

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh asynchronního motoru s kotvou nakrátko

Jan Tupý

2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan TUPÝ**
Osobní číslo: **E10B0087K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh asynchronního motoru s kotvou nakrátko**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte elektromagnetický návrh asynchronního stroje s parametry: $P = 45 \text{ kW}$, $2p = 4$, $U = 400 \text{ V}$, $m = 3$.
2. Nakreslete schématicky stroj v podélné a příčné poloze.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

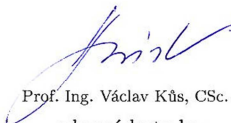
1. Kopylov, I. P.: Stavba elektrických strojů, SNTL 1988
2. Petrov, G. N.: Elektrické stroje 2, ČSAV 1982

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Červený, CSc.**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Návrh asynchronního motoru s kotvou nakrátko

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá elektromagnetickým návrhem asynchronního motoru s kotvou nakrátko o parametrech: $P = 45 \text{ kW}$, $2p = 4$, $U = 400\text{V}$, $m = 3$, $IP = 23$. Návrh stroje je proveden ze zadaných parametrů a obsahuje výpočet geometrických rozměrů, velikost a uspořádání statoru a rotoru, magnetizační proud, odpory, reaktance, ztráty stroje. Součástí práce je i detailní nákres navržené statorové i rotorové drážky a schématický nákres stroje v podélné a příčné poloze.

Klíčová slova

Asynchronní motor, kotva nakrátko, drážka statoru, drážka rotoru, magnetické jho, vzduchová mezera, výška osy, elektromagnetická indukce, proudová hustota.

Design of the Three Phase Squirrel Cage Induction Motor

Abstract

This bachelor thesis deals with the electromagnetic design of a squirrel-cage induction motor with parameters: $P = 45 \text{ kW}$, $2p = 4$, $U = 400 \text{ V}$, $m = 3$, $IP = 23$. The design is made from machines primary parameters and it contains a calculation of the geometric dimensions, the construction size and arrangement of stator and rotor, the magnetizing current, the resistance, the reactance and losses and efficiency of the machine. There is a detailed drawing of designed stator and rotor slot and a schematic longitudinal section and cross-section drawing of the machine as a part of the thesis.

Key words

Induction motor, squirrel-cage, stator slot, rotor slot, magnetic yoke, air gap, electromagnetic induction, current density.

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdroje informací.

V Plzni dne 28. 5. 2013

Jan Tupý

.....

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Doc. Ing. Josefu Červenému, CSc. z katedry elektromechaniky a výkonové elektroniky FEL ZČU za cenné připomínky a za čas strávený konzultacemi nad mou prací.

Obsah

Úvod	15
Štítkové údaje asynchronních motorů	16
Návrh motoru	17
Hlavní rozměry stroje	17
Výška osy	17
Vnější průměr statoru	17
Vnitřní průměr statoru	18
Pólová rozteč	18
Výpočtový vnitřní výkon	18
Elektromagnetická zatížení	18
Činitel pólového krytí a činitel tvaru pole	18
Synchronní úhlová rychlost hřídele motoru	19
Ideální délka vzduchové mezery	19
Výpočet statoru	19
Počet drážek statoru	20
Počet závitů ve fázi	20
Určení vodiče statorového vinutí	21
Rozměr drážek a zubů statoru	22
Volba vzduchové mezery	24
Výpočet rotoru	25
Počet drážek rotoru	25
Hlavní rozměry	25
Tyč rotoru	25
Rozměr drážky	26
Kruh nakrátko	27

Výpočet magnetického obvodu	28
Hodnoty magnetických napětí	28
Magnetizační proud	30
Přepočet rozměrů stroje	30
Výpočet odporů a reaktancí	30
Odpor jedné fáze statorového vinutí	31
Odpor fáze rotorového vinutí	31
Rozptylová reaktance fáze statorového vinutí	32
Rozptylová reaktance fáze rotorového vinutí	32
Výpočet ztrát.....	33
Hlavní ztráty v železe.....	33
Povrchové ztráty v rotoru.....	33
Pulsní ztráty v zubech rotoru	34
Mechanické ztráty	34
Účinník naprázdno	34
Závěr.....	35
Seznam použité literatury	36
Seznam použitých grafů	37
Seznam použitých tabulek	42
Přílohy – Výkresy	45

Značka	Název	Jednotka
A	předběžná lineární proudová hustota	A/m
A	konečná lineární proudová hustota	A/m
a	počet paralelních větví statorového vinutí	[-]
α_δ	činitel pólového krytí	[-]
a_{kn}	rozměr kruhu nakrátko	m
B	délka přímé části cívky při výstupu z drážky	m
β	poměrné zkrácení kroku cívky	[-]
b_0	šířka otevření statorové drážky	m
b_0	otevření rotorové drážky	m
b_1	šířka statorové drážky v horní části zubu	m
b_1	průměr zaoblení horní části rotorové drážky	m
b_1'	světlý rozměr statorové drážky	m
b_2	šířka statorové drážky u paty zubu	m
b_2	průměr zaoblení dolní části rotorové drážky	m
b_2'	světlý rozměr statorové drážky	[-]
b_c	střední šířka cívky	m
B_δ	předběžná indukce ve vzduchové mezeře	T
B_δ	konečná indukce ve vzduchové mezeře	T
b_i	jednostranná tloušťka drážkové izolace	mm
B_{j1}	dovolená magnetická indukce ve jhu statoru	T
B_{j1}	magnetická indukce jha statoru	T
B_{j2}	magnetická indukce jha rotoru	T
b_{kn}	rozměr kruhu nakrátko	m
b_{z1}	šířka zubu statoru	m
B_{z1}	dovolená magnetická indukce v zubu statoru	T
B_{z1}	magnetická indukce v zubu statoru	T
b_{z2}	vypočítaná šířka zubu rotoru	m
B_{z2}	dovolená magnetická indukce v zubu rotoru	T
b_{z2}	skutečná šířka zubu rotoru	m
B_{z2}	magnetická indukce v zubu rotoru	T

$\cos\varphi$	předběžný účinník	[-]
D	vnitřní průměr statoru	m
δ	šířka vzduchové mezery	mm
Δ	Δ	[-]
D_1	upravené vrtání statoru	m
D_2	vnější průměr rotoru	m
Δb_d	vůle na složení statorových plechů	mm
D_e	vnější průměr statoru	m
Δh_d	vůle na složení statorových plechů	mm
d_i	oboustranný izolační přírůstek vodiče	m
D_i	vnitřní průměr rotoru	m
D_{kn}	střední průměr kruhu nakrátko	m
d_v	průměr statorového vodiče	m
d_{vi}	průměr izolovaného statorového vodiče	m
Δ_z	Δ_z	[-]
Φ	magnetický tok	Wb
F_m	magnetické napětí na jednu pólovou dvojici	A
h	výška osy stroje	m
η	předběžná účinnost	%
h_0	výška zoubku rotorové drážky	m
h_1	výška klínové části drážky	m
h_1	vzdálenost středů zaoblení	m
h_2	hloubka statorové drážky pro vodiče	m
h_2'	světlý rozměr statorové drážky	m
h_a	část klínové části drážky statoru	m
h_b	část klínové části drážky statoru	m
h_{d1}	výpočtová hloubka drážky statoru	m
h_{d2}	hloubka drážky rotoru	m
h_{j1}	výška statorového jha	m
H_{j1}	intenzita magnetického pole jha statoru	A/m
h_{j1}'	výpočtová výška jha statoru	m
H_{j2}	intenzita magnetického pole jha rotoru	A/m
h_{j2}'	výpočtová výška jha rotoru	m

h_{z1}	výpočtová výška zubu statoru	m
H_{z1}	intenzita magnetického pole zubu statoru	A/m
h_{z2}	výpočtová výška zubu rotoru	m
H_{z2}	intenzita magnetického pole zubu rotoru	A/m
I_{1N}	jmenovitý proud vinutí statoru	A
I_2	proud tyčí rotoru	A
I_{kn}	proud kruhem nakrátko	A
I_μ	magnetizační proud	A
i_μ	poměrná hodnota magnetizačního proudu	[-]
J_1	předběžná proudová hustota statorového vinutí	A/m ²
J_1	konečná proudová hustota statorového vinutí	A/m ²
J_2	proudová hustota tyče rotoru	A/m ²
J_{kn}	proudová hustota kruhu nakrátko	A/m ²
k_B	činitel tvaru pole	[-]
k_β	činitel	[-]
k'_β	činitel	[-]
k_c	Carterův činitel	[-]
$K_{\tilde{c}}$	činitel	[-]
k_D	koeficient k_D	[-]
k_E	činitel k_E	[-]
k_{Fe}	činitel plnění železa	[-]
$k_{\gamma'}$	činitel	[-]
k_h	činitel	[-]
k_i	činitel	[-]
k_μ	činitel nasycení magnetického obvodu	[-]
k_r	činitel rozlohy	[-]
k_T	činitel plnění drážky	[-]
k_{v1}	předběžný činitel vinutí	[-]
k_{v1}	činitel vinutí	[-]
k_y	činitel zkrácení kroku	[-]
k_z	činitel nasycení zubů	[-]
L	celková délka vodičů jedné fáze	m
λ	štíhlostní poměr	[-]

l_{av}	střední délka závitů	m
$l_{\check{c}}$	délka čela cívků	m
$\lambda_{\check{c}1}$	činitel magnetické vodivosti čel statoru	[-]
$\lambda_{\check{c}2}$	činitel magnetické vodivosti čel rotoru	[-]
l_d	délka rotoru	m
λ_{d1}	činitel magnetické vodivosti drážky	[-]
λ_{d2}	činitel magnetické vodivosti drážkového rozptylu	[-]
λ_{dif1}	činitel magnetické vodivosti diferenčního rozptylu statoru	[-]
λ_{dif2}	činitel magnetické vodivosti diferenčního rozptylu rotoru	[-]
l_i	ideální délka vzduchové mezery	m
l_{j1}	délka střední magnetické indukční čáry jha statoru	m
l_{j2}	délka střední magnetické indukční čáry jha rotoru	m
μ_0	permeabilita vzduchu	H/m
N_1	počet závitů na fázi	[-]
P_i	výpočtový vnitřní výkon	V. A
p_i	činitel přepočtu proudů	[-]
q	počet drážek n pól a fázi	[-]
Q_1	počet drážek statoru	[-]
Q_{1max}	mezní hodnota počtu drážek	[-]
Q_{1min}	mezní hodnota počtu drážek	[-]
Q_2	počet drážek rotoru	[-]
R_1	odpor jedné fáze statorového vinutí	Ω
r_1	poměrná hodnota odporu R_1	[-]
R_2	odpor jedné fáze rotorového vinutí	Ω
R_2'	přepočítaný odpor jedné fáze rotorového vinutí	Ω
r_2'	poměrná hodnota odporu R_2'	[-]
ρ_{20}	rezistivita mědi při 20°C	$\Omega.m$
R_{kn}	odpor kruhu nakrátko	Ω
R_t	odpor tyče rotoru	Ω
S_d	plocha příčného průřezu statorové drážky	m^2
S_d'	plocha drážky pro vinutí	m^2

S_{ef1}	výpočtový průřez efektivního statorového vodiče	m^2
S_i	plocha drážkové izolace	m^2
S_{kn}	průřez kruhu nakrátko	m^2
S_t	průřez tyče	m^2
S_t	upřesněný průřez tyče rotoru	m^2
S_v	průřez statorového vodiče	m^2
S_{v1}	plocha mezivrstevové vložky	m^2
t_{d1}	skutečná drážková rozteč statoru	m
t_{d1}'	upravená drážková rozteč statoru	m
t_{d1max}	mezní drážková rozteč	mm
t_{d1min}	mezní drážková rozteč	mm
t_{d2}	drážková rozteč rotoru	m
t_p	pólová rozteč	m
u	výška klínu	m
U_δ	magnetické napětí vzduchové mezery	A
U_{j1}	magnetické napětí jha statoru	A
U_{j2}	magnetické napětí jha rotoru	A
U_N	jmenovité fázové napětí	V
U_{z1}	magnetické napětí zubu statoru	A
U_{z2}	magnetické napětí zubu rotoru	A
V_d	konečný počet efektivních vodičů v drážce	[-]
V_d'	předběžný počet vodičů v drážce	[-]
ω_s	synchronní úhlová rychlost	rad/s
ξ	činitel	[-]
ξ	činitel	[-]
$X_{j\delta}$	rozptylová reaktance jedné fáze statorového vinutí	Ω
$x_{1\delta}$	poměrná hodnota reaktance $X_{j\delta}$	[-]
$X_{2\delta}$	rozptylová reaktance jedné fáze rotorového vinutí	Ω
$X_{2\delta}'$	přepočítaná rozptylová reaktance rotoru	Ω
$x_{2\delta}'$	poměrná hodnota reaktance $X_{2\delta}$	[-]

Úvod

Asynchronní motor je točivý elektrický stroj na střídavý proud vynalezený koncem 19. století Nikolajem Teslou. Tento stroj přeměňuje elektrickou energii na mechanickou a patří mezi nejpoužívanější elektrické pohony. V provedení s kotvou nakrátko jsou tyto stroje nenáročné na údržbu a jsou relativně levné. Pokud se napájejí ze střídavé sítě, používají se tam, kde není potřeba regulovat rychlost a moment. Avšak při napájení z kmitočtového měniče je možné u stroje dobře regulovat otáčky a tento motor tak v některých aplikacích vytlačuje stroje stejnosměrné.

