

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

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

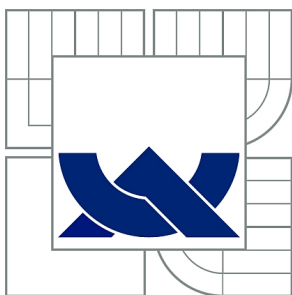
NÁVRH A MODERNIZACE AUTOMOBILOVÉHO STARTÉRU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

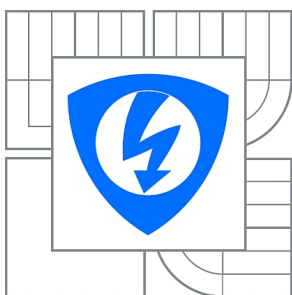
VOJTĚCH BEDNÁŘ

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A
ELEKTRONIKY

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

NÁVRH A MODERNIZACE AUTOMOBILOVÉHO STARTÉRU

DESIGN AND MODERNIZATION OF AUTOMOTIVE STARTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

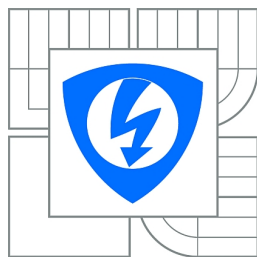
VOJTĚCH BEDNÁŘ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. VÍTĚZSLAV HÁJEK, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Vojtěch Bednář

ID: 145969

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a modernizace automobilového startéru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište druhy a provedení automobilových startérů
2. Stanovte základní technické požadavky na startér v souvislosti se spalovacím motorem.
3. Provedte elektromagnetický návrh automobilového startéru a ověřte na příkladu podle zadání vstupních hodnot.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Koziej E., Mazsyny elektryczne pojazdów samochodowych. WNT Warszawa, 1984, ISBN 83-204-0515-7
- [2] Hájek V., Kuchyňková H., Requirements and design of the starting system. XIV. International symposium on Electrical Machines - ISEM 2006. ČVUT, Praha, 2006, s. 69 - 78, ISBN 80-01-03548-4
- [3] Hájek V., Kuchyňková H.: Starter Motor Dimension. XLII International Symposium on Electrical Machines SME 2006. Cracow University of Technology, Poland, s. 99 - 102, ISBN 83-88309-36-6
- [4] T. Denton, Automobile Electrical and Electronics Systems" Butterworth-Heinemann, Oxford 2001 ISBN 0-340-73195-8

Termín zadání: 27.9.2013

Termín odevzdání: 2.6.2014

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

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Práce se zabývá modernizací automobilového startéru. V první a druhé části byla provedena analýza druhů startérů z hlediska konstrukce a rozboru pohonu startéru.

V třetí části byl proveden elektromagnetický návrh stejnosměrného motoru s permanentními magnety dle zadaných parametrů, jenž je pohonem zadaného startéru.

Abstract

The work deals with modernization of an automobile starter. In first and second part, we can find the analysis of types of starters according to construction and the analysis of gear of a starter.

In third part, there is the analysis of electromagnetic layout of direct current motor with permanent magnets according to given parameters which is the gear of given starter.

Klíčová slova

Startér; Stejnosměrný motor; Pastorek; Automobil; Výpočet; Permanentní magnety

Keywords

Starter; Direct current motor; Gear pinion; Car; Calculation; Permanent magnets

Bibliografická citace

BEDNÁŘ, V. Návrh a modernizace automobilového startéru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 37 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Návrh a modernizace automobilového startéru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne

Podpis autora

Poděkování

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

V Brně dne

Podpis autora



Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	11
1 PROBLEMATIKA STARTOVÁNÍ AUTOMOBILU	12
1.1 PRINCIP STARTOVÁNÍ	12
1.1.1 DRUH ROZBĚHU	12
1.2 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR	12
1.2.1 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY POUŽÍVANÉ VE STARTÉRECH	12
1.3 SPOUŠTĚČ.....	13
1.3.1 DRUHY STARTÉRŮ.....	13
2 PŘÍZPŮSOBNÍ AUTOMOBILOVÉHO STARTÉRU SPALOVACÍMU MOTORU	19
2.1 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ POŽADAVKY NA STARTÉR.....	19
2.2 ZTRÁTY VE STEJNOSMĚRNÝCH STROJÍCH	19
2.2.1 ZTRÁTY MECHANICKÉ	19
2.2.2 ZTRÁTY ELEKTROMAGNETICKÉ.....	19
2.3 MOŽNOSTI SNÍŽENÍ ZTRÁT STEJNOSMĚRNÉHO STROJE	20
2.3.1 SNÍŽENÍ MAGNETIZAČNÍCH ZTRÁT	20
2.3.2 SNÍŽENÍ VENTILAČNÍCH ZTRÁT	20
2.3.3 SNÍŽENÍ DODATEČNÝCH ZTRÁT	20
3 ELEKTROMAGNETICKÝ NÁVRH.....	21
3.1 ZADANÉ HODNOTY	21
3.2 ANALYTICKÝ VÝPOČET.....	21
3.2.1 ANALYTICKY VYPOČTENÉ CHARAKTERISTIKY STARTÉRU	30
3.3 OVĚŘENÍ RUČNÍHO VÝPOČTU PROGRAMEM MAXWELL.....	32
3.3.1 VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY MOTORU Z RMXPRT	34
4 ZÁVĚR.....	36
LITERATURA	37



SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Startér s výsuvnou kotvou [1].....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 2 Startér se systémem Bendix [1]</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 3 Startér s výsuvným pastorkem [1]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 4 Startér s vnitřním planetovým převodem [1]</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 5 Startér s dvoustupňovým výsuvným pastorkem [2]</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 6 Odečtení indukce ve vzduchové mezeře</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 7 Závislost indukovaného napětí na procházejícím proudu</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 8 Závislost otáček na procházejícím proudu.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 9 Závislost výkonu na hřídeli motoru na procházejícím proudu.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 10 Závislost momentu motoru na procházejícím proudu.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 11 Stator motoru v RMxpřt</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 12 Pól motoru v RMxpřt</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 13 Rotor motoru v RMxpřt.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 14 Model motoru v RMxpřt.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 15 Závislost otáček na procházejícím proudu.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 16 Závislost výkonu na hřídeli motoru na procházejícím proudu</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 17 Závislost momentu motoru na procházejícím proudu.....</i>	<i>35</i>



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

D_{EX}	Vnější průměr kostry	[mm]
D_{VN}	Vnitřní průměr kostry	[mm]
l_S	Délka kostry	[mm]
D_A	Průměr rotoru	[mm]
l_A	Délka svazku plechu rotoru	[mm]
Z	Počet drážek	[-]
h_N	Hloubka drážky	[mm]
b_N	Šířka drážky	[mm]
b_{N1}	Šířka otevřené drážky	[mm]
D_H	Průměr hřídele	[mm]
$2P$	Počet pólů	[-]
b_{P0}	Šířka pólu	[mm]
V_X	Délka pólového krytí	[mm]
l_m	Délka pólu	[mm]
h_M	Výška pólu	[mm]
D_R	Průměr rozteče pólu	[mm]
D_{AM}	Max. průměr zubové vrstvy	[mm]
D_{AN}	Min. průměr zubové vrstvy	[mm]
δ_M	Min. délka vzduchové mezery	[mm]
δ_N	Max. délka vzduchové mezery	[mm]
W_B	Počet závitů budící cívky	[-]
p_P	Tlak pružin na kartáče	[N]
S_A	Průřez vodiče rotoru	[mm ²]
N_C	Počet vodičů kotvy	[-]
A_2	Počet paralelních větví	[-]
U_N	Napětí baterie	[V]
D_K	Průměr komutátoru	[mm]
Q_{UK}	Úbytek napětí pod kartáči	[V]
S_B	Průřez vodiče budící	[mm ²]
N_K	Počet kartáčů	[-]
MMS	Magnetomotorická síla	
A_1	Délka	[mm]



