text{ cm}$$

Odpor rotorové tyče vypočteme podle vztahu (25) pro zvolený skluz 5 %. Napřed odhadneme  $\varepsilon_1 = 0,15$ ;  $\varepsilon_2 = 0,1$ ;  $\Delta P = 10$  W;  $\Delta P_{\text{cui}} = 10$  W.

$$R'_t = \frac{(1-s) s U^2 (1-\varepsilon_1-\varepsilon_2)^2 Q_2 x_t}{4 N_A^2 x_A^2 (P + \Delta P_{\text{cui}} + \Delta P)} =$$
$$= \frac{(1 - 0,05) \cdot 0,05 \cdot 230^2 \cdot (1 - 0,15 - 0,1)^2 \cdot 30 \cdot 0,998}{4 \cdot 524^2 \cdot 0,96^2 \cdot (250 + 10 + 10)} = 15,5 \cdot 10^{-5} \Omega$$

Činitel vinutí  $x_t$  byl vypočten podle (34)

$$x_t = \frac{\sin \frac{\check{s}\pi}{2\tau}}{\frac{\check{s}\pi}{2\tau}} = \frac{\sin \frac{0,8 \cdot \pi}{2 \cdot 12,56}}{\frac{0,8 \cdot \pi}{2 \cdot 12,56}} = 0,998$$

Sousledná složka proudu rotoru

$$I_{dt} = \frac{sU \cdot (1-\varepsilon_1-\varepsilon_2) \cdot x_t}{2 N_A x_A R'_t} = \frac{0,05 \cdot 230 \cdot (1-0,15-0,1) \cdot 0,998}{2 \cdot 524 \cdot 0,96 \cdot 15,5 \cdot 10^{-5}} = 55,2 \text{ A}$$

Průřez rotorové tyče je dán vztahem, kdy proudová hustota v rotoru pro kondenzátorové motory a použitý měděný vodič je v rozmezí  $\sigma_{dt} = 6 - 7$  A/mm<sup>2</sup>

$$S_t = \frac{I_{dt}}{\sigma_{dt}} = \frac{55,2}{6} = 9,2 \text{ mm}^2$$

Volíme rotor z běžně vyráběných plechů. Průřez tyče bude tedy  $S_t = 13,65$  mm<sup>2</sup>.

Sousledná složka proudu v rotorovém kruhu bude

$$I_{dkr} = \frac{I_{dt}}{2 \cdot \sin \frac{p \cdot \pi}{Q_2}} = \frac{50}{2 \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi}{30}} = 120,3 \text{ A}$$



U tohoto motoru je použito kroužků průřezu 35 mm<sup>2</sup>. Můžeme tedy vypočítat proudovou hustotu sousledné složky pomocí

$$\sigma_{dkr} = \frac{I_{dkr}}{35} = \frac{133}{35} = 3,8 \text{ A/mm}^2$$

- C) Určení parametrů pomocného vinutí. Volíme  $k_1 = 0,8$  podle typu zapojení pomocného vinutí, které bývá u motorů s pomocným vinutím a kapacitní rozběh v rozmezí 0,8 - 1,2. Činitel pomocného vinutí vypočteme podle

$$x = x' = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 2 \frac{15}{2}}{2 \sin \frac{15}{2}} = 0,99$$

Pak vypočteme závitů pomocného vinutí.

$$N_B = \frac{k_1 \cdot x_A \cdot N_A}{x_B} = \frac{0,8 \cdot 0,96 \cdot 524}{0,99} = 406,5$$

Výsledek zaokrouhlíme a v každé drážce bude tedy 102 závitů.

Pro průřez pomocného vinutí můžeme volit hmotu měděného pomocného vinutí zhruba poloviční nežli hmoty vinutí hlavního. Pro  $k_d = 0,5$  bude průřez vodiče dle vztahu (22)

$$S'_B = \frac{k_d \cdot Q_{1B} \cdot S_d}{2N_B} = \frac{0,5 \cdot 8 \cdot 32}{2 \cdot 408} = 0,157 \text{ mm}^2$$

Průměr vypočteného vodiče pomocného vinutí s izolací je  $d'_B = 0,45$  mm, čili volíme holý vodič  $d_B = 0,4$  mm.

- D) Výpočet kapacity kondenzátoru. Kondenzátor bude určen jen pro rozběh. Jeho velikost navrhne dle kapitoly 6 pomocí základního empirického vzorce (5)

$$C = 68 \cdot P = 68 \cdot 0,25 = 17 \mu F$$

Pozn.

Kapacita kondenzátoru pro rozběh jednofázového asynchronního motoru platí vždy pouze pro jedno zatížení. V našem případě pro jmenovité zatížení  $P_N$ .