Princip činnosti asynchronního stroje je vytvoření točivého magnetického pole, které vzniká průchodem střídavého třífázového proudu statorovým vinutím. Podle indukčního zákona se do vodičů rotoru indukuje napětí, a protože vodiče tvoří uzavřený galvanický celek, začne jimi protékat rotorový proud. Ten vytvoří své vlastní magnetické pole a vzájemným působením těchto dvou polí vznikne vnitřní elektromagnetický moment a ten otáčí rotorem a na hřídeli motoru vzniká mechanický výkon.

Při pasívní zátěži se mechanické otáčky rotoru nemohou otáčet stejnými tj. synchronními otáčkami jako magnetické pole statoru, neboť by se tyto dvě pole vůči sobě nepohybovaly a tím by se v rotoru nenaindukovalo napětí a nevznikla by točivá síla, která otáčí rotorem. Míra rozdílu otáček pole statoru a pole rotoru se nazývá skluz.

Motor se skládá ze dvou hlavních částí, statoru a rotoru. Stator je pevná část, která má tvar dutého válce a je složena z nosné kostry se statorovými plechy, ve kterých je v drážkách uloženo statorové vinutí. Rotor je pohyblivá část, která se skládá z hřídele, na níž jsou nalisované rotorové plechy, v jejichž drážkách je založeno rotorové vinutí. To může být dvojího druhu. V provedení s kotvou nakrátko jsou v drážkách zalisované měděné, hliníkové nebo mosazné tyče, které jsou na obou koncích vodivě spojeny kruhem nakrátko. Vinutí tudíž připomíná klec, proto se nazývá vinutí klecové. V provedení s kotvou vinutou je v drážkách rotoru založeno třífázové vinutí nejčastěji zapojené do hvězdy a její konce jsou vyvedeny na sběrací kroužky, které jsou nalisované na hřídeli. Na ně je možné přes sběrací ústrojí v podobě uhlíkových kartáčů připojit odpory sloužící k úpravě momentu stroje při rozběhu a brzdění. Tomuto typu motoru se říká kroužkový motor.

Štítkové údaje asynchronních motorů

1. Druh stroje – tento údaj ukazuje, že jde o asynchronní stroj.
2. Druh proudu, např. 3f a 1f, je uveden značkou 3 ~, 1~.
3. Jmenovitý výkon v kW.
4. Jmenovité napětí statoru ve V.
5. Jmenovitý proud statoru v A.
6. Jmenovitý kmitočet v Hz.
7. Spojení fází statoru - uvádí se značkou.
8. Provedení rotorového vinutí, např. normální, dvojitá a rozptylová klec.
9. Napětí rotoru ve V. (značí se pouze u kroužkových motorů).
10. Proud rotoru v A. (značí se pouze u kroužkových motorů).
11. Spojení fází rotoru. (značí se pouze u kroužkových motorů).
12. Jmenovité otáčky v min^{-1} .
13. Jmenovitý účinník.
14. Poměrný moment zvratu.
15. Nejmenší rozběhový moment motoru.
16. Druh zatížení, např. trvalé, přerušované, krátkodobý chod – uvádí se značkou.
17. Tvar stroje, např. motor patkový s ložiskovými štíty nebo motor s ložiskovými stojany - uvádí se značkou.
18. Stupeň krytí stroje před nebezpečným dotykem a před vniknutím cizích těles a vody, označuje se značkou IP.
19. Druh chlazení stroje, označuje se značkou IC.
20. Druh pracovního prostředí, ve kterém může stroj pracovat.
21. Třída izolace vinutí. [2]

Návrh motoru

Výpočet asynchronního motoru začíná určením hlavních rozměrů stroje, tj. vnitřního průměru statoru D a ideální délky vzduchové mezery l_i . Rozměry jsou vázány s výkonem, úhlovou rychlostí a elektromagnetickým zatížením tzv. *Strojovou konstantou*

$$\frac{D^2 l_i \omega_s}{P_i} = \frac{2}{\pi \alpha_\delta k_B k_v A B_\delta}$$

kde:

D ... vnitřní průměr statoru (m)

l_i ... výpočtová délka vzduchové mezery (m)

ω_s ... úhlová rychlost (rad/s)

P_i ... vnitřní výkon (W)

A ... lineární hustota proudu (A/m)

B_δ ... indukce ve vzduchové mezeře (T)

α_δ, k_b, k_v ... činitele

Hlavní rozměry stroje

Výška osy

Výška osy se předběžně určuje z [1] Obr. 6.7 pro zadaný výkon a počet pólů. Odečte se hodnota a z tabulky 6.6 se určí nejbližší nižší hodnota.

$h = 0,200$ m

Vnější průměr statoru

Vybereme z druhého řádku tabulky 6.6 tak, aby odpovídal zvolené výšce osy. Vnější průměry statoru pro dané výšky osy uvedené v tabulce jsou normalizovány pro asynchronní motory jednotné řady 4A.

$D_e = 0,349$ m.

Vnitřní průměr statoru

V počátečním stadiu výpočtu se pro určení D používají empirické závislosti. Výška jha statoru je nepřímo úměrná počtu pólů stroje a přímo úměrná pólové rozteči. Hodnotu koeficientu K_D charakterizující poměr vnitřního a vnějšího průměru statoru asynchronních motorů jednotné řady pro počty pólů $K_D = \frac{D}{D_e}$ určíme z [1] tabulky 6.7.

$$D = K_D D_e = 0,65 \cdot 0,349 = 0,227 \text{ m}$$

Pólová rozteč

$$t_p = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,227}{4} = 0,178 \text{ m}$$

Výpočtový vnitřní výkon

$$P_i = m I U_i = P_2 \frac{k_E}{\eta \cos \varphi} = 45\,000 \cdot \frac{0,978}{0,89 \cdot 0,88} = 56\,193 \text{ VA}$$

Přibližné hodnoty účinnosti η a účinníku $\cos \varphi$ odečteme z [1] Obr. 6.10.

$$\eta = 89 \%$$

$$\cos \varphi = 0,88$$

Činitel k_E určuje poměr indukovaného napětí vinutí statoru k jmenovitému napětí, který lze určit přibližně z [1] Obr. 6.8.

$$k_E = 0,978$$

Elektromagnetická zatížení

Předběžné hodnoty lineární hustoty proudu A a indukce ve vzduchové mezeře B_δ určíme z [1] obr. 6.12.

$$A = 45\,000 \text{ A/m}$$

$$B_\delta = 0,83 \text{ T}$$

Činitel pólového krytí a činitel tvaru pole

Činitel pólového krytí α_δ a činitel tvaru pole k_B jsou u asynchronních strojů dány zploštěním křivky pole ve vzduchové mezeře, způsobené nasycením zubů statoru a rotoru a dostatečně přesně mohou být vypočteny až po výpočtu magnetického obvodu. Proto před

výpočtem magnetického obvodu uvažujeme pole sinusové a hodnoty těchto činitelů se předběžně volí

$$\alpha_{\delta} = \frac{2}{\pi} \approx 0,64$$

$$k_B = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,11$$

Předběžná hodnota činitele k_{v1} se volí podle typu vinutí.

$$k_{v1} = 0,91$$

Synchronní úhlová rychlost hřídele motoru

$$\omega_s = 2\pi \frac{n_1}{60} = 2\pi \frac{f_1}{p} = 2\pi \frac{50}{2} = 157,1 \text{ rad/s}$$

Ideální délka vzduchové mezery

$$l_i = \frac{P_i}{k_B D^2 \omega_s k_{v1} A B_{\delta}} = \frac{56193}{1,11 \cdot 0,227^2 \cdot 157,1 \cdot 0,91 \cdot 45000 \cdot 0,83} = 0,184 \text{ m}$$

Do axiální délky svazku 250 až 300 mm se nenavrhují ventilační kanály. Statorový svazek je tvořen jedním paketem. Je možné tedy psát:

$$l_d = l_1 = l_2 = l_{Fe1} = l_{Fe2} = l_i = 0,184 \text{ m.}$$

Kontrolou správnosti výpočtu hlavních rozměrů D a l_i je tzv. štíhlostní poměr λ , který by se měl pohybovat v rozmezí podle [1] obr. 6.14. V případě, že štíhlostní poměr nevyjde v tomto rozmezí, je nutná změna výšky osy h .

$$\lambda = \frac{l_i}{t_p} = \frac{0,184}{0,178} = 1,034$$

Výpočet statoru

Dále se pokračuje určením počtu drážek statoru Q_1 a počtu závitů v sérii jedné fáze statorového vinutí N_1 . Počet závitů musí být takový, aby lineární hustota proudu a indukce ve vzduchové mezeře pokud možno souhlasily s hodnotami dříve určenými a počet drážek musí zajišťovat optimální rozložení vinutí.

Mezní drážková rozteč

Mezní hodnoty drážkové rozteče se volí podle typu vinutí, jmenovitého napětí a pólové rozteče stroje. Pro rovnoměrné rozložení vinutí po obvodu stroje je nutný velký počet drážek. Současně se vzrůstajícím počtem drážek však roste i cena stroje, díky větším nárokům na složitost raznic. Mezní hodnoty odečteme z [1] obr. 6.15.

$$t_{d1min} = 13$$

$$t_{d1max} = 15$$

Mezní hodnoty počtu drážek

$$Q_{1min} \text{ až } Q_{1max} = \frac{\pi D}{t_{d1max}} \text{ až } \frac{\pi D}{t_{d1min}} = \frac{\pi \cdot 0,227}{15} = \frac{\pi \cdot 0,227}{13} = 48 \text{ až } 55$$

Konečný počet drážek zvolíme ze získaného rozmezí tak, aby výsledek byl dělitelný počtem fází a zároveň aby číslo $q = \frac{Q_1}{2p m}$ bylo číslo celé. Tedy aby počet drážek byl dělitelný 12.

Počet drážek statoru

$$Q_1 = 48$$

Počet drážek na pól a fázi

$$q = \frac{Q_1}{2p m} = \frac{48}{4 \cdot 3} = 4$$

Skutečná drážková rozteč

Výsledná hodnota drážkové rozteče nesmí z určeného rozmezí vybočovat o více než 10% a v žádném případě u motorů s $h > 56$ mm nesmí být menší než 6 až 7 mm.

$$t_{d1} = \frac{\pi D}{2 p m q} = \frac{\pi \cdot 0,227}{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} = 14,857 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Počet závitů ve fázi**Jmenovitý proud vinutí statoru**

$$I_{1N} = \frac{P_2}{m U_{1N} \eta \cos \varphi} = \frac{45000}{3 \cdot 230 \cdot 0,89 \cdot 0,88} = 83,27 \text{ A}$$

Počet efektivních vodičů v drážce

Počet efektivních vodičů v drážce musí být číslo celé. Proto je nutné počet V_d získaný výpočtem zaokrouhlit na nejbližší celé číslo. Aby zaokrouhlení nebylo příliš hrubé, určí se nejprve předběžný počet vodičů v drážce V_d' pro jednu paralelní větev vinutí ($a=1$).

$$V_d' = \frac{\pi D A}{I_{1N} Q_1} = \frac{\pi \cdot 0,227 \cdot 45000}{83,27 \cdot 48} = 8$$

Volím $a=2$

$$V_d = a V_d' = 2 \cdot 8 = 16$$

Počet závitů ve fázi

$$N_1 = \frac{V_d Q_1}{2 a m} = \frac{16 \cdot 48}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 64$$

Lineární proudová hustota

$$A = \frac{2 m N_1 I_{1N}}{\pi D} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 64 \cdot 83,27}{\pi \cdot 0,227} = 44846,7 \text{ A/m}$$

Získaná hodnota se má jen málo lišit od hodnoty dříve určené.

Určení vodiče statorového vinutí

Statorové vinutí strojů do výkonu 12 až 15 kW je většinou jednovrstvé soustředné

Statorové vinutí větších strojů bývají dvouvrstvé.

Činitel vinutí

$$k_{v1} = k_r k_y = 0,958 \cdot 0,92 = 0,88$$

kde: k_y je činitel zkrácení kroku, odečte se z [1] obr. 3.11, a k_r je činitel rozlohy a zjistí se z [1] ze vztahu (3.6).