B_1	Šířka	[mm]
R	Poloměr zaoblení	[mm]
b_C	Šířka svazku vodičů	[mm]
K_{FE}	Činitel plnění	[-]
Γ	Měrná vodivost vodičů	[S*m/mm ²]
Q_1	Délka vzduch. Mez POL – JHO	[mm]
R_B	Vnitřní odpor baterie	[mΩ]
G_{FE}	Měrná hmotnost mg. Materiálu	[kg/m ³]



ÚVOD

Téma této bakalářské práce je NÁVRH A MODERNIZACE AUTOMOBILOVÉHO STARTÉRU. K uvedení pohonu automobilu do chodu se již několik desítek let využívají elektrické startéry. Jejich základem většinou bývá stejnosměrný motor se sériovým buzením nebo permanentními magnety, elektromagnet a pastorek. Ovšem problém těchto startérů je velký rozběhový proud. Ten má za následek velké nároky na používané akumulátory v automobilu.

Tato bakalářská práce se zabývá elektromagnetickým návrhem automobilového startéru, jehož rozměry byly zadány.

1 PROBLEMATIKA STARTOVÁNÍ AUTOMOBILU

1.1 Princip startování

Aby vznětový, nebo zážehový motor automobilu mohl být uveden do chodu, musí být nejprve mechanicky roztočen na určitou velikost startovacích otáček. Tyto startovací otáčky se liší v závislosti nejen na obsahu nebo výkonu motoru, ale především na jeho typu. Pro vznětový motor se startovací otáčky pohybují v rozmezí 150 – 250 ot/min a pro zážehový motor v rozmezí 90 – 110 ot/min, a to za velmi nízkých teplot (cca - 35°C).

1.1.1 Druh rozběhu

V minulosti byl pro rozběh používán mechanický klikový systém. Tento systém byl sice velmi jednoduchý, ale fyzicky náročný. Proto bylo dříve používání automobilu výhradně mužskou záležitostí. Ani po příchodu prvních elektrických spouštěčů tomu nebylo jinak. Ty byly nejprve zavrhovány, ale postupem času a se stále větším využíváním automobilů většinou populace se klikový systém stal zastaralým a v dnešní době už jej zcela nahradil spouštěč elektrický.

1.2 Stejnosměrný motor

Stejnosměrný stroj je historicky nejstarší stroj používaný k výrobě elektrické energie nebo k přeměně elektrické energie na mechanickou. V dnešní době se používají většinou v motorovém režimu, tedy přeměny elektrické energie na mechanickou. Mají menší rozměry a hmotnost než střídavé stroje, ale jejich hlavním problémem je použití komutátoru a kartáčů, mezi nimiž je hlavní zdroj elektromagnetického rušení a poruch. Stejnosměrné motory se vyznačují především jejich velkým záběrovým momentem a poměrně malou časovou konstantou.[2]

1.2.1 Stejnosměrné motory používané ve startérech

- 1) Stejnosměrný motor se sériovým buzením
- 2) Stejnosměrný motor s permanentními magnety

1.2.1.1 Stejnosměrný motor se sériovým buzením

Budící vinutí stejnosměrného motoru se sériovým buzením je zapojeno v sérii s vinutím kotvy. Veškerý proud kotvy protéká i budícím vinutím a je tedy stejně velký. Motory se sériovým buzením mají ze všech stejnosměrných motorů největší rozběhový moment. Při rozběhu bez zatížení postupně klesá proud a slábnutí budícího pole podporuje další nárůst otáček. Při nárůstu zatížení motoru se sériovým buzením narůstá společný proud v kotvě i budícím vinutí, klesají otáčky a narůstá točivý moment. Otáčky motoru se sériovým buzením jsou velmi závislé na zatížení. Pokles otáček motoru se sériovým buzením při nárůstu zatížení je zvláště veliký, je-li motor v provozu se spouštěcím odporem. Při nárůstu proudu se pak ještě zmenšuje napětí o úbytek na spouštěcím odporu. [2]

1.2.1.2 Stejnosměrný motor s permanentními magnety

Stejnosměrné motory s permanentními magnety mají celou řadu předností, mezi které patří v první řadě konstrukční jednoduchost, větší spolehlivost a menší objem a hmotnost, zvláště při použití permanentních magnetů vyrobených ze vzácných zemin. Mezi výhody motorů s permanentními magnety dále patří schopnost motoru "držet polohu" i po odpojení od sítě. Mezi

nevýhody patří zejména omezená možnost změny budicího magnetického toku. V některých aplikacích je vyžadován velký točivý moment při jednom směru pohybu a velká rychlost v opačném směru. Pro velký moment potřebujeme velkou hodnotu K_m , pro velkou rychlost otáčení naopak malou hodnotu K_m . V případě konstantního magnetického toku by byly kladeny neúnosné nároky na napájecí elektronický zdroj. [2]

1.3 Spouštěč

Automobilový spouštěč, nebo-li startér (dále jen startér) slouží k roztočení motoru na jeho startovací otáčky. Startér je v podstatě stejnosměrný motor se sériovým buzením nebo permanentními magnety. Tyto druhy se volí z důvodu jejich momentových charakteristik. Hřídel startéru je s motorem spojena pomocí převodového kola s poměrem převodů 1/16. Optimální převod mezi startérem a motorem by měl být 1/20. K docílení tohoto převodu se využívá planetové převodovky, která musí mít převod 1/3,33.