## 9.2 Kontrola návrhu stroje (výpočet konstant pro náhradní schéma)

Činný odpor hlavního vinutí statoru podle (26)

$$R_A = \frac{N_A l_z}{\gamma S_A} = \frac{524 \cdot 0,35}{47 \cdot 0,174} = 22,4 \Omega$$

kde délka závitu  $l_z = 35$  cm byla odhadnuta. Měrnou vodivost volíme dle tabulky 8-3.

Pro kruh a tyč platí

$$R_t = \frac{l_t}{\gamma S_t} = \frac{0,06}{47 \cdot 13,65} = 9,35 \cdot 10^{-5}$$

$$R_{kr} = \frac{\pi d_{kr}}{\gamma S_{kr} Q_2} = \frac{\pi \cdot 0,045}{47 \cdot 35 \cdot 30} = 2,84 \cdot 10^{-6}$$

$$R'_t = R_t + \frac{R_{kr}}{2 \sin^2 \frac{p\pi}{Q_2}} = 9,35 \cdot 10^{-5} + \frac{2,84 \cdot 10^{-6}}{2 \sin^2 \frac{2\pi}{30}} = 12,6 \cdot 10^{-5}$$

Odpor rotoru přepočtený na stator podle (30)

$$R_2 = \frac{4m (N_1 x_1)^2}{Q_2 x_t^2} R'_t = \frac{4 \cdot 2 (524 \cdot 0,96)^2}{30 \cdot 0,998^2} \cdot 12,6 \cdot 10^{-5}$$

Hlavní reaktance statoru je dána vztahem (39), v němž neznáme ekvivalentní vzduchovou mezeru  $\delta''$ , kterou musíme předem vypočítat podle (38)

$$k_{\delta 1} = \frac{\tau_{d1}}{\tau_{d1} + \delta - \frac{3}{4} b'_{11}} = \frac{7,8}{7,8 + 0,3 - \frac{3}{4} \cdot 1,7} = 1,14$$

podle (37)

$$\delta' = 1,14 \cdot 1 \cdot 0,3 = 0,342 \text{ mm}$$

Magnetická indukce ve vzduchové mezeře byla volena  $B_\delta = 0,55$  T, takže magnetické napětí na vzduchové mezeře bude (pro pólovou dvojici) podle (36)

$$U_{m\delta} = 1,6 \cdot 10^4 \delta' B'_\delta = 1,6 \cdot 10^4 \cdot 0,342 \cdot 0,55 = 301 \text{ A}$$

Pro dříve zvolenou magnetickou indukci  $B_{z1} = 1,6$  T přečteme magnetické pole  $H_{z1} = 25$  A/cm a magnetické napětí na zubech statoru bude

$$U_{mz1} = H_{z1} l_z = 26 \cdot 1,2 = 31,2 \text{ A}$$



kde  $l_z$  je délka zubů statoru na pólovou dvojici. Magnetické napětí jha statoru určíme pro indukci  $B_{j1} = 1,3 \text{ T}$  a pomocí magnetizační křivky dostaneme

$$U_{mj1} = H_{j1} l_{j1} = 9,2 \cdot 11 = 101 \text{ A}$$

kde délka indukční čáry je změřena ze zvoleného typu statorového plechu jako vidíme na obrázku 8-4. Stejným způsobem zjistíme napětí ostatních částí.

$$\text{Zuby rotoru} \quad U_{mz2} = 9 \text{ A} U_{mj2} = 42 \text{ A}$$

$$\text{Jho rotoru} \quad U_{mj2} = 42 \text{ A}$$

Celkové magnetické napětí na obvodu je dáno podle (35) součtem

$$U_m = U_{m\delta} + U_{mz1} + U_{mz2} + U_{mj1} + U_{mj2} = 301 + 31,2 + 9 + 101,2 + 42 = 484,4 \text{ A}$$

Ekvivalentní vzduchová mezera podle (40)

$$\delta'' = \delta' \frac{U_m}{U_{m\delta}} = 0,0342 \cdot \frac{484,4}{301} = 0,055 \text{ mm}$$

Hlavní reaktance podle (39)

$$X_h = 1,6m \frac{f}{100} \left( \frac{Nx}{100} \right)^2 \frac{\tau}{100\delta' p} l = 1,6 \cdot 2 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left( \frac{524 \cdot 0,96}{100} \right)^2 \cdot \frac{12,56}{100 \cdot 0,055} \cdot \frac{8}{2} = 370 \Omega$$

Hlavní reaktance pro samotnou vzduchovou mezeru podle (41)

$$X'_h = X_h \frac{\delta''}{\delta'} = 370 \cdot \frac{0,055}{0,0342} = 595 \Omega$$