Magnetický tok

$$\Phi = \frac{k_E U_{1N}}{4 k_B N_1 f_1 k_{v1}} = \frac{0,978 \cdot 230}{4 \cdot 1,11 \cdot 64 \cdot 50 \cdot 0,88} = 0,018 \text{ Wb}$$

Indukce ve vzduchové mezeře

Konečná B_δ se nesmí příliš odchylovat od hodnoty zjištěné dříve. Pokud se odchyluje, je nutná změna V_d a opakování výpočtu.

$$B_{\delta} = \frac{\Phi}{\alpha_{\delta} t_p l_i} = \frac{p \Phi}{D l_i} = \frac{2 \cdot 0,018}{0,227 \cdot 0,184} = 0,862 \text{ T}$$

Předběžná proudová hustota

Proudová hustota ovlivňuje pouze oteplení vodičů, to znamená Jouleovy ztráty. Pokud se navrhne moc vysoká a oteplení vodičů je příliš velké, musí se snížit a naopak. S ohledem na již dobře navrhnuté stroje podobných parametrů zvolíme hodnotu.

$$J_1 = 5,5 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$$

Průřez efektivního vodiče

$$S_{\text{efl}} = \frac{I_{1N}}{a J_1} = \frac{83,27}{2 \cdot 5,5 \cdot 10^6} = 7,57 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Z [1] tabulka D 3.1 zjistíme nejbližší normovaný průřez a zároveň průměr vodiče odpovídající zjištěnému průřezu. Zároveň zvolíme oboustranný izolační přírůstek: $d_i = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

$$S_{v1} = \frac{S_{\text{ef}}}{3} = \frac{7,57 \cdot 10^{-6}}{3} = 2,523 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Z tab. D.3 volím průřez $S_v = 2,270 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

Z čehož vyplývá průměr $d_v = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$$d_{v1} = d_v + d_i = 1,7 + 0,3 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$S_{\text{ef}} = S_v \cdot 3 = 2,270 \cdot 10^{-6} \cdot 3 = 6,810 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Pro vsypávaná vinutí se používají vodiče o průměru maximálně 1,8 mm. Proto vodič budeme dělit do několika dílčích vodičů. Počet dílčích vodičů je $n_p = 3$.

Proudová hustota

$$J_1 = \frac{I_{1N}}{a S_v n_p} = \frac{83,27}{2 \cdot 2,270 \cdot 10^{-6} \cdot 3} = 6,114 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}^2$$

Rozměr drážek a zubů statoru

Rozměr drážky statoru se volí tak, aby plocha drážky odpovídala počtu a rozměrům vodičů v ní uložených a to i s uvážením izolace. Výpočet také musí brát v úvahu dovolené rozmezí magnetických indukci ve jhu a zubech statoru.

Výška statorového jha

$$h_{j1} = \frac{\Phi}{2 B_{j1} l_{Fe1} k_{Fe}} = \frac{0,018}{2 \cdot 1,5 \cdot 0,184 \cdot 0,97} = 0,0336 \text{ m.}$$

kde: B_{j1} je dovolená hodnota magnetické indukce ve jhu statoru a k_{Fe} je činitel plnění železa. Dovolenu magnetickou indukci určíme z [1] tab. 6.10.

$$B_{j1} = 1,45 \text{ až } 1,6 = 1,5 \text{ T}$$

Činitel plnění železa zjistíme z [1] tabulky 6.11.

$$k_{Fe} = 0,97$$

Šířka zubu statoru

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} t_{d1} l_i}{B_{z1} l_i k_{Fe}} = \frac{0,862 \cdot 0,014857 \cdot 0,184}{1,8 \cdot 0,184 \cdot 0,97} = 0,00734 \text{ m}$$

$$\text{kde: } B_{z1} = 1,8 \text{ T}$$

Šířka drážky v horní části zubu

$b_1 = t_{d1} - b_{z1} = 14,857 - 7,34 = 7,52 \text{ mm}$ (dle [1] tabulky D4.1 volím) $b_1 = 7,5 \text{ mm}$ hloubka drážky.

$$h_{d1} = \frac{D_e - D}{2} - h_{j1} = \frac{0,349 - 0,227}{2} - 0,0351 = 0,0259 \text{ m}$$

hloubka části pouze pro vodiče s vyloučením klínové části drážky h_1 , je

$$h_2 = h_{d1} - h_1 = 0,0259 - 0,0016 = 0,0243 \text{ m}$$

z důvodu opakovaného přepočítávání činitele plnění drážky volím $h_2 = 0,032 \text{ m}$

výpočtová hloubka drážky je

$$h_{d1} = h_1 + h_2 = (2,1 + 32) \cdot 10^{-3} = 0,0341 \text{ m}$$

Šířka drážky u paty zubu

$$b_2 = \frac{\pi (D + 2h_2) - Q_1 b_{z1}}{Q_1} = \frac{\pi (0,227 + 2 \cdot 0,032) - 48 \cdot 0,00734}{48} = 0,0117 \text{ m}$$

(dle normovaných drážek volím $b_2 = 12 \text{ mm}$)

otevření drážky volíme $b_0 = 3,5 \text{ mm}$

plocha příčného průřezu drážky

$$S_d = \frac{b_1 + b_2}{2} h_2 = \frac{7,5 + 12}{2} \cdot 32 = 321 \text{ mm}^2$$

Světlé rozměry drážky

Pro výpočet činitele plnění drážky je nutné znát světlé rozměry drážky b_1' a b_2' , kde se berou v úvahu vůle na složení plechů Δb_d a Δh_d . Tyto přídatky zjistíme v závislosti na výšce osy stroje z tabulky.

$$\Delta b_d = 0,2 \text{ mm}$$

$$\Delta h_d = 0,2 \text{ mm}$$

$$b_1' = b_1 - \Delta b_d = 7,5 - 0,2 = 7,3 \text{ mm}$$

$$b_2' = b_2 - \Delta b_d = 12 - 0,2 = 11,8 \text{ mm}$$

$$h_2' = h_2 - \Delta h_d = 32 - 0,2 = 31,8 \text{ mm}$$

Plocha drážky zbývající pro vinutí

$$S_d' = \frac{b_1' + b_2'}{2} h_2' - S_i - S_{v1} = \frac{7,3 + 11,8}{2} \cdot 31,8 - 36,28 - 13,8 = 272,71 \text{ mm}^2$$

kde: S_i je plocha, kterou zaujímá drážková izolace a S_{v1} je plocha vložek mezi vrstvami vinutí.

$$S_i = b_i (2h_{d1} + b_1 + b_2) = 0,4 \cdot (2 \cdot 35,6 + 7,5 + 12) = 36,28 \text{ mm}^2$$

$$S_{v1} = (0,4b_1 + 0,9b_2) = (0,4 \cdot 7,5 + 0,9 \cdot 12) = 13,8 \text{ mm}^2$$

Činitel plnění drážky

$$k_T = \frac{d_{vi}^2 V_d n_p}{S_d'} = \frac{2^2 \cdot 16 \cdot 3}{272,71} = 0,752$$

Volba vzduchové mezery

Šířka vzduchové mezery δ v mnohém ovlivňuje energetiku stroje. Se zvyšující se šířkou vzduchové mezery se snižuje $\cos \varphi$ a zvyšují se ztráty ve vinutí statoru. Ovšem při přílišném zmenšení šířky vzduchové mezery se účinnost stroje také nezvyšuje v důsledku nárůstu amplitud pulsací indukce ve vzduchové mezeře. Pro stroje středních a velkých výkonů se určí δ z empirického vztahu:

$$\delta \approx \frac{D}{1,2} \left(1 + \frac{9}{2p}\right) 10^{-3} = \frac{0,227}{1,2} \left(1 + \frac{9}{4}\right) 10^{-3} = 0,615 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

hodnota šířky vzduchové mezery se zaokrouhluje. Výsledná hodnota je tedy $\delta=0,6$ mm.

Výpočet rotoru

Počet drážek rotoru

Vinutí rotorů nakrátko jako jediná vinutí nemívají určitý počet fází a pólů. Asynchronní motory mívají $Q_2 < Q_1$. Vzájemným poměrem Q_1 a Q_2 lze ovlivňovat momentovou charakteristiku. Počet drážek rotoru volíme dle doporučení z [1] tabulka 6.15

Volíme nenatočené drážky

$$Q_2 = 38$$

Hlavní rozměry

Vnější průměr rotoru

$$D_2 = D - 2\delta = 0,227 - 2 \times 0,0006 = 0,2258 \text{ m}$$

Délka rotoru

$$l_d = l_1 = l_2 = l_{Fe1} = l_{Fe2} = l_i = 0,184 \text{ m.}$$

Drážková rozteč

$$t_{d2} = \frac{\pi D_2}{Q_2} = \frac{\pi \cdot 0,2258}{38} = 0,0187 \text{ m}$$

Vnitřní průměr rotoru

Vnitřní průměr rotoru je roven průměru hřídele, protože celý svazek je na ni nalisován.

$$D_i = D_h = k_h D_e = 0,23 \cdot 0,349 = 0,0803 \approx 0,08 \text{ m,}$$

kde: k_h je činitel volený z [1] tabulky 6.16 v závislosti na výšce osy stroje a počtu pólů

$$k_h = 0,23$$

Tyč rotoru

Proud tyčí

$$I_2 = k_i I_1 p_i = 0,91 \cdot 83,27 \cdot 9,681 = 733,57 \text{ A}$$

kde: k_i je činitel uvažující vliv magnetizačního proudu a odporů vinutí na poměr I_1/I_2 . Jeho hodnota se určí z [1] obr. 6.22

$k_i = 0,91$ a p_i je činitel přepočtu proudů. Určí se s uvažováním počtu fází a počtu závitů ve fázi.

$$p_i = \frac{m_1 N_1 k_{v1}}{m_2 N_2 k_{v2}} = \frac{2 m_1 N_1 k_{v1}}{Q_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 64 \cdot 0,958}{38} = 9,681$$

Proudová hustota

Proudová hustota odlévaných rotorů zavřených motorů se volí $(2,5 \text{ až } 3,5)10^6 \text{ A/m}^2$.

Hodnota u otevřených motorů ještě o 10 až 15% větší.

$$J_2 = 3,0 \cdot 10^6 \cdot 1,15 = 3,45 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$$

Průřez tyče

$$S_t = \frac{l_2}{J_2} = \frac{733,57}{3,45 \cdot 10^6} = 212,63 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Rozměr drážky

V asynchronních motorech jednotné řady s výškou osy $h \leq 250 \text{ mm}$ se uplatňuje drážka typu V. Volíme otevřenou drážku s rozměry $b_0 = 1,5 \text{ mm}$, $h_0 = 0,7 \text{ mm}$.

Další rozměry drážky se zjistí z průřezu tyče S_t .

Šířka zubu rotoru

$$b_{z2} = \frac{B_\delta t_{d2} l_2}{B_{z2} l_{Fe2} k_{Fe}} = \frac{0,862 \cdot 0,0187 \cdot 0,184}{1,8 \cdot 0,184 \cdot 0,97} = 0,00923 \text{ m}$$

kde: B_{z2} je dovolená magnetická indukce v zubu rotoru s rovnoběžnými stěnami. Určí se z [1] tabulka 6.10

$$B_{z2} = 1,8 \text{ až } 1,95 = 1,8 \text{ T}$$

Průměr zaoblení horní části

$$b_1 = \frac{\pi(D_2 - 2h_0 - 2h'_0) - Q_2 b_{z2}}{\pi + Q_2} = \frac{\pi(0,2258 - 2 \cdot 0,0007 - 2 \cdot 0,0003) - 38 \cdot 0,00923}{\pi + 38} = \frac{0,352}{41,14}$$

$$b_1 = 0,00856 \text{ m} \approx 0,0086 \text{ m}$$

Průměr zaoblení dolní části

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \left(\frac{Q_2}{\pi} + \frac{\pi}{2} \right) - 4S_t}{\frac{Q_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{0,0086^2 \left(\frac{38}{\pi} + \frac{\pi}{2} \right) - 4 \cdot 212,63 \cdot 10^{-6}}{\frac{38}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = 0,0039 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,0039 \text{ m} \approx 0,004 \text{ m}$$

Vzdálenost středů zaoblení

$$h_1 = (b_1 - b_2) \frac{Q_2}{2\pi} = (0,0086 - 0,004) \cdot \frac{38}{2\pi} = 0,0278 \text{ m} \approx 0,028 \text{ m}$$

Celková hloubka drážky

$$h_{d2} = h_0' + h_0 + \frac{b_1}{2} + h_1 + \frac{b_2}{2} = 0,0003 + 0,0007 + \frac{0,0086}{2} + 0,028 + \frac{0,004}{2} = 0,0353 \text{ m}$$

Rozměry drážky jsou zaokrouhleny na desetiny milimetru. Provedeme upřesnění průřezu tyče S_t .

$$S_t = \frac{\pi}{8} (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2} (b_1 + b_2) h_1 = \frac{\pi}{8} (0,0086^2 + 0,004^2) + \frac{1}{2} (0,0086 + 0,004) \cdot 0,028$$

$$S_t = 211,71 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Hustota proudu v tyči

$$J_t = \frac{I_2}{S_t} = \frac{733,57}{211,71} = 3,465 \cdot 10^6 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$$

Kruh nakrátko**Proud kruhem**

$$I_{kn} = \frac{I_2}{\Delta} = \frac{733,57}{0,329} = 2229,53 \text{ A}$$

$$\Delta = 2 \sin \frac{\pi p}{Q_2} = 2 \sin \frac{\pi \cdot 2}{38} = 0,329$$

Proudová hustota v kruzích nakrátko

$$J_{kn} = 0,85 J_t = 0,85 \cdot 3,465 = 2,93 \cdot 10^6 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$$

Průřez kruhu nakrátko

$$S_{kn} = \frac{I_{kn}}{J_{kn}} = \frac{2229,53}{2,9325} = 760,28 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Rozměry kruhu nakrátko

$$a_{kn} = 1,25 h_{d2} = 1,25 \cdot 0,0353 = 0,0441 \text{ m}$$

$$b_{kn} = \frac{S_{kn}}{a_{kn}} = \frac{760,28}{44,1} = 0,0172 \text{ m}$$

Střední průměr kruhu nakrátko

$$D_{kn} = D_2 - a_{kn} = 0,2258 - 0,0441 = 0,1817 \text{ m}$$

Výpočet magnetického obvodu

Magnetický obvod je počítán pro chod naprázdno, protože je při něm silné nasycení zubů statoru a rotoru.

