



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
ENGINEERING

## MALÉ ASYNCHRONNÍ MOTORY PRO SPECIFICKÉ APLIKACE

SMALL INDUCTION MOTORS FOR SPECIFIC APPLICATIONS

DIPLOMOVÁ  
MASTER'S

PRÁCE  
THESIS

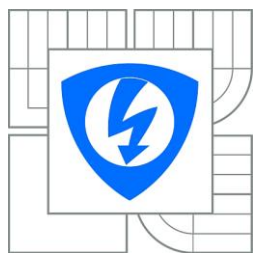
AUTOR  
AUTHOR

PRÁCE Bc. Jiří Bárta

VEDOUCÍ  
SUPERVISOR

PRÁCE prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

**Student:** Bc. Jiří Bárta

**Ročník:** 2

**ID:** 136499

**Akademický rok:** 2015/2016

**NÁZEV TÉMATU:**

**Malé asynchronní motory pro specifické aplikace**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Podle výsledků rozboru v semestrálním projektu zhodnoťte možnosti použití speciálních motorků.
2. U zvolených typů motorků změřte a porovnejte charakteristiky při napájení ze sítě.
3. Porovnejte výsledky a vyhodnoťte možnosti aplikace v praxi, např. v automobilovém průmyslu.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] PETROV, G. N. Elektrické stroje 2: Asynchronní stroje - synchronní stroje. 1. vyd. Praha: Academia Praha, 1982. ISBN 509-21-857.
- [2] CIGÁNEK, Ladislav. Stavba elektrických strojů. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. ISBN 36 174-57.
- [3] ŠTĚPINA Jaroslav. Jednofázové indukční motory. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957. ISBN 36 174-57.

**Termín zadání:** 21. 9. 2015

**Termín odevzdání:** 24. 5. 2016

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

**Konzultanti semestrální práce:**

**Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.**

*předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

*Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.*

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je představení principu konstrukce jednofázového asynchronního motoru a jeho využití v automobilovém průmyslu. Jedná se o konstrukčně velmi jednoduchý motor. Poloha pomocného (stíněného) vinutí nám udává směr točení. Používá se hlavně v případě malých výkonů, například pro pohon ventilátorů, malých domácích spotřebičů. Jeho nespornou výhodou je levná konstrukce.

## **Abstract**

The aim of this master's thesis is to introduce the principle of construction of a single-phase shade-pole motor and its utilization in automotive industry. It is very simple motor in its structure. The position of shading ring gives us the direction of rotation. It is used mainly when low efficiency is needed, e. g. to run electrical fans, small household appliances. Cheap construction is its undeniable advantage.

## **Klíčová slova**

Stíněný pól; závit nakrátko; jednofázový motor, asynchronní motor

## **Keywords**

Shaded-pole; shading coil; single-phase machina, induction motor

## **Bibliografická citace**

BÁRTA, J. *Malé asynchronní motory pro specifické aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 37 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc..

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma **Malé asynchronní motory pro specifické aplikace** 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. Vítězslav Hájek, CSc.** za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne ..... Podpis autora .....



## Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD .....	10
1.1 ASYNCHRONNÍ MOTOR SE STÍNĚNÝM PÓLEM .....	11
1.2 ASYNCHRONNÍ MOTOR S POMOCNOU FÁZÍ .....	12
2 ASYNCHRONNÍ MOTOR SE STÍNĚNÝM PÓLEM .....	13
2.1 KONSTRUKCE ASYNCHRONNÍHO MOTORU SE STÍNĚNÝM PÓLEM.....	14
2.2 VLASTNOSTI ASYNCHRONNÍHO MOTORU SE STÍNĚNÝM PÓLEM .....	15
2.3 MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA ASYNCHRONNÍHO MOTORU SE STÍNĚNÝM PÓLEM.....	16
3 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR S POMOCNÝM ROZBĚHOVÝM VINUTÍM.....	18
3.1 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR S ODPOROVÝM ROZBĚHEM .....	19
3.2 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR S KAPACITNÍM ROZBĚHEM A BĚHEM .....	20
4 VÝBĚR JEDNOFÁZOVÉHO MOTORU PRO MĚŘENÍ .....	24
4.1 SIMULACE V MAXWELLU .....	25
4.2 VLASTNÍ PRŮBĚH MĚŘENÍ .....	33
5 VÝSLEDEK MĚŘENÍ A SIMULACE V MAXWELLU .....	35
6 ZÁVĚR.....	35
LITERATURA .....	36

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Momentová charakteristika .....</i>	<i>10</i>
<i>Obrázek 2 Asynchronní motor se stíněným pólem<sup>[2]</sup> .....</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek 3 Asynchronní motor s rozběhovým kondenzátorem .....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 4 Asynchronní motor se stíněným pólem .....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 5 Asynchronní motor s kondenzátorem.....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 6 Řez asynchronního motoru se stíněným pólem<sup>[2]</sup> .....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 7 Asynchronní motor se statorem do tvaru C<sup>[7]</sup> .....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 8 Asynchronní motor se stíněným pólem s kruhovým statorem<sup>[7]</sup> .....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 9 Momentová charakteristika motoru se stíněným pólem<sup>[4]</sup> .....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 10 Jednofázový asynchronní motor A24NF325L se stíněným pólem<sup>[2]</sup>.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 11 Momentová charakteristika A24NF325L motorku<sup>[3]</sup> .....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 12 Řez jednofázového asynchronního motoru se stíněným pólem<sup>[3]</sup>.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 13 Zapojení jednofázového asynchronního motoru s odporovým rozběhem.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 14 Zapojení jednofázového asynchronního motoru s rozběhovým kondenzátorem .....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 15 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru s kondenzátorem .....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 16 Zapojení jednofázového asynchronního motoru s běhovým kondenzátorem.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 17 Zapojení jednofázového asynchronního motoru v kombinaci s rozběhovým a provozním kondenzátorem.....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 18 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 19 Jednofázový asynchronní motor s provozním kondenzátorem .....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 20 Jednofázový asynchronní motor s rozběhovým a provozním kondenzátorem .....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 21 Jednofázový asynchronní motor s běhovým kondenzátorem .....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 22 Základní nastavení motoru .....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 23 Nastavení statoru .....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 24 Nastavení rozměrů drážky .....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 25 B-H křivka materiálu M700-50A .....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 26 B-P křivka materiálu M700-50A.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 27 Nastavení rotoru .....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 28 Nastavení rozměrů drážky .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 29 Zadání jmenovitých parametrů .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 30 Hotový model v Maxwellu.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 31 Závislost proudu na otáčkách .....</i>	<i>30</i>





---

<i>Obrázek 32 Závislost účinníku na otáčkách motoru .....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 33 Závislost příkonu na otáčkách .....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 34 Závislost momentu na otáčkách .....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 35 Účinnost v závislosti na otáčkách .....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 36 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru s provozním kondenzátorem.....</i>	<i>34</i>



## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

$\varphi$	magnetický tok	Wb
$\eta$	účinnost	%
$\cos\phi$	účinitk motoru	-
$M_Z$	záběrný moment	N.m
$M_n$	jmenovitý moment	N.m
I	proud motoru	A
s	skluz	-
P	příkon motoru	W
U	napájecí napětí	V
$P_M$	výkon motoru	W
$P_{\text{celk}}$	celkové ztráty	W
M	moment motoru	N.m
$\omega$	úhlová rychlost	rad/s
R	odpor vinutí	$\Omega$
n	otáčky motoru	1/min

## ÚVOD

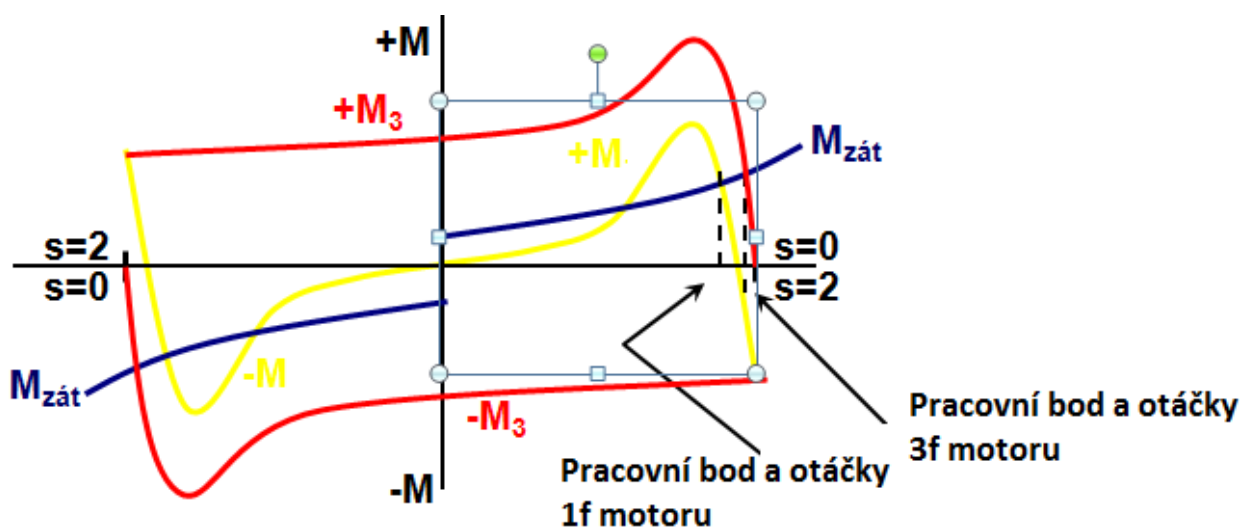
Jednofázové asynchronní motory se používají tam, kde není k dispozici trojfázová síť a zejména pro drobné spotřebiče v domácnostech. Třífázové asynchronní motory využívají 3f vedení střídavého proudu do statorových cívek, které umožní vytvoření točivého magnetického pole, zatímco u jednofázového asynchronního motoru se bez dalších konstrukčních úprav sám motor nerozeběhne. Nevznikne zde točivé magnetické pole, je tu nulový záběrný moment.

Konstrukční provedení je v podstatě stejné jako u třífázového motoru s kotvou nakrátko. I technologie výroby je stejná.

Stator je tvořen magnetickým obvodem z dynamových plechů, ve kterých jsou drážky a zde jsou navinuty statorové cívky. První dvě vinutí se spojí do série. Třetí vinutí plní funkci rozběhového vinutí. Odlišnosti v konstrukci statoru jsou pak dány principem činnosti jednofázového asynchronního motoru.

Rotor nakrátko je tvořen z hliníkové klece, která je odlita do drážek magnetického obvodu rotoru.

Jednofázová síť vytvoří pulzující pole, které je dáno součtem dvou točivých magnetických polí, která se otáčejí proti sobě. Toto pulzující pole nevytvoří žádný točivý moment. Motor se sám nerozeběhne. Kdybychom tento asynchronní motor mechanicky roztočili na 20-40% jmenovitých otáček, tak se motor rozeběhne ve směru mechanického roztočení na jmenovité otáčky.