Rozptylová reaktance statoru podle (43)

$$X_{vA} = \sigma_{A0} X'_h = 0,0285 \cdot 595 = 17 \Omega$$

kde  $\sigma_{A0}$  bereme z tabulky 8-4 pro  $Q_p = 6$ ,  $\sigma_{A0} = 0,0285$

$$\lambda_{z1} = \frac{[\tau_{d2} - 0,75(b'_1 + b'_2)]^2}{6\tau_{d2}\delta} = \frac{[0,628 - 0,75(0,17 + 0)]^2}{6 \cdot 0,628 \cdot 0,03} = 2,21$$

Pak rozptylová reaktance pro hlavy zubů je podle (44)

$$X_z = 0,158 \frac{f}{100} \left( \frac{N_A}{100} \right)^2 \frac{l \lambda_z}{p q} = 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left( \frac{524}{100} \right)^2 \cdot \frac{8}{2} \cdot \frac{2,21}{4} = 4,8 \Omega$$



Rozptyl od natočení drážek rotoru je podle (50)

$$X_{Aq} = \sigma_q X'_h = 0,01183 \cdot 370 = 4,34 \Omega$$

kam dosadíme za  $\sigma_q$

$$\sigma_q = 1,64 \left( \frac{p}{Q_2} \frac{\xi}{\tau_{d2}} \right)^2 = 1,64 \left( \frac{2}{30} \cdot \frac{8}{6,28} \right)^2 = 0,01183$$

Vodivost satorové drážky podle (48)

$$\lambda_d = \frac{h_1}{3b} + 0,66 + \frac{h_4}{b_4} = \frac{0,6}{3 \cdot 0,6} + 0,66 + \frac{0,053}{0,17} = 1,3$$

Rozptylová reaktance satorové drážky bude podle (46)

$$X_{Ad} = 0,158 \frac{f}{100} \left( \frac{N_A}{100} \right)^2 \frac{l}{p} \frac{\lambda_z}{q} = 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left( \frac{524}{100} \right)^2 \cdot \frac{8}{2} \cdot \frac{1,3}{4} = 2,82 \Omega$$

Rozptyl přes čela vinutí podle (49), kde  $\lambda_\zeta = 0,15$

$$X_{A\zeta} = 0,158 \frac{f}{100} \left( \frac{N_A}{100} \right)^2 \frac{l_\zeta}{p} \lambda_\zeta = 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left( \frac{524}{100} \right)^2 \cdot \frac{12,5}{2} \cdot 0,15 = 2 \Omega$$

Rozptylová reaktance satoru (42)

$$X_{vA} = X_{A0} + X_{Ad} + X_{A\zeta} + X_{Aq} = 17 + 2,82 + 2 + 4,34 = 26,2 \Omega$$

Diferenční rozptyl rotoru podle (52)

$$X_{20} = \sigma_{20} X'_h = 0,0148 \cdot 595 = 8,8 \Omega$$

kde  $\sigma_{20}$  je podle (53)

$$\sigma_{20} = 3,33 \left( \frac{p}{Q_2} \right)^2 = 3,33 \left( \frac{2}{15} \right)^2 = 0,0148$$

Vodivost uzavřené drážky rotoru určíme podle diagramu na obrázku 8-10. Pro drážku na obrázku 8-5 platí

$$\frac{h_4}{b} = \frac{0,055}{0,28} = 0,195$$

Proud tyče pro efektivní proudovou hustotu v rotorové tyči  $\sigma_{tk} = 25 \text{ A/mm}^2$  bude

$$I_{tk} = S_t \cdot \sigma_{tk} = 13,65 \cdot 25 = 340 \text{ A}$$





takže pro diagram na obrázku 8-10 platí

$$\frac{I_{tk}}{b} = \frac{340}{0,28} = 1200 \text{ A/cm}$$

pro tyto hodnoty odečteme z diagramu na obrázku 8-10.

$$\lambda_4 = 3,6$$

pak podle (57)

$$\lambda_d = \frac{h_1}{3b} + 0,66 + \lambda_4 = \frac{0,65}{3 \cdot 0,28} + 0,66 + 3,6 = 5$$

Drážková reaktance je dána vztahem (55)

$$X_{2d} = 0,316 \frac{f}{100} \left( \frac{N_A x_A}{100 x_t} \right)^2 l \frac{m \lambda_d}{Q_2} = 0,316 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left( \frac{524 \cdot 0,96}{100 \cdot 0,998} \right)^2 \cdot 8 \cdot \frac{2 \cdot 5}{30} = 10,7 \Omega$$

