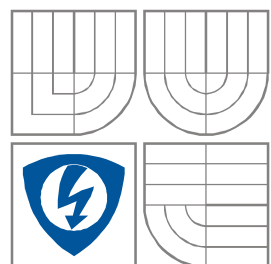




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ASYNCHRONNÍ MOTOR SE STÍNĚNÝM PÓLEM

SHADED-POLE INDUCTION MOTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Žuška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

BRNO, 2008

ZADÁNÍ!!

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Martin Žuška

Bytem: tř. 17. listopadu 3, Přerov, 750 02

Narozen/a (datum a místo): 9.9.1983, Přerov

(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: Asynchronní motor se stíněným pólem

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

Ústav: Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v *:

☒ tištěné formě — počet exemplářů 1

☒ elektronické formě — počet exemplářů 1

* 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 s 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

Jednofázový asynchronní motor se stíněným pólem je konstrukčně jednoduchý a levný motorek. Používá se jako pohon ventilátorů, malých domácích spotřebičů a nebo jako gramofonový motorek. Motorek se točí pouze jedním směrem. Směr točení nám udává poloha stínícího závitu (závitů nakrátko). Motorek má malý výkon, několik jednotek wattů a špatnou účinnost.

Abstract

Single-phase shade-pole motor has easy structure, and it is cheap. It can be used as a drive of electrical fans, drive of small household appliances or as a gramophonic motor. Motor is rotating one way only. Direction of rotating is given by position of shading ring. Motor is not very effective, and it is not efficient.

Klíčová slova

Asynchronní motor; stíněný pól; jednofázový motor; závit nakrátko;

Keywords

Induction motor; shaded-pole; single-phase machines; shading coil;

Bibliografická citace

ŽUŠKA, M. *Asynchronní motor se stíněným pólem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 50 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Asynchronní motor se stíněným pólem jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne

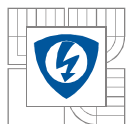
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Vítězslavu Hájkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Ondřeji Vítkoví za odbornou pomoc při měření v laboratořích.

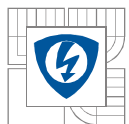
V Brně dne

Podpis autora



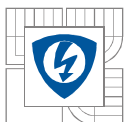
OBSAH

1 ÚVOD	14
2 PRINCIP FUNKCE, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKA MOTORKU SE STÍNĚNÝM PÓLEM	15
2.1 ZÁBĚRNÝ MOMENT STÍNĚNÉHO MOTORU	20
3 EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA MOTORKU.....	23
3.1 MĚŘENÍ MOTORKU TYPU A24NL262 NAPÁJENÉHO ZE SÍTĚ.....	23
3.2 MĚŘENÍ MOTORKU TYPU UA7F54P NAPÁJENÉHO ZE SÍTĚ.....	29
4 POUŽITÍ MOTORKU V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	34
4.1 MĚŘENÍ MOTORKU TYPU A24NL262 NAPÁJENÉHO Z AUTOBATERIE	34
4.2 MĚŘENÍ MOTORKU TYPU UA7F54P NAPÁJENÉHO Z AUTOBATERIE	39
5 ZÁVĚR.....	44
LITERATURA	46
PŘÍLOHY	47

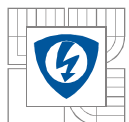


SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Stíněný pól.....	15
Obr. 2 Schéma motorku se stíněnými póly	15
Obr. 3 Tvar plechů stíněného motoru	16
Obr. 4 Tvar plechů motorku se stíněnými póly	16
Obr. 5 Tvar momentové charakteristiky motoru se stíněným pólem.....	17
Obr. 6 Náhradní schéma pro souslednou složku motoru se stíněnými póly.....	19
Obr. 7 Sestrojení poměrných velikostí proudových vln při záběru motoru se stíněným pólem	20
Obr. 8 Příklad stejných fázových posunů nepříznivých pro rozběh.....	20
Obr. 9 Náhradní schéma pro vnitřní impedanci nakrátko	21
Graf 1: Momentová charakteristika motorku A24NL262 napájeného ze sítě.....	24
Graf 2: Závislost příkonu P na otáčkách n	26
Graf 3: Závislost proudu I na otáčkách n	26
Obr. 10 Charakteristika naprázdno podle teorie	27
Graf 4: Charakteristika naprázdno motorku A24NL262	28
Graf 5: Momentová charakteristika motorku UA7F54P napájeného ze sítě.....	30
Graf 6: Graf závislosti příkonu P na otáčkách n	32
Graf 7: Graf závislosti proudu I na otáčkách n	32
Graf 8: Graf charakteristiky naprázdno	33
Graf 9: Graf momentové charakteristiky motorku A24NL262 napájeného z autobaterie	35
Graf 10: Graf závislosti příkonu P na otáčkách n	37
Graf 11: Graf závislosti proudu I na otáčkách n	37
Graf 12: Graf charakteristiky naprázdno	38
Graf 13: Graf momentové charakteristiky motorku UA7F54P napájeného z autobaterie	40
Graf 14: Graf závislosti příkonu P na otáčkách n	42
Graf 15: Graf závislosti proudu I na otáčkách n	42
Graf 16: Graf charakteristiky naprázdno	43
Obr. 11 Měřený motorek typu A24NL262	47
Obr. 12 Výkresové schéma motorku typu A24NL262.....	47
Obr. 13 Charakteristika (6) změřená firmou ATAS motorku typu A24NL262.....	48
Obr. 14 Měřený motorek typu UA7F54P	48
Obr. 15 Výkresové schéma motorku typu UA7F54P.....	49
Obr. 16 Jiné provedení motorku se stíněným pólem	49

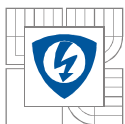


<i>Obr. 17 Motorek se stíněným pólem.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 18 Motorek A24NL381 firmy ATAS elektromotory Náchod a.s.....</i>	<i>50</i>



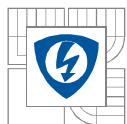
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Měření momentové charakteristiky motorku A24NL262 napájeného ze sítě.....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 2 Měření naprázdno motorku A24NL262 napájeného ze sítě.....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 3 Měření momentové charakteristiky u motorku UA7F54P napájeného ze sítě.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 4 Měření naprázdno motorku UA7F54P napájeného ze sítě.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 5 Měření momentové charakteristiky motorku A24NL262 napájeného z autobaterie.....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 6 Měření naprázdno motorku A24NL262 napájeného z autobaterie.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 7 Měření momentové charakteristiky u motorku UA7F54P napájeného z autobaterie.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 8 Měření naprázdno motorku UA7F54P napájeného z autobaterie.....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 9 Jmenovité hodnoty od výrobce</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 10 Mou naměřené jmenovité hodnoty</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 11 Ztráty motorku.....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 12 Moment a účinnost ve jmenovitém bodě</i>	<i>44</i>



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Název	Jednotka
Φ_p	magnetický tok	Wb
Φ_z	magnetický tok	Wb
η	účinnost	%
$\cos\varphi$	účinník motoru	°
M_z	záběrný moment	N.m
M_n	jmenovitý moment	N.m
δ	výška vzduchové mezery	mm
U_A	napětí ve vinutí A	V
U_B	napětí ve vinutí B	V
Z_{vA}	rozptylová impedance závitů nakrátko	Ω
Z_{vB}	rozptylová impedance závitů nakrátko	Ω
I_A	proud vinutím A	A
I_B	proud vinutím B	A
Z'_d	vnitřní impedance	Ω
Z'_i	zpětná impedance	Ω
α	úhel mezi vinutími	°
I_{dA}	proudová vlna	A
I_{iA}	proudová vlna	A
β	úhel vinití B od osy	°
$P_{\delta d}$	mechanický výkon	W
$P_{\delta i}$	ztráty v rotoru	W
U'	fiktivní svorkové napětí	V
s	skluz	%
Z'_k	vnitřní impedance nakrátko	Ω
I_{dA}	sousledná vlna	A
I_{iA}	zpětná vlna	A
P	příkon motoru	W
I	proud motoru	A
U	napájecí napětí	V
P_M	výkon motoru	W
P_{celk}	celkové ztráty	W
ΔP_{mech}	mechanické ztráty	W
ΔP_{Cu}	ztráty v mědi (ve vinutí)	W
ΔP_{Fe}	ztráty v železe	W
M	moment motoru	N.m
ω	úhlová rychlost	rad/s
R	odpor vinutí	Ω
M_{max}	moment zvratu	N.m
n	otáčky motoru	1/min
m_{max}	přetížitelnost motoru	-



1 ÚVOD

Jsou to stroje nejmenších výkonů, jejichž stator je opatřen vyniklými póly, nesoucími budící vinutí. Rotor je proveden jako kotva nakrátko. Pro dosažení záběrného momentu musíme ve stroji vytvořit točivé pole (nejlépe kruhové nebo alespoň eliptické). U dvoufázového uspořádání musí být proti sobě natočeny prostorově obě fáze statorového vinutí o úhel rovný fázovému posuvu napájecích proudů; napájecí proudy musí tedy rovněž mít jistý posuv. Pro vznik kruhového točivého pole musí být prostorové natočení fází rovno fázovému posuvu mezi proudy, tj. 90° el a celá soustava musí být zcela souměrná (stejně vinutí, proudy fází). Prostorového a časového posuvu dvou polí se dosahuje závitem nakrátko, uloženým na každém budícím pólu a dále magnetickým bočníkem, měnícím reluktanci po obvodu vzduchové mezery. Teorie tohoto typu motoru je velmi komplikovaná. Z hlediska uživatele je důležitá hlavně dosažitelná velikost záběrného momentu: moment postačí pro rozběh motorů, pohánějících domácí spotřebiče, ventilátory atp., signální řízení, jež jsou spojena s hřídelem motorku převodovkou. Motor pracuje poměrně se značným skluzem – v jmenovitém chodu mívá 1200, popř. 2400 ot/min při kmitočtu napájecího napětí 50 Hz.

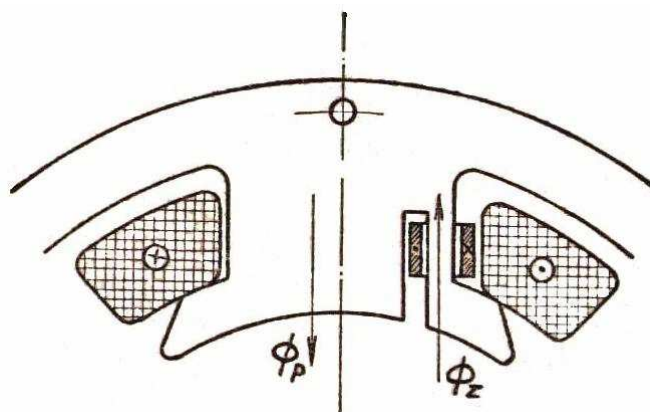
Vzhledem k tomu, že užitečný výkon bývá velmi malý (u nejmenších motorků bývá kolem několik wattů), není jejich malá účinnost příliš užitečná.

Směr otáčení je určen polohou závitu nakrátko vzhledem k budícímu pólu. Existují však i motory s měnitelným smyslem otáčení, jež jsou opatřeny na každém pólu dvěma závity, z nichž je zapojen vždy jen jeden. Při změně smyslu otáčení se dosud spojený závit rozpojí a spojí se nakrátko závit, jímž dosud proud neprocházel. Jestliže je požadovaný výstupní výkon motorku velmi malý (je po rozběhu určen hlavně ztrátami třením ve vlastním stroji), lze stroj synchronizovat použitím vyniklých pólů na rotor. Těchto motorků lze použít např. v hodinářství nebo v měřicích obvodech k vytvoření časové základny.

2 PRINCIP FUKNCE, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKA MOTORKU SE STÍNĚNÝM PÓLEM

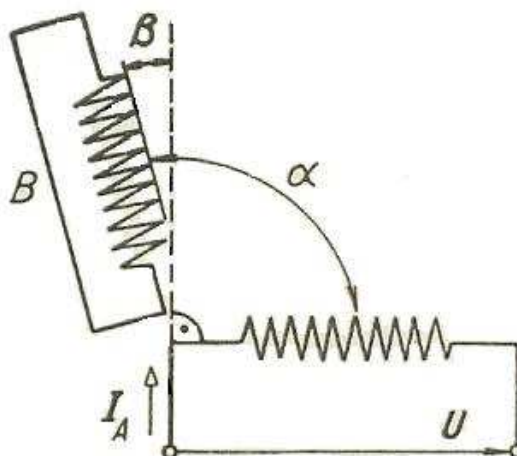
Malé motory se provádějí se stíněným pólem podle obr. 1. Statorové vinutí je na vyčnívajících pólech. Na každém pólu je nesouměrný výřez, kolem něhož je jeden závit z měděného drátu nebo pásku nakrátko spojený. Jakmile se zavede do cívky pólu proud, vznikne magnetický tok Φ_p , který v závitě nakrátko vytvoří proud opačného smyslu. Tímto proudem je způsoben tok Φ_z , který jde proti toku pólu a deformuje ho k jedné straně. Tím dostane rotor impulz v jednom smyslu a rozběhne se. Záběrný moment je ovšem malý a stačí jen např. na rozběh ventilátoru, čerpadel v lednici apod.

Provedení motoru se stíněným pólem je na obr. 1. Pól má dva stínící závity pro lepší rozběh. Mezi póly jsou magnetické můstky, aby bylo pole rovnoměrnější. Někdy se též dělají nesouměrné pólové nástavce pro silnější rozběh.



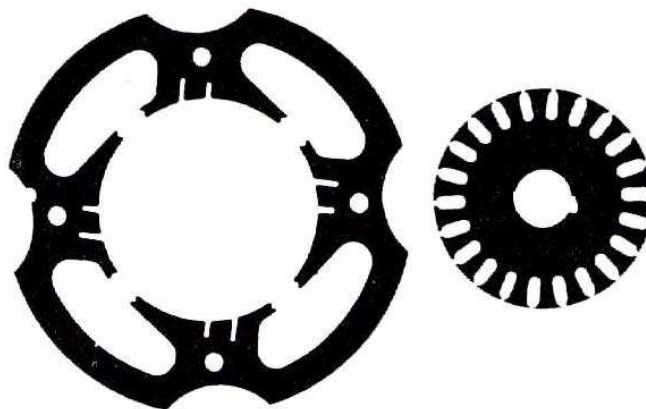
Obr. 1 Stíněný pól

Schéma dalšího motorku se stíněným pólem je na obr.2 s označením směrů proudu a napětí. Vinutí B, spojené dokrátka, provádí se prakticky jako holý závit umístěný v drážce na každém pólu statoru, který má vyjádřené póly, nebo jinak uvažováno, jednu hlavní drážku na pól.



Obr. 2 Schéma motorku se stíněnými póly

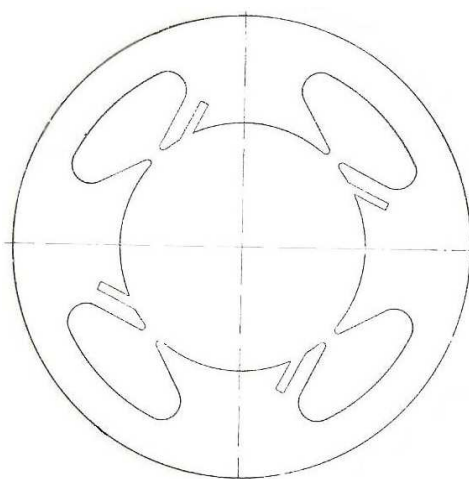
Na obr. 3 je tvar plechů stíněného motoru, u něhož je použito na každém pólu dvou závitů spojených dokrátka, a proto má každý pól ještě dvě malé drážky. U některých novějších stíněných motorků se dnes používá plechů tvaru naznačeného na obr. 4 s úzkým stínícím závitem (asi 1/5 pólové rozteče), ačkoli někteří autoři doporučují krok závitů až 1/3 šířky pólu.



Obr. 3 Tvar plechů stíněného motoru

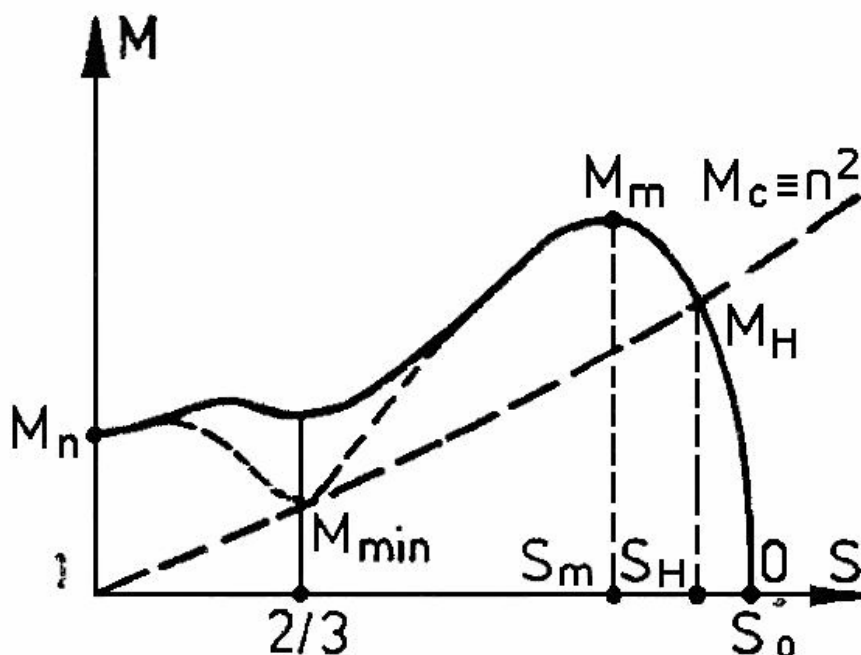
U některých motorků se dělá mezera asi na třetině pólového oblouku zvětšena výřezem ve statoru kvůli lepšímu záběru.