$M_3$  momentová charakteristika točivého pole

$M$  momentová charakteristika pulzujícího pole

$M_{zát}$  charakteristika zátěže

Obrázek 1 Momentová charakteristika

Kromě mechanického rozběhu lze rozběh provést následovně:

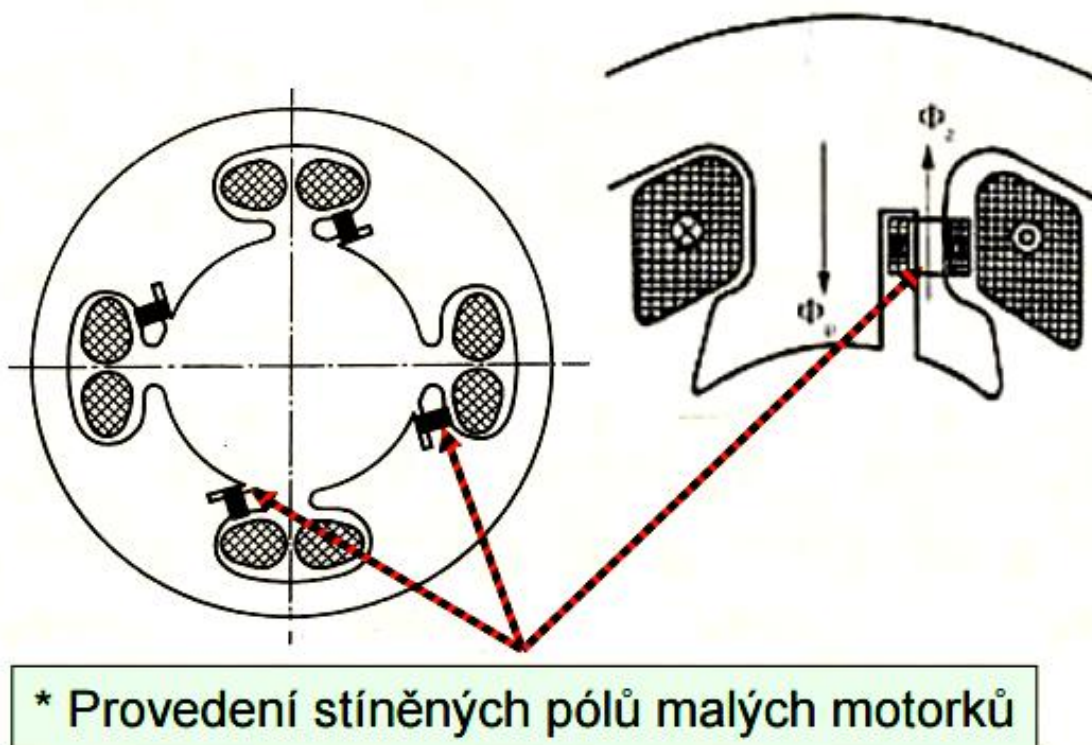
Vyrábějí se dva typy těchto motorů.

- Se stíněnými póly (závit nakrátko)
- S pomocnou fází

Jsou to motory malých výkonů. Rotor je tvořen kotvou nakrátko. Stator musí mít dvojitě vinutí nebo jinou úpravu, aby se vytvořilo točivé magnetické pole. Účinnost těchto motorků bývá nízká. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

### 1.1 Asynchronní motor se stíněným pólem

U tohoto asynchronního motoru se stíněným pólem je stator konstruován s vyniklými póly. Každý pól je zčásti obemknut závitom nakrátko z neizolovaného měděného vodiče. Tímto přispěním vzniká eliptické točivé magnetické pole. Motor najednou začne vyvozovat jistý moment, je poměrně malý, který postačuje na rozběh s přiměřenou zátěží.<sup>[1]</sup>



Obrázek 2 Asynchronní motor se stíněným pólem<sup>[2]</sup>

## 1.2 Asynchronní motor s pomocnou fází

Pro vznik točivého pole je zde potřeba fázového posunutí mezi proudem pomocného a hlavního vinutí. Tohoto dosáhneme připojením odporu, kondenzátoru nebo změnou indukčnosti pomocného vinutí.

Pomocné vinutí zaujímá 1/3 drážek a je posazeno kolmo k hlavnímu vinutí.

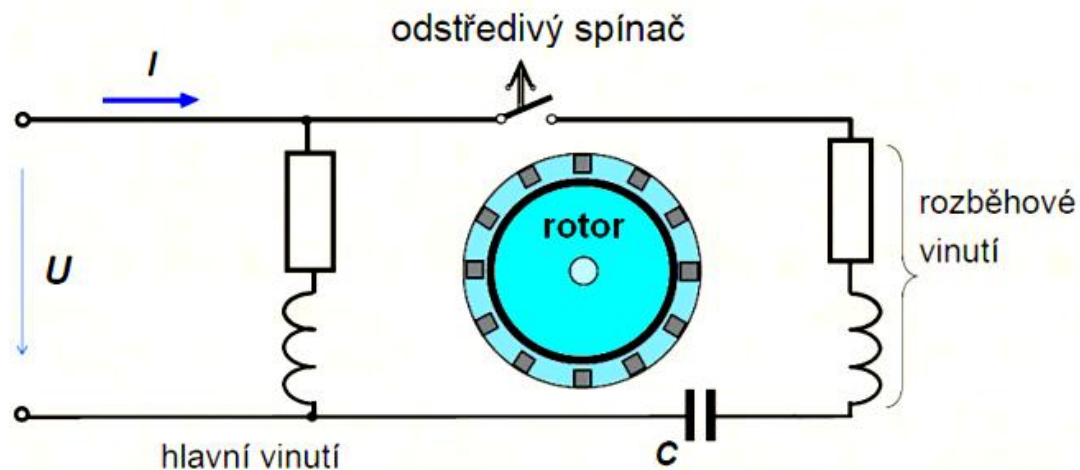
Rozběh pomocí kondenzátoru se dělá ve dvou variantách:

- Provozní kondenzátor
- Rozběhový kondenzátor

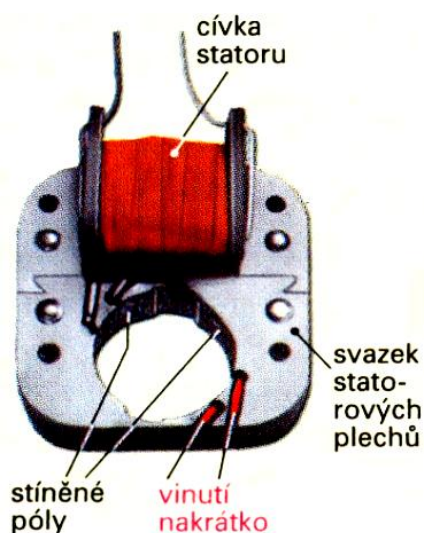
Rozběhový kondenzátor se po rozběhu pomocí odstředivého vypínače odpojí. Tuto situaci nám znázorňuje obrázek níže. <sup>[2]</sup>

Použití:

- chladničky, vrtačky, pumpy, pračky, ždímačky, hodiny, atd.



Obrázek 3 Asynchronní motor s rozběhovým kondenzátorem



Obrázek 4 Asynchronní motor se stíněným pólem



Obrázek 5 Asynchronní motor s kondenzátorem

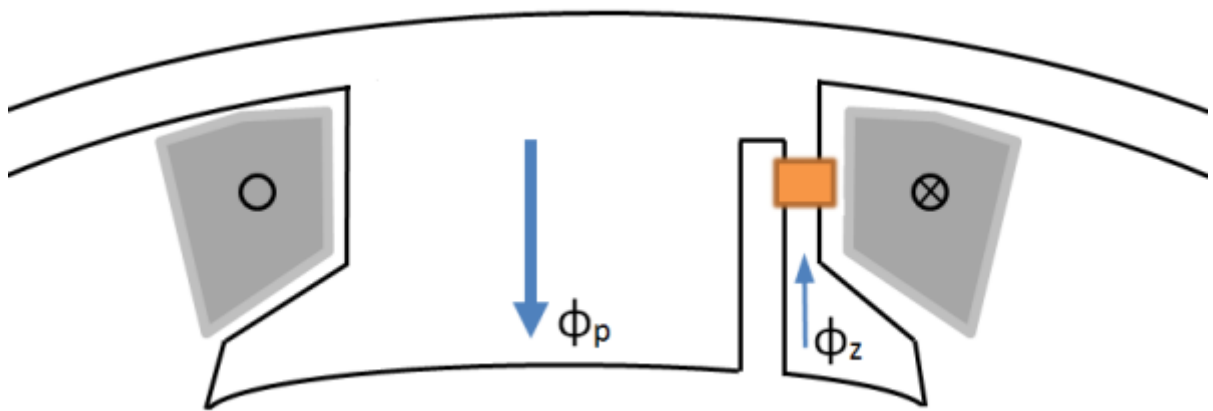
## 2 ASYNCHRONNÍ MOTOR SE STÍNĚNÝM PÓLEM

U tohoto motoru je pomocné vinutí nahrazeno závitem nakrátko, který je umístěn na hlavním pólu.

Tyto asynchronní motory se konstruují se státorem s vyniklými póly. Rotor se vyrábí jako kotva nakrátko. Aby vůbec došlo k roztočení jednofázového motoru, musíme k tomu vytvořit vhodné podmínky. Nejdůležitější podmínkou je vznik točivého magnetického pole ve statoru. Vytvoříme buď kruhové, nebo eliptické točivé pole. Při jednofázovém napájení nedojde k vytvoření potřebného točivého pole a tak musíme vhodnou úpravou zajistit vznik točivého magnetického pole.

Aby se docílilo rozběhu asynchronního motoru, musíme posunout fáze o stejný úhel jako je posun proudu. To znamená, že fáze jsou pootočený o  $90^\circ$ . Abychom docílili posunu proudu, je zde zabudovaný závit nakrátko, který umožní vznik točivého pole. Tento závit nakrátko se nachází na každém pólu, jak nám názorně ukazuje obrázek 5. <sup>[2]</sup>

Působením magnetického pole vytvořeného hlavním vinutím se indukuje v závitě nakrátko elektrický proud. Vzniklý proud vytváří magnetický tok opačného směru než je tok hlavní. Díky tomuto se zeslabuje magnetické pole pod částí hlavního pólu. Tok pomocné fáze je oproti hlavnímu toku posunut fázově i prostorově. Z tohoto důvodu vzniká ve vzduchové mezeře eliptické točivé pole, které umožní motoru se rozeběhnout, aniž by bylo potřeba dalšího pomocného vinutí.



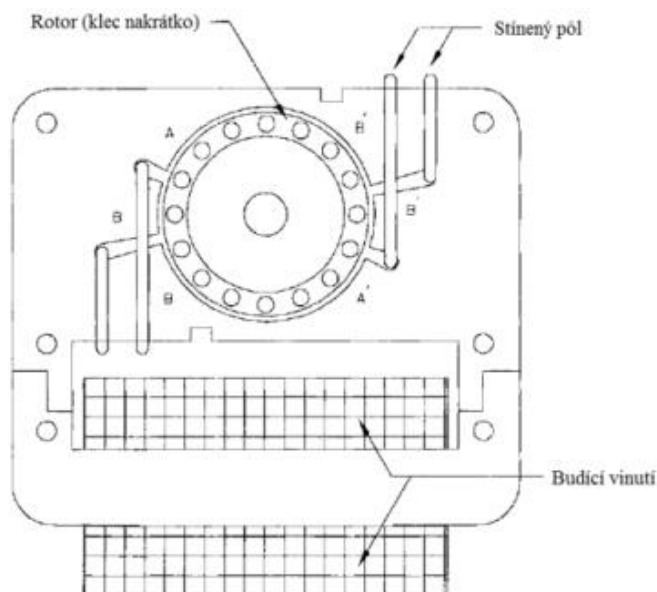
Obrázek 6 Řez asynchronního motoru se stíněným pólem <sup>[2]</sup>

Tyto motory se vyrábějí pro pohony malých výkonů přibližně max. 2 kW. Důvod je ten, že není vhodné nadměrně velké jednofázové zatížení veřejných sítí. Tyto motory se nejvíce využívají tak, kde není potřeba regulovat otáčky motoru při provozu stroje. Tyto motory se například využívají pro pohon kompresorů v ledničkách.