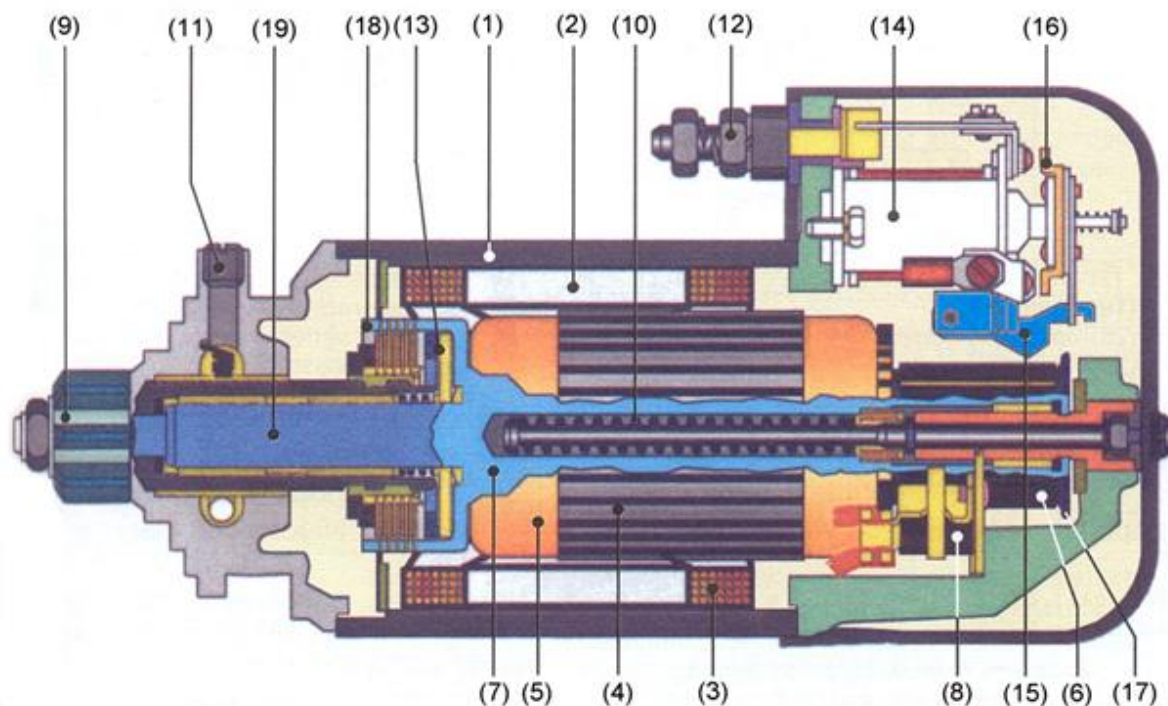
1.3.1 Druhy startérů

Z hlediska konstrukčního rozdělení startérů rozdělujeme startéry podle toho, jak se vysouvá pastorek do záběru s věncem setrvačníku motoru:

- 1) Startér s výsuvnou kotvou
- 2) Startér systému Bendix
- 3) Startér s výsuvným pastorkem
- 4) Startér s výsuvným pastorkem s vnitřním převodem
- 5) Dvoustupňový startér s výsuvným pastorkem

1.3.1.1 Startér s výsuvnou kotvou

Konstrukčně se jedná o dvoustupňový princip spouštění. Výsuv pastorku je prováděn pohybem celé kotvy. U těchto spouštěčů je zasouvání řešeno tak, že se pastorek otáčí kolem hřídele startéru, se kterým je spojen pomocí volnoběžné spojky. Zasouvání pastorku se děje spolu s pohybem celé kotvy. Kotva s pastorkem se společně pohybují v ložiskách. V klidu je kotva částečně vysunuta ze statoru účinkem pružiny. Teprve když je stator vlivem budicího vinutí zmagnetován, je pohyb využit i pro zasunutí pastorku do ozubeného setrvačníku. Startér má kromě hlavního sériového vinutí ještě dvě budicí vinutí pomocná. Toto pomocné buzení ve většině případů bývá buzení kompaundní. Spouštění je dvoustupňové. *V prvním stupni, po sepnutí tlačítka, vtáhne elektromagnet své jádro a spínací můstek spojí kontakt. Sepnutím kontaktu brání páka držená západkou. Kontakt připojí obě pomocná vinutí.* Magnetické pole, které nastane, začne vtahovat kotvu a pastorek zasune do setrvačníku. Když je pastorek téměř zasunut, uvolní kroužek západku a spojí se kontakt. Spojí se hlavní, budicí vinutí a startér vyvíjí velký záběrný moment. Spouštěč se rozbíhá a síla přemáhající pružinu klesá z důvodu poklesu procházejícího proudu. Paralelní vinutí udržuje kotvu v pracovní poloze a omezuje vyšší otáčky spouštěče. Hlavní nevýhodou tohoto startéru je velká hmotnost posuvné části. Stojí-li automobil v kopci nebo na zešikmené ploše a tíha rotoru působí proti pohybu pastorku, mohou nastat problémy se zasunutím a startér nesplní svou funkci. [1]



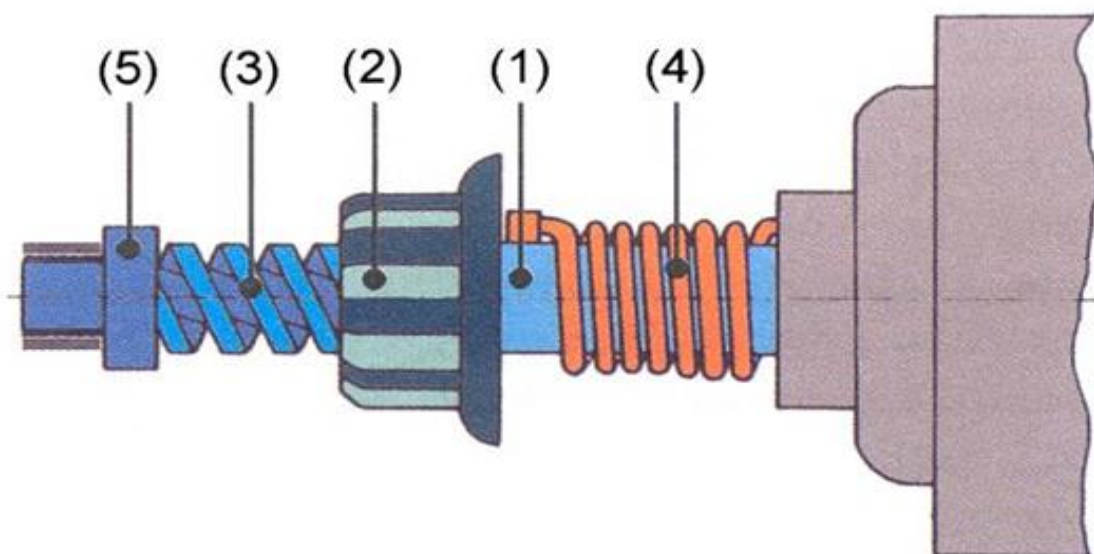
Obrázek 1 Startér s výsuvnou kotvou [1]

1- Pouzdro statoru	8- Kartáč	14- Ovládací relé
2- Pólový nástavec	9- Pastorek	15- Západka
3- Statorové vinutí	10- Vratná pružina	16- Sklopný můstek
4- Rotor (Kotva)	11- Šroub s mazacím otvorem	17-
5- Vinutí rotoru	12- Přívod proudu	18- Uvolňovací kroužek
6- Komutátor	13- Momentová spojka	19- Unášec
7- Hřídel rotoru		20- Hřídel pastorku

1.3.1.2 Startér se systémem BENDIX

U systému Bendix se k zasunutí pastorku do záběru využívá setrvačné energie samotného pastorku. Na hřídeli je nasazeno pouzdro se strmým závitem, které je spojeno pomocí silné pružiny. Na závitu je volně uložen pastorek, který se díky své uměle vytvořené nevyváženosti zastavuje směrem k zemi. Po zapnutí proudu, který teče z akumulátoru do zátěže, se zprudka roztočí kotva, ale pastorek díky svému setrvačnému momentu vklouzne do záběru se setrvačníkem motoru šroubovým způsobem. Pružina snižuje náraz a překrucování hřídele, protože naprázdno roztočená kotva má velkou pohybovou energii. Jakmile je motor spuštěn, pastorek se sám zpět zasune ze záběru. [1]

Spouštěče se systémem Bendix jsou velmi jednoduché, ale dochází při jejich použití k velkému a rychlému opotřebení ozubení pastorku a věnce, k praskání pružin a vysunutí pastorku ze záběru při náznaku rozběhu motoru. [1]