Motorky se stíněnými póly se uplatňují u malých spotřebičů s lehkým rozběhem (ventilátory) do výkonu 20W. Účinnost těchto motorů η bývá v mezích 0,1 až 0,25, účiník $\cos\varphi = 0,6$ a záběrný moment velmi malý. Norma ČSN 350060 předpisuje pro motory se stíněnými póly $M_z/M_n = 0,25$, lze však dosáhnout záběrných momentů vyšších. Výhodou těchto motorků je jednoduchá a levná konstrukce. Směr otáčení je dán polohou stínícího závitu, takže každý motor má jen jeden směr otáčení. Vzduchová mezera δ bývá v mezích 0,3 až 0,5mm.



Obr. 4 Tvar plechů motorku se stíněnými póly

Momentová charakteristika stíněného motoru (obr. 5) má sedlo ve $2/3$ skluzu, což je způsobeno tím, že vinutí není v drážkách, ale je umístěno na pólech. Pod póly tvar magnetického pole není sinusový nýbrž má tvar spíš deformovaného obdelníku a působí na něj harmonické (nejvíce třetí harmonická).



Obr. 5 Tvar momentové charakteristiky motoru se stíněným pólem

Podrobná teorie stroje se stíněnými póly je velmi složitá. Zde máme na zjednodušený postup řešení metodou točivých polí, a to také jen pro základní harmonickou magnetomotorické síly statoru. Vyšší harmonické mají u tohoto stroje vliv velmi značný. Vyšší harmonické způsobují nejen škodlivý diferenční rozptyl, nýbrž i užitečnou indukční vazbu mezi stínícím závitem a hlavním vinutím. Např. tvar plechů na obr. 4 využívá vazby páté harmonické.

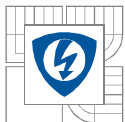
Chod naprázdno je podstatně pod synchronními otáčkami, neboť zpětná složka bývá u malých motorů vlivem magnetizačního proudu vysoká. Při řešení motoru se stíněnými póly na obr. 2 můžeme vyjít z rovnic (1) a (2), neboť stínící závity si můžeme představit jako vinutí hlavní, spojené dokrátka. Rovnice jsem čerpal z literatury [1].

$$U_A = Z_{vA} I_A + Z'_d I_A + Z'_i I_A + Z'_d I_B | -\alpha + Z'_i I_B | \alpha = Z_{vA} I_A + Z'_d (I_A + I_B | -\alpha) + Z'_i (I_A + I_B | \alpha) \quad (1)$$

$$U_B = Z_{vB} I_B + Z'_d I_A | \alpha + Z'_i I_A | -\alpha + Z'_d I_B + Z'_i I_B = Z_{vB} I_B + Z'_d (I_A | \alpha + I_B) + Z'_i (I_A | -\alpha + I_B) \quad (2)$$

Rovnice (1) a (2) jsou obecnými rovnicemi indukčního stroje o dvou vinutích.

$$U_A = Z_{vA} \frac{I_{dA} - I_{iA} | -2\alpha}{1 - | -2\alpha} + Z'_d I_{dA} + Z'_i I_{iA} \quad (3)$$



$$U_B = Z_{vB} \frac{j}{2} \frac{I_{dA} - I_{iA}}{\sin \alpha} + Z_d' I_{dA} | \underline{\alpha} + Z_i' I_{iA} | \underline{-\alpha} \quad (4)$$

Dále nebudeme pro jednoduchost uvažovat impedanci Z_{vB} a proud I_B čárkou jako přepočtené hodnoty, neboť skutečné velikosti proudů a odporů nebudeme téměř potřebovat. Zavedeme-li do rovnice (3) a (4) $U_B = 0$ a dále podle obr. 2.

$$\alpha = \beta + \frac{\pi}{2} \quad (5)$$

dostaneme po úpravě

$$U_A = \left(\frac{Z_{vA} | \underline{\beta}}{2 \cos \beta} + Z_d' \right) \cdot I_{dA} + \left(\frac{Z_{vA} | \underline{-\beta}}{2 \cos \beta} + Z_i' \right) \cdot I_{iA} \quad (6)$$

$$0 = \left(\frac{Z_{vB}}{2 \cos \beta} + Z_d' | \underline{\beta} \right) \cdot I_{dA} - \left(\frac{Z_{vB}}{2 \cos \beta} + Z_i' | \underline{-\beta} \right) \cdot I_{iA} \quad (7)$$

Řešíme-li tuto soustavu determinanty, dostaneme pro determinant soustavy výraz

$$D = - \left(\frac{Z_{vA} | \underline{\beta}}{2 \cos \beta} + Z_d' \right) \cdot \left(\frac{Z_{vB}}{2 \cos \beta} + Z_i' | \underline{-\beta} \right) - \left(\frac{Z_{vB}}{2 \cos \beta} + Z_d' | \underline{\beta} \right) \cdot \left(\frac{Z_{vA} | \underline{-\beta}}{2 \cos \beta} + Z_i' \right) \quad (8)$$

a pro determinanty vzniklé náhradou prvního nebo druhého sloupce levou stranou rovnice platí

$$D_d = -U_A \cdot \left(\frac{Z_{vB}}{2 \cos \beta} + Z_i' | \underline{-\beta} \right) \quad (9)$$

$$D_i = -U_A \cdot \left(\frac{Z_{vB}}{2 \cos \beta} + Z_d' | \underline{\beta} \right) \quad (10)$$

$$I_{dA} = \frac{D_d}{D} \quad (11)$$

$$I_{iA} = \frac{D_i}{D} = \frac{D_i}{D_d} \cdot I_{dA} \quad (12)$$

Dosazením do (11) ze vztahů (8) a (9) dostaneme po úpravě

$$I_{dA} = \frac{U}{\frac{Z_{vA} | \underline{\beta}}{2 \cos \beta} + \chi \frac{Z_{vB} | \underline{-\beta}}{2 \cos \beta} + (1 + \chi) \cdot Z_d'} \quad (13)$$

kde

$$\chi = \frac{\left(\frac{Z_{vA}}{2 \cos \beta} + Z'_i \right)}{\left(\frac{Z_{vB}}{2 \cos \beta} + Z'_i \right)} \quad (14)$$

Rovnici (13) lze upravit ještě na tvar

$$I_{dA} = \frac{U}{1 + \chi} \cdot \frac{1}{Z_{vAB} + Z'_d} = U' \cdot \frac{1}{Z_{vAB} + Z'_d} \quad (15)$$

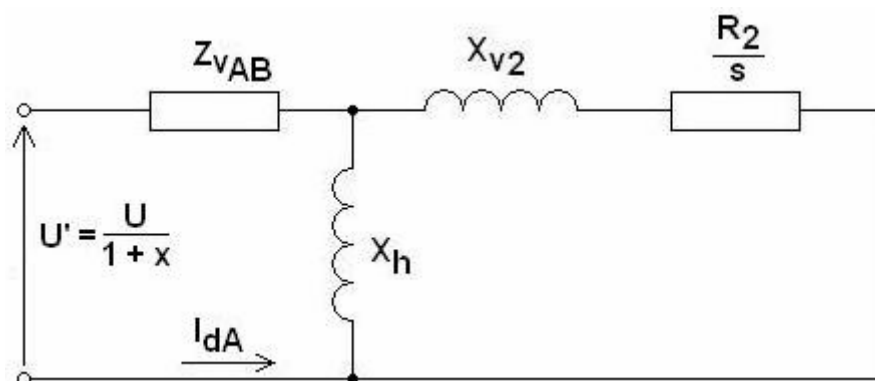
$$Z_{vAB} = \frac{1}{1 + \chi} \cdot \frac{Z_{vA}}{2 \cos \beta} + \frac{\chi}{1 + \chi} \cdot \frac{Z_{vB}}{2 \cos \beta} \quad (16)$$

Geometrickým místem proudových vln I_{dA} a I_{iA} jsou opět bicirkulární kvartiky. Předpokládáme-li, že pro rozsah skluzů $s = 0$ až 60 % je zpětná impedance Z'_i konstantní, jsou při proměnlivém skluzu konstantní i výrazy χ a Z_{vAB} , takže rovnice (15) může být zobrazena náhradním schématem na obr. 6. Pro souslednou vlnu dostaneme kružnici, která v uvedeném rozsahu nahrazuje velmi dobře bicirkulární kvartiku jako u stroje jednofázového. Kruhový digram lze sestavit z rovnice (15) nebo náhradního schématu na obr. 6 inverzí. Nutno ještě zdůraznit, že parametry ve všech rovnicích a v náhradním schématu na obr. 6 jsou vypočteny pro jednofázový stator. Zpětnou vlnu proudovou můžeme určit z vlny sousledné pomocí vztahu (12) a momenty a výkony pomocí rovnic (17) a (18).

$$P_{\delta l} = |I_{dA}|^2 \operatorname{Re}(Z'_d) \quad (17)$$

$$P_{\delta} = |I_{iA}|^2 \operatorname{Re}(Z'_i) \quad (18)$$

Chceme-li momenty číst přímo v kruhovém diagramu, musíme pamatovat, že náhradní schéma na obr. 6 platí pro fiktivní svorkové napětí U' , které je nutno předem vypočítat a z něho pak počítat moment a výkon.

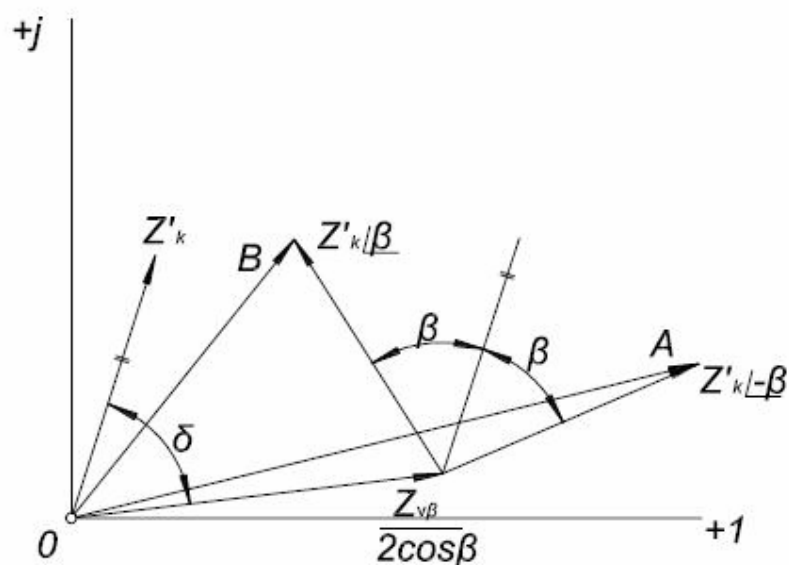


Obr. 6 Náhradní schéma pro souslednou složku motoru se stíněnými póly

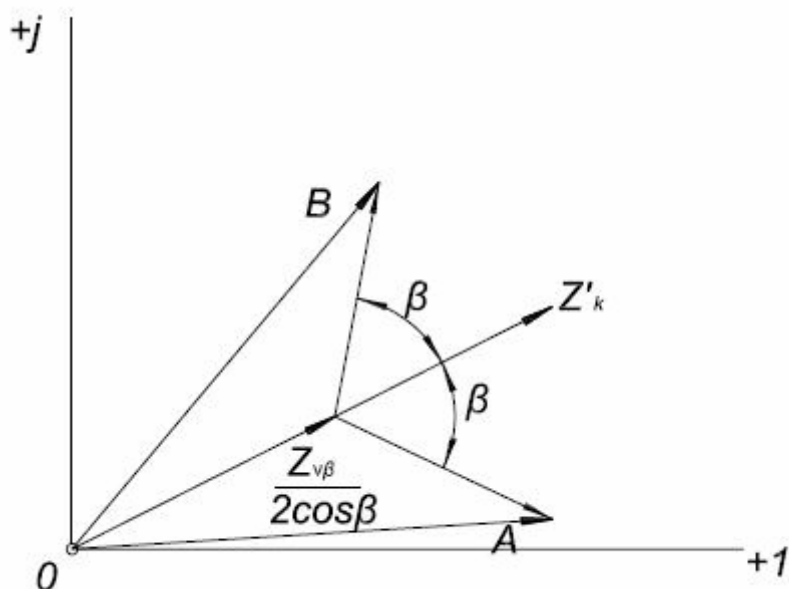
2.1 Záběrný moment stíněného motoru

Záběrné vlastnosti motoru se závitem nakrátko lze posoudit na základě vztahů (9) až (12). Pro záběr platí

$$Z'_d = Z'_i = Z'_k \quad (19)$$



Obr. 7 Sestrojení poměrných velikostí proudových vln při záběru motoru se stíněným pólem

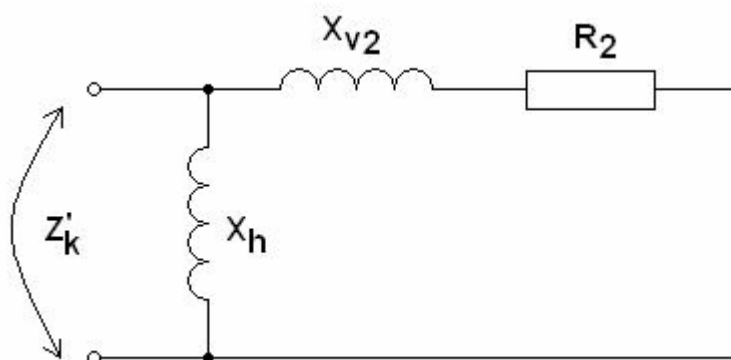


Obr. 8 Příklad stejných fázových posunů nepříznivých pro rozběh

což dosazeno do (9) a (10) dává pro poměr proudů podle (12)

$$\frac{I_{dAk}}{I_{iAk}} = \frac{\frac{Z_{rB}}{2 \cos \beta} + Z'_k \angle -\beta}{\frac{Z_{rB}}{2 \cos \beta} + Z'_k \angle \beta} \quad (20)$$

Pro rozběh je pochopitelně výhodné, aby poměr (20) měl co největší prostou hodnotu, neboť sousledná vlna stroj pohání a zpětná brzdí. Proto je třeba, aby čitatel byl podstatně větší než jmenovatel. Na obr. 7 jsou sestaveny komplexní výrazy v čitateli a jmenovateli rovnice (20). Vektor A je úměrný sousledné vlně proudové a vektor B zpětné vlně proudové. Na obr. 7 se předpokládá, že impedance Z'_k je převážně indukční a rozptylová impedance závitů nakrátko Z_{rB} je převážně odporová, což souhlasí s praktickým provedením těchto motorů. V rozptylové impedanci závitů nakrátko převládá činný odpor nad indukčností, což je způsobeno značným zkrácením kroku stínícího závitů, kdežto impedance Z'_k na obr. 9 bývá vlivem diferenčního rozptylu, natočení drážek a velkého magnetizačního proudu spíše indukční.



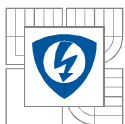
Obr. 9 Náhradní schéma pro vnitřní impedanci nakrátko

Rozdílnost fázových posunů impedancí Z_{rB} a Z'_k je podmínkou, aby se motor vůbec rozběhl. Jestliže Z_{rB} a Z'_k mají stejný fázový posun, t. j. $\delta = 0$ (na obr. 7), nabude obr. 7 tvaru naznačeného na obr. 8, z něhož je patrné, že sousledná i zpětná proudová vlna je stejná a nemůže tedy vzniknout točivý moment

Rovnice (20) vysvětluje zajímavý jev, že u téhož motorku se stíněnými póly dosáhneme největšího záběrného momentu při poměrně velké vzduchové mezeře (asi $\delta = 0,5$ mm), ačkoli vysoký magnetizační proud škodí zároveň účinnosti motoru.

Tento jev lze vysvětlit příznivým vlivem magnetizačního proudu na fázový posun impedance Z'_k na obr. 7.

Proto lze doporučit u motorů se stíněnými póly rotorovou klec s natočenými, po případě uzavřenými drážkami, aby u rotoru byl potlačen vliv drážkování. Tím vzniklé zvětšení rozptylu je zde výhodné. Drážku pro uložení závitů nakrátko provedeme otevřenou a mělkou, aby v rozptylové impedanci závitů nakrátko převládl činný odpor. Také krok stínících závitů musí být malý, aby závity nakrátko měly malý činitel vinutí pro základní harmonickou a velký činitel

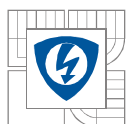


vinutí pro třetí nebo pátou harmonickou. Vzduchová mezera těchto motorků bývá v mezích $\delta = 0,3$ až $0,5$ mm. Větší mezera bývá příznivá záběru a diferenčnímu rozptylu, avšak zároveň zvětšuje magnetizační proud, který pak způsobuje velké ztráty v mědi nejen na statoru, nýbrž i vlivem zpětné složky v rotoru, takže se zmenšuje účinnost. Ztráty lze omezit bohatým dimenzováním hlavního vinutí statoru a rotorové klece, avšak pro záběr není nejnižší odpor rotoru příznivý a existuje určitý vhodný odpor. Pro odpor stínícího závitu a odpor rotorové klece existuje určité optimum přiměřené ostatním parametrům stroje, které lze těžko určit početně, neboť každá změna parametrů má obvykle jak příznivý, tak i nepříznivý vliv. Pro stíněné motory předpisuje naše norma záběrný moment

$$\frac{M_z}{M_n} \geq 0,25 \quad (21)$$

Do stínícího vinutí lze také zapojit kondenzátor, který příznivě zvětšuje fázový posun δ na obr. 7. Nevýhodou tohoto řešení je však ztráta jednoduchého a levného provedení stínícího vinutí.