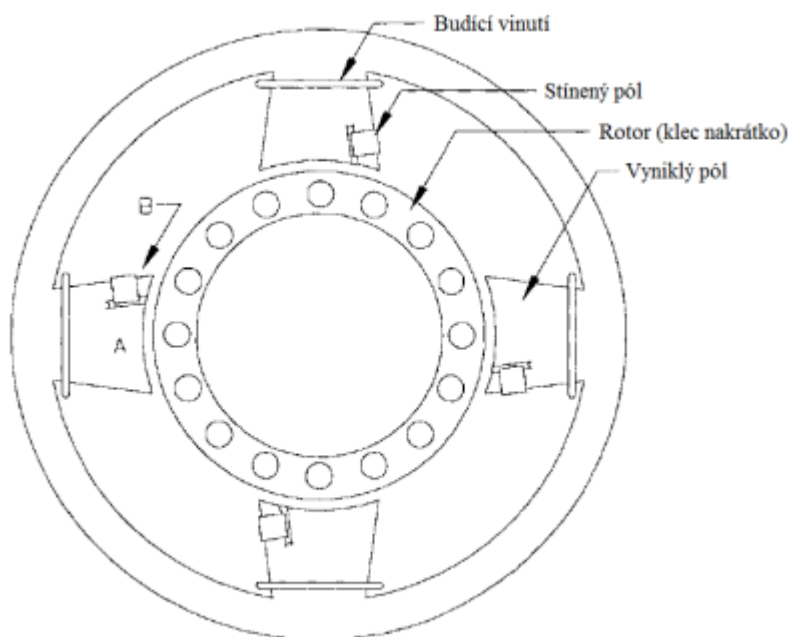
Otáčky tohoto asynchronního motoru se dají regulovat pomocí frekvenčního měniče, ale tato regulace je stále provozně drahá a také často bývá zdrojem nežádoucího elektromagnetického rušení. V běžných domácích spotřebičích, jako jsou sekačky, pračky, vysavače atd., se stále využívají klasické komutátorové motory.

## 2.1 Konstrukce asynchronního motoru se stíněným pólem

Od klasických jednofázových asynchronních motorů se liší hlavně provedením pomocného vinutí. Stator je sestavený z plechů, které jsou vzájemně izolovány a sešroubovány nebo snýtovány. Plechy statoru vytváří část magnetického obvodu. U dvoupólových motorů jsou statorové plechy většinou uspořádány do tvaru písmene C. Tento typ motoru je na obrázku 6. Další možný způsob uspořádání statoru je do kruhu. Takto jsou konstruovány motory s více póly. Toto uspořádání můžeme použít i pro dvoupólový motor. Kruhové uspořádání vidíme na obrázku 7.



Obrázek 7 Asynchronní motor se státorem do tvaru C<sup>[7]</sup>



Obrázek 8 Asynchronní motor se stíněným pólem s kruhovým státorem<sup>[7]</sup>



Stator u těchto malých motorů slouží zároveň i jako nosná konstrukce, na kterou jsou připevněny držáky ložisek rotoru. Rotor je tvořen plechy nalisovanými na hřídeli. V rotoru je optimálně 11 až 13 drážek, které obsahují vinutí rotoru. Vinutí se odlévá spolu s propojovacími kruhy a tvoří tak dohromady uzavřený elektrický obvod. Jako materiál pro klec se používá nejčastěji hliník, případně měď nebo mosaz. Měděný vodič má nižší odpor, ale hliník je lehčí a proto se zde dnes používá nejčastěji. Prostor mezi státorem a rotorem se nazývá vzduchová mezera.

Pro rozběh jednofázového asynchronního motoru se využívá stíněný pól, jedná se o jednozávitové vinutí, kterým prochází část magnetického toku z hlavního pólu. Proto se zde indukuje napětí. Protože se zde indukuje napětí, vzniká tu proud a ten nám vytváří magnetický tok. Vzniklý tok působí proti hlavnímu magnetickému toku a posouvá osu výsledného toku směrem ke stíněné části. Tento posun účinku je ekvivalentní k fyzickému pohybu pólů, což není nic jiného než rotace pólů. Rotor se začne otáčet ve směru posunu od nestíněné části ke stíněnému pólu.<sup>[6]</sup>

Asynchronní motory jsou zpravidla stroje s vlastním chlazením. Na hřídeli bývá plastový ventilátor, který ochlazuje motor během jeho provozu. Povrch je tvořen žebry, mezi kterými dochází k tepelné výměně se vzduchem v okolním prostředí.<sup>[5]</sup>

Z důvodu jednodušší výroby jsou cívkové umístěny na pólech.

## 2.2 Vlastnosti asynchronního motoru se stíněným pólem

Na jmenovitých otáčkách má asynchronní motor skluz 0,2 až 0,3. U motoru je velmi malý záběrný moment, což je velice limitující pro jeho použití v náročnějších aplikacích. Maximální moment má motor přibližně při jmenovitých otáčkách, při zatěžování však moment rychle klesá.<sup>[7]</sup>

Jednofázový motor pracuje v porovnání s třífázovými asynchronními stroji s velkým skluzem  $s$ , pro který platí vztah:

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

kde  $s$  skluz  
 $n$  skutečné otáčky rotoru

Častěji se používá procentuální vyjádření skluzu:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100 [\%]$$



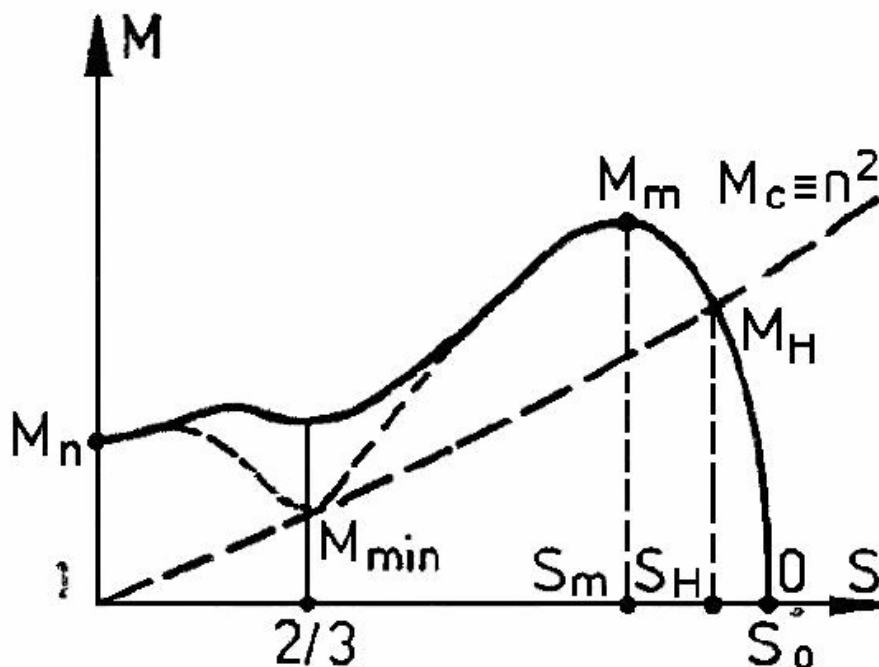
Synchronní rychlost asynchronního stroje se stíněnými póly závisí na počtu pólů  $p$  a frekvenci  $f$  proudu v hlavním vinutí.

$$n_s = \frac{120f}{p} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

kde  $n_s$  synchronní otáčky magnetického pole  
 $p$  počet pólů statoru  
 $f$  napájecí frekvence

### 2.3 Momentová charakteristika asynchronního motoru se stíněným pólem

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 obdélníku a působí na něj harmonické (nejvíce třetí harmonická).<sup>[4]</sup>

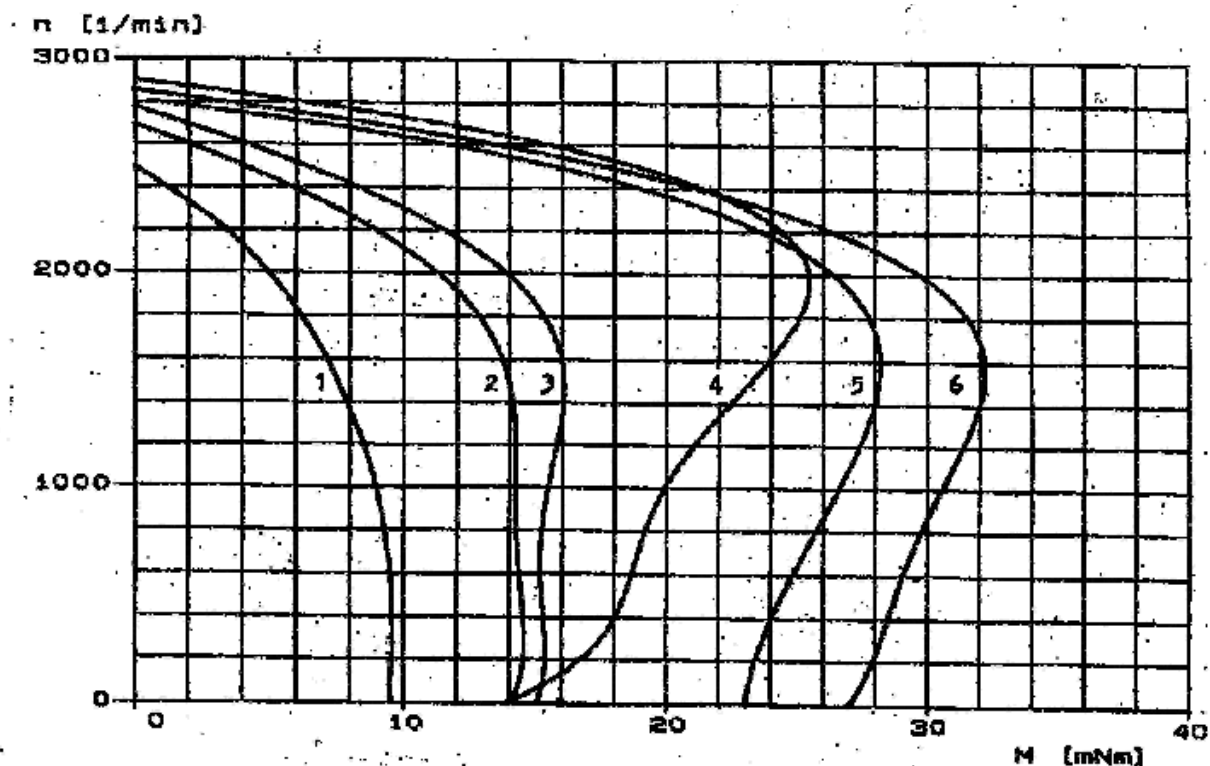


Obrázek 9 Momentová charakteristika motoru se stíněným pólem<sup>[4]</sup>



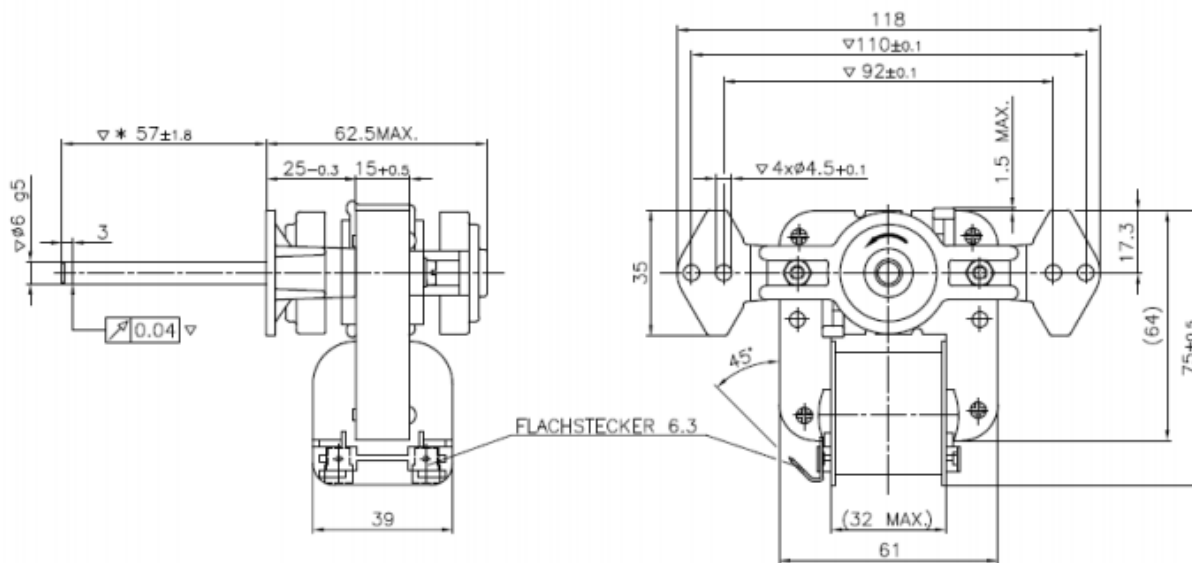
Obrázek 10 Jednofázový asynchronní motor A24NF325L se stíněným pólem<sup>[2]</sup>

Momentová charakteristika pro jednofázový asynchronní motor se stíněným pólem pod výrobním číslem A24NF325L odpovídá v grafu křivce číslo 1.