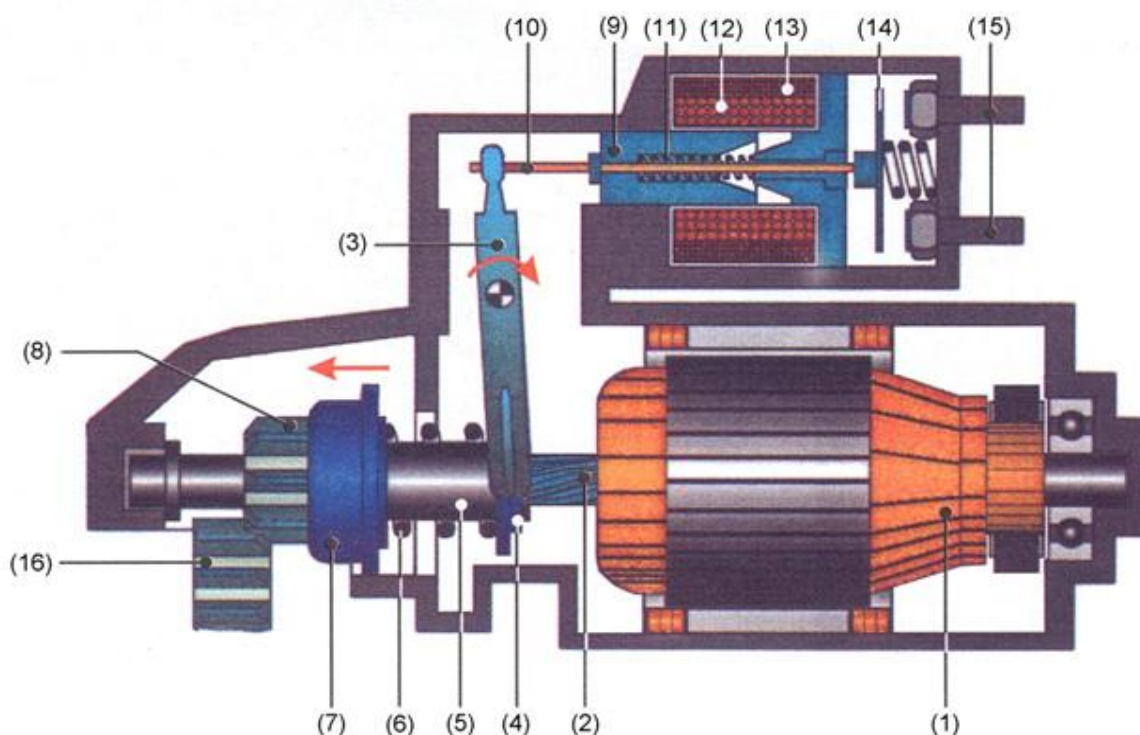


Obrázek 2 Startér se systémem Bendix [1]

- | | |
|---------------------------------|--------------------|
| 1- Hřídel rotoru | 4- Tlumicí pružina |
| 2- Pastorek | 5- Doraz |
| 3- Pouzdro s pohyblivým závitem | |

1.3.1.3 Startér s výsuvným pastorkem

Tento systém konstrukčního zhotovení je v dnešní době nejpoužívanějším startérem. Po sepnutí klíčku v zapalování se nejprve sepne kontakt, kterým protéká proud do elektromagnetu, který pomocí páky zasune pastorek do záběru. Jakmile je pastorek v koncové poloze, sepne se kontakt, kterým teče proud do samotného motoru startéru, který vytvoří záběrný moment. Záběrové pouzdro volnoběžky se posouvá po hřídeli buď pomocí více šroubových drážek, nebo po přímých drážkách. Pro malé startéry postačí šroubové drážky, protože je možné použít elektromagnet s menším zdvihem. Vinutí se obvykle skládá ze dvou částí. Jejich magnetomotorické síly se sčítají. Válcové jádro elektromagnetu je z důvodu lepšího průběhu tažné síly ve zdvihu zakončeno kuzelem. Zasouvací páka, která je otočná kolem pevného čepu se pootočí ve směru přitažením jádra. Kolíky její vidlice začnou posunovat levou polovinu dělené objímky. Tím se stlačuje „přední“ pružina a posouvá zasouvací pouzdro, které též tvoří vnitřní část volnoběžky. Konec hřídele je vytvořen jako šroub s velmi strmým závitem. Zasouvací pouzdro tvoří matici pro tento šroub. Pastorek se tedy přibližuje k ozubení setrvačníku šroubovým pohybem. Setká-li se zub pastorku s mezerou mezi zuby setrvačníku, zasune se hned do záběru. Zuby setrvačníku i zuby pastorku jsou na čelní straně sraženy, aby se usnadnilo zasunutí pastorku do setrvačníku. Spouštěč dostane proud a vyvodí točivý moment, který účinkem šroubu zatlačí pastorek do úplného záběru. Spouštěč protáčí spalovacím motorem tak dlouho, dokud je uzavřen kontakt. Doběh spouštěče zkracuje třecí brzdíčka vytvořená v jednom z ložiskových štítů pružinou a brzdící podložkou. Brzdíčka též omezuje otáčky nezatíženého spouštěče. [1]