Zub statoru

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} t_{d1} l_i}{b_{z1} l_{Fe1} k_{Fe}} = \frac{0,862 \cdot 0,0149 \cdot 0,184}{0,00734 \cdot 0,184 \cdot 0,97} = 1,798 \text{ T}$$

Zub rotoru

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} t_{d2} l_i}{b_{z2} l_{Fe} k_{Fe}} = \frac{0,862 \cdot 0,0209 \cdot 0,184}{0,01032 \cdot 0,184 \cdot 0,97} = 1,792 \text{ T}$$

Jho statoru

$$B_{j1} = \frac{\phi}{2h_{j1} l_{Fe1} k_{Fe}} = \frac{0,018}{2 \cdot 0,0249 \cdot 0,184 \cdot 0,97} = 2,025 \text{ T}$$

$$\text{kde: } h_{j1} = \frac{D_e - D}{2} - h_{d1} = \frac{0,349 - 0,227}{2} - 0,0361 = 0,0249 \text{ m}$$

Jho rotoru

$$B_{j2} = \frac{\phi}{2h_{j2} l_{Fe2} k_{Fe}} = \frac{0,018}{2 \cdot 0,038 \cdot 0,184 \cdot 0,97} = 1,327 \text{ T}$$

$$\text{kde: } h_{j2} = \frac{\phi}{2 B_{jR} l_{Fe2}} = \frac{0,018}{2 \cdot 1,3 \cdot 0,184} = 0,038 \text{ m}$$

Hodnoty magnetických napětí

Carterův činitel

$$k_c = \frac{t_{d1}}{t_{d1} - \gamma \delta} = \frac{0,0149}{0,0149 - 3,141 \cdot 0,0006} = 1,145$$

$$\text{kde: } \gamma = \frac{\left(\frac{b_0}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_0}{\delta}} = \frac{\left(\frac{3,5}{0,6}\right)^2}{5 + \frac{3,5}{0,6}} = 3,141$$

Magnetické napětí vzduchové mezery

$$U_{\delta} = \frac{2}{\mu_0} B_{\delta} \delta k_c = 1,59 \cdot 10^6 \cdot 0,862 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,145 = 941,58 \text{ A}$$

$$\text{kde } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

Magnetické napětí zuby statoru

$$U_{z1} = 2h_{z1} H_{z1} = 2 \cdot 0,0341 \cdot 1520 = 103,66 \text{ A}$$

kde: h_{z1} je výpočtová výška zuby statoru a H_{z1} je hodnota intenzity mg. pole zjištěná z [1] tabulka D 2.7 v závislosti na typu oceli a mg. indukci v zubu statoru.

Magnetické napětí zuby rotoru

$$U_{z2} = 2 h_{z2} H_{z2} = 2 \cdot 0,0353 \cdot 1480 = 104,5 \text{ A}$$

Činitel nasycení zubů

$$k_z = 1 + \frac{U_{z1} + U_{z2}}{U_\delta} = 1 + \frac{103,66 + 104,50}{941,58} = 1,22$$

Hodnota k_z je ideální v rozmezí 1,2 až 1,5. Jestliže je větší jsou zuby nadměrně syceny, naopak při hodnotě menší než 1,2 je železo zubů nevyužito nebo je vzduchová mezera příliš velká.

Magnetická napětí jha statoru

$$U_{j1} = L_{j1} H_{j1} = 0,2622 \cdot 320 = 83,9 \text{ A}$$

kde: L_{j1} je střední délka indukční čáry ve jhu statoru a H_{j1} je intenzita mg. pole z tab. D 2.6

$$L_{j1} = \frac{\pi (D_e - h_{j1})}{2p} = \frac{\pi (0,3728 - 0,0388)}{4} = 0,2622 \text{ m}$$

Magnetické napětí jha rotoru

$$U_{j2} = L_{j2} H_{j2} = 0,092 \cdot 341 = 31,37 \text{ A}$$

$$\text{kde: } L_{j2} = \frac{\pi (D_h + h_{j2})}{2p} = \frac{\pi (0,08 + 0,037)}{4} = 0,092 \text{ m}$$

$$h_{j2} = \frac{D_2 - D_i}{2} - h_{d2} = \frac{0,2258 - 0,08}{2} - 0,0359 = 0,037 \text{ m}$$

Výsledné magnetické napětí na jednu pólovou dvojici

$$F_m = U_\delta + U_{z1} + U_{z2} + U_{j1} + U_{j2} = 941,58 + 103,66 + 104,5 + 83,9 + 31,37$$

$$F_m = 1265,01 \text{ A}$$

Činitel nasycení magnetického obvodu

$$k_\mu = \frac{F_m}{U_\delta} = \frac{1265,01}{941,58} = 1,344$$

Magnetizační proud

$$I_{\mu} = \frac{p F_m}{0,9 m N_1 k_{v1}} = \frac{2 \cdot 1265,01}{0,9 \cdot 3 \cdot 64 \cdot 0,88} = 16,638 \text{ A}$$

Poměrná hodnota magnetizačního proudu

$$i_{\mu} = \frac{I_{\mu}}{I_1} = \frac{16,638}{83,27} = 0,2$$

Přepočet rozměrů stroje

Z důvodů vysoké hodnoty magnetické indukce ve jhu statoru, se musí tyto rozměry upravit. Výška jha musí být větší, tím vzroste i vnější průměr statoru D_e a výška osy stroje h .

Vydeme z dovolené hodnoty indukce, kterou zvolíme $B_{j1} = 1,3 \text{ T}$

$$h_{j1} = \frac{\Phi}{2 B_{j1} l_{Fe1} k_{Fe}} = \frac{0,018}{2 \cdot 1,3 \cdot 0,184 \cdot 0,97} = 0,0388 \text{ m}$$

Vnější průměr statoru

$$D_e = D + 2(h_{d1} + h_{j1}) = 0,227 + 2 \cdot (0,0341 + 0,0388)$$

$$D_e = 0,3728 \text{ m}$$

Pro $D_e = 0,3728 \text{ m}$ je již nevyhovující výška osy $h=200 \text{ mm}$, proto volím vyšší dle normy $h=225 \text{ mm}$.

Výpočet odporů a reaktancí

Střední šířka cívky

$$b_c = \frac{\pi (D + h_{d1})}{2p} \beta_1 = \frac{\pi (0,227 + 0,0341)}{4} \cdot 1 = 0,205 \text{ m}$$

kde: β_1 je poměrné zkrácení kroku statorového vinutí.

Délka čela

$$l_{\xi} = K_{\xi} b_c + 2B = 1,3 \cdot 0,205 + 2 \cdot 0,01 = 0,287 \text{ m}$$

kde: K_{ξ} je činitel udaný v tabulce 2.7 a B je délka přímé části cívky při výstupu z drážky od čela statorového svazku do začátku ohybu čela. U vsypávaných vinutí, zakládáných do drážek před zalisováním navinutého svazku do kostry, uvažujeme $B = 0,01 \text{ m}$.

Střední délka závitu

$$l_{av} = 2(l_d + l_c) = 2(0,184 + 0,287) = 0,942 \text{ m}$$

kde: l_d je délka drážkové části. l_d je rovna konstrukční délce statorového resp. rotorového svazku.

Délka vodičů jedné fáze statorového vinutí

$$L_1 = l_{av} N_1 = 0,942 \cdot 64 = 60,29 \text{ m}$$

Odpor jedné fáze statorového vinutí

$$R_1 = \rho_{115} \frac{L_1}{S_{ef} a} = \frac{10^{-6}}{41} \cdot \frac{60,29}{6,81 \cdot 10^{-6} \cdot 2} = 0,108 \Omega$$

Pro izolaci tepelné třídy F je výpočtová (provozní) teplota $\nu = 115 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro měď platí $\rho_{115} = 10^{-6} / 41 \Omega \cdot \text{m}$

Odpor fáze rotorového vinutí**Odpor tyče**

$$R_t = \rho_t \frac{l_2}{S_t} = \frac{10^{-6}}{26} \cdot \frac{0,184}{212,63 \cdot 10^{-6}} = 33,28 \cdot 10^{-6} \Omega$$

Odpor kruhu nakrátko

$$R_{kn} = \rho_{kn} \frac{\pi D_{kn}}{Q_2 S_{kn}} = \frac{10^{-6}}{26} \cdot \frac{\pi \cdot 0,182}{38 \cdot 760,28 \cdot 10^{-6}} = 0,761 \cdot 10^{-6} \Omega$$

Odpor fáze rotorového vinutí

$$R_2 = R_t + \frac{2R_{kn}}{\Delta^2} = 33,28 \cdot 10^{-6} + \frac{2 \cdot 0,761 \cdot 10^{-6}}{0,329^2} = 47,34 \cdot 10^{-6} \Omega$$

Odpor fáze rotoru přepočtený na počet závitů statorového vinutí

$$R_2' = R_2 \frac{4m(N_1 k_{v1})^2}{Q_2} = 47,34 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (64 \cdot 0,88)^2}{38} = 0,0474 \Omega$$

Poměrná hodnota odporu jedné fáze statoru a rotoru

$$r_1 = R_1 \frac{I_{1N}}{U_{1N}} = 0,097 \cdot \frac{83,27}{230} = 0,039$$

$$r_2' = R_2' \frac{I_{1N}}{U_{1N}} = 0,0474 \cdot \frac{83,27}{230} = 0,017$$

Rozptylová reaktance fáze statorového vinutí

$$X_{1\delta} = 15,8 \frac{f_1}{100} \left(\frac{N_1}{100} \right)^2 \frac{l_i'}{pq} (\lambda_d + \lambda_{\epsilon 1} + \lambda_{\text{dif1}})$$

$$X_{1\delta} = 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{64}{100} \right)^2 \cdot \frac{0,184}{2 \cdot 4} \cdot (2,021 + 1,279 + 1,723) = 0,374 \Omega$$

Činitel magnetické vodivosti v drážce

$$\lambda_d = \frac{h_2 - u}{3b_1} k_\beta + \left(\frac{u}{b_1} + \frac{3h_1}{b_1 + 2b_0} + \frac{h_0}{b_0} \right) k_{\beta'} = \frac{32 - 1,4}{3 \cdot 7,5} \cdot 1 + \left(\frac{1,4}{7,5} + \frac{3 \cdot 1,6}{7,5 + 2 \cdot 3,5} + \frac{0,5}{3,5} \right) \cdot 1$$

$$\lambda_d = 2,021$$

Činitel magnetické vodivosti čel vinutí

$$\lambda_{\epsilon 1} = 0,34 \frac{q}{l_i} (1 - 0,64\beta_{tp}) = 0,34 \cdot \frac{4}{0,184} \cdot (0,287 - 0,64 \cdot 1 \cdot 0,178) = 1,279$$

Činitel magnetické vodivosti diferenčního rozptylu statorového vinutí

$$\lambda_{\text{dif1}} = \frac{t_{d1}}{12\delta k_c} \xi = \frac{0,0148}{12 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,145} \cdot 0,96 = 1,723$$

kde: ξ zjištěno z [3], tab. 1, $\xi = 0,96$

Poměrná hodnota rozptylové reaktance statorového vinutí

$$x_{1\delta} = X_{1\delta} \frac{I_{1N}}{U_{1N}} = 0,374 \cdot \frac{83,27}{230} = 0,135$$

Rozptylová reaktance fáze rotorového vinutí

$$X_{2\delta} = 7,9 f_1 l_i' (\lambda_{d2} + \lambda_{\epsilon 2} + \lambda_{\text{dif2}}) = 7,9 \cdot 50 \cdot 0,184 \cdot (1,847 + 0,461 + 2,268)$$

$$X_{2\delta} = 332,58 \cdot 10^{-6} \Omega$$

Přepočtená rozptylová reaktance rotorového vinutí na počet závitů statoru

$$X_{2\delta}' = X_{2\delta} \frac{4m(N_1 k_{v1})^2}{Q_2} = 332,58 \cdot 10^{-6} \frac{4 \cdot 3 \cdot (64 \cdot 0,88)^2}{38} = 0,33 \Omega$$