Obrázek 11 Momentová charakteristika A24NF325L motorku<sup>[3]</sup>

Z grafu je vidět, že s rostoucími otáčkami nám začíná parabolicky klesat moment.



Obrázek 12 Řez jednofázového asynchronního motoru se stíněným pólem <sup>[3]</sup>

### 3 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR S POMOCNÝM ROZBĚHOVÝM VINUTÍM

Aby došlo k vytvoření točivého momentu, musí se rotor otáčet o něco pomaleji než je rychlost točivého pole statoru. Tento stav se nazývá skluz, je to relativní rozdíl mezi otáčkami rotoru a točivého pole statoru.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100$$

$n$  – otáčky rotoru

$n_s$  – otáčky statoru

Otáčky jednofázového asynchronního motoru jsou závislé na kmitočtu sítě, počtu pólových dvojic statorového magnetického obvodu.

$$n_s = \frac{60 \cdot f_s}{p}$$

$p$  – počet pólových dvojic

$f_s$  – frekvence sítě

Otáčky asynchronního motoru jsou o něco nižší než otáčky synchronní statorového pole. Toto je dáno skluzem, který závisí na mechanickém zatížení. Pokud budeme zatěžovací moment zvětšovat, bude nám i růst skluz motoru. Při dosažení určité hranice zatěžovacího momentu nám skluz naroste natolik, že se začne značně zahřívat a jeho účinnost klesá.

Otáčky rotoru jsou definovány tímto vztahem:

$$n = (1 - s) \cdot n_s$$

### 3.1 Jednofázový asynchronní motor s odporovým rozběhem

V praxi se předřadný odpor přímo nahrazuje zvětšením odporu pomocného vinutí. Zvětšení rezistivity lze dosáhnout pomocí mosazného vodiče nebo zvýšením počtu závitů pomocné fáze, z nichž poslední závity jsou vinuty opačným směrem, aby buzení cívků zůstalo nezměněné. Můžeme také použít tzv. bifilární vinutí (toto vinutí je navinuto smyčkou z vodiče a má stejný počet závitů v jednom i druhém směru). Toto vinutí se vyznačuje menší indukčností než hlavní vinutí.

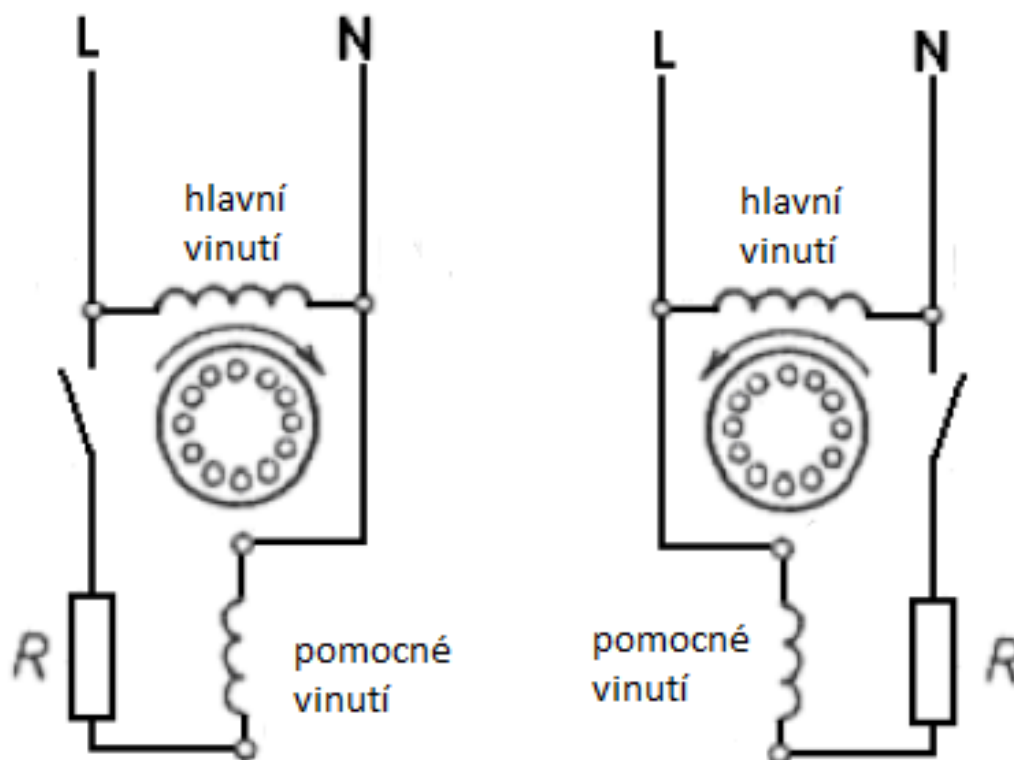
- Do obvodu pomocného vinutí se zapojí rezistor
- Pomocné vinutí musí mít vyšší rezistivitu

Pomocí pomocného vinutí vytvoříme záběrný moment – vznik točivého magnetického pole. Aby k tomu došlo, je potřeba, aby proud procházející pomocným vinutím měl jiný fázový posuv proti napětí než je proud v hlavním vinutí. Proto do obvodu pomocné fáze zapojíme odpor. Tento odpor je navržen tak, aby na něm byla většina napětí. Potom však proud s rostoucími otáčkami klesá jen málo. Abychom vytvořili záběrný moment, potřebujeme poměrně velký proud pomocným vinutím. V tomto zapojení se veškerá energie pomocného vinutí přeměňuje na teplo a proto je potřeba pomocnou fázi zavčas odpojit, aby nedošlo k jejímu zničení. Pomocné vinutí se odpojí přibližně ve dvou třetinách jmenovitých otáček.

Tento typ rozběhu jednofázového asynchronního motoru má malý záběrný moment a použití je jen pro malé výkony.

Další možností je místo odporu zapojit do pomocné fáze tlumivku. Sice dosáhneme lepšího posunutí proudu v pomocné fázi oproti proudu v hlavním vinutí, ale je konstrukčně nevhodné a zhoršuje účinnost motoru. Proto se toto zapojení v praxi moc nepoužívá.

Mnohem lepších výsledků lze dosáhnout vřazením kondenzátoru do pomocného vinutí.



Obrázek 13 Zapojení jednofázového asynchronního motoru s odporovým rozběhem

### 3.2 Jednofázový asynchronní motor s kapacitním rozběhem a během

Jednofázové asynchronní motory mohou mít rozběhový a běhový kondenzátor.

První varianta je s rozběhovým kondenzátorem, který se po dosažení cca 60 % jmenovitých otáček odpojí odstředivým kontaktem. Výhodou tohoto zapojení je nenulový rozběhový moment, kondenzátor je v provozu pouze při rozběhu. Na druhou stranu je nevýhoda, že musí být použit odstředivý kontakt a má menší moment zvratu v porovnání s klasicky napájeným motorem.

Druhá možnost je zapojení s běhovým kondenzátorem. Tímto zapojením dosáhneme lepších výsledků až 80 % jmenovitého momentu a výkonu motoru. Experimentálně lze zjistit vhodnou velikost kondenzátoru. Pro hrubé zjištění velikosti kondenzátoru můžeme vyjít z odhadu  $70 \mu\text{F}/1 \text{ kW}$ .

Třetí možnost je, že motor má dva kondenzátory. To znamená, že po rozběhu se jeden kondenzátor odpojí a druhý zůstává trvale připojen. U tohoto zapojení docílíme většího záběrného momentu, použití je častější.

Velikost kondenzátoru lze určit mnoha způsoby. Nejčastěji se vychází ze zkušenosti při návrhu a konstrukci. V literatuře najdeme mnoho empirických vztahů, podle kterých lze výsledný kondenzátor určit velmi snadno. Pokud ale chceme velikost kondenzátoru určit velmi přesně, můžeme použít složitou metodu provozního optima, díky které můžeme dosáhnout velmi kvalitního návrhu rozběhového kondenzátoru s patričnými požadavky na konečné charakteristiky motoru.

Empirické vzorce k určení rozběhového kondenzátoru:

$$C = 68 \cdot P \quad [\mu F; kW]$$

C – kapacita kondenzátoru

P – výkon jednofázového motoru

$$C = \frac{P}{U \cdot f^2} \quad [F; W; V; Hz]$$

C – kapacita kondenzátoru

P – výkon motoru

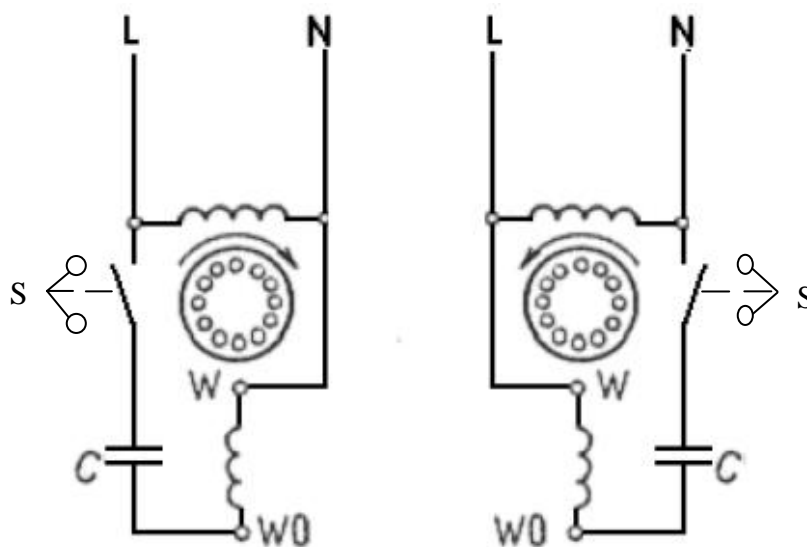
U – napětí sítě

$$C = 0,29 \cdot k \cdot P \quad [\mu F; -; kW]$$

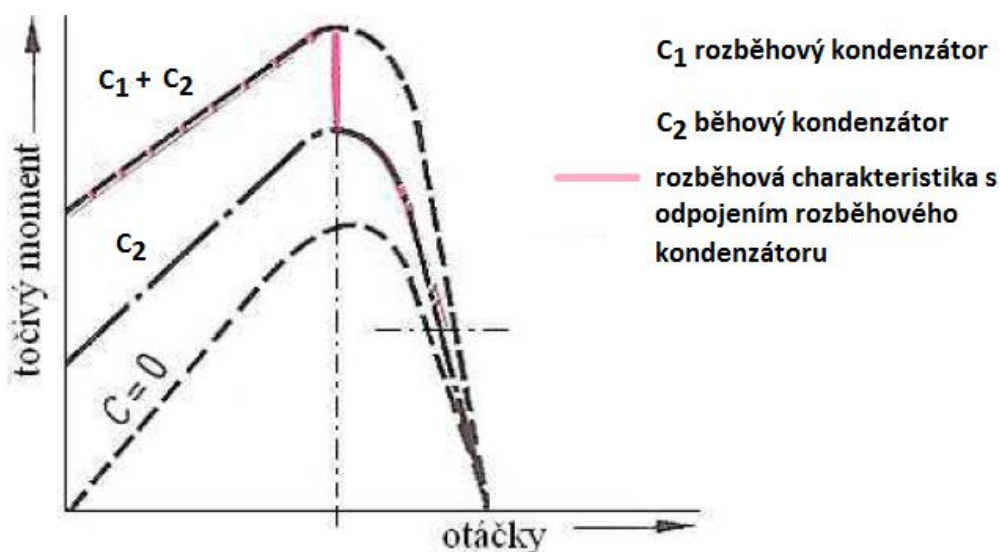
C – kapacita kondenzátoru

k – konstanta závislá na napětí sítě

k=25 pro U=400V;