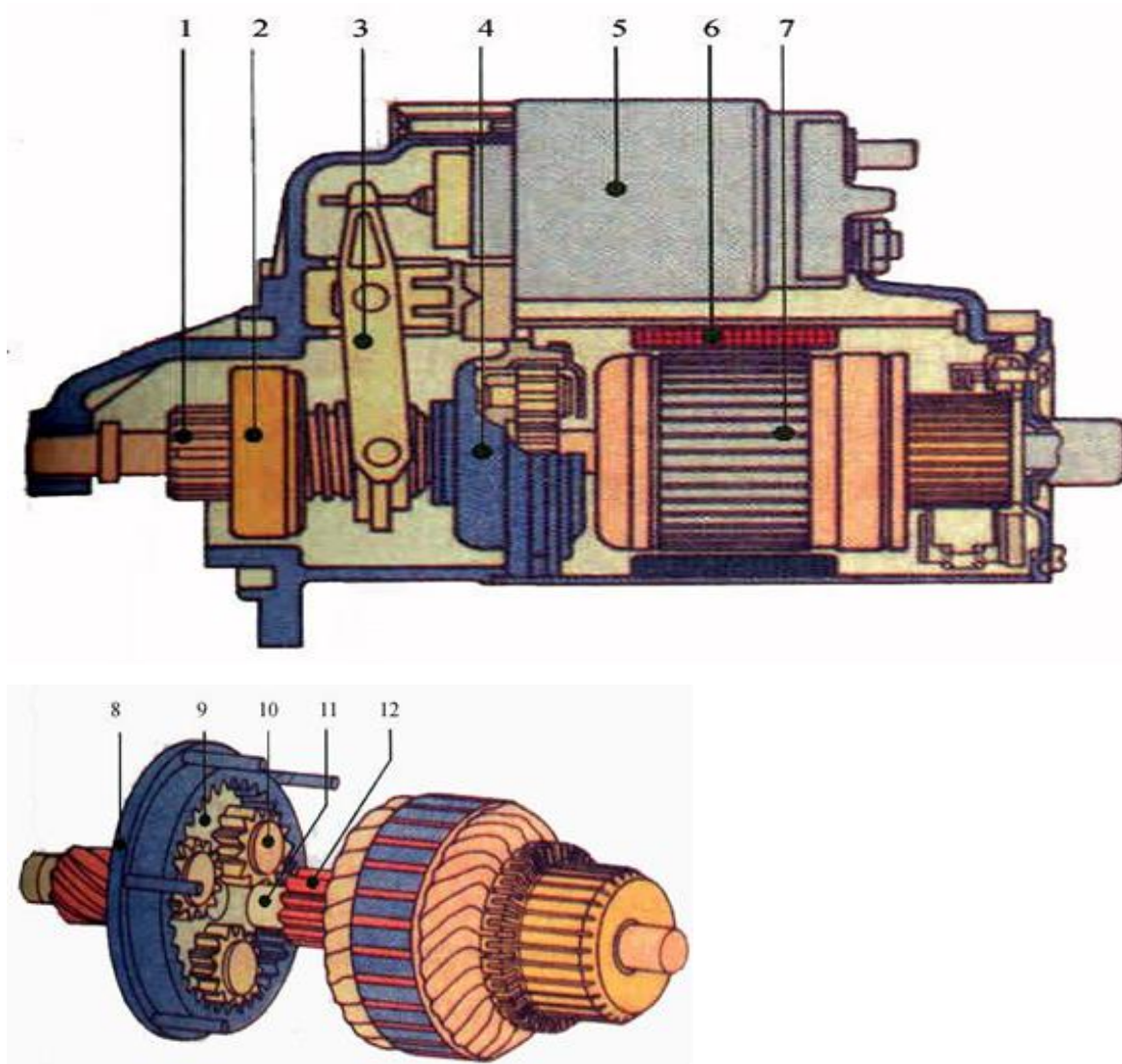


Obrázek 3 Startér s výsuvným pastorkem [1]

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1- Rotor (kotva) | 9- Jádru elektromagnetu |
| 2- Hřídel rotoru | 10- Svorník |
| 3- Zasouvací páka | 11- Vratná pružina |
| 4- Zasouvací objímka | 12- Vtahovací vinutí (cívka) |
| 5- Zasouvací pouzdro (unášec) | 13- Přidržovací vinutí |
| 6- Zasouvací pružina | 14- Kontaktní můstek |
| 7- Volnoběžka | 15- Svorník a kontakty |
| 8- Pastorek | 16- Ozubený věnec |

1.3.1.4 Startér s výsuvným pastorkem s vnitřním převodem

Tento typ startéru má výhodu, že požadovaného výkonu a momentu můžeme dosáhnout s menší velikostí rozměrů a hmotnosti za předpokladu, že zmenšíme převodový poměr mezi hřídelí startéru a klikovým hřídelem. Obvykle se používá převod, který je tvořen pouze pastorkem a ozubeným kolem setrvačníku. Poměr převodu je obvykle v rozmezí $1/8 - 1/16$. Při použití převodovky dojde také ke snížení hmotnosti startéru až o polovinu. [1]



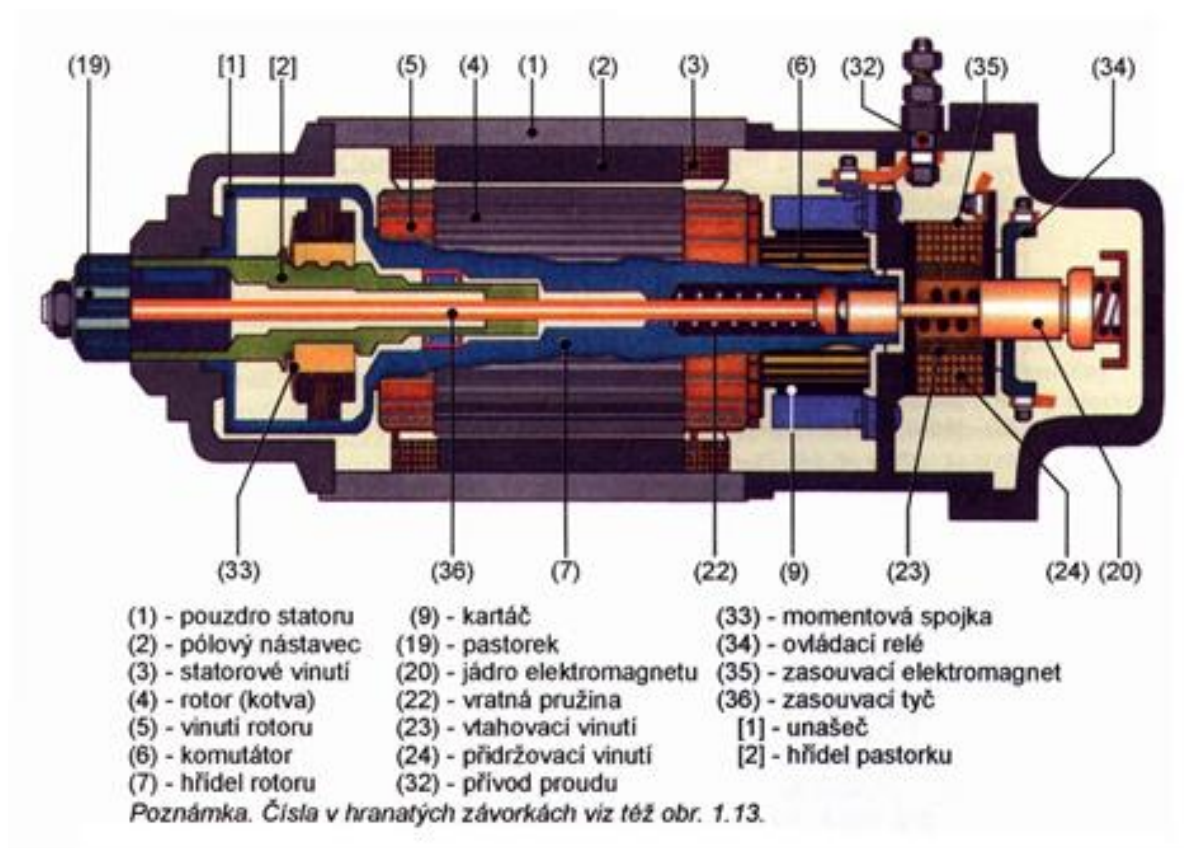
Obrázek 4 Startér s vnitřním planetovým převodem [1]

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 1- Pastorek | 7- Rotor (kotva) |
| 2- Volnoběžka | 8- Korunové kolo |
| 3- Zasouvací páka | 9- Unášec satelitů |
| 4- Planetový převod | 10- Satelit |
| 5- Zasouvací elektromagnet | 11- Hřídel rotoru |
| 6- Permanentní magnet | 12- Centrální planetové kolo |

1.3.1.5 Dvoustupňový startér s výsuvným pastorkem

Pro startéry, u kterých jsou zapotřebí větší výkony (od 3 kW), se používají dvoustupňové startéry. Z elektrického hlediska se jedná buď o sériové elektromotory doplněné o brzdící vinutí, nebo o motory s buzením kompaundním. Hlavní rozdíl mezi dvoustupňovým a jednostupňovým zasouváním pastorku do hřídele motoru je ten, že vlastní zasouvací ústrojí je tvořeno hřídelem pastorku, momentovou spojkou a samotným pastorkem. Točivý moment se přenáší z hřídele kotvy na hřídel pastorku lamelami momentové spojky. O posun se stará elektromagnet, pohyb jádra se přenáší zasouvací tyčí na zasouvací ústrojí, které se posunuje směrem k ozubenému věnci. Protože se ve stejném směru pohybuje i lamelová spojka, musí mít unášec dostatečnou délku, aby byl

umožněn axiální pohyb lamel. Současně se stlačuje vratná pružina, která po vypnutí startéru vrací celý mechanismus do základní polohy. [2]