Činitel magnetické vodivosti drážkového rozptylu

$$\lambda_{d2} = \left[\frac{h_1}{3b_1} \left(1 - \frac{\pi b^2}{8s_t} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_0}{2b_1} \right] k_d + \frac{h_0}{b_0}$$

$$\lambda_{d2} = \left[\frac{0,028}{3 \cdot 0,0086} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 0,0086^2}{8 \cdot 211,71 \cdot 10^{-6}} \right)^2 + 0,66 - \frac{0,0015}{2 \cdot 0,0086} \right] \cdot 1 + \frac{0,0007}{0,0015} = 1,847$$

Činitel magnetické vodivosti čel rotorového vinutí

$$\lambda_{\epsilon 2} = \frac{2,3 D_{kn}}{Q_2 l_i' \Delta^2} \log \frac{4,7 D_{kn}}{a_{kn} + 2b_{kn}} = \frac{2,3 \cdot 0,182}{38 \cdot 0,184 \cdot 0,367^2} \cdot \log \frac{4,7 \cdot 0,182}{0,0446 + 2 \cdot 0,0170} = 0,4614$$

Činitel magnetické vodivosti diferenčního rozptylu rotoru

$$\lambda_{\text{dif}2} = \frac{t_{d2}}{12 \delta k_c} \xi = \frac{0,0187}{12 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,145} \cdot 1 = 2,268$$

$$\text{kde } \xi = 1 + \frac{1}{5} \left(\frac{\pi p}{Q_2} \right)^2 - \frac{\Delta_z}{1 - \left(\frac{p}{Q_2} \right)^2} = 1 + \frac{1}{5} \left(\frac{\pi \cdot 2}{38} \right)^2 - \frac{0,025}{1 - \left(\frac{2}{38} \right)^2} \approx 1$$

Δ_z určíme z [1] obr. 6.39

Poměrná hodnota rozptylové reaktance rotoru

$$x_{2\delta}' = X_{2\delta}' \frac{I_{1N}}{U_{1N}} = 0,33 \cdot \frac{83,27}{230} = 0,119$$

Výpočet ztrát**Hlavní ztráty v železe**

$$\Delta P_{\text{Feh}} = \Delta p_{1,0} \left(\frac{f_1}{50} \right)^\beta (k_{dj} B_{j1}^2 m_{j1} + k_{dz} B_{z1}^2 m_{z1})$$

$$\Delta P_{\text{Feh}} = 2,5 \left(\frac{50}{50} \right)^{1,5} (1,6 \cdot 2,025^2 \cdot 56,65 + 1,8 \cdot 1,8^2 \cdot 16,73) = 1173 \text{ W}$$

$$\text{kde: } m_{j1} = \pi (D_e - k_{j1}) h_{j1} l_{fe} k_{Fe} \gamma_{Fe}$$

$$m_{j1} = 3,14 (0,3728 - 0,0388) \cdot 0,0388 \cdot 0,184 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3$$

$$m_{j1} = 56,65 \text{ kg}$$

$$m_{z1} = h_{z1} b_{z1av} Q_1 l_{Fe1} k_{Fe} \gamma_{fe} = 0,0341 \cdot 0,00734 \cdot 48 \cdot 0,184 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3$$

$$m_{z1} = 16,73 \text{ kg}$$

Povrchové ztráty v rotoru

$$\Delta P_{\delta p2} = p_{\delta p2} (t_{d2} - b_{02}) Q_2 l_{Fe2} = 339,4 \cdot (0,0187 - 0,0015) \cdot 38 \cdot 0,184$$

$$\Delta P_{\delta p2} = 40,82 \text{ W}$$

kde:

$$p_{\delta p2} = 0,5 k_{02} \left(\frac{Q_1 n}{10000} \right)^{1,5} (B_{02} t_{d1} 10^3)$$

$$p_{\delta p2} = 0,5 \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{48 \cdot 1500}{10000} \right)^{1,5} \cdot (0,326 \cdot 14,86) = 339,4 \text{ W/ m}^2$$

$$B_{02} = \beta_{02} k_c B_\delta = 0,33 \cdot 1,145 \cdot 0,862 = 0,326 \text{ T}$$

Pulsní ztráty v zubech rotoru

$$\Delta P_{p2} = 0,11 \left(\frac{Q_1 n}{1000} B_{p2} \right)^2 m_{z2} = 0,11 \cdot \left(\frac{48 \cdot 1500}{1000} \cdot 0,0907 \right)^2 \cdot 15,92 = 74,68 \text{ W}$$

kde:

$$B_{p2} = \frac{\gamma_1 \delta}{2 t_{d2}} B_{z2av} = \frac{3,14 \cdot 0,0006}{2 \cdot 0,0187} \cdot 1,8 = 0,0907 \text{ T}$$

$$m_{z2} = Q_2 h_{z2} b_{z2av} l_{Fe} \gamma_{Fe} = 38 \cdot 0,035 \cdot 0,0086 \cdot 0,184 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3$$

$$m_{z2} = 15,92 \text{ kg}$$

Součet dodatečných ztrát v železe

$$\Delta P_{Fed} = \Delta P_{\delta p2} + \Delta P_{p2} = 40,82 + 74,68 = 115,5 \text{ W}$$

Celkové ztráty v železe

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_{Feh} + \Delta P_{Fed} = 1173 + 115,5 = 1288,6 \text{ W}$$

Mechanické ztráty

$$\Delta P_{mech} = K_T \left(\frac{n}{10} \right)^2 D_e^4 = 0,815 \cdot \left(\frac{1500}{10} \right)^2 \cdot 0,3728^4 = 354,2 \text{ W}$$

Činitel K_T pro čtyřpólové stroje:

$$K_T = 1,3 (1 - D_e) = 1,3 (1 - 0,3728) = 0,815$$

Dodatečné ztráty při jmenovitém chodu

$$\Delta P_d = 0,005 P_{1N} = 0,005 \frac{P_{2N}}{\eta} = 0,005 \cdot \left(\frac{45000}{0,89} \right) = 252,8 \text{ W}$$

Proud naprázdno motoru

$$I_0 \approx I_{0\check{c}}^2 + I_\mu^2 = 2,4^2 + 16,64^2 = 16,81 \text{ A}$$

$$I_{0\check{c}} = \frac{\Delta P_{Fe} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{j10}}{m U_{1N}} = \frac{1222,5 + 354,2 + 80,56}{3 \cdot 230} = 2,4 \text{ A}$$

$$\Delta P_{j10} = 3 R_1 I_\mu^2 = 3 \cdot 0,097 \cdot 16,64^2 = 80,56 \text{ W}$$

Účinník naprázdno

$$\cos \varphi_0 = \frac{I_{0\check{c}}}{I_0} = \frac{2,4}{16,81} = 0,143$$

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout třífázový asynchronní motor s kotvou nakrátko o výkonu $P = 45 \text{ kW}$. Elektromagnetický návrh motoru spočívá v neustálém přepočítávání parametrů a jejich kontrolou s doporučenými a dříve vypočtenými hodnotami, čemuž jsem se také nevyhnul a proto je návrh motoru časově náročný. Během výpočtů jsem musel přistoupit na zvětšení výšky osy z důvodů velké hodnoty magnetické indukce ve jhu statoru. V příloze jsou uvedeny detailní nákresy statorové a rotorové drážky a schematický nákres stroje v podélné a příčné ose.

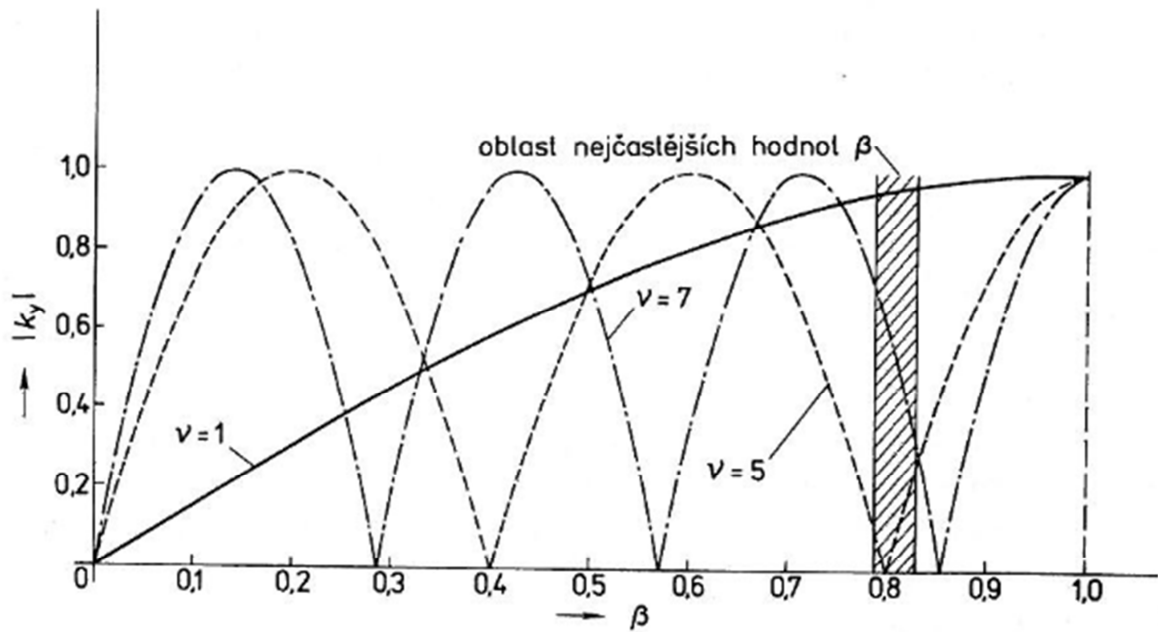
Seznam použité literatury

[1] Kopylov, I.P a kol.: Stavba elektrických strojů, SNTL, Praha 1988

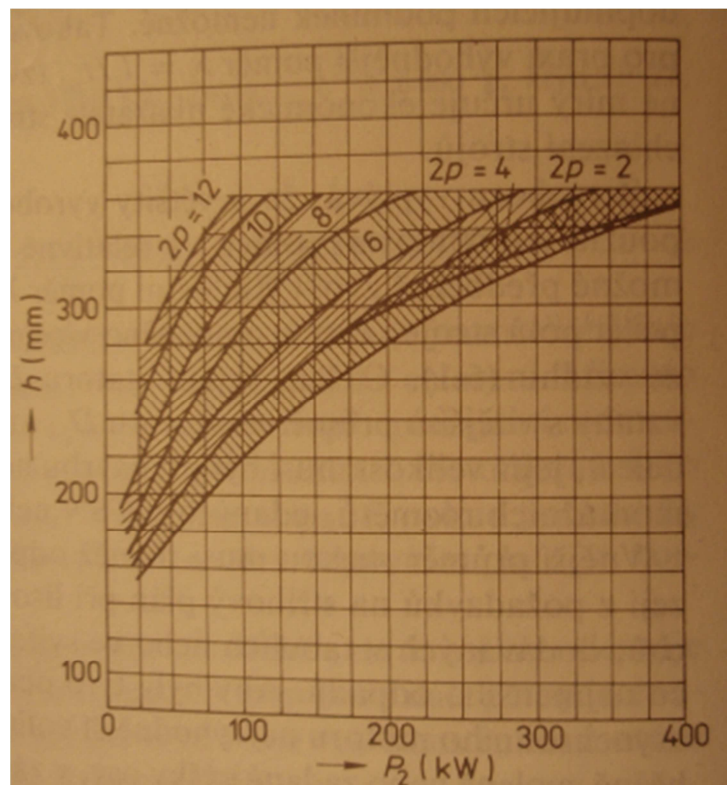
[2] Petrov, G.N. Elektrické stroje 2, ACADEMIA Praha1982