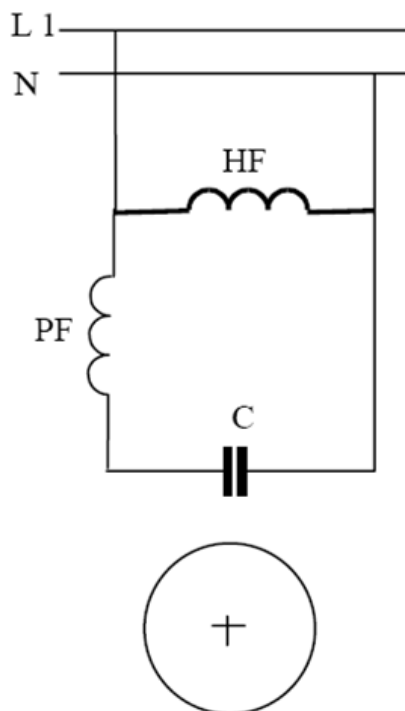


Obrázek 14 Zapojení jednofázového asynchronního motoru s rozběhovým kondenzátorem

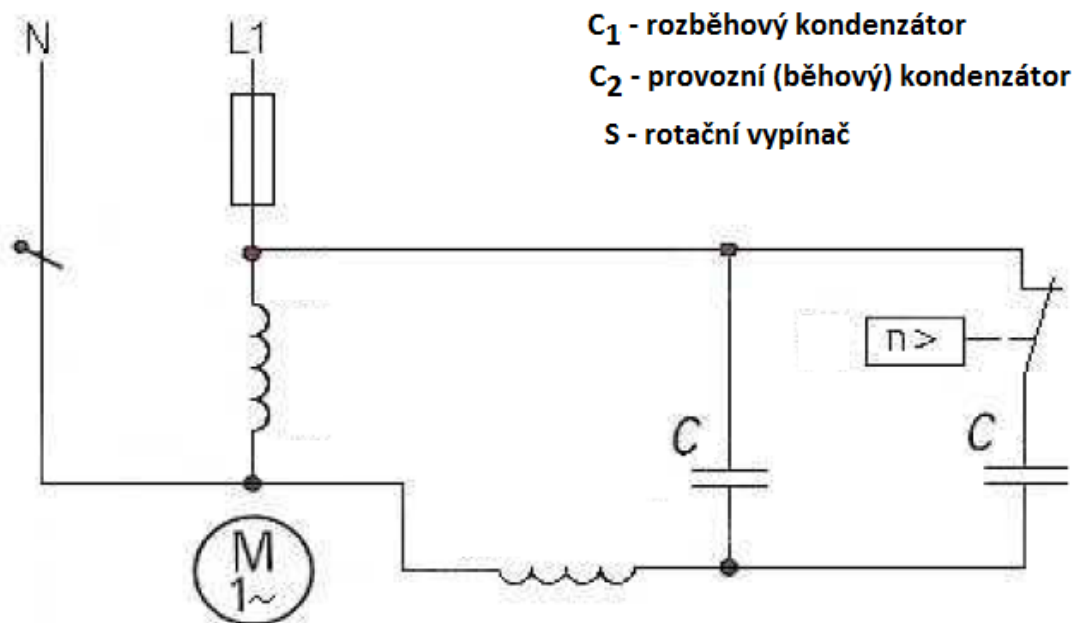


Obrázek 15 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru s kondenzátorem

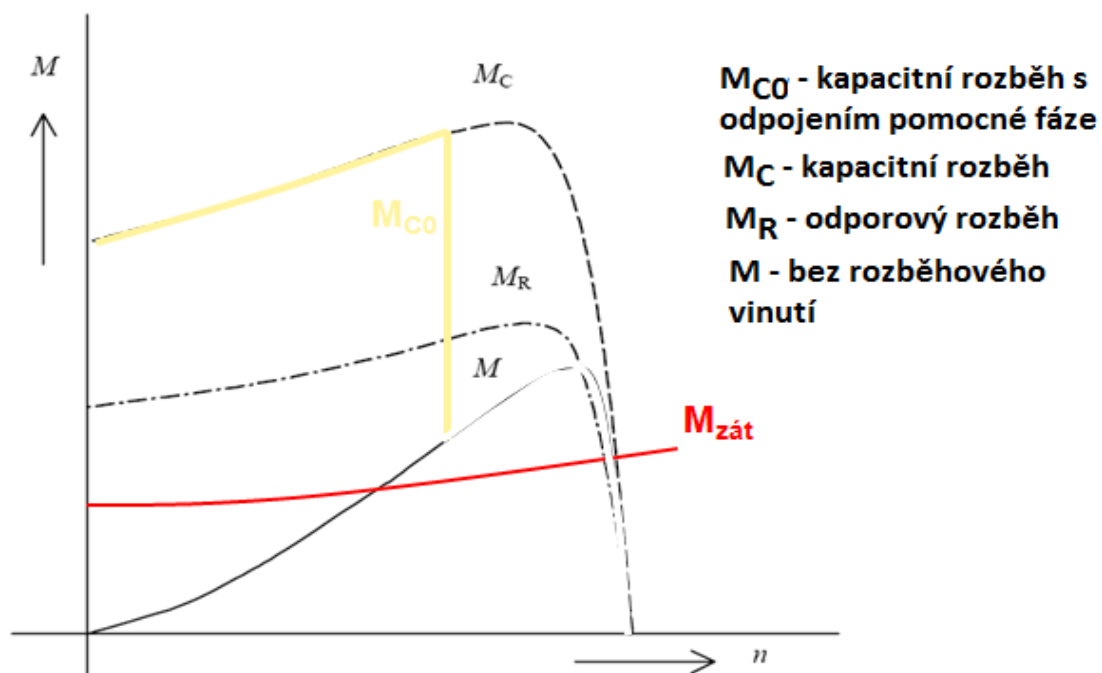
- Rozběhový kondenzátor - pomocné vinutí s kondenzátorem se odpojí pomocí odstředivého kontaktu
- Běhový kondenzátor – záběrný moment je malý. Kondenzátor zde plní i funkci kompenzační
- Kombinace obou předchozích zapojení – častější použití, větší záběrný moment



Obrázek 16 Zapojení jednofázového asynchronního motoru s běhovým kondenzátorem

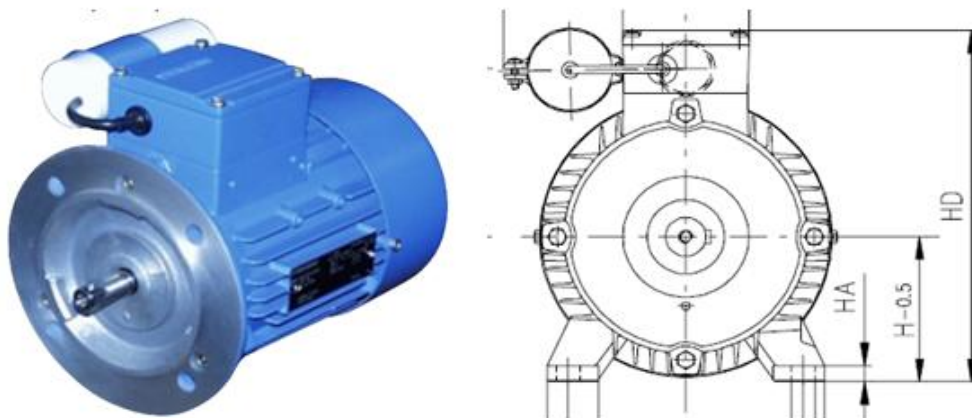


Obrázek 17 Zapojení jednofázového asynchronního motoru v kombinaci s rozběhovým a provozním kondenzátorem

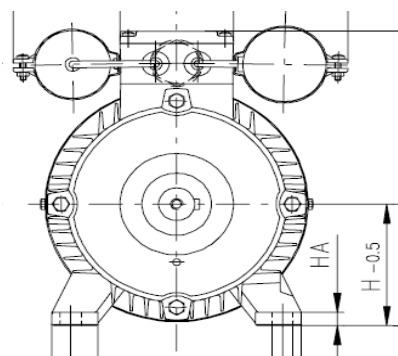


Obrázek 18 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru





Obrázek 19 Jednofázový asynchronní motor s provozním kondenzátorem



Obrázek 20 Jednofázový asynchronní motor s rozběhovým a provozním kondenzátorem

## 4 VÝBĚR JEDNOFÁZOVÉHO MOTORU PRO MĚŘENÍ

V druhém bodě zadání diplomové práce jsme vybrali pro měření jeden jednofázový asynchronní motor s běhovým kondenzátorem. Zde jsme proměřili jeho momentovou charakteristiku při připojení na jednofázovou síť.

Pro porovnání jsme tento motor namodelovali v programu Maxwell a spustili simulaci, kde nám program vymodeloval jeho charakteristiky, které pak porovnáme s vlastním měřením. Výkresovou dokumentaci pro vytvoření modelu motoru nám poskytla firma ATAS.

Jeho parametry jsou následující:

Příkon	550W
Napětí	230V
Kmitočet	50Hz
Otáčky	2650 ot/min



Obrázek 21 Jednofázový asynchronní motor s běhovým kondenzátorem

## 4.1 Simulace v Maxwellu

Podle výkresové dokumentace jsme museli zadaný jednofázový asynchronní motor s kondenzátorem vymodelovat a zadat do RMXprt design potřebné parametry. Po zakreslení jsme spustili simulaci.

Začali jsme nastavením stroje:

- Počet pólů – 2
- Třecí ztráty – 3W
- Ztráty ve vinutí – 10W
- Jmenovité otáčky – 2650rpm
- Typ zapojení – trvale připojený kondenzátor
- Kapacita kondenzátoru – 16 $\mu$ F

Properties: Project1 - RMXprtDesign1 - Machine

×

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Machine Type	Single Phase Induction Motor				<input checked="" type="checkbox"/>
Number of Poles	2			Number of poles of the ...	<input type="checkbox"/>
Rotor Position	Inner Rotor			Inner rotor or outer rotor	<input type="checkbox"/>
Frictional Loss	3	W	3W	The frictional loss meas...	<input type="checkbox"/>
Windage Loss	10	W	10W	The windage loss meas...	<input type="checkbox"/>
Reference Sp...	2650	rpm		The reference speed at...	<input type="checkbox"/>
Operation Mode	C-Run			Operation mode	<input type="checkbox"/>
Run Capacitan...	16	$\mu$ F	16 $\mu$ F	Capacitance of run cap...	<input type="checkbox"/>
Run Resistance	0	ohm	0ohm	Resistance of run capa...	<input type="checkbox"/>

Show Hidden

Obrázek 22 Základní nastavení motoru

Nastavení statoru:

- Zapsání všech rozměrů statoru
- Počet drážek – 24
- Činitel plnění – 0,95
- Počet drážek – 24
- Typ drážky
- Vytvoření potřebného materiálu pomocí B-H křivky

Properties: Project1 - RMxprtDesign1 - Machine

×

Stator

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Outer Diameter	120.6	mm	120.6mm	Outer diameter of the st...	<input type="checkbox"/>
Inner Diameter	64	mm	64mm	Inner diameter of the st...	<input type="checkbox"/>
Length	70	mm	70mm	Length of the stator core	<input type="checkbox"/>
Stacking Factor	0.95			Stacking factor of the s...	<input type="checkbox"/>
Steel Type	M700-50A			Steel type of the stator ...	<input type="checkbox"/>
Number of Slots	24			Number of slots of the s...	<input type="checkbox"/>
Slot Type	1			Slot type of the stator c...	<input type="checkbox"/>
Overall Width	120.6	mm	120.6mm	Overall width of the stat...	<input type="checkbox"/>