Obrázek 5 Startér s dvoustupňovým výsuvným pastorkem [2]

2 PŘÍZPŮSOBNÍ AUTOMOBILOVÉHO STARTÉRU SPALOVACÍMU MOTORU

Pod pojmem přizpůsobení automobilového startéru spalovacímu motoru je uvažováno, že by konkrétní startér měl být přizpůsoben danému konkrétnímu spalovacímu nebo zážehovému motoru, se kterým bude pracovat, neboli který bude roztáčet. To znamená použít přesně stanovený převod do poměru mezi startérem a spalovacím motorem, aby byly dodrženy startovací otáčky daného spalovacího motoru. Právě v použití převodovky je velký problém, protože při ideálním převodu 1/20, který odpovídá cca 90 ot/min, je převodovka velmi hlučná, což je nežádoucí. Abychom omezili hluk, musíme použít jiný převodový poměr. Ten už nemusí tolik odpovídat danému motoru a bude tedy roztáčen na jiné otáčky.

2.1 Základní technické požadavky na startér

Jedná se o celkem jednoduchý sériový elektromotor z hlediska elektrického, ale z hlediska mechanického jsou na startéry kladeny velké, v řadě případů i protichůdné požadavky:

- 1) Když není startér v chodu, je nutné, aby pastorek byl bezpečně mimo záběr s ozubeným věncem setrvačníku.
- 2) Není-li zasunutí zubu pastorku do ozubeného věnce na setrvačníku dokonalé, nesmí být točivý moment velký, aby nedošlo k poškození zubů věnce.
- 3) Musí být zajištěno, aby došlo k dokonalému pastorku i tehdy, střetne-li se zub pastorku se zubem věnce.
- 4) Mechanismus musí být schopen přenést celý točivý moment v plném záběru, avšak musí být opatřen ochranou před přetížením při zpětném zážehu spalovacího motoru
- 5) Pastorek musí být po celou dobu startování zcela zasunut.
- 6) Po nastartování spalovacího motoru je zapotřebí, aby se spojení automaticky uvolnilo.
- 7) Po vypnutí spouštěče musíme zajistit, aby se pastorek vrátil zpět do klidové polohy, a spouštěč se musí zastavit. [2]

2.2 Ztráty ve stejnosměrných strojích

Ztráty ve stejnosměrných strojích dělíme na:

- ztráty mechanické
- ztráty elektromagnetické

2.2.1 Ztráty mechanické

Skládají se ze ztrát třením v ložiskách, třením kartáčů o komutátor, třením rotoru o vzduch a také ze ztrát způsobených vzduchovým chlazením. Ztráty třením rotoru o vzduch a chlazením se obvykle nazývají ventilační ztráty. [2]

2.2.2 Ztráty elektromagnetické

Skládají se ze ztrát elektrických a ztrát magnetických. Oba dva druhy ztrát se dělí na ztráty základní a dodatečné. [2]

Základní elektrické ztráty vznikají na odporu vodičů a mění se v teplo. Někdy se také nazývají Joulové ztráty. Do této skupiny patří i ztráty přechodem proudu přes kluzné kontakty. Dodatečné

elektrické ztráty jsou způsobené především rozptylovými poli. Magnetické ztráty jsou způsobeny tím, že v jednotlivých částech magnetického obvodu strojů se mění magnetický tok. Díky tomu vznikají v těchto částech vířivé proudy, které způsobují ztráty a ohřívání příslušné části obvodu. Další ztráty vznikají přemagnetováním magnetického materiálu a nazývají se hysterezní ztráty. Dodatečné magnetické ztráty vznikají v důsledku pulsace magnetického pole způsobeného drážkováním kotvy a v důsledku existence vyšších harmonických magnetického pole ve vzduchové mezeře stroje. [2]

2.3 Možnosti snížení ztrát stejnosměrného stroje

2.3.1 Snížení magnetizačních ztrát

Ztráty vířivými proudy a ztráty hysterezní existují, jakmile stejnosměrný motor začne pracovat. Je potřeba dodat, že tyto ztráty nelze odstranit úplně, ale jde je ovšem snížit na co nejmenší možnou míru. Jsou závislé na magnetické indukci, takže nejjednodušeji je můžeme snížit snížením indukce, což zvyšuje objem a hmotnost aktivních částí, nebo použitím tenčích plechů z materiálu s vyšším měrným odporem. Nepříznivým důsledkem je křehkost plechů a rychlé opotřebení razidel ve výrobě. [2]

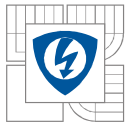
2.3.2 Snížení ventilačních ztrát

Chlazení stroje je nutné, poněvadž provozní teplota startéru může být vysoká. Obvyklé řešení je ventilátor nasávající vzduch přes celý motor. Způsobuje ovšem ztráty, především při vysokých otáčkách. Vývoj vedoucí ke snížení příkonu ventilace může probíhat v několika směrech:

- a) je možné optimalizovat tvar ventilátoru, rozměry a tlakové ztráty oběhu vzduchu. Tím můžeme dosáhnout snížení ztrát asi o 30%, avšak snížení hlučnosti je minimální.
- b) jiný způsob postupu spočívá v použití ventilátoru s kontrolovanou (omezenou) rychlostí - lze toho dosáhnout mechanickou spojkou. Můžeme takto omezit rychlost ventilátoru, jakmile je chlazení dostatečné.
- c) je možné rovněž jiné řešení - oddělená ventilace. Jedná se o ventilátor, poháněný elektrickým motorkem nezávisle na otáčení hřídele motoru. [2]

2.3.3 Snížení dodatečných ztrát

Dodatečné ztráty existují v každém elektrickém. Tyto ztráty se projevují jako ztráty vířivými proudy, je prakticky nemožné nebo obtížné je analyzovat nebo změřit. K dalším příčinám vzniku dodatečných ztrát lze počítat skinefekt ve vodičích a podobně. Nejjednodušší způsob omezení dodatečných ztrát spočívá ve zvětšení délky vzduchové mezery motoru. [2]



3 ELEKTROMAGNETICKÝ NÁVRH

3.1 Zadané hodnoty

Vstupní hodnoty:

$D_{EX} = 74,0 \text{ mm}$	$b_{p0} = 30,0 \text{ mm}$	$S_A = 3,90 \text{ mm}^2$
$D_{VN} = 64,0 \text{ mm}$	$V_X = 42,0 \text{ mm}$	$N_C = 46$
$l_S = 54,5 \text{ mm}$	$l_m = 30,0 \text{ mm}$	$A_2 = 2$
$D_A = 48,2 \text{ mm}$	$h_m = 5,40 \text{ mm}$	$U_N = 12,0 \text{ V}$
$l_A = 30,0 \text{ mm}$	$D_R = 50,0 \text{ mm}$	$D_K = 36,0 \text{ mm}$
$Z = 23$	$D_{AM} = 39,9 \text{ mm}$	$Q_{UK} = 1,00 \text{ V}$
$h_N = 5,8 \text{ mm}$	$D_{AN} = 48,8 \text{ mm}$	$S_B = 4,22 \text{ mm}^2$
$b_N = 3,00 \text{ mm}$	$Q_M = 0,60 \text{ mm}$	$N_K = 4$
$b_{N1} = 3,00 \text{ mm}$	$Q_N = 0,60 \text{ mm}$	$b_i = 25 \text{ mm}$
$D_H = 13,0 \text{ mm}$	$W_B = 6$	
$2P = 4$	$p_P = 2,00 \text{ N}$	