Jediný jednoznačný závěr lze vyslovit o stínících závitech, které mají mít co nejnižší drážkovou reaktanci a těsnou vazbu s hlavním vinutím. Lze však doporučit provedení tvaru pólových nástavců podle obr. 4, aby mezery mezi póly nebyly velké.



3 EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA MOTORKU

Úkolem druhého bodu zadání diplomové práce bylo změřit daný jednofázový asynchronní motor se stíněným pólem typu A24NL262 (příloha A) napájený ze sítě. Jmenovité hodnoty udávané výrobcem jsou: příkon $P = 33\text{W}$ a proud $I = 0,3\text{A}$. Provedl jsem měření momentové charakteristiky a měření naprázdno. Tento motor patří k malým motorům a hned ze začátku jsem měl problémy s měřením. Motorek jsem měl připojen přes dynamometr, jenže ten je moc velký a silný k tomu, aby se motorek roztočil bez problémů. Motorek se sice roztočil, ale nedal se měřit moment z toho důvodu, že je velmi malý u tohoto typu motorku. Proto jsem motorek připojil přes vířivou brzdu, kde už měření probíhalo lépe.

3.1 Měření motorku typu A24NL262 napájeného ze sítě

Nejprve jsem motorek připojil k brzdě a nastavil jsem jmenovité hodnoty, aby se motorek zahřál na provozní teplotu. Po té jsem začal měřit momentovou charakteristiku motorku. Nastavil jsem konstantní hodnotu napájecího napětí na 230V. Zvyšoval jsem zatížení motorku, tím že jsem měnil moment motorku a sledoval jak se mění ostatní veličiny. Odečítal jsem otáčky, proud a příkon. Z naměřených hodnot jsem vypočítal účinnost, účiník a vynesl závislosti na otáčkách. Zde jsou hodnoty z měření momentové charakteristiky.

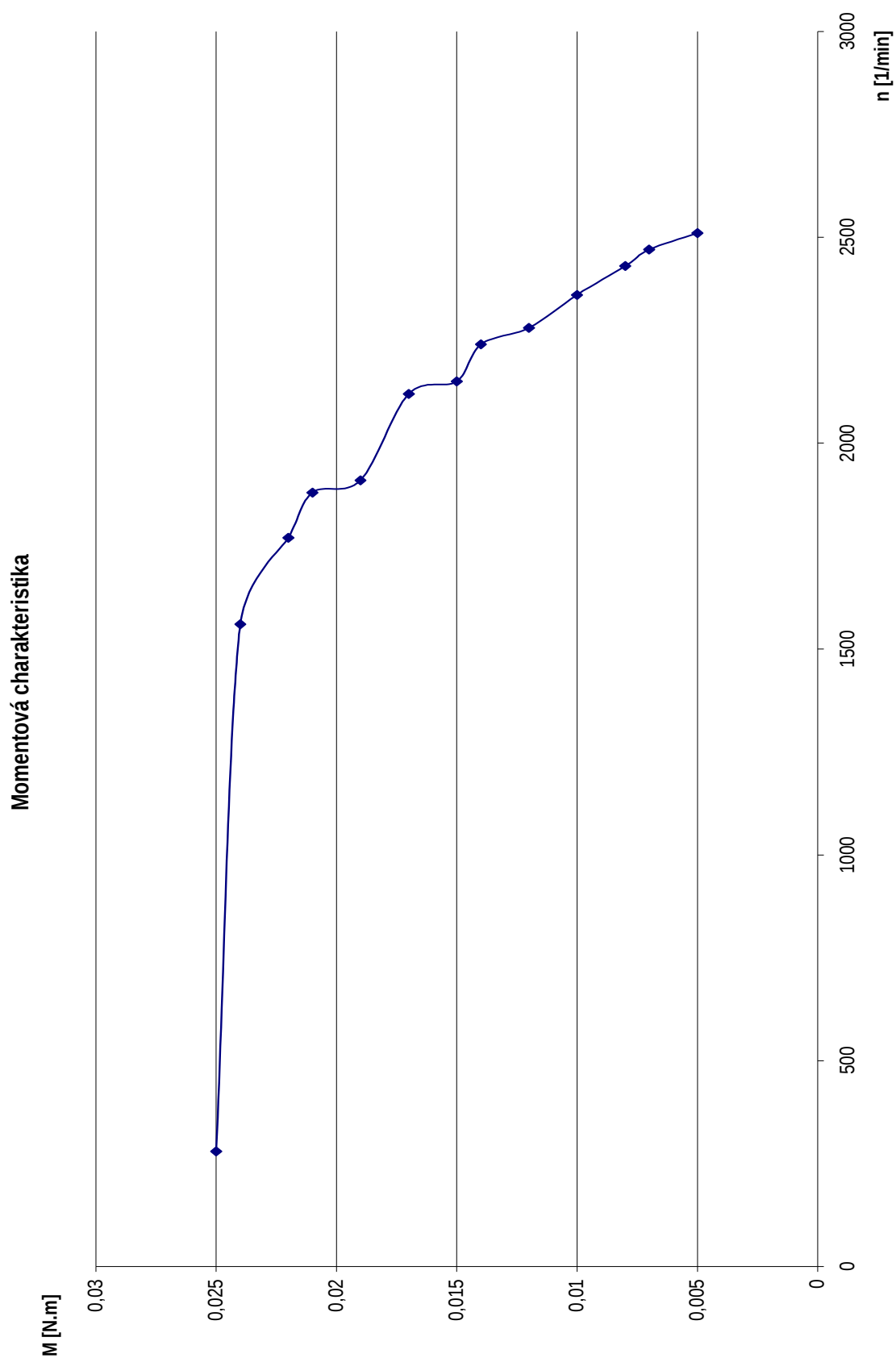
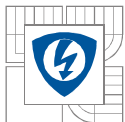
U	M	n	I	P	η	$\cos\varphi$
V	N.m	1/min	A	W	%	°
230	0,005	2510	0,247	28,1	4,68	0,495
230	0,007	2470	0,248	28,4	6,38	0,498
230	0,008	2430	0,253	29,5	6,90	0,507
230	0,010	2360	0,253	29,5	8,38	0,507
230	0,012	2280	0,257	30,3	9,46	0,513
230	0,014	2240	0,259	31,0	10,59	0,520
230	0,015	2150	0,263	31,8	10,62	0,526
230	0,017	2120	0,266	32,3	11,68	0,528
230	0,019	1910	0,270	33,5	11,34	0,539
230	0,021	1880	0,273	34,0	12,16	0,541
230	0,022	1770	0,277	34,6	11,79	0,543
230	0,024	1560	0,282	35,7	10,98	0,550
230	0,025	280	0,295	38,0	1,93	0,560

Tab. 1 Měření momentové charakteristiky motorku A24NL262 napájeného ze sítě

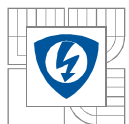
Příklad výpočtu účiníku $\cos\varphi$ a účinnosti v % pro vybraný řádek. Hodnoty tohoto řádku jsem zvolil za jmenovité, protože se nejvíce přibližují hodnotám udávaným výrobcem.

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{34,6}{230 \cdot 0,277} = \underline{\underline{0,543^\circ}} \quad (22)$$

$$\eta_{\%} = \frac{P_M}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot M}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{2\pi \cdot 1770}{60} \cdot 0,022}{34,6} = \underline{\underline{11,79\%}} \quad (23)$$



Graf 1: Momentová charakteristika motorku A24NL262 napájeného ze sítě



Statická momentová charakteristika je závislost momentu na otáčkách. Asynchronní motor postupně zatěžujeme dynamometrem a pro nastavený moment čteme otáčky. Příkon měříme wattmetrem zapojeným v obvodu.

Momentová charakteristika je na obrázku grafu 1. Tuto charakteristiku se mi nepovedlo proměřit v jejím sedle protože i při velmi malé změně momentu mi okamžitě klesly otáčky téměř na nulovou hodnotu. Pro proměření sedla v momentové charakteristice by bylo lepší použít menší dynamometr vzhledem k rozměrům a výkonu motorku.

Výpočet určení ztrát motorku A24NL262:

- celkové ztráty

$$P_{celk} = P_{mech} + P_{Cu} + P_{Fe} \quad (24)$$

$$P = P_{celk} + M \cdot \omega \Rightarrow P_{celk} = P - M \cdot \omega = 34,6 - \frac{0,022 \cdot 2\pi \cdot 1770}{60} = \underline{\underline{30,52W}} \quad (25)$$

- mechanické ztráty

Mechanické ztráty můžeme určit dvěma způsoby. První je změřením charakteristiky naprázdno a z následné aproximace grafu získáme mechanické ztráty. Druhá možnost je změřením, tak že se motor točil naprázdno při jmenovitých otáčkách a odečteme moment pomocí dynamometru a z následného vzorce vypočteme mechanické ztráty.

$$P_{mech} = M \cdot \omega \quad (26)$$

$$P_{mech} = M \cdot \omega = 0,022 \cdot \frac{2\pi \cdot 1770}{60} = \underline{\underline{4,078W}} \quad (27)$$

- ztráty v mědi (ohmické ztráty)

Tyto ztráty dostaneme změřením odporu vinutí.

$$P_{Cu} = R \cdot I^2 = 53,6 \cdot 0,277^2 = \underline{\underline{4,113W}} \quad (28)$$

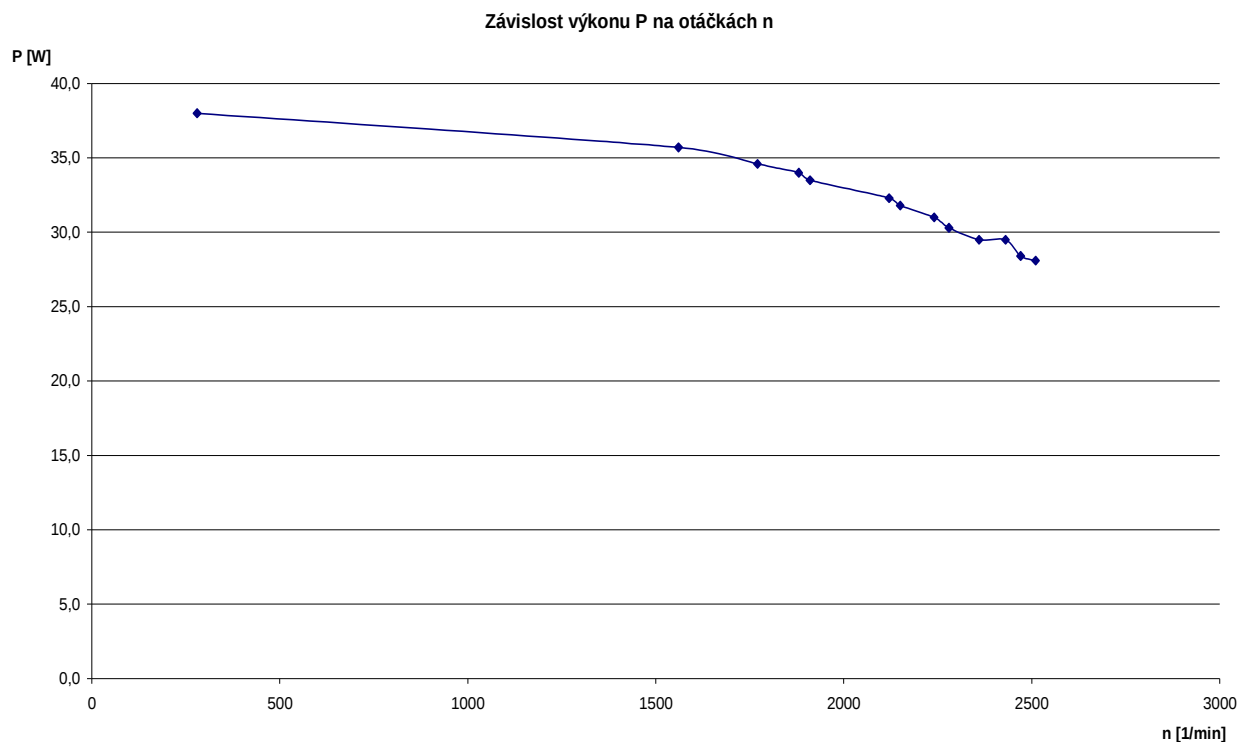
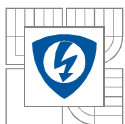
- ztráty v železe

Ztráty v železe ΔP_{Fe} jsou prakticky závislé na U^2 . Jejich určení se provede z charakteristiky naprázdno. Ztráty v železe pro U_{1n} bereme pro výpočet účinnosti stálé. Napětí snižujeme asi do $1/3 U_{1n}$ tak, aby skluz nebyl větší než 1%.

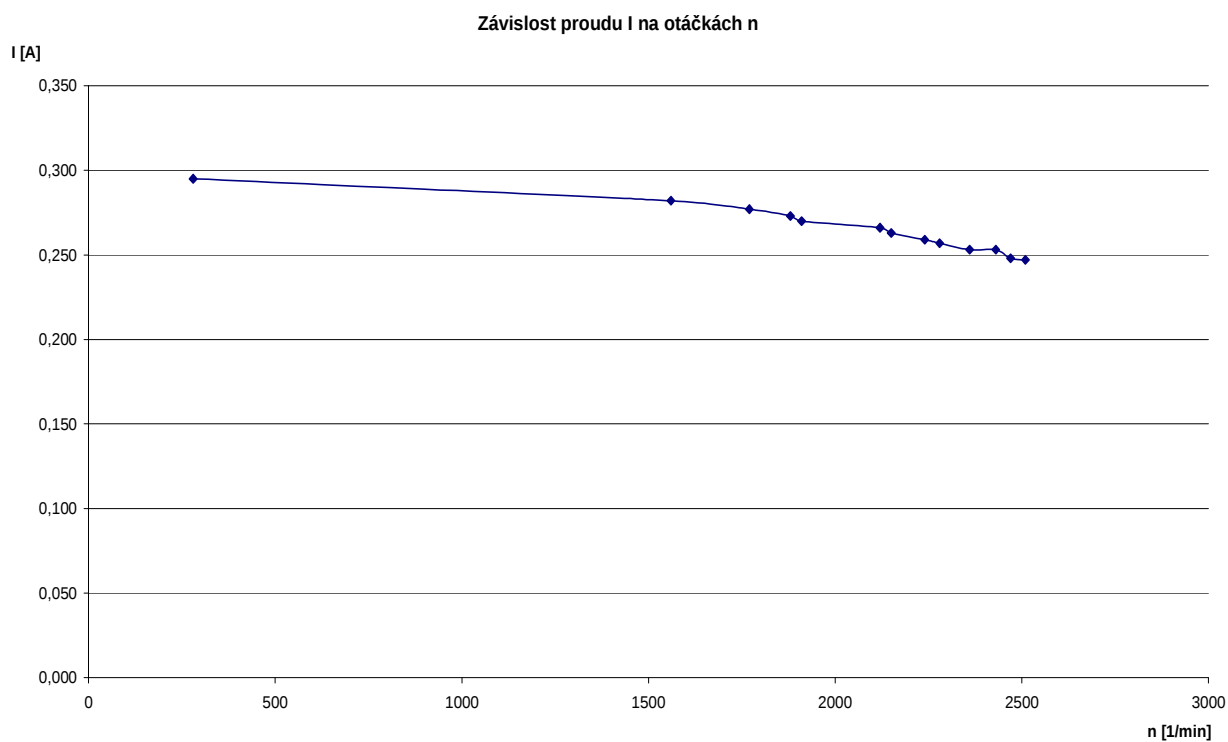
Dostaneme tak, že od celkových ztrát odečteme ztráty v mědi a ztráty mechanické. Ztráty v železe nejsou přesně definovány. Tyto ztráty jsou větší o ztráty, které vzniknou průchodem proudu závitem nakrátko. Čili jsou to ztráty v železe + ztráty v závitu nakrátko.

$$P_{Fe} = P_{celk} - P_{Cu} - P_{mech} \quad (29)$$

$$P_{Fe} = P_{celk} - P_{Cu} - P_{mech} = 30,52 - 4,078 - 4,113 = \underline{\underline{22,33W}} \quad (30)$$



Graf 2: Závislost příkonu P na otáčkách n



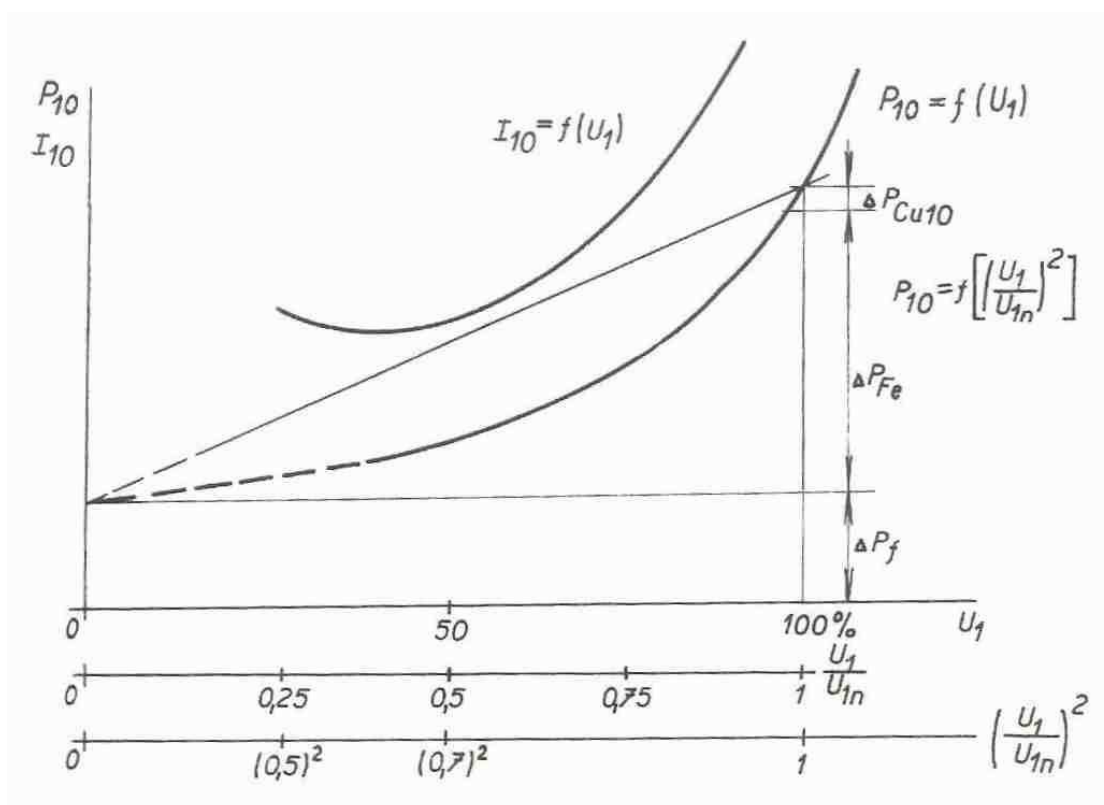
Graf 3: Závislost proudu I na otáčkách n

Měření naprázdno:

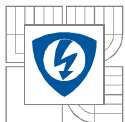
Měření naprázdno se provádí při studeném stavu vinutí a ustáleném tepelném stavu mechanických částí stroje. Před měřením by měl být proto motor zaběháván, aby se ustálil tepelný stav zejména ložisek a tedy aby byla zajištěna konstantní velikost mechanických ztrát (ztráty ventilátoru + ztráty třením v ložiskách + ztráty třením rotoru o vzduch + ...).