Show Hidden

Obrázek 23 Nastavení statoru

- Zaznamenání rozměrů drážky podle výkresové dokumentace

Properties: Project1 - RMxprtDesign1 - Machine

×

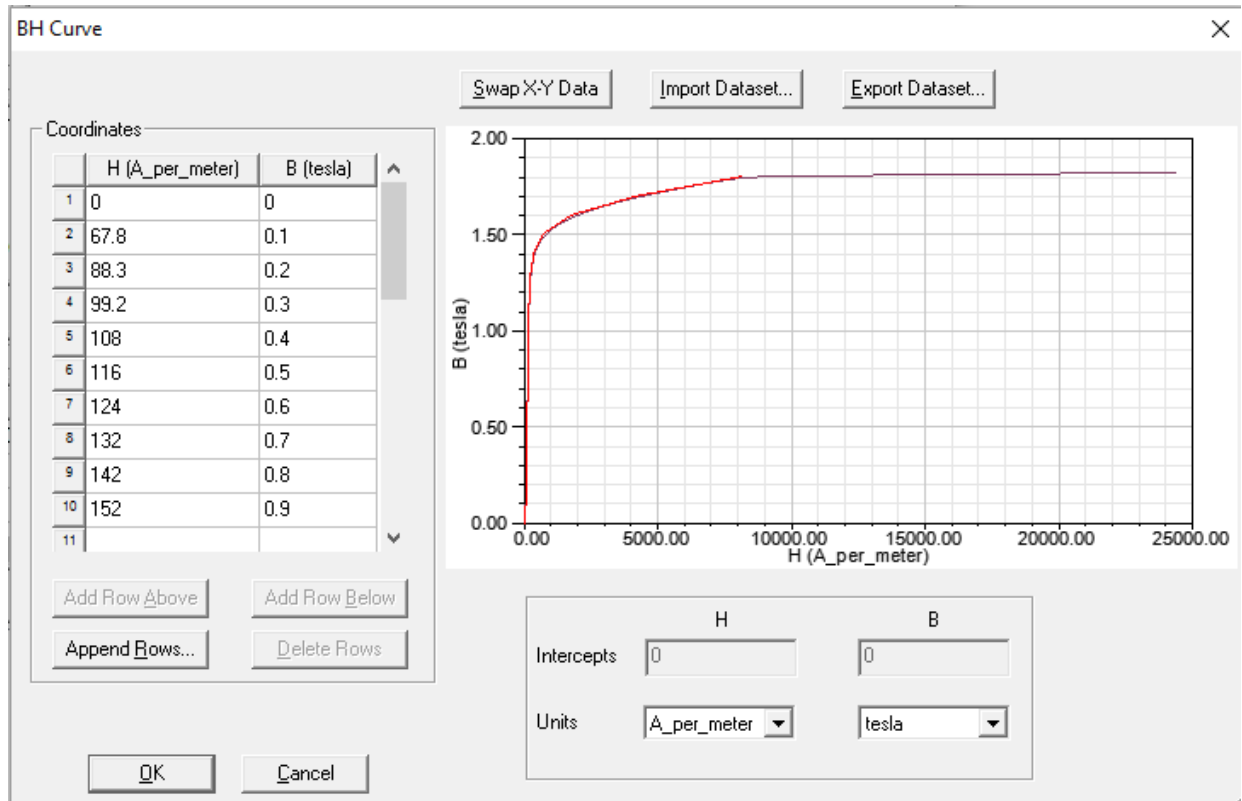
Slot

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Auto Design	<input type="checkbox"/>			Auto design Hs2, Bs1 a...	<input type="checkbox"/>
Parallel Tooth	<input type="checkbox"/>			Design Bs1 and Bs2 ba...	<input type="checkbox"/>
Hs0	0.52	mm	0.52mm	Slot dimension: Hs0	<input type="checkbox"/>
Hs2	6.11	mm	6.11mm	Slot dimension: Hs2	<input type="checkbox"/>
Bs0	2.3	mm	2.3mm	Slot dimension: Bs0	<input type="checkbox"/>
Bs1	5.4	mm	5.4mm	Slot dimension: Bs1	<input type="checkbox"/>
Bs2	6.9	mm	6.9mm	Slot dimension: Bs2	<input type="checkbox"/>

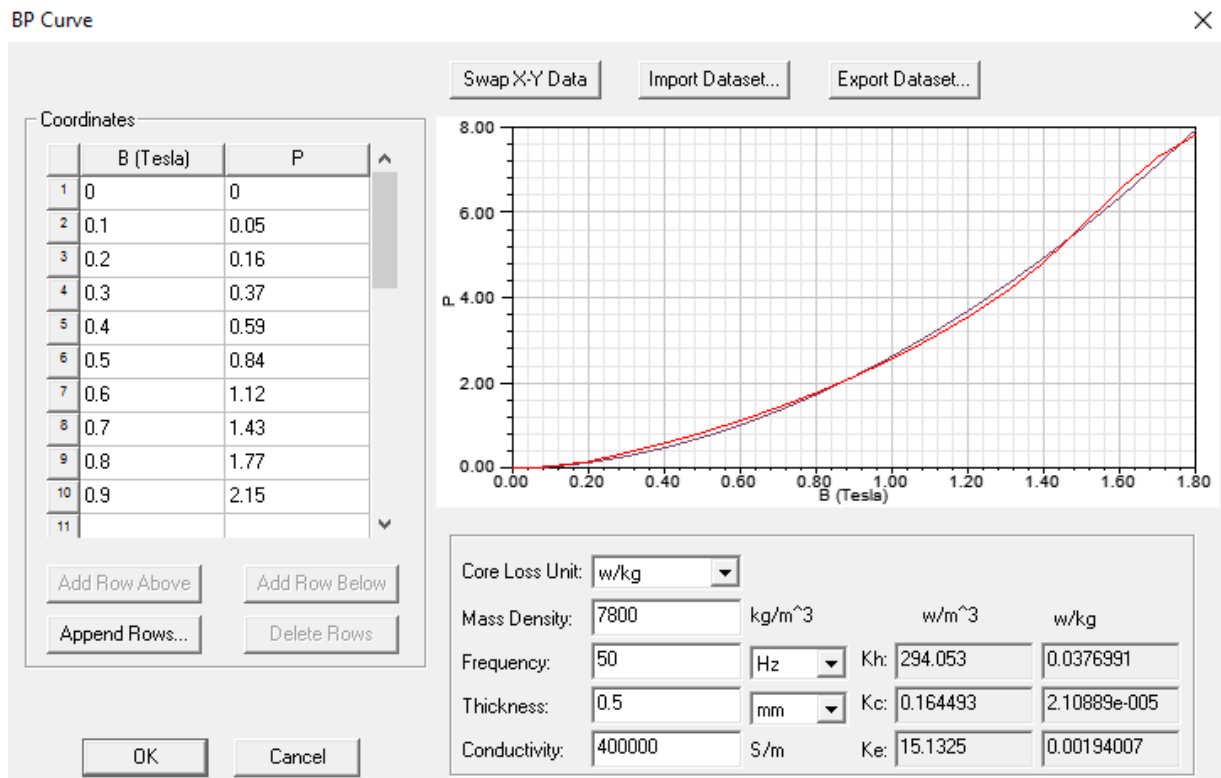
Show Hidden

Obrázek 24 Nastavení rozměrů drážky

V této fázi modelování musíme vytvořit v knihovně v Maxwellu nový materiál M700-50A a to pomocí B-H a B-P křivky. Údaje jsme získaly z datasheetu.



Obrázek 25 B-H křivka materiálu M700-50A



Obrázek 26 B-P křivka materiálu M700-50A

- Nastavení hlavního a pomocného vinutí statoru
- Hlavní vinutí 40 závitů
- Pomocné vinutí 80 závitů
- Průměr vinutí 0,6 mm

Name	Value	Unit	Evaluated Value
End Exten...	0	mm	0mm
Conductor...	40		40
Parallel Br...	1		
Number of...	2		2
Wire Wrap	0	mm	
Wire Size	Diameter: 0.6mm		

	Phase	Turns	In Slot	Out Slot
Coil_1	A	40	1	12
Coil_2	A	40	2	11
Coil_3	A	40	3	10
Coil_4	A	40	4	9
Coil_5	B	80	5	20
Coil_6	B	80	6	19
Coil_7	B	80	7	18
Coil_8	B	80	8	17
Coil_9	A	40	21	16
Coil_10	A	40	22	15
Coil_11	A	40	23	14
Coil_12	A	40	24	13

Name	Value	Unit	Evaluated Value
End Extension	0	mm	0mm
Conductors per Layer	80		80
Parallel Branches	1		
Number of Strands	2		2
Wire Wrap	0	mm	
Wire Size	Diameter: 0.6mm		

Nastavení rotoru:

- Činitel plnění – 0,95
- Materiál M700-50A
- Rozměry rotoru podle výkresové dokumentace
- Odlitá klec – Cast rotor
- Počet drážek – 17
- Typ drážky 3

Properties: Project1 - RMxprtDesign1 - Machine

×

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Stacking Factor	0.95			Stacking factor of the r...	<input type="checkbox"/>
Number of Slots	17			Number of slots of the r...	<input type="checkbox"/>
Slot Type	3			Slot type of the rotor core	<input type="checkbox"/>
Outer Diameter	63.4	mm	63.4mm	Outer diameter of the ro...	<input type="checkbox"/>
Inner Diameter	20	mm	20mm	Inner diameter of the ro...	<input type="checkbox"/>
Length	70	mm	70mm	Length of the rotor core	<input type="checkbox"/>
Steel Type	M700-50A			Steel type of the rotor c...	<input type="checkbox"/>
Skew Width	0.7		0.7	Skew width measured i...	<input type="checkbox"/>
Cast Rotor	<input checked="" type="checkbox"/>			Rotor squirrel-cage win...	<input type="checkbox"/>

Obrázek 27 Nastavení rotoru

Properties: Project1 - RMXprtDesign1 - Machine

Slot

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
	Hs0	0.3	mm	0.3mm	Slot dimension: Hs0	<input type="checkbox"/>
	Hs01	0.3	mm	0.3mm	Slot dimension: Hs01	<input type="checkbox"/>
	Hs1	3.025	mm	3.025mm	Slot dimension: Hs1	<input type="checkbox"/>
	Hs2	6.1	mm	6.1mm	Slot dimension: Hs2	<input type="checkbox"/>
	Bs0	0.89	mm	0.89mm	Slot dimension: Bs0	<input type="checkbox"/>
	Bs1	5.4	mm	5.4mm	Slot dimension: Bs1	<input type="checkbox"/>
	Bs2	3	mm	3mm	Slot dimension: Bs2	<input type="checkbox"/>
	Rs	0	mm	0mm	Slot dimension: Rs	<input type="checkbox"/>

Obrázek 28 Nastavení rozměrů drážky

Nastavení jmenovitých parametrů jednofázového asynchronního motoru:

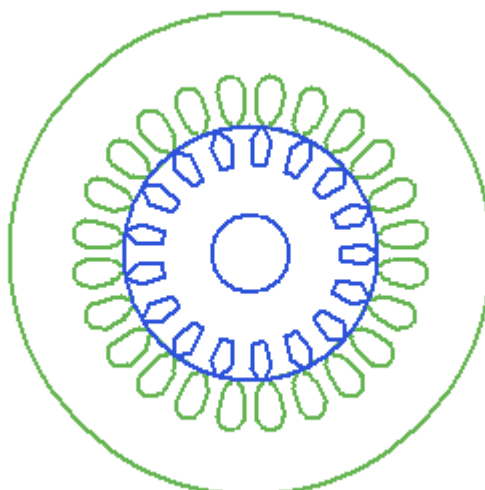
- Výkon motoru 550W
- Jmenovité napětí 230V
- Jmenovité otáčky 2650 ot./min
- Provozní teplota 75° C

Properties: Project1 - RMXprtDesign1

General | IndM1

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
	Name	Setup1				<input checked="" type="checkbox"/>
	Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
	Operation Type	Motor			Motor or generator	<input checked="" type="checkbox"/>
	Load Type	Const Power			Mechanical load type	<input type="checkbox"/>
	Rated Output ...	550	W	550W	Rated mechanical or el...	<input type="checkbox"/>
	Rated Voltage	230	V	230V	Applied rated line-to-lin...	<input type="checkbox"/>
	Rated Speed	2650	rpm	2650rpm	Given rated speed	<input type="checkbox"/>
	Operating Tem...	75	cel	75cel	Operating temperature	<input type="checkbox"/>