Vnitřní rozměry cívky:

$A_1 = 30,0 \text{ mm}$	$b_C = 12,0 \text{ mm}$	$Q_1 = 0,05 \text{ mm}$
$B_1 = 14,0 \text{ mm}$	$K_{FE} = 0,95$	$R_B = 7,5 \text{ m}\Omega$
$R = 7,00 \text{ mm}$	$\Gamma = 57,0 \text{ S}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$	$G_{FE} = 7850 \text{ kg}/\text{m}^3$

Druh buzení – Permanentní magnet

Derivace – NE

Stator – Ocel 11340

Póly – Ocel 11373,21 II

Rotor – Ocel 11331,21 – II

3.2 Analytický výpočet

1) Vzduchová mezera:

$$\delta = \frac{Q_M + Q_N}{2} = \frac{0,6 + 0,6}{2} = 0,6 \text{ m}$$



2) Pólová rozteč:

$$\tau_p = \frac{\pi D_A}{2p} = \frac{48,2\pi}{4} = 37,856 \text{ mm}$$

3) Výpočtová délka pólu:

$$l_i = \frac{l_a + l_m}{2} + 2 = \frac{30 + 30}{2} + 2 = 32 \text{ mm}$$

4) Středový úhel pólového oblouku:

$$\beta = 2 * \arcsin\left(\frac{V_X}{D_R}\right) = 2 * \arcsin\left(\frac{42}{50}\right) = 114,28^\circ$$

5) Délka pólového oblouku:

$$V_i = \frac{\pi D_r \beta}{360} = \frac{\pi 50 * 114,28}{360} = 49,86 \text{ mm}$$

6) Koeficient pólového krytí:

$$\alpha_i = \frac{V_i}{\tau_p} = \frac{49,86}{37,856} = 1,317$$

7) Plocha vzduchové mezery:

$$Q_\delta = \frac{V_i l_i}{100} = \frac{49,86 * 32}{100} = 15,95 \text{ cm}^2$$

8) Zubová rozteč na vnějším průměru kotvy:

$$t_1 = \frac{\pi D_a}{Z} = \frac{48,2\pi}{23} = 6,584 \text{ mm}$$

9) Šířka zubu na vnějším průměru kotvy:

$$Z_1 = t_1 - b_m = 6,584 - 3 = 3,584 \text{ mm}$$

10) Carterův činitel vzduchové mezery:

$$K_\delta = \frac{t_1 + 10\delta}{Z_1 + 10\delta} = \frac{6,584 + 10 * 0,625}{3,584 + 10 * 0,625} = 1,305$$



11) MMS vzduchové mezery jako funkce indukce ve vzduchové mezeře:

$$U_{m\delta} = 1,6K_{\delta}\delta B_{\delta} = 1,6 * 1,305 * 0,6 * 0,726 = 0,91 A$$

12) MMS zubové vrstvy:

$$t_{zMAX} = \frac{\pi D_{amax}}{Z} = \frac{\pi 48,8}{23} = 6,666 mm$$

13) Maximální šířka zubu:

$$z_{max} = t_{zmax} - b_n = 6,666 - 3 = 3,666 mm$$

14) Krok zubu na středním průměru:

$$t_{zstř} = \frac{\pi D_{astř}}{z} = \frac{\pi 44,35}{23} = 6,058 mm$$

$$D_{astř} = \frac{D_{amax} + D_{amin}}{2} = \frac{48,8 + 39,9}{2} = 44,35 mm$$

15) Střední šířka zubu:

$$z_{stř} = t_{zstř} - b_n = 6,058 - 3 = 3,058 mm$$

16) Zubový krok na minimálním průměru:

$$t_{zmin} = \frac{\pi D_{amin}}{z} = \frac{\pi 39,9}{23} = 5,45 mm$$

17) Minimální šířka zubu:

$$z_{min} = t_{zmin} - b_n = 5,45 - 3 = 2,45 mm$$

18) Minimální indukce v zubech:

$$B_{zmin} = \frac{t_1}{0,95 * z_{max}} B_{\delta} = \frac{6,584}{0,95 * 3,666} * 0,726 = 1,372 T$$

19) Střední indukce v zubech:

$$B_{zstř} = \frac{t_1}{0,95 * z_{stř}} B_{\delta} = \frac{6,584}{0,95 * 3,058} * 0,726 = 1,645 T$$



20) Maximální indukce v zubech:

$$B_{max} = \frac{t_1}{0,95 * z_{min}} B_{\delta} = \frac{6,584}{0,95 * 2,45} * 0,726 = 2,054 \text{ T}$$

21) MMS na 1cm dráhy magnetického toku ve třech průřezích označíme $H_{Z \max}$, $H_{Z \text{ stř}}$, $H_{Z \min}$. Stanovujeme z magnetizační křivky pro hodnoty indukce $B_{Z \min}$, $B_{Z \text{ stř}}$, $B_{Z \max}$.

$$H_{Z \max} = 15977 \text{ A/m}$$

$$H_{Z \text{ stř}} = 3086 \text{ A/m}$$

$$H_{Z \min} = 1559 \text{ A/m}$$

22) Opravný koeficient pro maximální indukci v zubech:

$$K_{Z \max} = 1,25 * \left(\frac{t_{z \min}}{0,95 * z_{min}} - 1 \right) = 1,25 * \left(\frac{5,45}{0,95 * 2,45} - 1 \right) = 1,677$$

23) Opravný koeficient pro střední indukci v zubech:

$$K_{Z \text{ stř}} = 1,25 * \left(\frac{t_{z \text{ stř}}}{0,95 * z_{stř}} - 1 \right) = 1,25 * \left(\frac{6,61}{0,95 * 3,61} - 1 \right) = 1,357$$

24) Opravný koeficient pro minimální indukci v zubech:

$$K_{Z \min} = 1,25 * \left(\frac{t_{z \max}}{0,95 * z_{max}} - 1 \right) = 1,25 * \left(\frac{7,95}{0,95 * 4,95} - 1 \right) = 1,143$$

25) Střední hodnota MMS na 1cm dráhy mg. Toků v zubech

$$H_{m \text{ zi}} = \frac{H_{Z \max} + 4 * H_{Z \text{ stř}} + H_{Z \min}}{6} = \frac{15977 + 4 * 3086 + 1559}{6} = 4980 \text{ A/m}$$

26) MMS pro zubovou vrstvu:

$$U_{zi} = \frac{2h'_n}{1000} H_{zi} = \frac{2 * 44,35}{1000} * 4980 = 441,726 \text{ A}$$

$$h'_n = \frac{D_{a \max} + D_{a \min}}{2} = \frac{48,8 + 39,9}{2} = 44,35 \text{ mm}$$

MMS pro jho motoru

27) Výška jha rotoru:

$$h_a = \frac{D_{a \min} - h_n - D_h}{2} = \frac{39,9 - 5,4 - 13}{2} = 10,75 \text{ mm}$$