Při měření naprázdno zjišťujeme (měříme) napětí a příkon stroje při chodu bez zatížení (volný konec hřídele není připojen na žádný zatěžovací stroj). Zkouška se provádí při konstantním kmitočtu napájecího napětí. Zkouška naprázdno asynchronního stroje má smysl pouze tehdy, je-li prováděna při konstantních otáčkách rotoru. není-li tato podmínka splněna, dochází ke změně velikostí mechanických ztrát a měření tudíž ztrácí smysl.

Při měření naprázdno motorů s výkonem nižším než 5 kW je třeba připojit napěťové cívky wattmetrů a voltmetru přímo na svorky zkoušeného stroje a je třeba respektovat spotřebu těchto přístrojů.



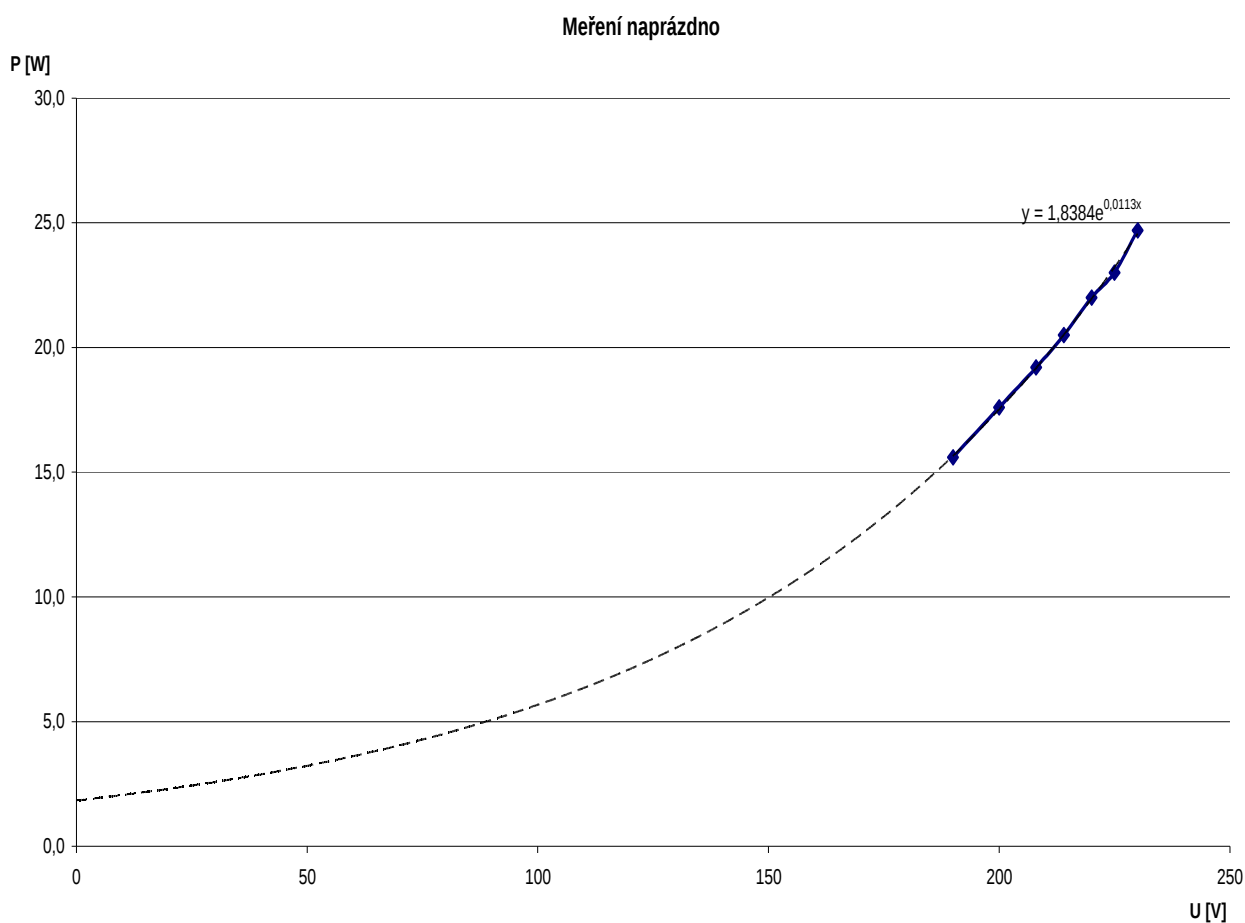
Obr. 10 Charakteristika naprázdno podle teorie



Tabulka naměřených hodnot z měření naprázdno:

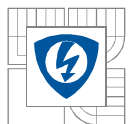
U	n	P
V	1/min	W
230	2790	24,7
225	2790	23,0
220	2781	22,0
214	2780	20,5
208	2780	19,2
200	2779	17,6
190	2775	15,6

Tab. 2 Měření naprázdno motorku A24NL262 napájeného ze sítě



Graf 4: Charakteristika naprázdno motorku A24NL262

U zkoušky naprázdno by neměl skluz klesnout pod 1%, aby do rotoru netekl proud. Jenže u těchto malých motorků se nedostaneme na synchronní otáčky. U tohoto motorku jsou 3000 1/min. I při nastavení napětí 230V máme otáčky 2790 1/min což už je skluz 7%. Proto charakteristika naprázdno je trochu zkreslená.



3.2 Měření motorku typu UA7F54P napájeného ze sítě

Z důvodu špatného proměření momentové charakteristiky motorku A24NL262 jsem se rozhodl, že změřím o něco větší motorek se stíněným pólem typu UA7F54P (příloha D), na kterém by byla vidět celá momentová charakteristika i s jejím sedlem zhruba ve 2/3 skluzu. Výrobce udává u tohoto motorku jmenovité hodnoty: napětí $U = 230\text{V}$, příkon $P = 55\text{W}$, proud $I = 0,36\text{A}$ a otáčky $n = 1360\text{ 1/min}$.

Měření momentové charakteristiky:

U	n	P	I	M	η	$\cos\varphi$
V	1/min	W	A	N.m	%	°
230	1500	35,5	0,334	0,022	9,735	0,462
230	1450	44,6	0,342	0,052	17,704	0,567
230	1400	52,6	0,358	0,072	20,068	0,639
230	1350	59,9	0,379	0,112	26,433	0,687
230	1300	65,6	0,399	0,132	27,393	0,715
230	1250	71,2	0,420	0,150	27,577	0,737
230	1200	75,3	0,437	0,156	26,034	0,749
230	1150	79,0	0,454	0,156	23,781	0,757
230	1100	81,7	0,466	0,154	21,713	0,762
230	1050	84,2	0,480	0,148	19,327	0,763
230	1000	86,2	0,489	0,140	17,008	0,766
230	900	89,3	0,506	0,120	12,665	0,767
230	800	91,1	0,517	0,098	9,012	0,766
230	700	92,5	0,528	0,082	6,498	0,762
230	600	93,2	0,531	0,074	4,989	0,763
230	500	94,1	0,534	0,074	4,118	0,766
230	400	94,6	0,536	0,084	3,719	0,767
230	300	95,1	0,537	0,082	2,709	0,770
230	200	95,4	0,537	0,080	1,756	0,772
230	100	94,9	0,534	0,070	0,772	0,773
230	0	94,5	0,532	0,062	0,000	0,772

Tab. 3 Měření momentové charakteristiky u motorku UA7F54P napájeného ze sítě

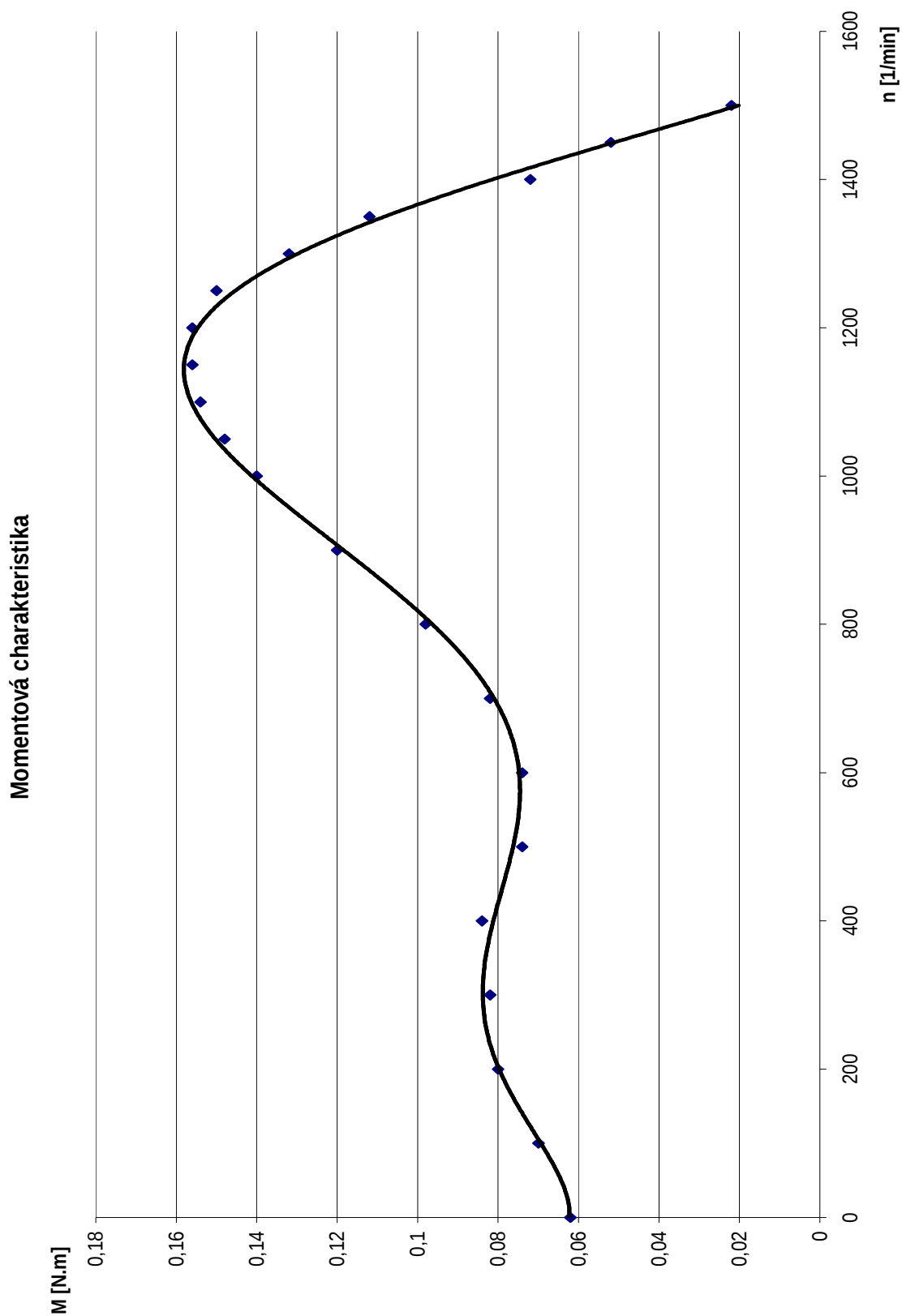
Příklad výpočtu účinníku $\cos\varphi$ a účinnosti v % pro vybraný řádek. Hodnoty tohoto řádku jsem zvolil za jmenovité, protože se nejvíce přibližují hodnotám udávaným výrobcem.

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{52,6}{230 \cdot 0,358} = \underline{\underline{0,639^\circ}} \quad (31)$$

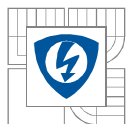
$$\eta_{\%} = \frac{P_M}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot M}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{2\pi \cdot 1400}{60} \cdot 0,072}{52,6} = \underline{\underline{20,068\%}} \quad (32)$$

Přetížitelnost motorku:

$$m_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_{jm}} = \frac{0,156}{0,072} = \underline{\underline{2,166}} \quad (33)$$



Graf 5: Momentová charakteristika motorku UA7F54P napájeného ze sítě



Oproti prvnímu motorku, kde mi charakteristika nevyšla dle teoretických předpokladů tak u druhého motorku mi vyšla podle teorie. Je zde vidět sedlo, které je ve 2/3 skluzu což odpovídá zhruba 500 otáčkám za 1/min. Sedlo je způsobeno tím, že vinutí motorku není umístěno v drážkách, ale na pólech. Na grafu je dále vidět maximální moment motorku, který má hodnotu 0,156 N.m a záběrný moment o hodnotě 0,062 N.m. Jmenovitý moment se pohybuje po přímce za maximálním momentem (bodem zvratu) a má hodnotu 0,072 N.m. Maximální účinnost motorku je 27,577%.

Výpočet určení ztrát motorku UA7F54P:

- celkové ztráty

$$P_{celk} = P_{mech} + P_{Cu} + P_{Fe} \quad (34)$$

$$P = P_{celk} + M \cdot \omega \Rightarrow P_{celk} = P - M \cdot \omega = 52,6 - \frac{0,072 \cdot 2\pi \cdot 1400}{60} = \underline{\underline{42,044W}} \quad (35)$$

- mechanické ztráty

Mechanické ztráty můžeme určit dvěma způsoby. První je změřením charakteristiky naprázdno a z následné aproximace grafu získáme mechanické ztráty. Druhá možnost je změřením, tak že se motor točil naprázdno při jmenovitých otáčkách a odečteme moment pomocí dynamometru a z následného vzorce vypočteme mechanické ztráty.

$$P_{mech} = M \cdot \omega \quad (36)$$

$$P_{mech} = M \cdot \omega = 0,072 \cdot \frac{2\pi \cdot 1400}{60} = \underline{\underline{10,556W}} \quad (37)$$

- ztráty v mědi (ohmické ztráty)

Tyto ztráty dostaneme změřením odporu vinutí.

$$P_{Cu} = R \cdot I^2 = 101 \cdot 0,358^2 = \underline{\underline{12,983W}} \quad (38)$$

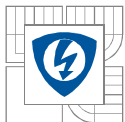
- ztráty v železe

Ztráty v železe ΔP_{Fe} jsou prakticky závislé na U^2 . Jejich určení se provede z charakteristiky naprázdno. Ztráty v železe pro U_{1n} bereme pro výpočet účinnosti stálé. Napětí snižujeme asi do 1/3 U_{1n} tak, aby skluz nebyl větší než 1%.