[3] Technický průvodce 12, Elektrické stroje I, SNTL, Praha 1953

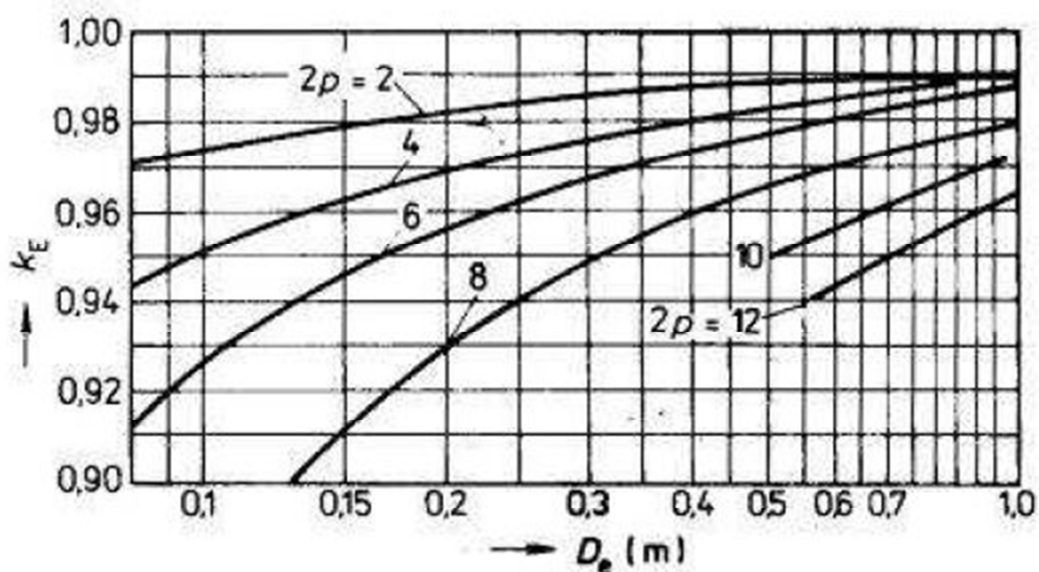
Seznam použitých grafů



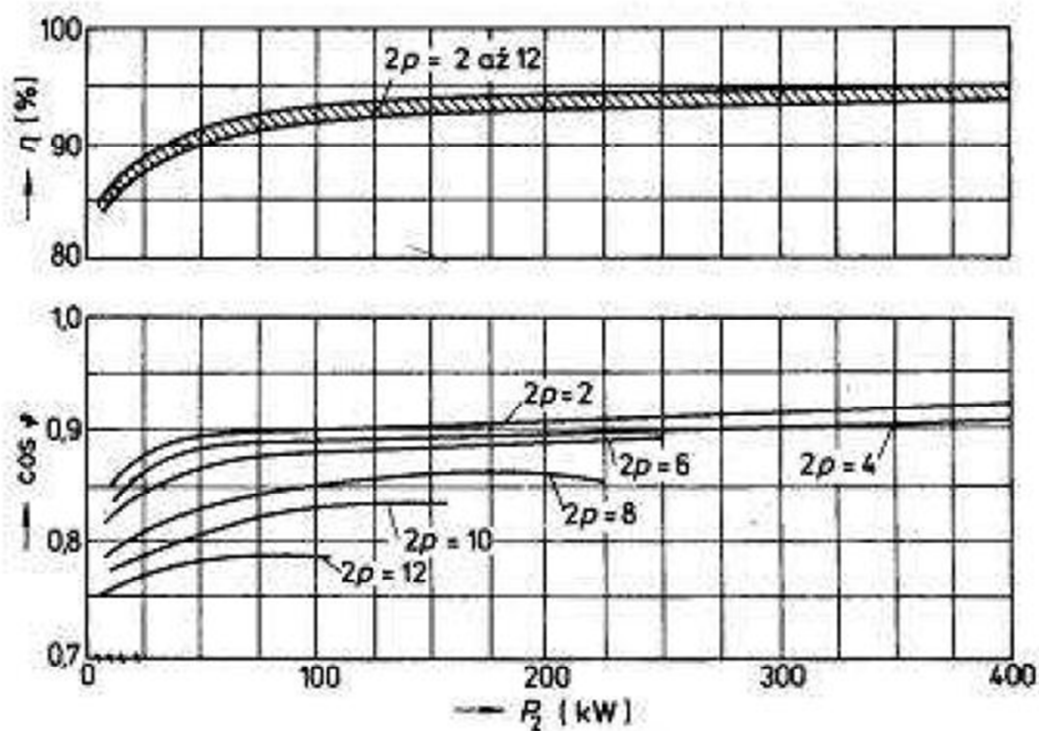
Obr. 3.11. Velikost činitele zkrácení kroku vinutí pro 1., 5. a 7. harmonickou.



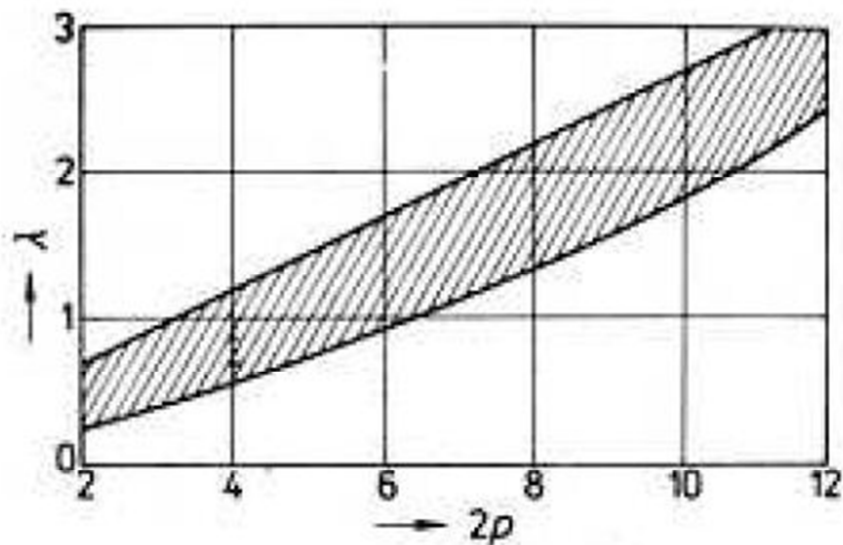
Obr. 6.7. Výška osy asynchronních motorů v závislosti na výkonu, pro motory otevřené s krytím IP 23.



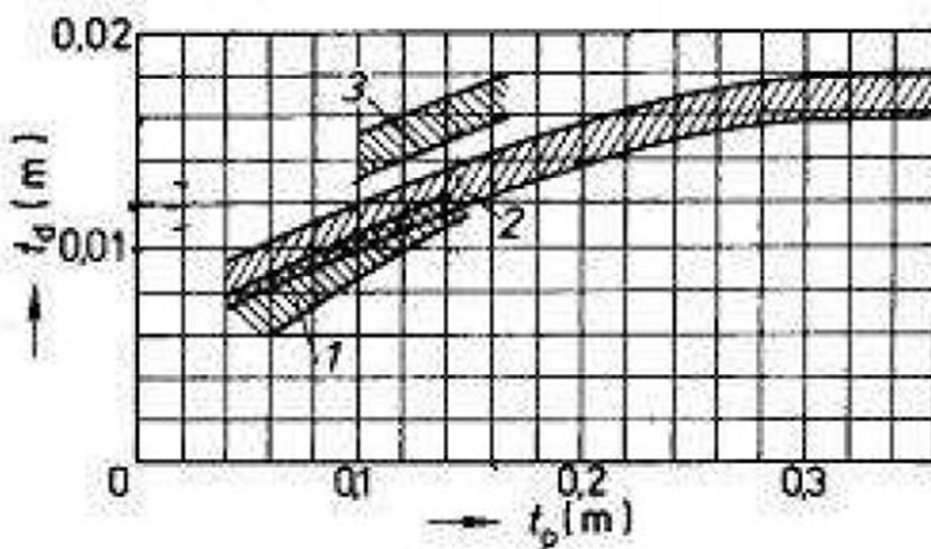
Obr. 6.8. Hodnoty činitele k_E .



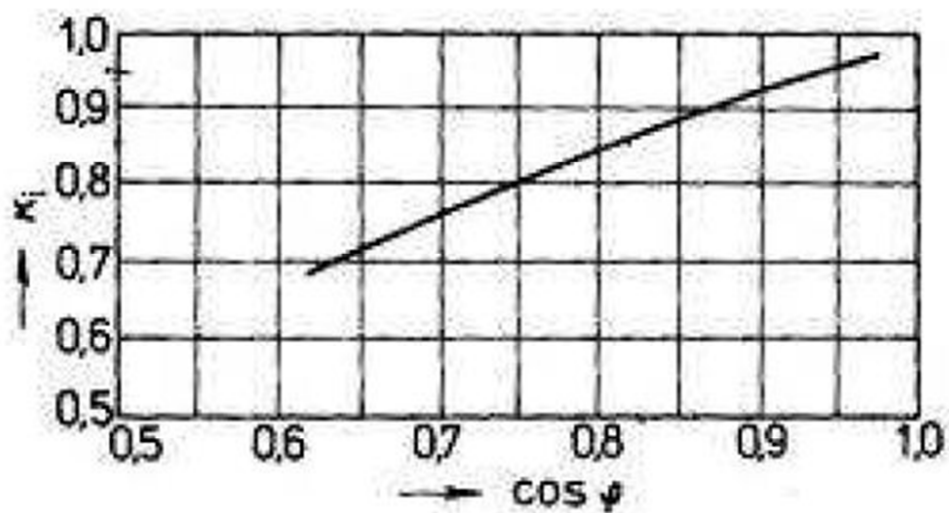
Obr. 6.10. Přibližné hodnoty účinnosti a účinku asynchronních motorů s krytím IP 23.



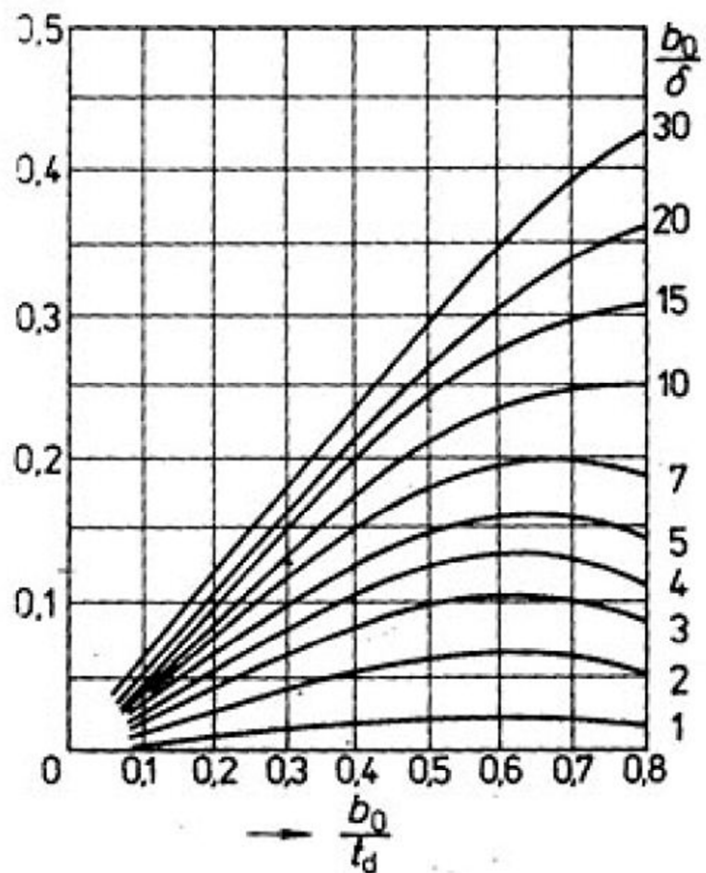
Obr. 6.14. Štíhlostní poměr asynchronních motorů.



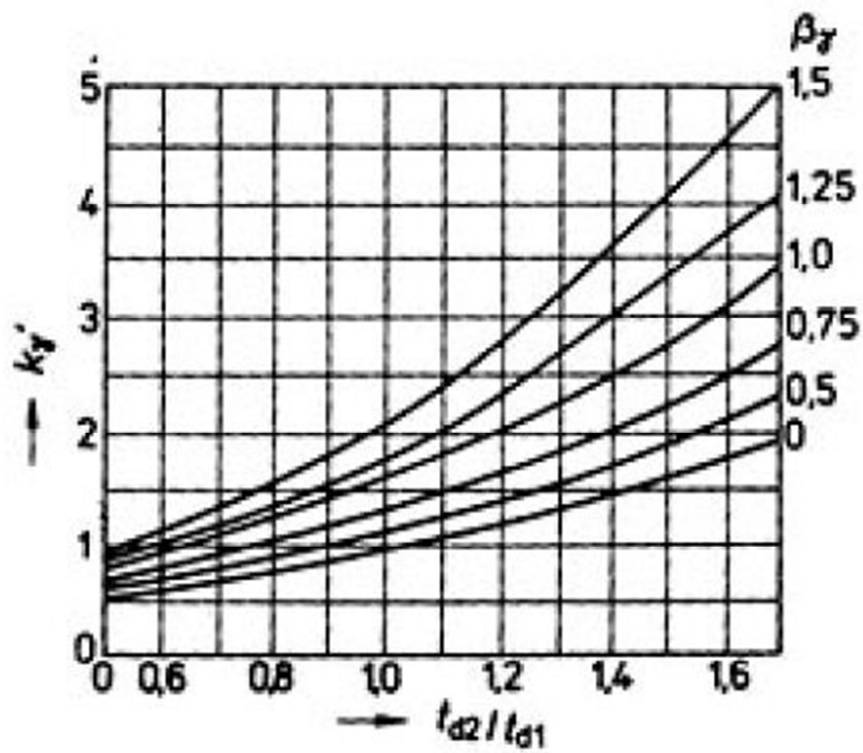
Obr. 6.15. Drážkové rozteče statoru asynchronních motorů se vsypávaným vinutím
(Oblast $2 - 90\text{mm} < h < 250\text{ mm}$).



Obr. 6.22. Činitel k_i v závislosti na $\cos \varphi$.



Obr. 6.39. Ke zjištění činitele Δ_z .



Obr. 6.39. Ke zjištění k'_{γ} .