Rozptylová reaktance rotoru od natočení drážek podle (59) je stejná jako pro stator

$$X_{2q} = X_{Aq} = 4,34 \Omega$$

Rozptylová reaktance rotoru přepočtená na stator podle (52)

$$X_{v2} = X_{20} + X_{2d} + X_{2q} = 8,8 + 10,7 + 4,34 = 23,8 \Omega$$

PŘEHLED KONSTANT STROJE: ( pro náhradní schéma na obrázku 8-11)

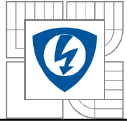
$$R_A = 22,4 \Omega$$

$$R_2 = 8,54 \Omega$$

$$X_h = 370 \Omega$$

$$X_{vA} = 26,12 \Omega$$

$$X_{v2} = 23,84 \Omega$$



## 10 ZÁVĚR

Cílem práce bylo shromáždit informace o jednofázovém asynchronním motoru a jeho základním výpočtu. Dle pokynů jsem analyzoval tento typ motoru a získání záběrného momentu, navrhl základní schéma postupu výpočtu a vypracoval demonstrační příklad dle zadaných parametrů.

Z hlediska analýzy rozběhu jednofázového asynchronního motoru a vzniku záběrného momentu je nejvýhodnější zapojení s pomocným vinutím při kapacitním rozběhu. Velikost kapacity kondenzátoru platí vždy pouze pro jedno zatížení a volíme ji podle kapitoly 6. Kromě kapacitního rozběhu můžeme získat záběrný moment pomocí odporu (odporový rozběh) či indukčnosti (indukční rozběh). Obě metody se dnes již moc nevyužívají. Velmi výhodné se občas jeví zapojení trojfázového asynchronního motoru na jednofázovou síť podle Steinmetzova zapojení, kde ovšem vzniká eliptické magnetické pole.

Při návrhu základního schématu postupu výpočtu jsem čerpal zejména z knihy Jednofázové indukční motory od Ing. Štěpiny Jaroslava, kde pro zjednodušení je využito několika diagramů a tabulek vytvořených dle již vyrobených a odzkoušených motorů. Postupujeme tak, že nejdříve vypočítáme předběžně hlavní rozměry železa a poté veškeré údaje o vinutí, drážkách a dalších potřebných veličin a rozměrů. Dále je třeba vypočítat všechny konstanty pro náhradní schéma jednofázového asynchronního motoru.

Závěrem je třeba si uvědomit, že u takto malých strojů menších výkonů nemusí být návrh mnohdy zcela přesný. Přesnějších hodnot dosáhneme až dlouhodobými zkušenostmi ověřenými praxí.



## LITERATURA

- [1] ŠTĚPINA, J.: Jednofázové indukční motory, SNTL Praha, 1957
- [2] MRAVEC, R.: Elektrické stroje a přístroje, I. Elektrické stroje, SNTL Praha, 1979
- [3] ROŠKOTA, S.: Elektrotechnické tabulky, SNTL Praha, 1982
- [4] BALÁK, R.: Silnoproudá zařízení, SNTL Praha, 1984
- [5] BRÁZDA, M., STAŇA, R.: Výpočet asynchronního motoru, VÚES, TZ-1600, 1973
- [7] SCHLESINGER, P.: Jednofázový asynchronní motor, Semestrální projekt, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
- [8] SCHLESINGER, P.: Jednofázový asynchronní motor, Semestrální projekt 2, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
- [9] SCHLESINGER, P.: Výpočet jednofázového indukčního motoru, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
- [10] < [http://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronní\\_motor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronní_motor) >

Název souboru: Bakalářská práce 2009  
Adresář: C:\Documents and Settings\Vlastník\Dokumenty  
Šablona: D:\Statnice\_2008\Struktura\_BP\_DP\_prace.dotx  
Název: 1 LITERATURA  
Předmět:  
Autor: kuchynka  
Klíčová slova: line www power light ieee  
Komentáře: Interharmonics [on line]. Power Quality Application Guide [on line]. POWER QUALITY: Reference guide [on line]. Lighting upgrades technologies [on line]. Lighting Answers [on line], Volume 1 Number 4, September 1994, Lighting Research Center, Rensselaer Po  
Datum vytvoření: 26.5.2009 20:56:00  
Číslo revize: 8  
Poslední uložení: 26.5.2009 23:25:00  
Uložil: -  
Celková doba úprav: 38 min.  
Poslední tisk: 26.5.2009 23:26:00  
Jako poslední úplný tisk  
Počet stránek: 67  
Počet slov: 12 415 (přibližně)  
Počet znaků: 73 252 (přibližně)