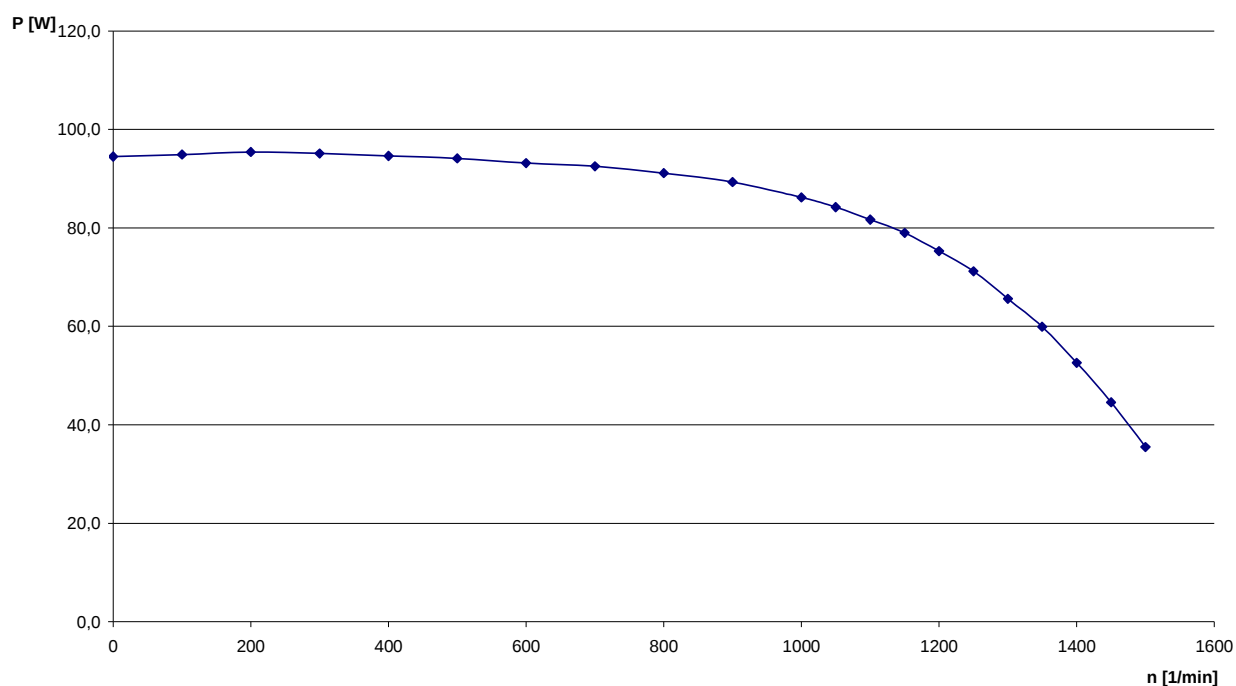
Dostaneme tak, že od celkových ztrát odečteme ztráty v mědi a ztráty mechanické. Ztráty v železe nejsou přesně definovány. Tyto ztráty jsou větší o ztráty, které vzniknou průchodem proudu závitem nakrátko. Čili jsou to ztráty v železe + ztráty v závitě nakrátko.

$$P_{Fe} = P_{celk} - P_{Cu} - P_{mech} \quad (39)$$

$$P_{Fe} = P_{celk} - P_{Cu} - P_{mech} = 42,044 - 10,556 - 12,983 = \underline{\underline{18,505W}} \quad (40)$$

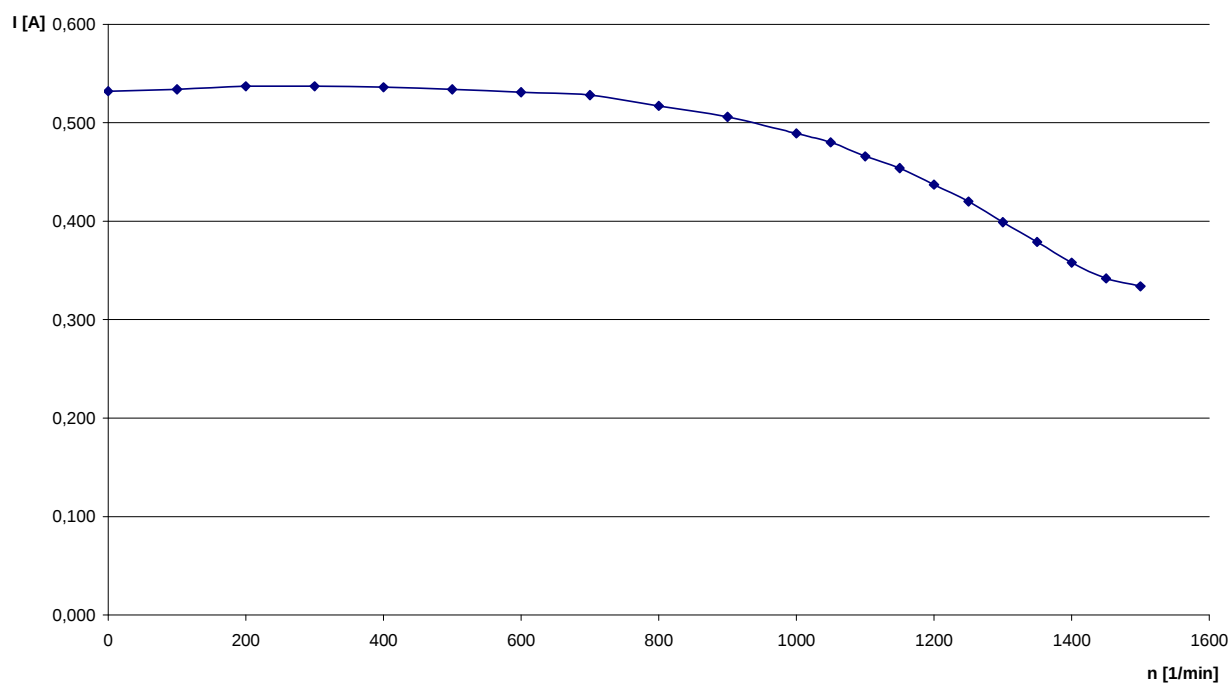


Závislost příkonu P na otáčkách n

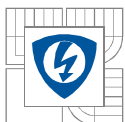


Graf 6: Graf závislosti příkonu P na otáčkách n

Závislost proudu I na otáčkách n



Graf 7: Graf závislosti proudu I na otáčkách n

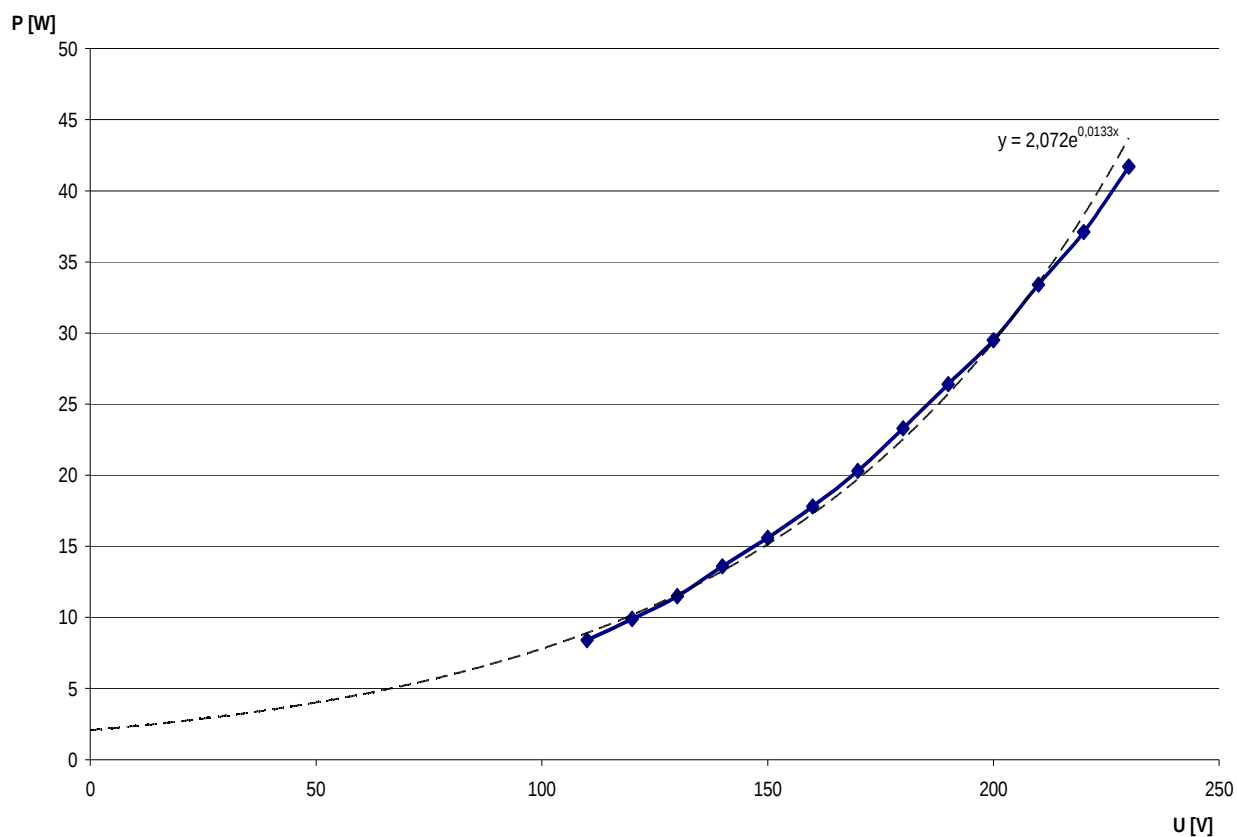


Měření naprázdno:

U	n	P	I
V	1/min	W	A
230	1473	41,7	0,346
220	1474	37,1	0,323
210	1474	33,4	0,303
200	1474	29,5	0,282
190	1474	26,4	0,265
180	1474	23,3	0,247
170	1474	20,3	0,229
160	1474	17,8	0,212
150	1473	15,6	0,197
140	1473	13,6	0,283
130	1472	11,5	0,168
120	1471	9,9	0,155
110	1470	8,4	0,142

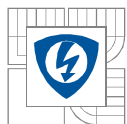
Tab. 4 Měření naprázdno motorku UA7F54P napájeného ze sítě

Charakteristika naprázdno



Graf 8: Graf charakteristiky naprázdno

U tohoto motorku napájeného ze sítě je charakteristika naprázdno přesnější, protože jsme se dostali na skluz 2%.



4 POUŽITÍ MOTORKU V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Motorky se stíněným pólem se uplatňují pro rozběh malých domácích spotřebičů jako jsou ventilátory, malé motorky v pračce. Tato skutečnost nám dala myšlenku jestli by nebylo možné motorky se stíněným pólem použít v automobilovém průmyslu. Proto jsem provedl měření motorku se stíněným pólem napájeného z autobaterie přes měnič napětí, který měnil napětí z 12 V stejnosměrných na 230 V střídavých. Motorky by se používaly pro malé ventilátory ve větracím systému automobilu. Pro změření motorku jsem prováděl stejné zkoušky jako při napájení motorku ze sítě.

4.1 Měření motorku typu A24NL262 napájeného z autobaterie

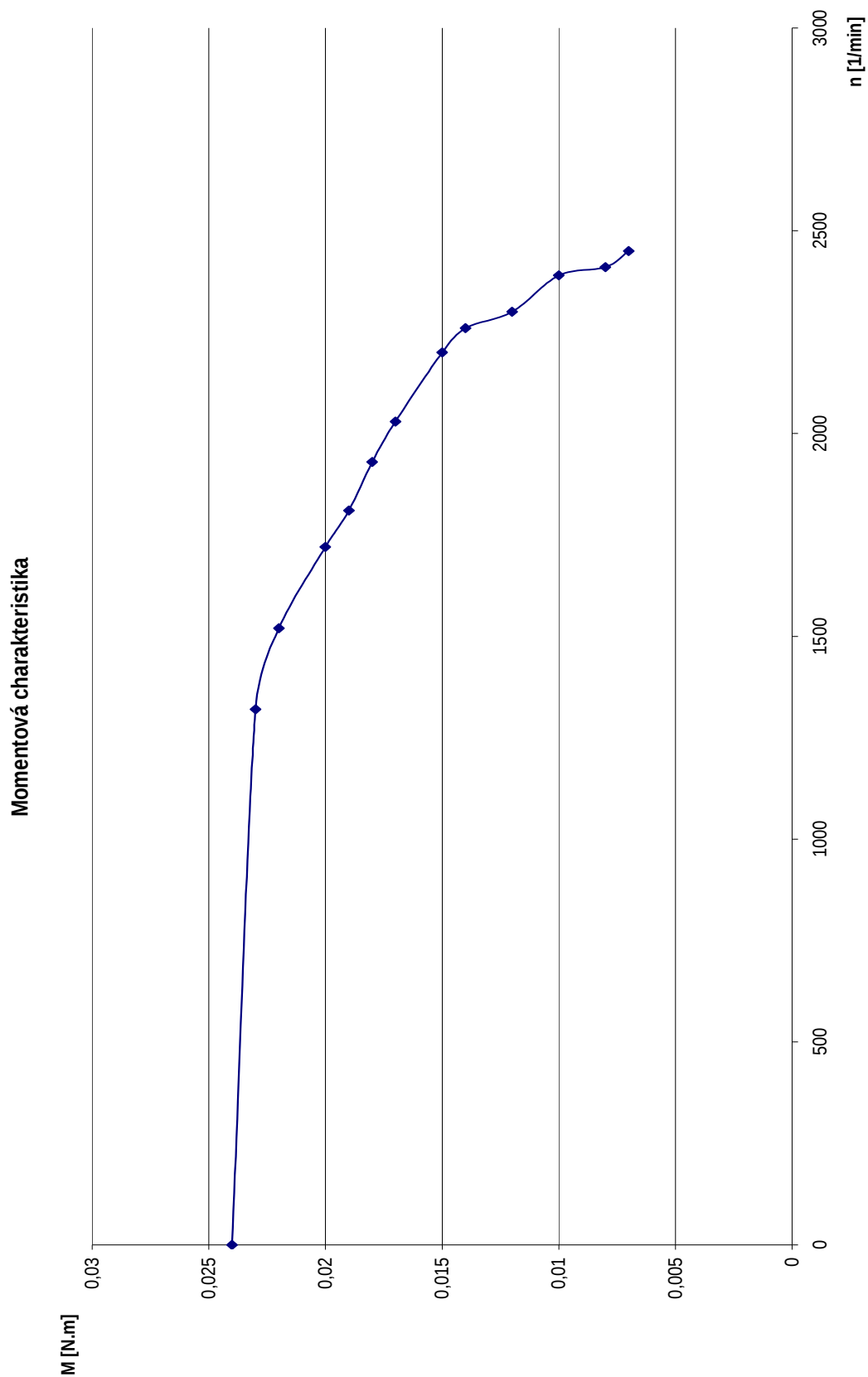
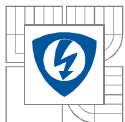
U	M	n	I	P	η	$\cos\varphi$
V	N.m	1/min	A	W	%	°
232,6	0,007	2450	0,244	26,8	6,70	0,472
232,6	0,008	2410	0,247	27,4	7,37	0,477
232,6	0,010	2390	0,247	27,5	9,10	0,479
232,6	0,012	2300	0,248	27,9	10,36	0,484
232,6	0,014	2260	0,249	28,3	11,71	0,489
232,6	0,015	2200	0,253	29,3	11,79	0,498
232,6	0,017	2030	0,255	29,6	12,21	0,499
232,6	0,018	1930	0,256	29,8	12,21	0,500
232,6	0,019	1810	0,258	30,4	11,85	0,507
232,6	0,020	1720	0,263	31,4	11,47	0,513
232,6	0,022	1520	0,267	32,4	10,81	0,522
232,6	0,023	1320	0,269	33,0	9,63	0,527
232,6	0,024	0	0,287	36,4	0,00	0,545

Tab. 5 Měření momentové charakteristiky motorku A24NL262 napájeného z autobaterie

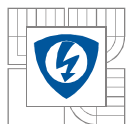
Příklad výpočtu účinnosti $\cos\varphi$ a účinnosti v % pro vybraný řádek. Hodnoty tohoto řádku jsem zvolil za jmenovité, protože se nejvíce přibližují hodnotám udávaným výrobcem.

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{33}{232,6 \cdot 0,269} = \underline{\underline{0,527^\circ}} \quad (41)$$

$$\eta_{\%} = \frac{P_M}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot M}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{2\pi \cdot 1320}{60} \cdot 0,023}{33} = \underline{\underline{9,63\%}} \quad (42)$$



Graf 9: Graf momentové charakteristiky motorku A24NL262 napájeného z autobaterie



Momentová charakteristika je na obrázku grafu 9. Charakteristika se mi nepovedla opět proměřit v celém jejím rozsahu stejně jako při napájení ze sítě.

Výpočet určení ztrát motorku A24NL262:

- celkové ztráty

$$P_{celk} = P_{mech} + P_{Cu} + P_{Fe} \quad (43)$$

$$P = P_{celk} + M \cdot \omega \Rightarrow P_{celk} = P - M \cdot \omega = 33 - \frac{0,023 \cdot 2\pi \cdot 1320}{60} = \underline{\underline{29,82W}} \quad (44)$$

- mechanické ztráty

Mechanické ztráty můžeme určit dvěma způsoby. První je změřením charakteristiky naprázdno a z následné aproximace grafu získáme mechanické ztráty. Druhá možnost je změřením, tak že se motor točil naprázdno při jmenovitých otáčkách a odečteme moment pomocí dynamometru a z následného vzorce vypočteme mechanické ztráty.

$$P_{mech} = M \cdot \omega \quad (45)$$

$$P_{mech} = M \cdot \omega = 0,023 \cdot \frac{2\pi \cdot 1320}{60} = \underline{\underline{3,179W}} \quad (46)$$

- ztráty v mědi (ohmické ztráty)

Tyto ztráty dostaneme změřením odporu vinutí.

$$P_{Cu} = R \cdot I^2 = 53,6 \cdot 0,269^2 = \underline{\underline{3,879W}} \quad (47)$$

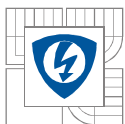
- ztráty v železe

Ztráty v železe ΔP_{Fe} jsou prakticky závislé na U^2 . Jejich určení se provede z charakteristiky naprázdno. Ztráty v železe pro U_{1n} bereme pro výpočet účinnosti stálé. Napětí snižujeme asi do $1/3 U_{1n}$ tak, aby skluz nebyl větší než 1%.