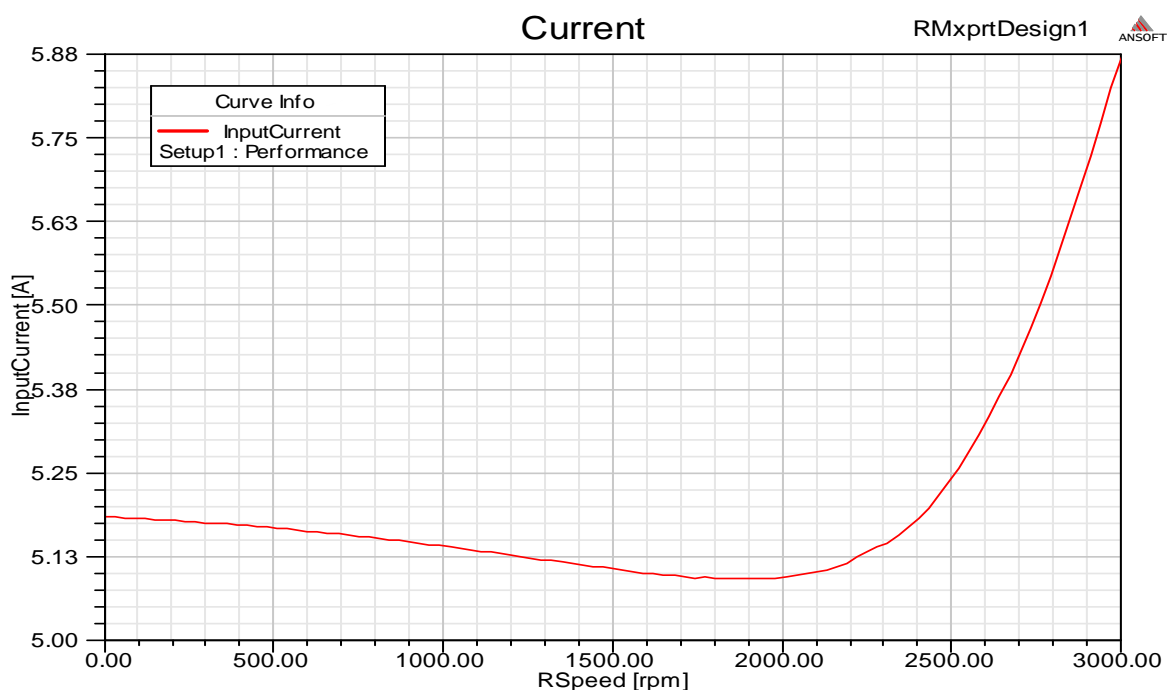
Obrázek 29 Zadání jmenovitých parametrů



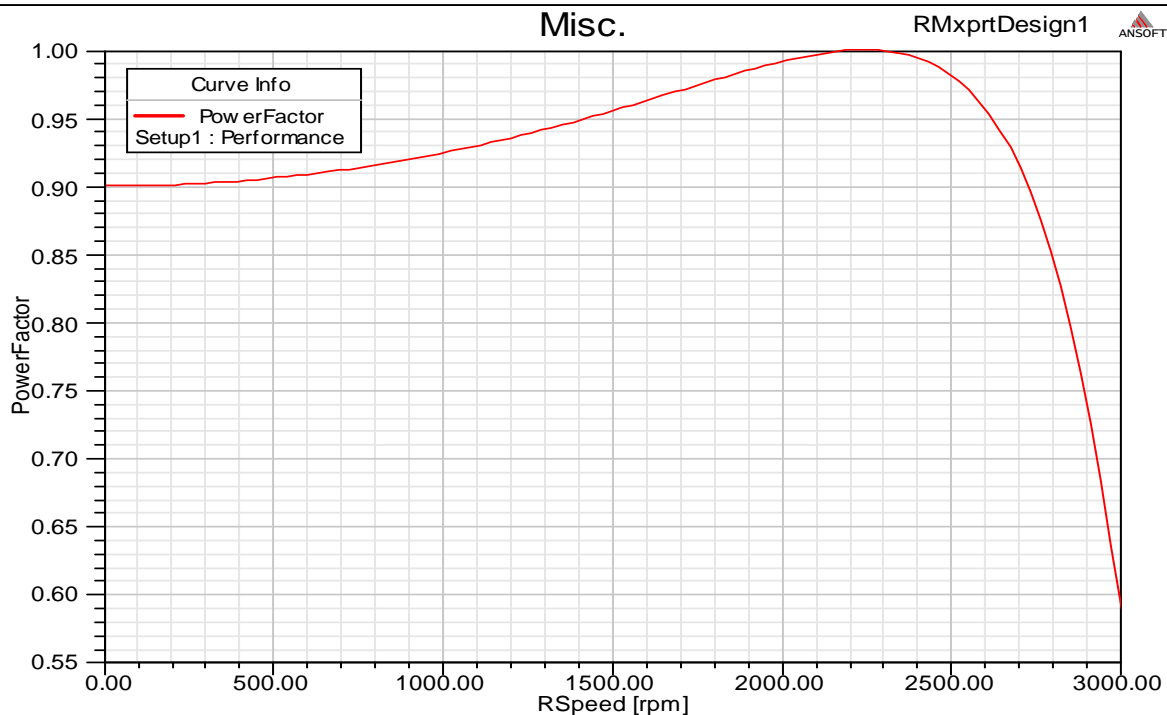
Obrázek 30 Hotový model v Maxwellu

Výsledky simulace:

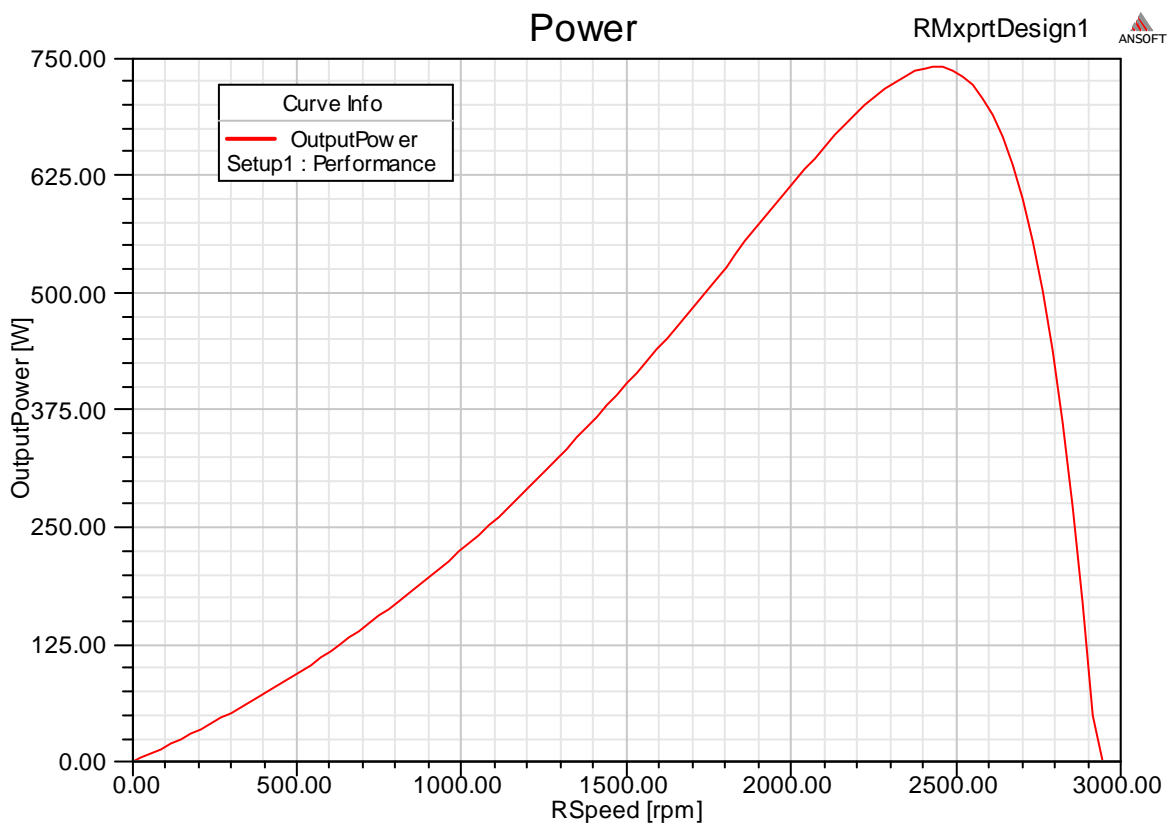
Po spuštění analýzy jsme získali grafy, které pak porovnáme s vlastním měřením momentové charakteristiky.