Seznam použitých tabulek

Část magnetického obvodu	Označení	IP 44					IP 23							
		2p	2	4	6	8	10 a 12	2	4	6	8	10	12	
Jho statoru	B_{j1}	1,4 až 1,6			1,15 až 1,35		1,1 až 1,2			1,45 až 1,6		1,2 až 1,4		1,1, až 1,3
Zuby statoru s rovnoběžnými stěnami (vyspávané vinutí, drážky S, L)	B_{z1}	1,7 až 1,9				1,6 až 1,8		1,9 až 2,1		1,8 až 2,0		1,7 až 1,9		
Zuby statoru v nejužším průřezu drážky polo zavřené F	B_{z1max}	1,75 až 1,95				1,9 až 2,1		1,8 až 2,0						
drážky otevřené N, M		1,6 až 1,8				1,7 až 1,9								
Jho rotoru nakrátko kroužkového motorů na 6 000 V	B_{j2}	$\leq 1,45$ — —	$\leq 1,25$ $\leq 1,25$ $\leq 1,55$	$\leq 1,15$ $\leq 1,05$ $\leq 1,30$	$\leq 0,85$ $\leq 0,75$ $\leq 1,0$		$\leq 1,55$ — —	$\leq 1,35$ $\leq 1,35$ $\leq 1,45$	$\leq 1,25$ $\leq 1,15$ $\leq 1,20$	$\leq 0,95$ $\leq 0,85$ $\leq 1,0$				
Zuby rotoru s rovnoběžnými stěnami (drážky V, W)	B_{z2}	1,75 až 1,85					1,8 až 1,95							
Zuby v nejužším průřezu rotoru nakrátko kroužkového	B_{z2max}	— —	1,5 až 1,7 1,85 až 2,05	1,45 až 1,60 1,75 až 1,9		— —	1,6 až 1,8 2,0 až 2,2		1,55 až 1,70 1,9 až 2,05					

Tab. 6.10. Dovolené hodnoty magnetické indukce v různých částech magnetického obvodu.

2p	Q_1	Q_2		2p	Q_1	Q_2	
		drážky nenatočené	drážky natočené			drážky nenatočené	drážky natočené
2	12	9*, 15*	—	8	48	(34), 36, 44, 62, 64	35, 44, 61, 63, 65
	18	11*, 12*, 15*, 21*, 22*	14*, (18), 19*, 22*, 26, 28*, (30), 31, 33, 34, 35		72	56, 58, 86, 88, 90	56, 57, 59, 85, 87, 89
	24	15*, (16*), 17*, 19, 32	18, 20, 26, 31, 33, 34, 35		84	66, (68), 70, 98, 100, 102, 104	(68), (69), (71), (97), (99), (101)
	30	22, 38	(18), 20, 21, 23, 24, 37, 39, 40	96	78, 82, 110, 112, 114	79, 80, 81, 83, 109, 111, 113	
	36	26, 28, 44, 46	25, 27, 29, 43, 45, 47	10	60	44, 46, 74, 76	57, 69, 77, 78, 79
	42	32, 33, 34, 50, 52	—		90	68, 72, 74, 76, 104, 106, 108, 110, 112, 114	70, 71, 73, 87, 93, 107, 109
48	38, 40, 56, 58	37, 39, 41, 55, 57, 59	120		86, 88, 92, 94, 96, 98, 102, 104, 106, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146	90, 101, 103, 117, 123, 137, 139	
4	12	9*	15*	12	72	56, 64, 80, 88	69, 75, 80, 89, 91, 92
	18	10*, 14*	18*, 22*		90	68, 70, 74, 88, 98, 106, 108, 110	(71), (73), 86, 87, 93, 94, (107), (109),
	24	15*, 16*, 17, (32)	16, 18, (20), 30, 33, 34, 35, 36	108	86, 88, 92, 100, 116, 124, 128, 130, 132	84, 89, 91, 104, 105, 111, 112, 125, 127	
	36	26, 44, 46	(24), 27, 28, 30, (32), 34, 45, 48	144	124, 128, 136, 152, 160, 164, 166, 168, 170, 172	125, 127, 141, 147, 161, 163	
	42	(34), (50), 52, 54	(33), 34, (38), (51), 53	84	84	74, 94, 102, 104, 106	75, 77, 79, 89, 91, 93, 103
48	34, 38, 56, 58, 62, 64	(36), (38), (39), 40, (44), 57, 59					

Tab. 6.15. Doporučené počty drážek asynchronních motorů nakrátko.

B (T)	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H (A . m ⁻¹)									
0,4	124	127	130	133	136	138	141	144	147	150
0,5	154	157	160	164	167	171	174	177	180	184
0,6	188	191	194	198	201	205	208	212	216	220
0,7	223	226	229	233	236	240	243	247	250	253
0,8	256	259	262	265	268	271	274	277	280	283
0,9	286	290	293	297	301	304	308	312	316	320
1,0	324	329	333	338	342	346	350	355	360	365
1,1	370	375	380	385	391	396	401	406	411	417
1,2	424	430	436	442	448	455	461	467	473	479
1,3	486	495	504	514	524	533	543	554	564	575
1,4	586	598	610	622	634	646	658	670	683	696
1,5	709	722	735	749	763	777	791	805	820	835
1,6	850	878	906	934	962	990	1 020	1 050	1 080	1 110
1,7	1 150	1 180	1 220	1 250	1 290	1 330	1 360	1 400	1 440	1 480
1,8	1 520	1 570	1 620	1 670	1 720	1 770	1 830	1 890	1 950	2 010
1,9	2 070	2 160	2 250	2 340	2 430	2 520	2 640	2 760	2 890	3 020
2,0	3 150	3 320	3 500	3 680	3 860	4 040	4 260	4 480	4 700	4 920
2,1	5 140	5 440	5 740	6 050	6 360	6 670	7 120	7 570	8 020	8 470
2,2	8 920	9 430	9 940	10 460	10 980	11 500	12 000	12 600	13 200	13 800
2,3	14 400	15 100	15 800	16 500	17 200	18 000	18 800	19 600	20 500	21 400

Tab. D2. 7. Magnetizační charakteristika oceli 2013 pro zuby asynchronních strojů.

B (T)	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H (A . m ⁻¹)									
0,4	52	53	54	55	56	58	59	60	61	62
0,5	64	65	66	67	69	71	72	74	76	78
0,6	80	81	83	85	87	89	91	93	95	97
0,7	100	102	104	106	108	111	113	115	118	121
0,8	124	126	129	132	135	138	140	143	146	149
0,9	152	155	158	161	164	168	171	174	177	181
1,0	185	188	191	195	199	203	206	209	213	217
1,1	221	225	229	233	237	241	245	249	253	257
1,2	262	267	272	277	283	289	295	301	307	313
1,3	320	327	334	341	349	357	365	373	382	391
1,4	400	410	420	430	440	450	464	478	492	506
1,5	520	542	564	586	608	630	654	678	702	726
1,6	750	788	826	864	902	940	982	1 020	1 070	1 110
1,7	1 150	1 220	1 290	1 360	1 430	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900
1,8	2 000	2 160	2 320	2 490	2 650	2 810	2 960	3 110	3 270	3 420
1,9	3 570	3 800	4 030	4 260	4 490	4 720	4 930	5 140	5 350	5 560
2,0	5 770	6 000	6 300	6 600	7 000	7 400	7 900	8 400	9 000	9 700

Tab. D2. 6. Magnetizační charakteristika oceli 2013 pro jha asynchronních strojů.

Průměr jádra (mm)	Průřez jádra (mm ²)	Střední odpor při 20 °C ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)	Největší oboustranný izolační přírůstek (mm)												
			2B	L2H	2KT	2KS	T	2T	2I						
1,06	0,882	19,880	0,27		0,27	0,27	0,095	0,14	0,14						
1,12	0,985	17,807													
1,18	1,094	16,042													
1,25	1,227	14,296													
1,32	1,369	12,820													
1,40	1,539	11,397													
1,50	1,767	9,927 8													
1,60	2,011	8,725 6													
1,70	2,270	7,729 1								0,275	—				
1,80	2,545	6,895 0													
1,90	2,835	6,187 6													
2,00	3,142	5,584 3													
2,12	3,530	4,969 9													
2,24	3,941	4,451 7	0,325	—											
2,36	4,374	4,010 6													
2,50	4,909	3,574 1													
2,65	5,515	3,180 7													
2,80	6,158	2,849 1	0,335	—											
3,00	7,069	2,481 9													
3,15	7,793	1,962 0													
Tepelná třída izolace			A	A	F	H	B	B	F						

Poznámky: 1. Hliníkové vodiče se vyrábějí až od průměru 0,5 mm.

2. Uvedeny jsou izolace nejběžněji používané:

2B — dvojnásobné protisměrné opfedení bavlnou nebo umělou přízí,

L2H — lakovaný drát s dvojnásobným opfedením hedvábím,

2KT — dvojnásobné opfedení skleněnou přízí (podlepenou), lakované tereftalátovým lakem,

2KS — dvojnásobné opfedení skleněnou přízí, lakované silikonovým lakem,

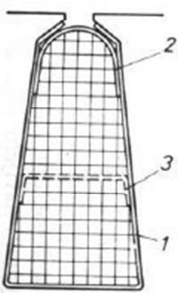
T — jednoduchá izolace tereftalátovým lakem,

2T — zesílená izolace tereftalátovým lakem,

2I — zesílená izolace polyesterimidovým lakem.

3. Jmenovité průměry označené křížkem (+) se nedoporučují na nové výrobky.

Tab. D3. 1 Měděné izolované dráty pro vinutí podle norem ČSN.

Vinutí	Typ vinutí	h (mm)	Pozice	Tloušťka (mm)	Počet vrstev	Jednostranná tloušťka izolace (mm)
	jednovrstvá	50 až 80	1	0,2	1	0,2
			2	0,3	1	0,3
		90 až 132	1	0,25	1	0,25
			2	0,35	1	0,35
		160	1	0,4	1	0,4
			2	0,5	1	0,5
dvouvrstvá	180 až 250	1	0,4	1	0,4	
		2	0,5	1	0,5	
		3	0,4	1	0,4	