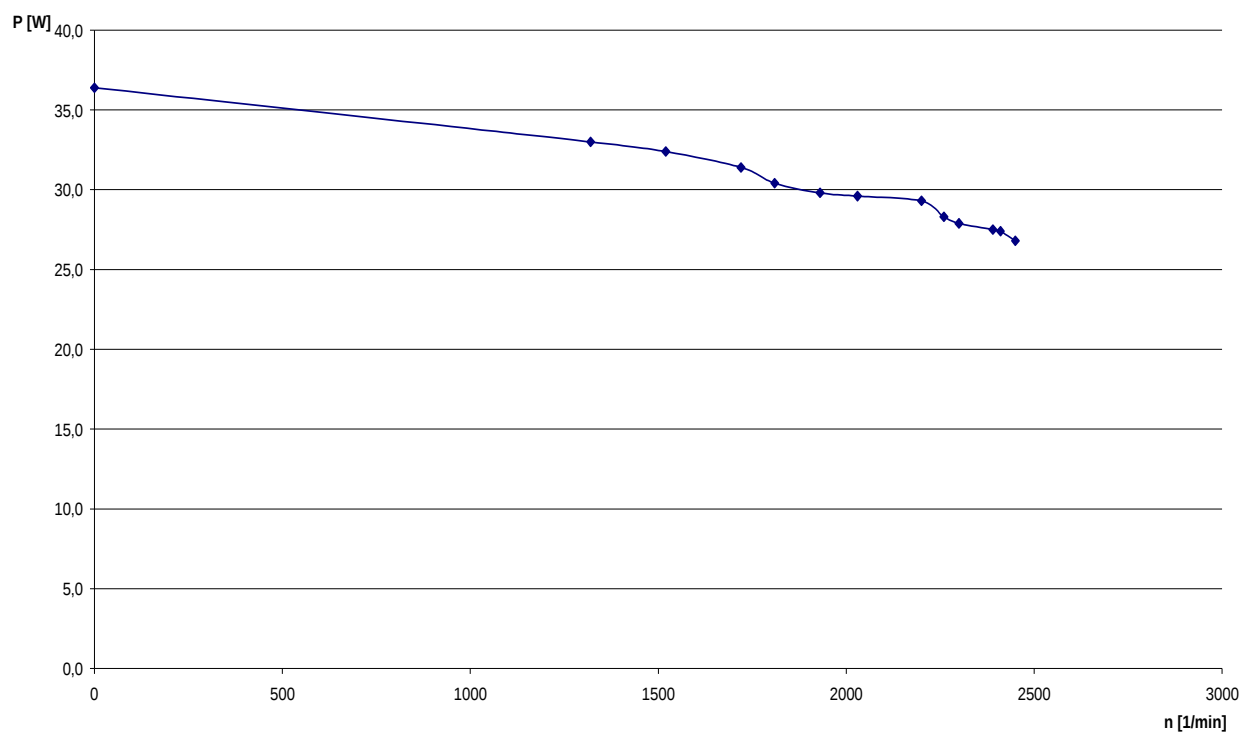
Dostaneme tak, že od celkových ztrát odečteme ztráty v mědi a ztráty mechanické. Ztráty v železe nejsou přesně definovány. Tyto ztráty jsou větší o ztráty, které vzniknou průchodem proudu závitem nakrátko. Čili jsou to ztráty v železe + ztráty v závitu nakrátko.

$$P_{Fe} = P_{celk} - P_{Cu} - P_{mech} \quad (48)$$

$$P_{Fe} = P_{celk} - P_{Cu} - P_{mech} = 29,82 - 3,179 - 3,879 = \underline{\underline{22,76W}} \quad (49)$$

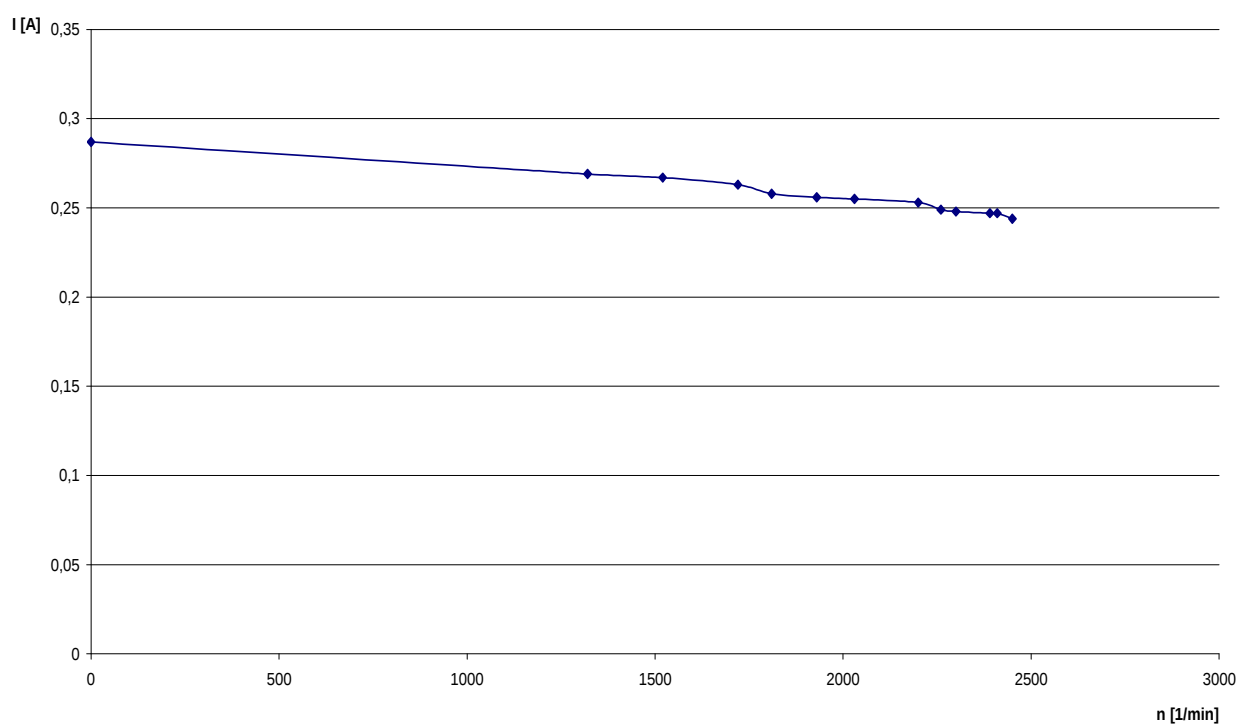


Závislost příkonu P na otáčkách n

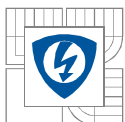


Graf 10: Graf závislosti příkonu P na otáčkách n

Závislost proudu I na otáčkách n



Graf 11: Graf závislosti proudu I na otáčkách n

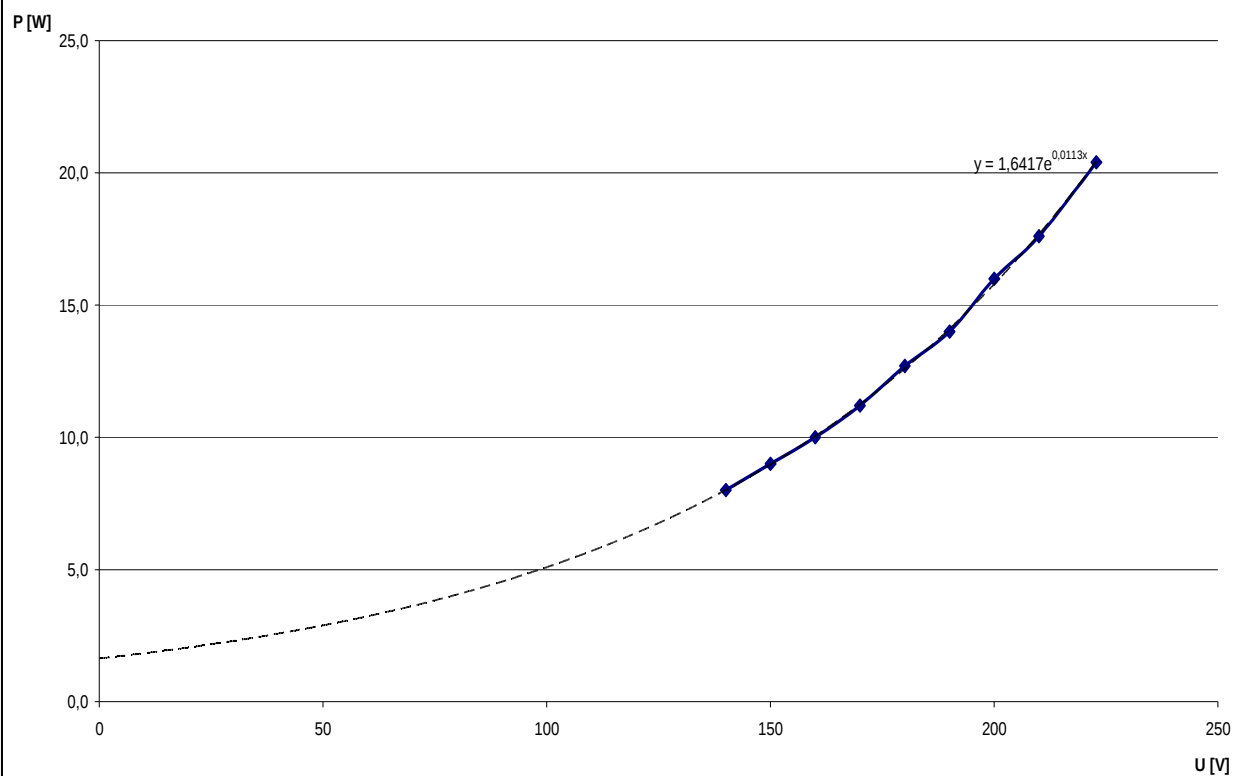


Měření naprázdno

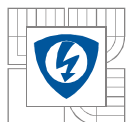
U	n	I	P
V	1/min	A	W
222,8	2863	0,206	20,4
210	2869	0,184	17,6
200	2867	0,169	16,0
190	2865	0,155	14,0
180	2860	0,143	12,7
170	2842	0,131	11,2
160	2810	0,120	10,0
150	2782	0,111	9,0
140	2799	0,101	8,0

Tab. 6 Měření naprázdno motorku A24NL262 napájeného z autobaterie

Charakteristika naprázdno



Graf 12: Graf charakteristiky naprázdno



4.2 Měření motorku typu UA7F54P napájeného z autobaterie

U	n	P	I	M	η	$\cos\varphi$
V	1/min	W	A	N.m	%	°
235	1500	39,2	0,339	0,034	13,624	0,492
235	1450	47,8	0,351	0,048	15,089	0,579
235	1400	56,6	0,373	0,094	24,348	0,646
235	1350	64,2	0,387	0,128	28,186	0,706
235	1300	70,7	0,422	0,148	28,498	0,713
235	1250	75,5	0,442	0,160	27,740	0,727
235	1200	80,0	0,462	0,162	25,447	0,737
235	1150	83,6	0,478	0,164	23,625	0,744
235	1100	86,6	0,494	0,160	21,283	0,746
235	1050	89,0	0,507	0,150	18,532	0,747
235	1000	91,1	0,518	0,146	16,783	0,748
235	900	94,1	0,536	0,120	12,019	0,747
235	800	96,2	0,550	0,098	8,534	0,744
235	700	97,6	0,559	0,082	6,159	0,743
235	600	98,3	0,565	0,076	4,858	0,740
235	500	99,2	0,568	0,084	4,434	0,743
235	400	100,1	0,569	0,092	3,850	0,749
235	300	100,3	0,568	0,094	2,944	0,751
235	200	100,7	0,569	0,088	1,830	0,753
235	100	100,5	0,568	0,080	0,834	0,753
235	0	100,5	0,566	0,068	0,000	0,756

Tab. 7 Měření momentové charakteristiky u motorku UA7F54P napájeného z autobaterie

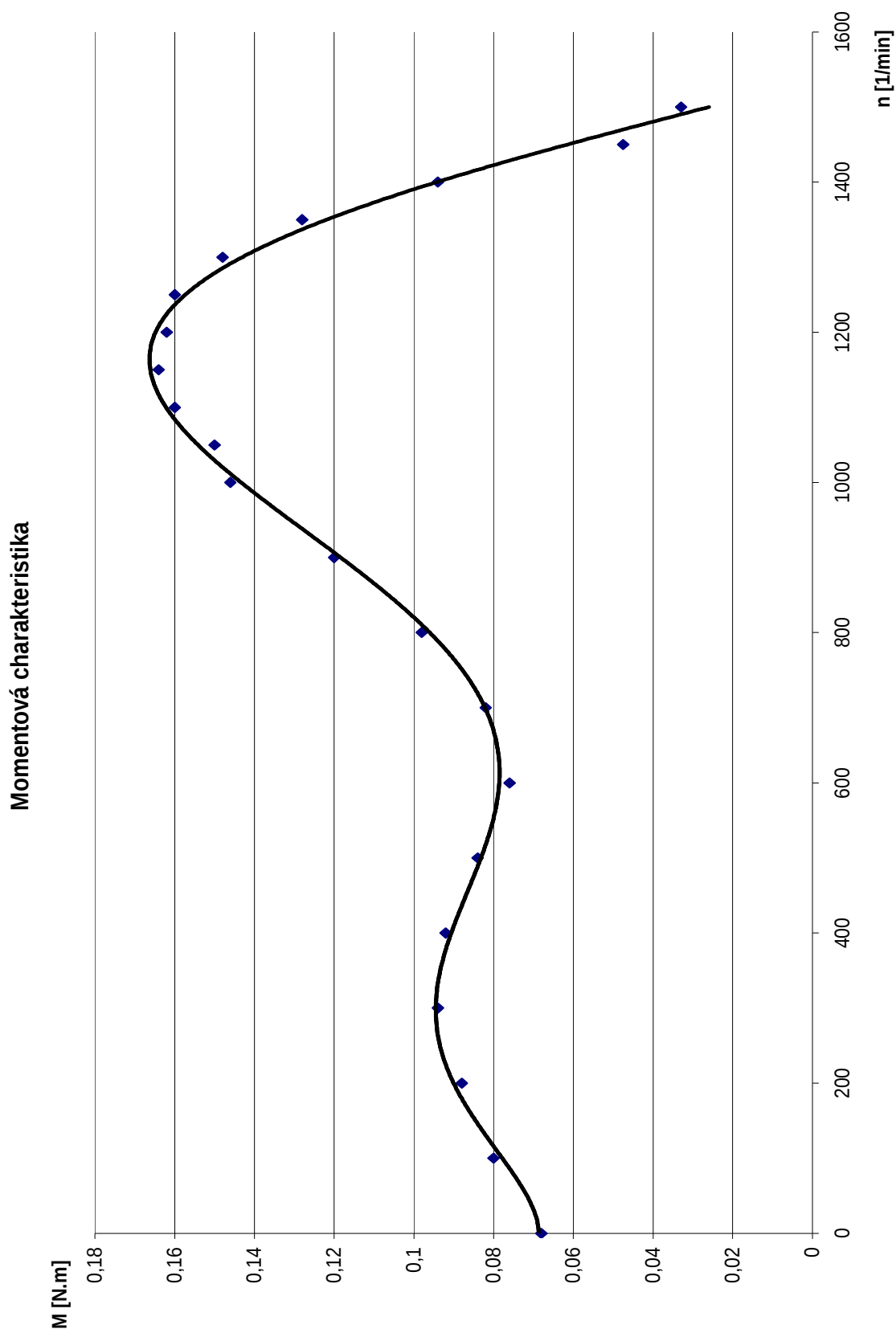
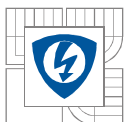
Příklad výpočtu účinníku $\cos\varphi$ a účinnosti v % pro vybraný řádek. Hodnoty tohoto řádku jsem zvolil za jmenovité, protože se nejvíce přibližují hodnotám udávaným výrobcem.

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{56,6}{235 \cdot 0,373} = \underline{\underline{0,646^\circ}} \quad (50)$$

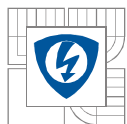
$$\eta_{\%} = \frac{P_M}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot M}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{2\pi \cdot 1400}{60} \cdot 0,094}{56,6} = \underline{\underline{24,348\%}} \quad (51)$$

Přetížitelnost motorku:

$$m_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_{jm}} = \frac{0,164}{0,094} = \underline{\underline{1,745}} \quad (52)$$



Graf 13: Graf momentové charakteristiky motorku UA7F54P napájeného z autobaterie



Oproti prvnímu motorku, kde mi charakteristika nevyšla dle teoretických předpokladů tak u druhého motorku mi vyšla podle teorie. Je zde vidět sedlo, které je ve 2/3 skluzu což odpovídá zhruba 500 otáčkám za 1/min. Sedlo je způsobeno tím, že vinutí motorku není umístěno v drážkách. Na grafu je dále vidět maximální moment motorku, který má hodnotu 0,164 N.m a záběrný moment o hodnotě 0,068 N.m. Jmenovitý moment se pohybuje po přímce za maximálním momentem (bodem zvratu) a má hodnotu 0,094 N.m. Maximální účinnost motorku je 28,498%.