Obrázek 31 Závislost proudu na otáčkách

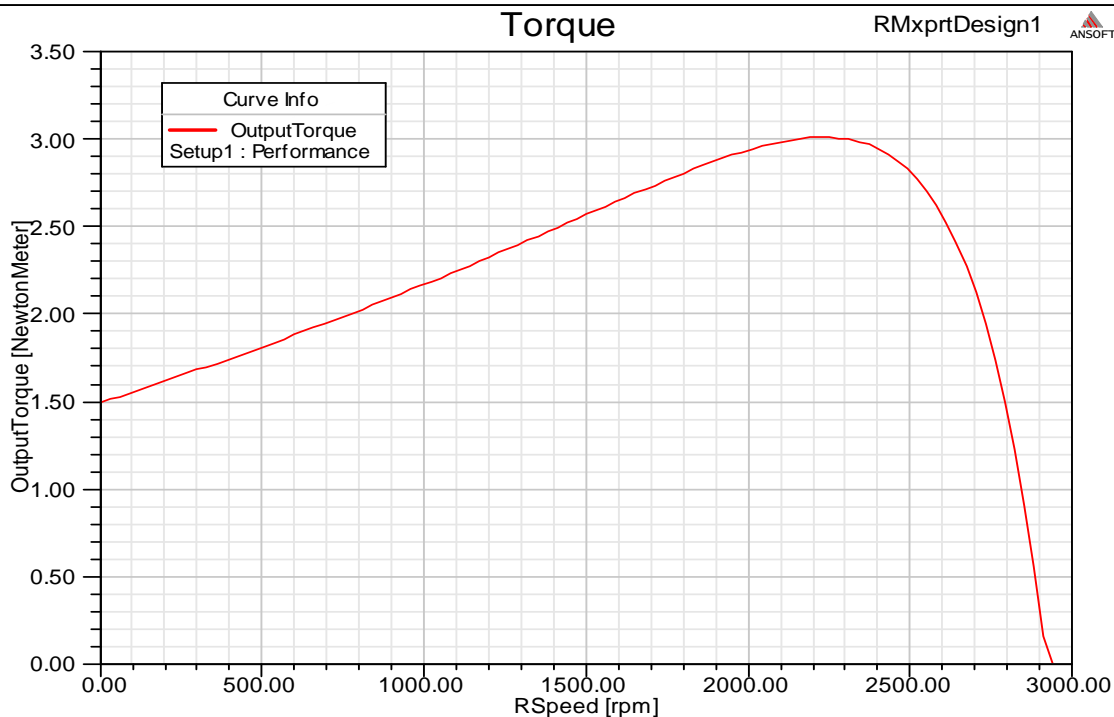


Obrázek 32 Závislost účinníku na otáčkách motoru

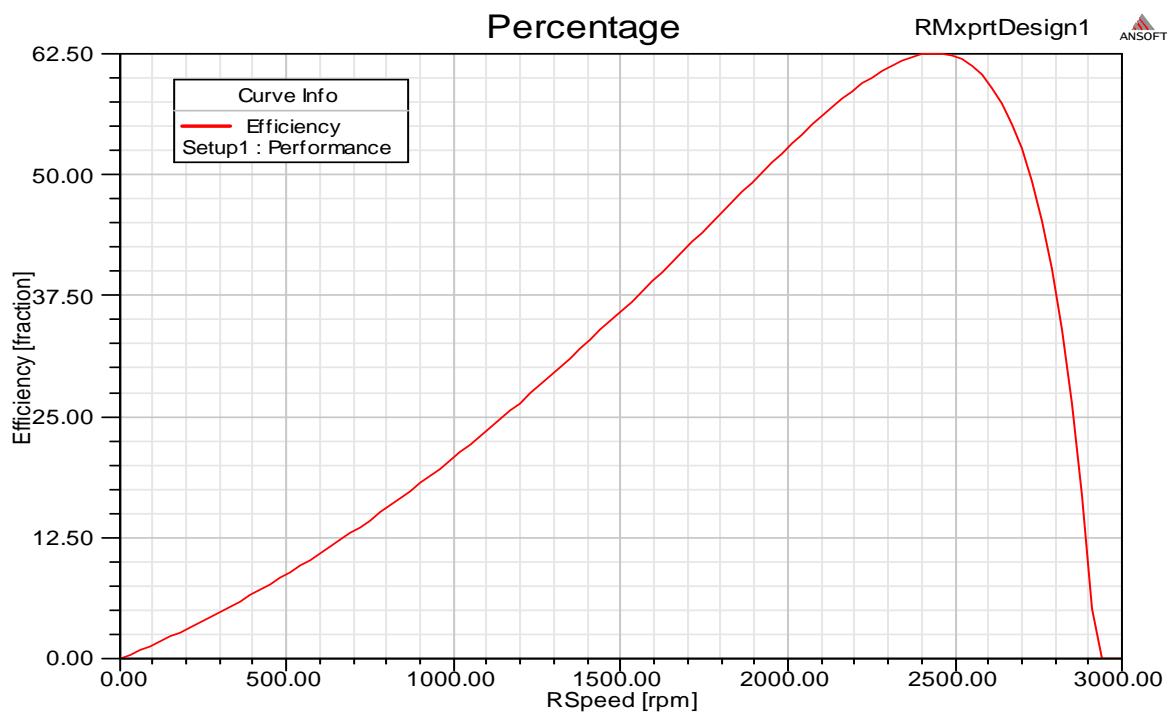


Obrázek 33 Závislost příkonu na otáčkách





Obrázek 34 Závislost momentu na otáčkách



Obrázek 35 Účinnost v závislosti na otáčkách

## 4.2 Vlastní průběh měření

Nyní proměříme vybraný jednofázový asynchronní motor s provozním kondenzátorem při připojení na nn síť.

Při měření jednofázového asynchronního motoru s provozním kondenzátorem budeme postupovat následovně. Nejprve připojíme nezatížený motor na svorky napájení. Sériově mezi svorky připojíme ampérmetr, ze kterého budeme odečítat odebíraný proud a na hřídel připojíme dynamometr.

Momentová charakteristika je závislost točivého momentu na otáčkách, nebo skluzu.

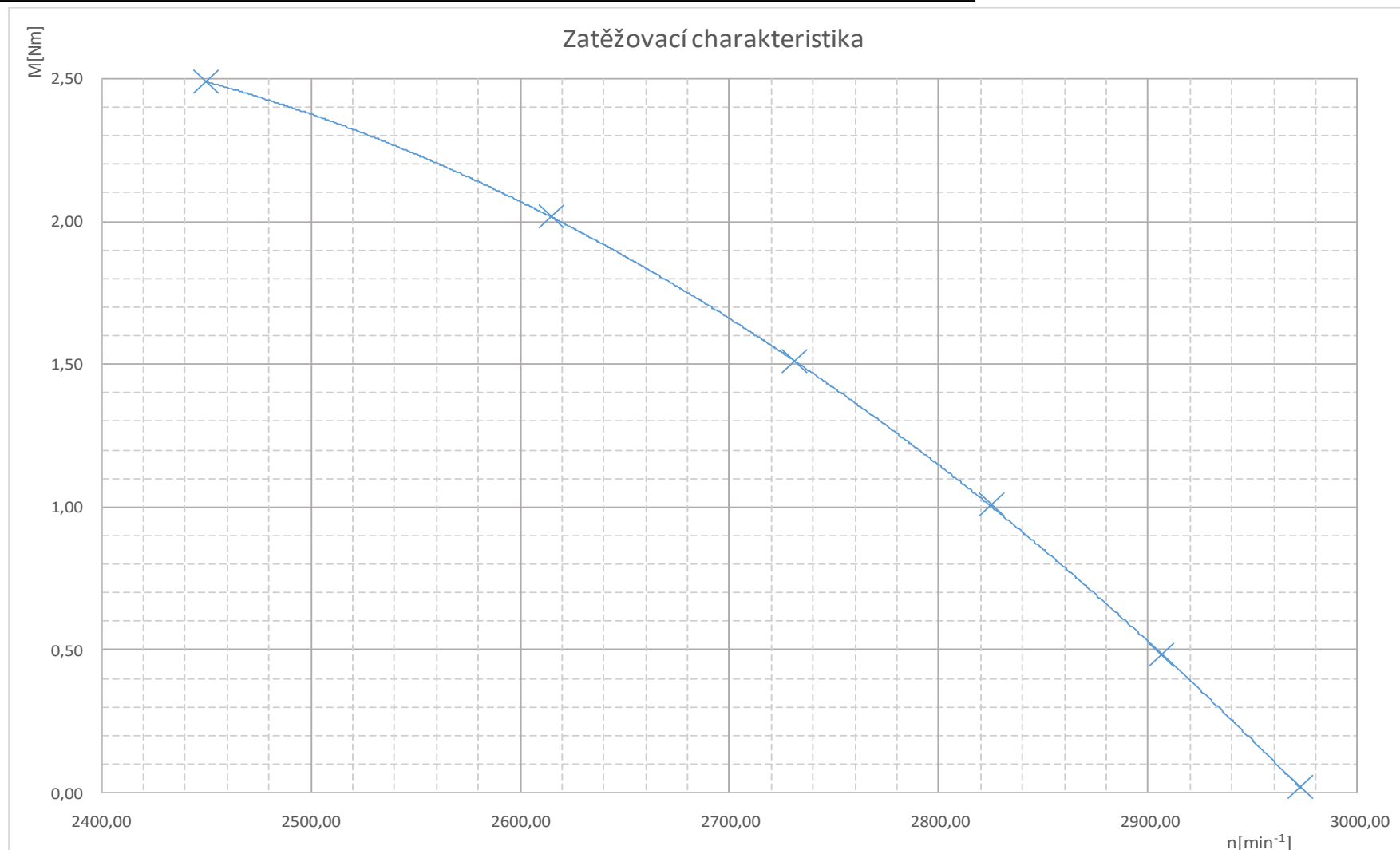
$M = f(n)$ ,  $M = f(s)$  při  $U_1 = \text{konst.}$  a  $f = \text{konst.}$

Při tomto měření rovněž zjistíme závislost  $I_1 = f(n)$ .

V naší situaci budeme zjišťovat statickou momentovou charakteristiku. Jedná se o průběh točivého momentu (střední hodnoty) v závislosti na otáčkách. Budeme měřit vždy v ustálených stavech na dynamometru.

*Tabulka 1 Naměřené hodnoty jednofázového asynchronního motoru*

	Otáčky	Napětí	Proud	Příkon	Účinnost	Moment	Proud pomocného vinutí
	ot./min	V	A	W	-	N.m	A
1	2450	229,12	4,88	1053,10	0,94	2,49	1,64
2	2615	229,60	3,93	830,15	0,92	2,02	1,73
3	2731	229,68	3,26	652,59	0,87	1,51	1,80
4	2825	229,79	2,75	494,62	0,78	1,01	1,86
5	2906	229,94	2,49	357,10	0,62	0,48	1,93
6	2973	229,88	2,47	246,31	0,43	0,02	2,01



Obrázek 36 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru s provozním kondenzátorem

## 5 VÝSLEDEK MĚŘENÍ A SIMULACE V MAXWELLU

Z Výsledku je vidět, že změřená momentová charakteristika odpovídá teorii. S rostoucími otáčkami nám po určité době roste moment a poté od určitých otáček začne značně klesat, ale naopak začne růst proud. Nejlepší účinnosti dosahuje při svých jmenovitých otáčkách a to 62,5%. Toto nám potvrdila simulace v Maxwellu.

Drobné odchylky hodnot od simulace přisuzujeme nepřesnosti měření.

## 6 ZÁVĚR

Principiálně lze říci, že pole jednofázového asynchronního motoru vytvořené závitem nakrátko působí proti magnetickému poli statoru a tím dojde k roztočení motorku. Je to stejné, jak kdybychom použili pro rozběh motorku pomocnou fázi. Výsledkem je, že motorek se může točit pouze jedním směrem a nelze ho reverzovat.

Tento jednofázový asynchronní motor se stíněným pólem se stále hojně využívá pro svou jednoduchou a levnou konstrukci. Protože není vinutí v drážkách a je malých rozměrů, jedná se o velmi tichý motorek.

Využití tohoto motorku je například pro pohon různých čerpadel (pračky, myčky,...), pohon malých domácích spotřebičů a dříve i pro pohon gramofonového přehrávače. Tento fakt nás vedl k tomu, jestli by nebylo možné tyto motorčky používat v automobilovém průmyslu. Využívaly by se pro pohon ventilátorů ve větracím systému automobilu. Tato aplikace má však problém v tom, že pro napájení malého jednofázového asynchronního motorku musí být použit měnič. A aby byly splněny požadavky na bezpečnost, musel by být měnič součástí motorku. Tudíž celá realizace tohoto využití by byla ekonomicky nevýhodná.

V této práci jsme se také zabývali simulací vybraného jednofázového asynchronního motoru v programu Maxwell a poté pro ověření také vlastním měřením momentové charakteristiky jednofázového asynchronního motoru připojeného na síť. Výsledky měření momentové charakteristiky nám potvrdila simulace v Maxwellu. Drobné odchylky přisuzujeme chybě měření.

Co se týče jednoduchosti a provozní spolehlivosti jednofázového asynchronního motoru s kondenzátorem, jsou na tom nejlépe motory se stíněnými póly. Jsou prakticky nezničitelné, pokud je nespálíme přetěžováním. Mají ale poměrně dost nevýhod, není možná rezervace, značné ztráty v závitě nakrátko, z toho vyplývá nízká účinnost do 40%. Z tohoto důvodu se uplatňují jen do výkonu okolo 200W.

Nejlepších provozních vlastností asynchronního motoru lze dosáhnout použitím trvale připojeného kondenzátoru. Pokud ale kondenzátor není správně navržen, může motor mít i horší vlastnosti než motor s odporovým rozběhem. S využitím kondenzátoru lze i trojfázový motor provozovat jako jednofázový a to tak, že k jedné z fází připojíme do série kondenzátor.

Jednofázové asynchronní motory s trvale připojeným kondenzátorem se využívají do výkonu 2 kW a můžeme se s nimi setkat v domácích spotřebičích a menších pracovních strojích nebo jako pohon ventilátorů v budovách.

---

## LITERATURA

- [1] *Investice do rozvoje vzdělání* [online]. [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.isstehn.cz/objekty/vy-32-inovace-h-3-20.pdf>
- [2] *Elektromotory Atas* [online]. [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.loziska-vokoun.cz/elektromotory-atas/jednofazove-se-stinenym-polem/>
- [3] *Elektromotory Atas. A24N* [online]. [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.loziska-vokoun.cz/elektromotory-atas/jednofazove-se-stinenym-polem/Trakcni-baterie-katalog>
- [4] *Možnosti modelování asynchronního motoru se stíněným pólem* [online] [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: [https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/2685/Diplomova\\_prace\\_Lubos\\_Zenisek\\_E09N0066P.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/2685/Diplomova_prace_Lubos_Zenisek_E09N0066P.pdf?sequence=1)
- [5] *Přehled a zapojení motorů* [online]. [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://mylms.cz/text-prehled-a-zapojeni-motoru/#1fasynchronni>
- [6] *Asynchronní motor* [online]. [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://referaty-seminarky.cz/asynchronni-motor/>
- [7] *Asynchronní motor s stíněným pólem* [online]. [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=8214PI](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8214PI)
- [8] Štěpina J., *Jednofázové indukční motory. SNTL Praha 1957*