Tab. 3.8. Izolace vsypávaných statorových vinutí asynchronních motorů

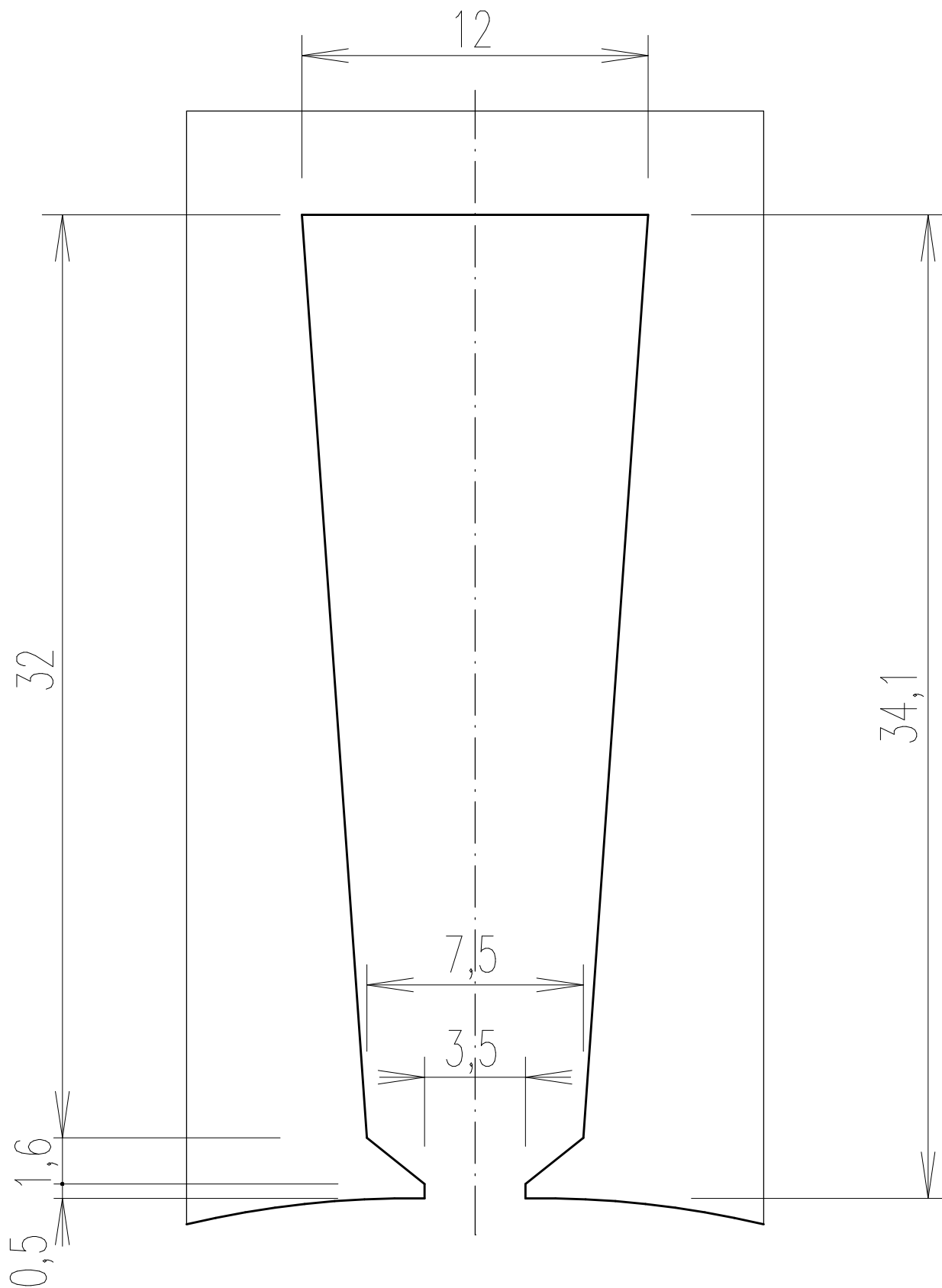
Přílohy – Výkresy

Příloha č. 1. Statorová drážka

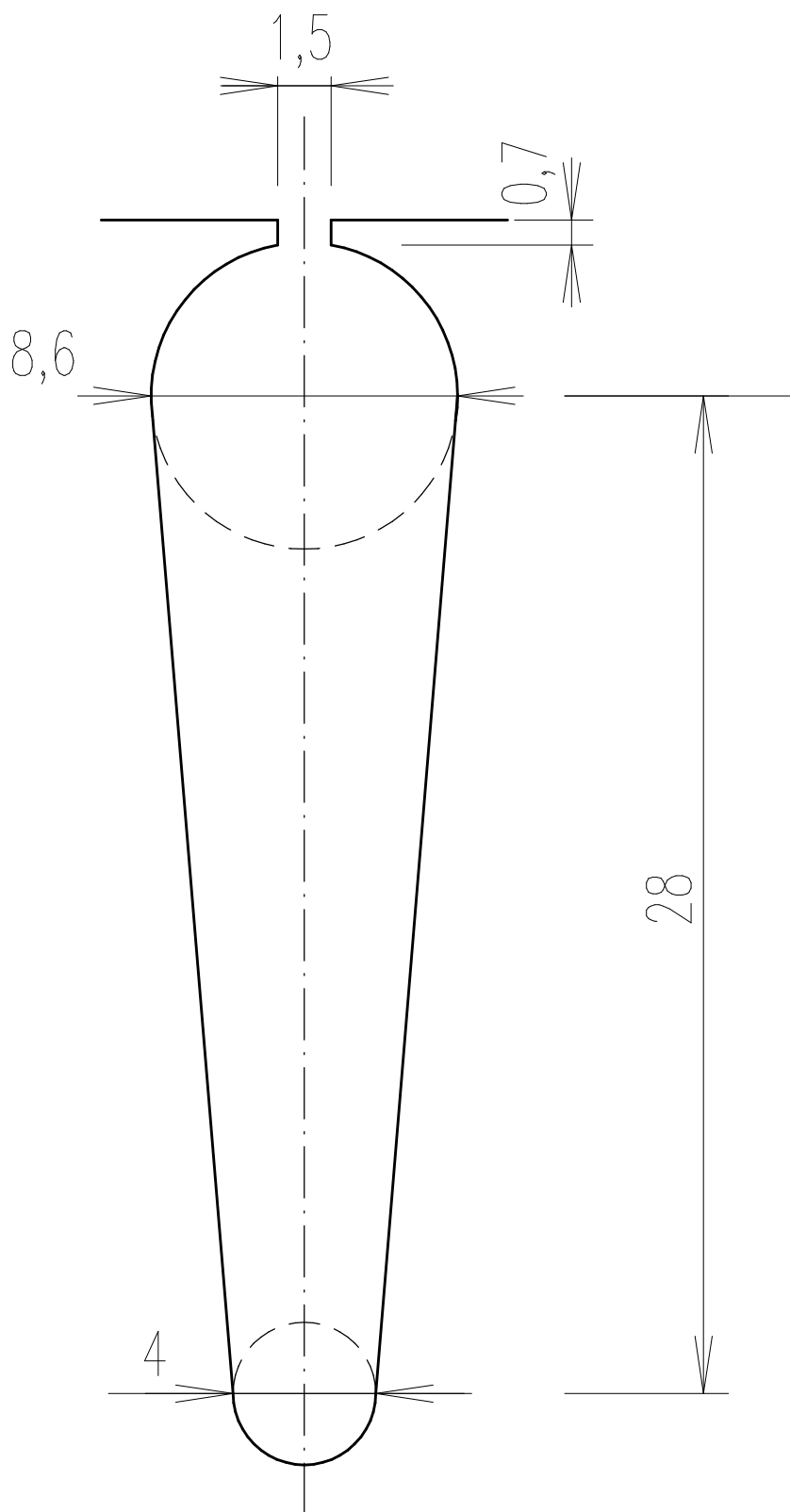
Příloha č. 2. Rotorová drážka

Příloha č. 3. Asynchronní motor – podélný řez

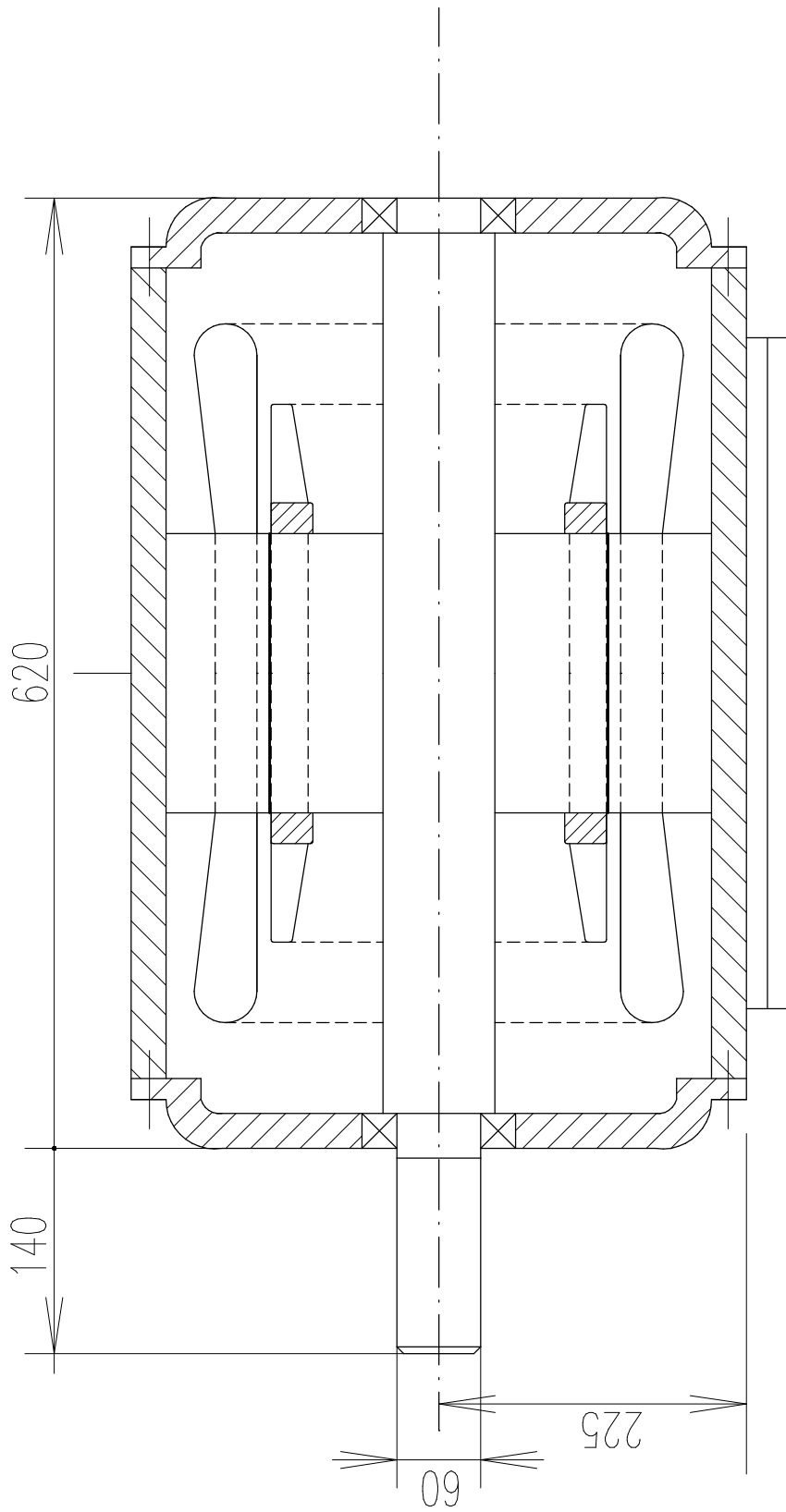
Příloha č. 4. Asynchronní motor – příčný řez



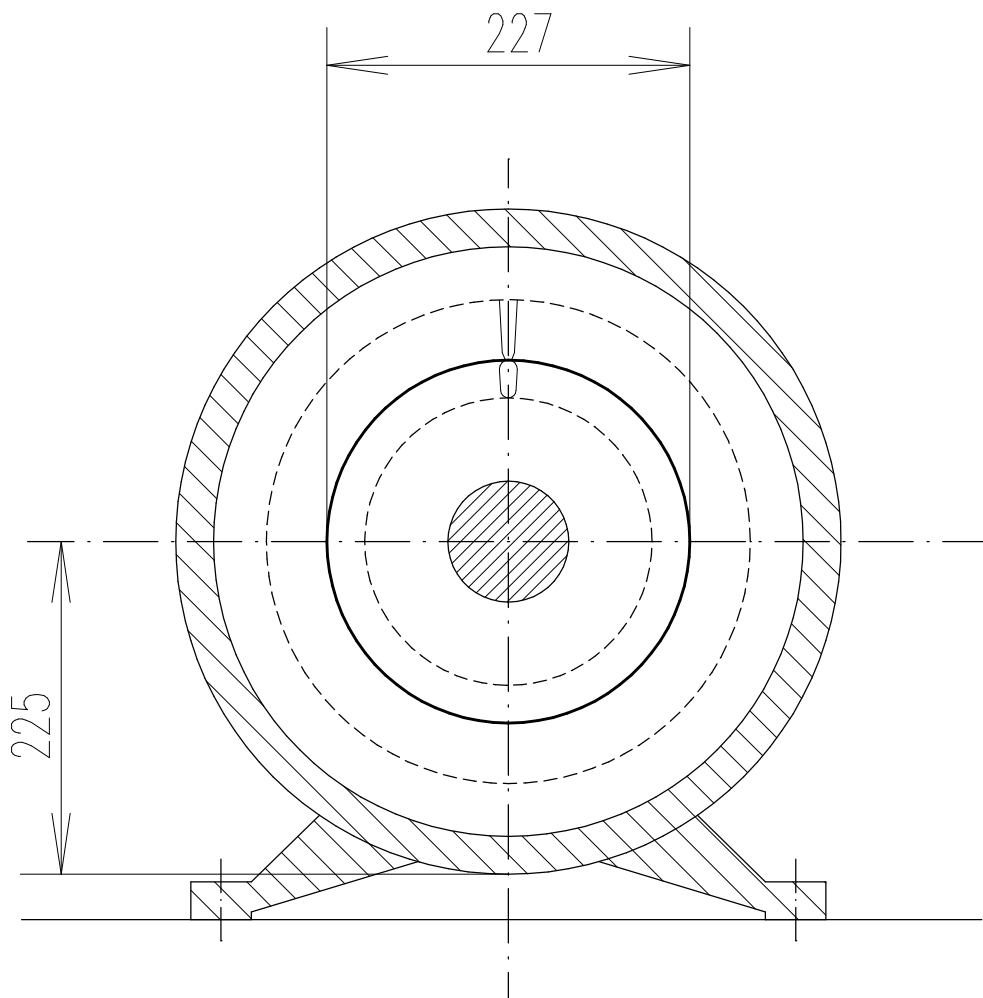
Vypracoval	Jan TUPÝ	Škola	
Název akce	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE NÁVRH ASYNCHRONNÍHO MOTORU S KOTVOU NAKRÁTKO	ZČU Plzeň FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ	
Obsah výkresu	-statorová drážka M 5:1	Datum	č.v.
		2013	1



Vypracoval	Jan TUPÝ	Škola	
Název akce	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE NÁVRH ASYNCHRONNÍHO MOTORU S KOTVOU NAKRÁTKO	ZČU Plzeň FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ	
Obsah výkresu	-rotorová drážka M 5:1	Datum	č.v.
		2013	2



Vypracoval	Jan TUPÝ	Škola	ZČU Pízeň FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
Název práce	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE NÁVRH ASYNCHRONNÍHO MOTORU S KOTVOU NAKRÁTKO	Datum	2013
Obsah výkresu	Podélný řez M 1:3	Č.v.	3



Vypracoval	Jan TUPÝ	Škola	
Název akce	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE NÁVRH ASYNCHRONNÍHO MOTORU S KOTVOU NAKRÁTKO	ZČU Plzeň FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ	
Obsah výkresu	Příčný řez M 1:3	Datum	č.v.
		2013	4