Výpočet určení ztrát motorku UA7F54P:

- celkové ztráty

$$P_{celk} = P_{mech} + P_{Cu} + P_{Fe} \quad (53)$$

$$P = P_{celk} + M \cdot \omega \Rightarrow P_{celk} = P - M \cdot \omega = 56,6 - \frac{0,094 \cdot 2\pi \cdot 1400}{60} = \underline{\underline{42,819W}} \quad (54)$$

- mechanické ztráty

Mechanické ztráty můžeme určit dvěma způsoby. První je změřením charakteristiky naprázdno a z následné aproximace grafu získáme mechanické ztráty. Druhá možnost je změřením, tak že se motor točil naprázdno při jmenovitých otáčkách a odečteme moment pomocí dynamometru a z následného vzorce vypočteme mechanické ztráty.

$$P_{mech} = M \cdot \omega \quad (55)$$

$$P_{mech} = M \cdot \omega = 0,094 \cdot \frac{2\pi \cdot 1400}{60} = \underline{\underline{13,781W}} \quad (56)$$

- ztráty v mědi (ohmické ztráty)

Tyto ztráty dostaneme změřením odporu vinutí.

$$P_{Cu} = R \cdot I^2 = 101 \cdot 0,373^2 = \underline{\underline{14,094W}} \quad (57)$$

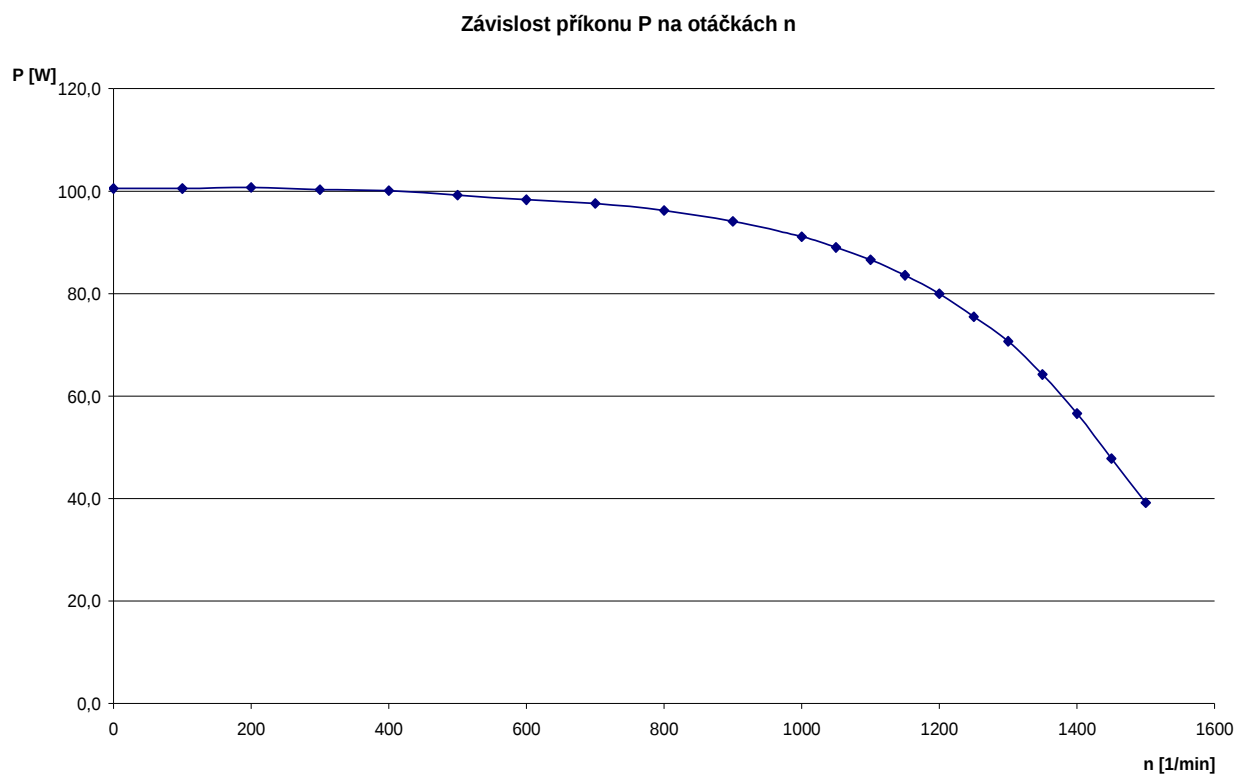
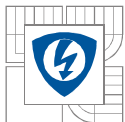
- ztráty v železe

Ztráty v železe ΔP_{Fe} jsou prakticky závislé na U^2 . Jejich určení se provede z charakteristiky naprázdno. Ztráty v železe pro U_{1n} bereme pro výpočet účinnosti stálé. Napětí snižujeme asi do 1/3 U_{1n} tak, aby skluz nebyl větší než 1%.

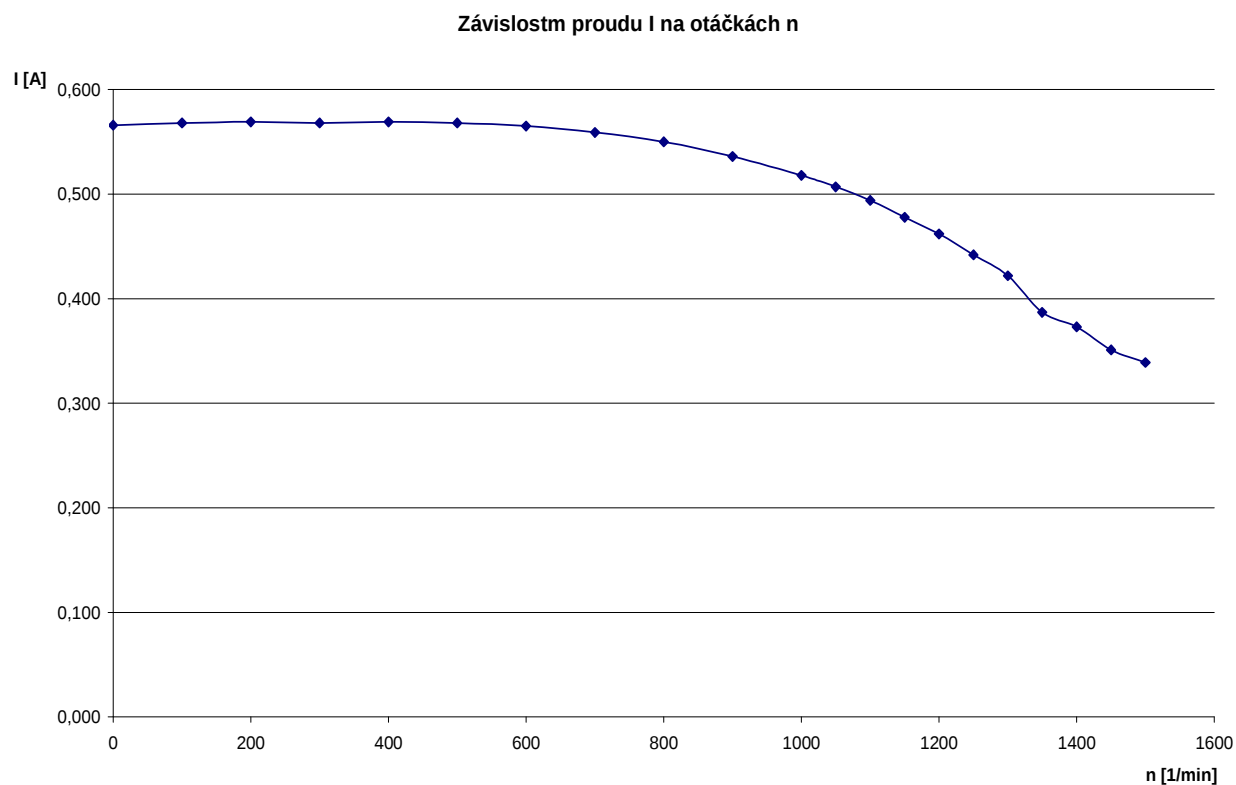
Dostaneme tak, že od celkových ztrát odečteme ztráty v mědi a ztráty mechanické. Ztráty v železe nejsou přesně definovány. Tyto ztráty jsou větší o ztráty, které vzniknou průchodem proudu závitem nakrátko. Čili jsou to ztráty v železe + ztráty v závitě nakrátko.

$$P_{Fe} = P_{celk} - P_{Cu} - P_{mech} \quad (58)$$

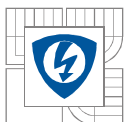
$$P_{Fe} = P_{celk} - P_{Cu} - P_{mech} = 42,819 - 13,781 - 14,094 = \underline{\underline{14,944W}} \quad (59)$$



Graf 14: Graf závislosti příkonu P na otáčkách n



Graf 15: Graf závislosti proudů I na otáčkách n

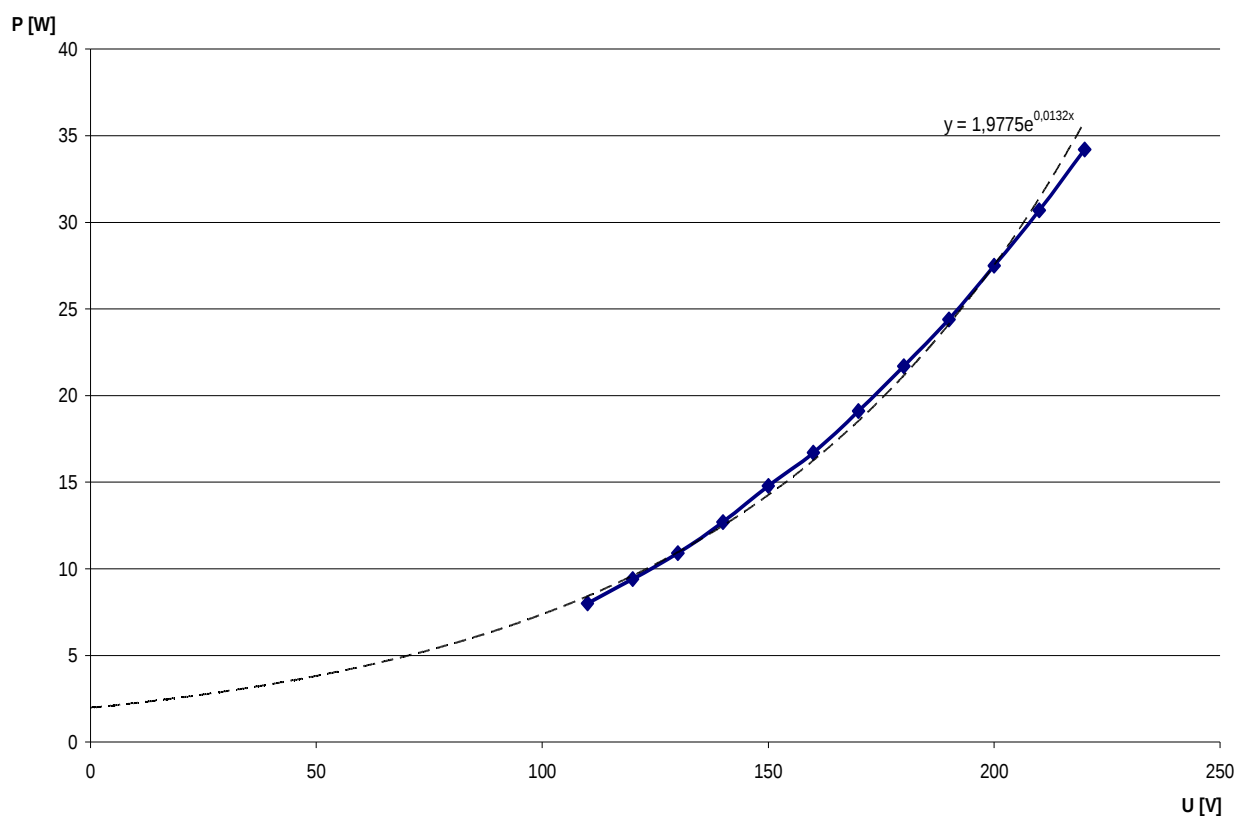


Měření naprázdno:

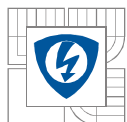
U	n	P	I
V	1/min	W	A
220	1490	34,2	0,304
210	1491	30,7	0,285
200	1491	27,5	0,267
190	1491	24,4	0,248
180	1491	21,7	0,233
170	1491	19,1	0,218
160	1490	16,7	0,202
150	1490	14,8	0,189
140	1489	12,7	0,174
130	1487	10,9	0,161
120	1486	9,4	0,148
110	1485	8	0,136

Tab. 8 Měření naprázdno motorku UA7F54P napájeného z autobaterie

Charakteristika naprázdno



Graf 16: Graf charakteristiky naprázdno



5 ZÁVĚR

Úkolem mé diplomové práce bylo provést experimentální analýzu jednofázového asynchronního motorku se stíněným pólem pro použití v automobilovém průmyslu. Měřil jsem motorky od firmy ATAS elektromotory Náchod a.s. typu A24NL262 a druhý byl typu UA7F54P. Motorky jsem napájel nejprve ze sítě, abych zjistil jejich parametry a později z autobaterie přes měnič napětí. Měnič mi převáděl napětí z baterie 12V DC na napětí 230V AC. Hodnoty z těchto měření jsme pak porovnal a rozhodl se jestli je motorek použitelný v automobilu nebo ne.

Výrobce motorků udává tyto jmenovité hodnoty:

A24NL262		UA7F54P	
Příkon [W]	33	Příkon [W]	55
Napětí [V]	230	Napětí [V]	230
Kmitočet [Hz]	50	Otáčky [1/min]	1360
Proud [A]	0,3	Proud [A]	0,36

Tab. 9 Jmenovité hodnoty od výrobce

Při mé analýze mi tyto hodnoty nevyšly přesně. Proto jsem zvolil z tabulky naměřených hodnot řádek, který se těmto hodnotám nejvíce přibližuje a prohlásil jsem ho pro výpočty za jmenovitý. Vyšly mi tyto hodnoty:

A24NL262			UA7F54P		
	síť	měnič		síť	měnič
Příkon [W]	34,6	33,0	Příkon [W]	52,6	56,6
Napětí [V]	230	232,6	Napětí [V]	230	235
Kmitočet [Hz]	50	50,6	Otáčky [1/min]	1400	1400
Proud [A]	0,277	0,269	Proud [A]	0,358	0,373

Tab. 10 Mou naměřené jmenovité hodnoty

Dále uvádím tabulky vypočítaných ztrát obou motorků a momentu a účinnosti ve jmenovitém bodě. V porovnávání se budu věnovat motoru typu UA7F54P protože se mi zde povedla proměřit momentová charakteristika dle teoretických předpokladů.

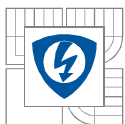
A24NL262	síť	měnič		UA7F54P	síť	měnič	
P_{celk}	30,520	29,82	W	P_{celk}	42,044	42,819	W
P_{mech}	4,078	3,179	W	P_{mech}	10,556	13,781	W
P_{Cu}	4,113	3,879	W	P_{Cu}	12,983	14,094	W
P_{Fe}	22,330	22,76	W	P_{Fe}	18,505	14,944	W

Tab. 11 Ztráty motorku

Z tabulky je patrné, že větší ztráty má motorek napájený z autobaterie přes měnič. To je způsobeno samotným měničem, který má vliv na měřené veličiny a sám o sobě má určité ztráty.

A24NL262	síť	měnič		UA7F54P	síť	měnič	
M	0,022	0,023	N.m	M	0,072	0,094	N.m
η	11,790	9,63	%	η	20,068	24,348	%

Tab. 12 Moment a účinnost ve jmenovitém bodě

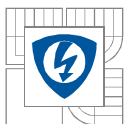


Z analýzy plyne, že motorek lze použít v automobilu pro pohon větracího systému, různých čerpadel. Je vhodné zkonstruovat motorek spojený přímo s měničem napětí. Samotný motorek má jednoduchou konstrukci na sestrojení. Drobný problém dělá odlévání rotoru nakrátko.

Motorek se stíněným pólem má vcelku časté využití. Dříve se používal jako gramofonový motorek, u praček pro pohon čerpadel k odčerpání vody a nebo u malých domácích spotřebičů jako jsou např. větráky. Motorek má tichý chod protože vinutí není v drážkách a také tím, že je malý. To je jedna z výhod motorku.

Sedlo na momentové charakteristice je způsobeno tím, že vinutí není umístěno v drážkách, ale je umístěno na pólech. Pod póly tvar magnetického pole není sinusový nýbrž má tvar spíš deformovaného obdelníku a působí na něj harmonické (nejvíce třetí harmonická). Magnetické pole je deformováno k jedné straně, podle toho na kterou stranu se motorek otáčí a kde má dán závit nakrátko. Magnetické pole závitů nakrátko působí proti magnetickému poli statoru a tím se motorek začne točit. Efekt je stejný jako by byla použita pomocná fáze pro rozběh motorku. Z toho plyne, že se motorek může otáčet pouze jedním směrem a nelze ho reverzovat.

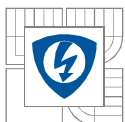
Závěrem lze říci, že použití v automobilu je sice možné, jenže velkou roli hraje pořizovací cena motorku. V dnešní době se většinou používají stejnosměrné motorky. Ty jsou už tak propracovány, že jejich výrobní náklady jsou minimální. Ale nové analýzy možného použití jiných novějších typů motorků je důležité provádět i když jejich použití nebude z jejich větší cenou v blízké době možné. Jedině že by vysokou cenu nahradily vynikající parametry použitého typu motorku.



LITERATURA

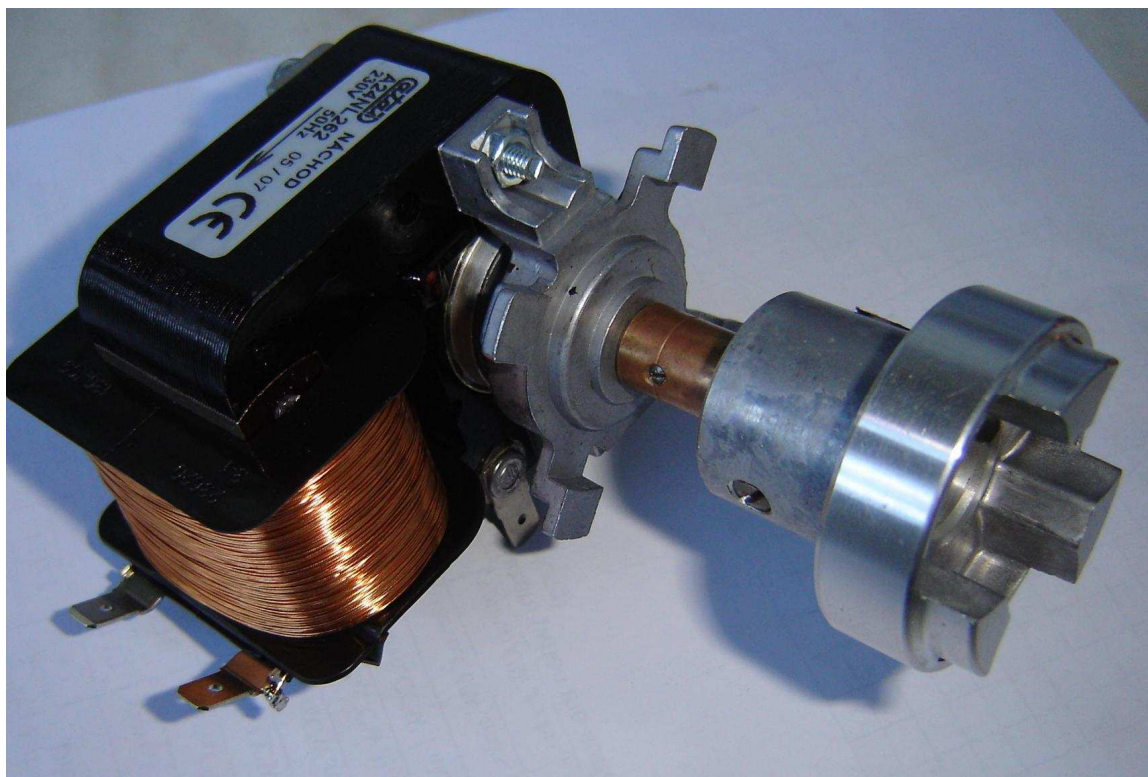
- [1] Ing. Dr Jaroslav Štěpina – Jednofázové indukční motory, SNTL, Praha 1957
- [2] J. Henry – Baudot - Elektrické stroje pro automatizaci, SNTL, Praha 1971
- [3] Ing. Dr techn. Ladislav Cigánek – Elektrické stroje, Praha 1950
- [4] Ing. Jan Štěrba – Základní měření na elektrických strojích, Brno 1970
- [5] Wilda Libor: Elektrotechnická měření, SPŠE Brno 1997
- [6] katalogy od firmy ATAS elektromotory Náchod a.s.

<http://www.atas.cz/products.php?sekce=2&menuid=13&lng=cz>



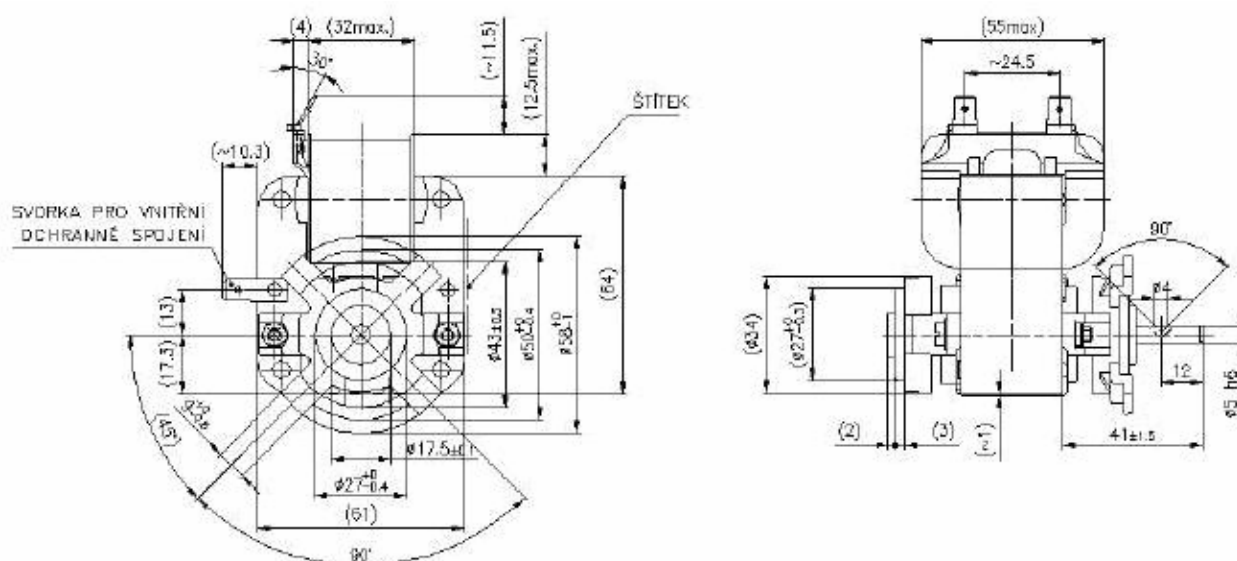
PŘÍLOHY

PŘÍLOHA A:



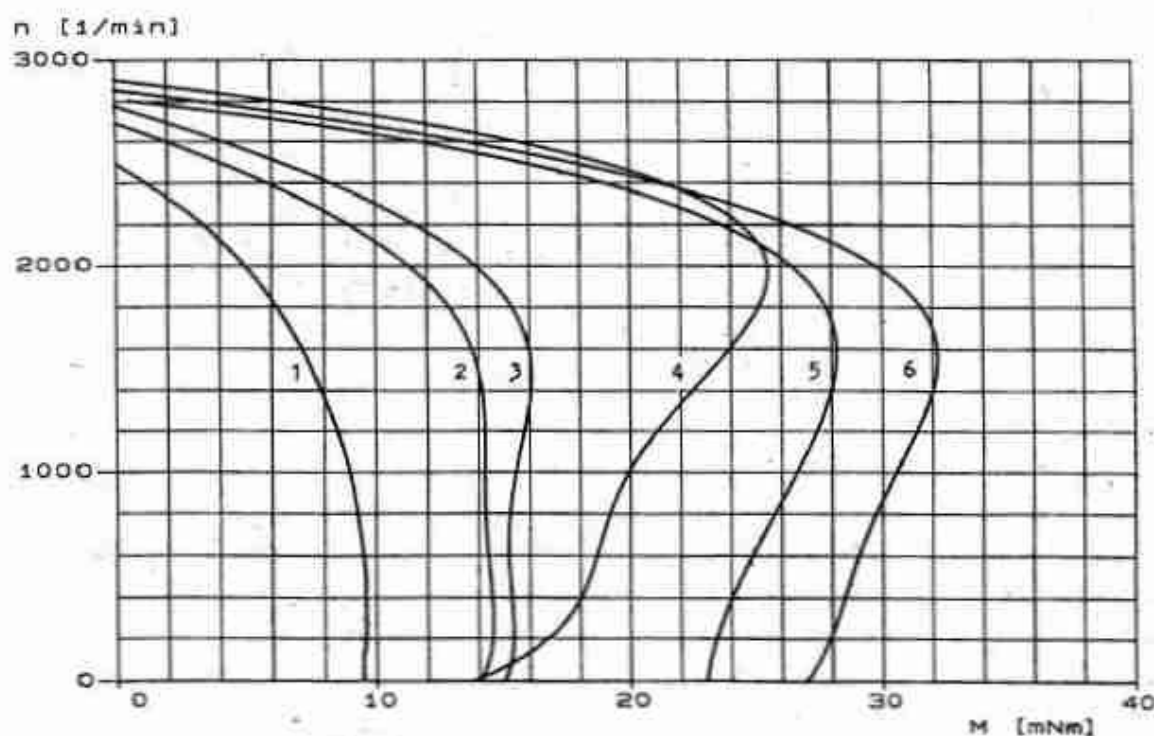
Obr. 11 Měřený motorek typu A24NL262

PŘÍLOHA B:



Obr. 12 Výkresové schéma motorku typu A24NL262

PŘÍLOHA C:



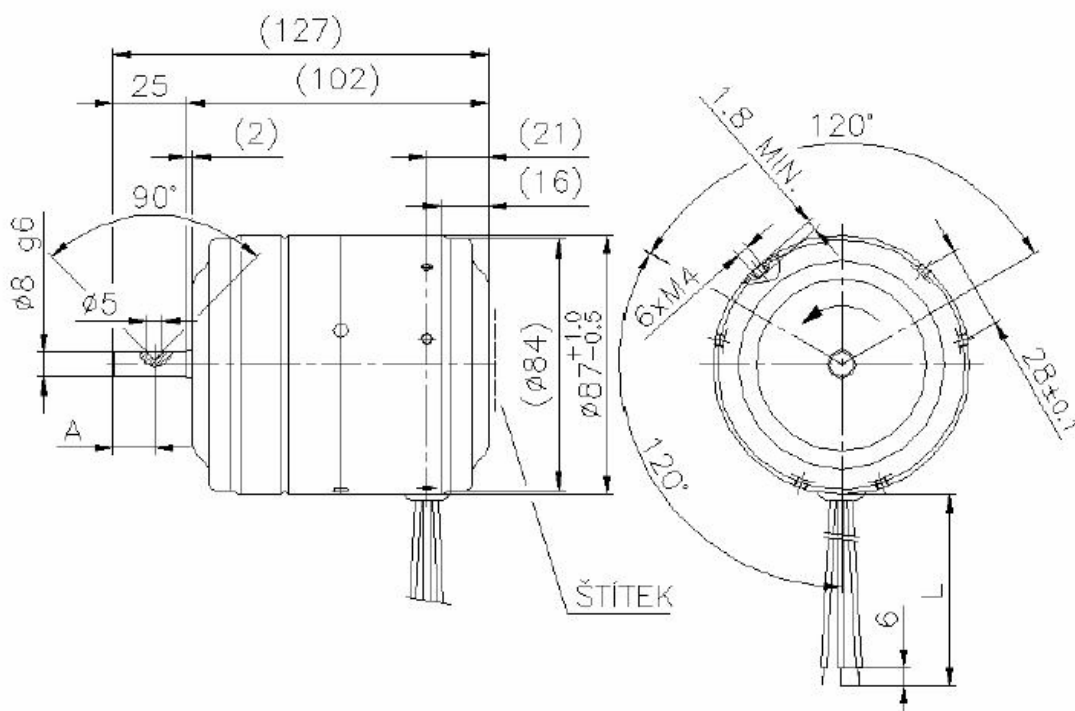
Obr. 13 Charakteristika (6) změřená firmou ATAS motorku typu A24NL262

PŘÍLOHA D:



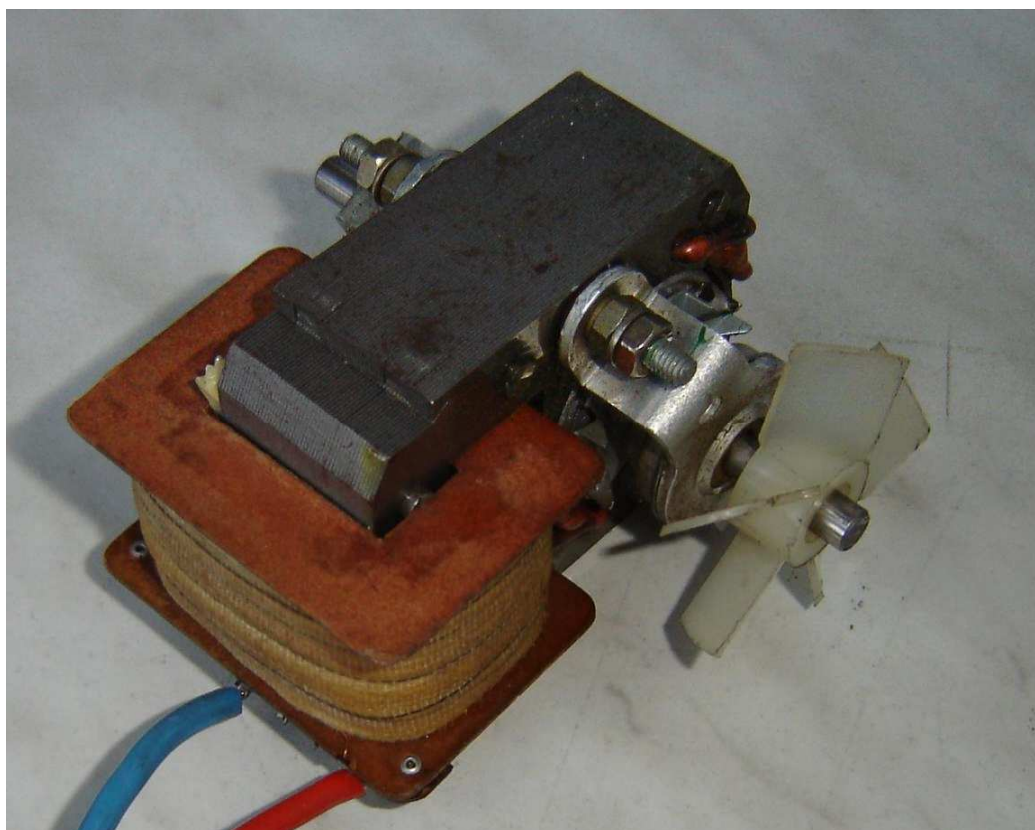
Obr. 14 Měřený motorek typu UA7F54P

PŘÍLOHA E:



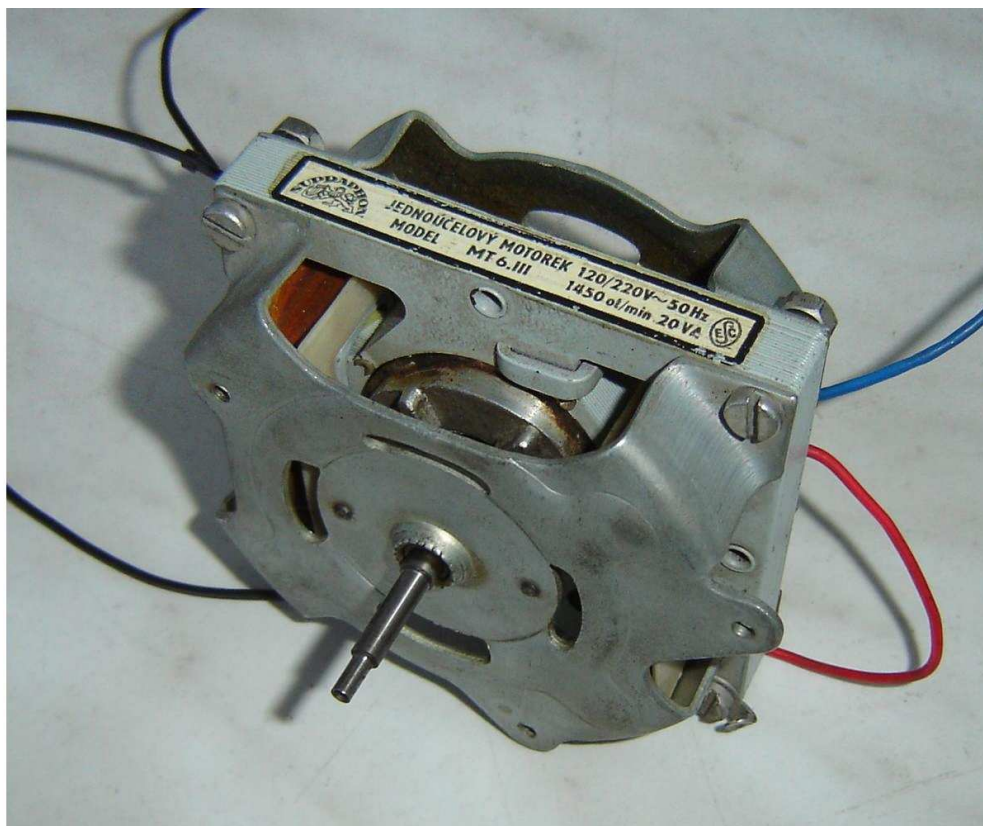
Obr. 15 Výkresové schéma motorku typu UA7F54P

PŘÍLOHA F:



Obr. 16 Jiné provedení motorku se stíněným pólem

PŘÍLOHA G:



Obr. 17 Motorek se stíněným pólem

PŘÍLOHA H:



Obr. 18 Motorek A24NL381 firmy ATAS elektromotory Náchod a.s.