28) Indukce v jha kotvy:

$$B_a = \frac{Q_\delta * 100}{2 * h_a l_a * 0,95} * B_\delta = \frac{15,95 * 100}{2 * 10,75 * 26,703 * 0,95} * 0,726 = 0,021 \text{ T}$$

$$H_a = 30 \text{ A/m}$$

29) Délka střední siločáry ve jhu kotvy:

$$l_a = \frac{\pi(D_h + h_a)}{2p} + h_a - \frac{h_n}{2} = \frac{\pi(13 + 10,75)}{4} + 10,75 - \frac{5,4}{2} = 26,703 \text{ mm}$$

30) MMS pro jho kotvy:

$$U_{m a} = \frac{l_a}{10} * H_{m a} = \frac{26,703}{1000} * 30 = 0,801 \text{ A}$$

MMS v pólech

31) Indukce v pólu:

$$B_m = \frac{1,12 * Q_\delta}{l_m h_m} B_\delta = \frac{1,12 * 15,95}{30 * 5,4} * 0,726 = 0,080 \text{ T}$$

$$H_m = 183 \text{ A/m}$$

32) MMS pólů:

$$U_{m m} = \frac{2 * h_m}{10} * H_m = \frac{2 * 5,4}{1000} * 183 = 1,976 \text{ A}$$

33) MMS styku pól – kostra:

$$U_{m st} = 1,6 * \delta_{st} * B_m = 1,6 * 0,6 * 0,726 = 0,077 \text{ A}$$

34) Tloušťka kostry:

$$b_j = \frac{D_{EX} - D_{VN}}{2} = \frac{74 - 64}{2} = 5 \text{ mm}$$



35) Indukce v kostře:

$$B_j = 56 * \frac{Q_\delta B_\delta}{b_j l_s} = \frac{56 * 15,95}{5 * 54,5} * 0,726 = 2,380 \text{ T}$$

$$H_j = 59251 \text{ A/m}$$

36) Střední průměr kostry:

$$D_{j \text{ stř}} = \frac{D_{EX} + D_{VN}}{2} = \frac{74 + 64}{2} = 69 \text{ mm}$$

37) Délka magnetické siločáry kostry:

$$l_j = \frac{\pi D_{j \text{ stř}}}{2p} - \frac{l_m}{2} + b_j = \frac{69\pi}{4} - \frac{30}{2} + 5 = 44,192 \text{ mm}$$

38) MMS pro kostru:

$$U_{mj} = \frac{l_j}{1000} H_j = \frac{44,192}{1000} * 59251 = 2618,42 \text{ A}$$

39) Výpočet charakteristik chodu naprázdno:

Viz tabulka

40) MMS budící cívky pro 1 pólovou dvojici:

$$U_m = 2 * I_s * W = 2 * 460 * 6 = 5520 \text{ A}$$

41) Lineární zatížení obvodu kotvy:

$$AS = \frac{N_c * 10}{2 * a * \pi * D_a} I_{ST} = \frac{46 * 10}{2 * 48,2 * \pi} * 460 = 698,697 \text{ A/m}$$

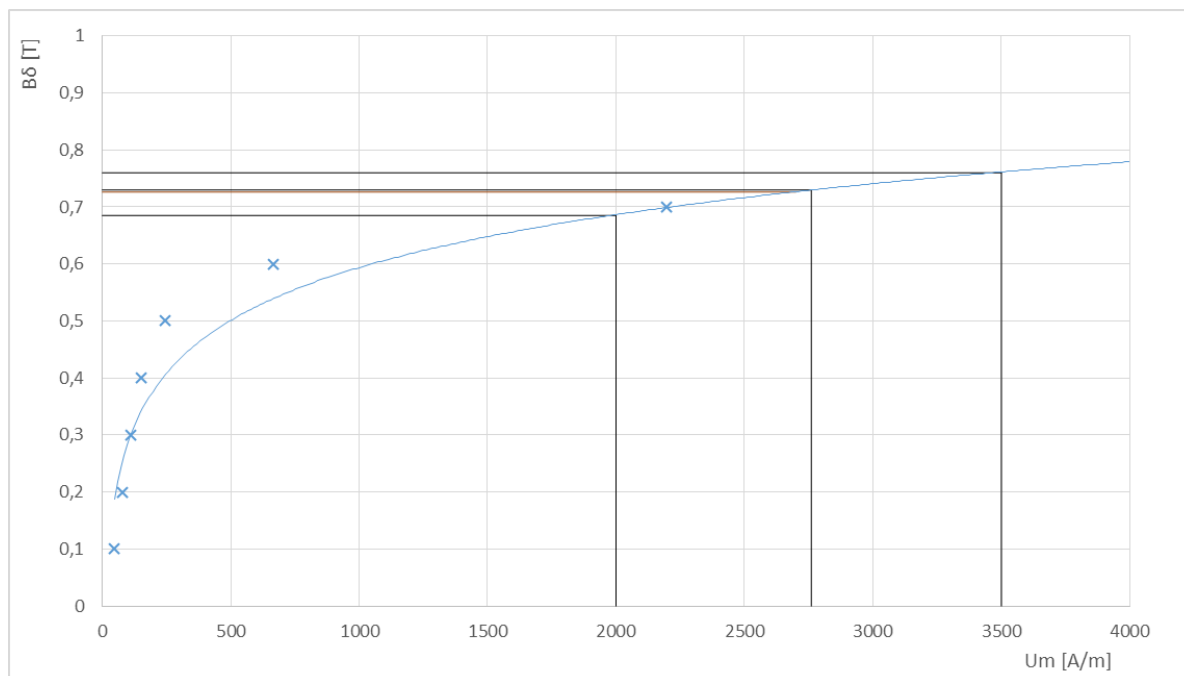
42) MMS reakce kotvy:

$$U_{mR} = \frac{b_i * AS}{2 * 10} = \frac{0,025 * 698,697}{2 * 10} = 873,371 \text{ A}$$

43) Indukce ve vzduchové mezeře:

Stanovuje se z křivek. Z hodnot poz. 40 a poz. 42 charakteristik chodu na prázdno poz. 39 najdeme indukci ve vzduchové mezeře $B_\delta = f(I)$ podle následující metodiky na obě strany od bodu B_1 – který odpovídá daným ampér závitům U_{m1} .

$$B_{\delta} = \frac{\frac{B_{1 \max} + B_{1 \min}}{2} + B_1}{2} = \frac{\frac{0,76 + 0,685}{2} + 0,73}{2} = 0,726 \text{ T}$$



Obrázek 6 Odečtení indukce ve vzduchové mezeře

44) Ohmický odpor jedné budící cívky:

$$R_{b1} = \frac{\rho * l_{stř} * W}{S_b * 1000} = \frac{0,01754 * 177 * 6}{7 * 1000} = 0,0044 \Omega$$

$$l_{stř} = (a - 2 * R) * 2 + (b - 2) * 2 + 2 * \left(R + \frac{b_k}{2}\right) = 177 \text{ mm}$$

 S_b – průměr vinutí buzení

45) Ohmický odpor vinutí statoru (buzení):

$$R_i = \frac{2 * R_{b1} * 2 * R_{b1}}{2 * R_{b1} + 2 * R_{b1}} = \frac{2 * 0,004 * 2 * 0,004}{2 * 0,004 + 2 * 0,004} = 0,0044 \Omega$$

46) Ohmický odpor vinutí rotoru:

$$R_a = \frac{\rho * N * l_{a \text{ stř}}}{(2a)^2 * S_a * 1000} = \frac{0,01754 * 46 * 137,998}{4 * 3,9 * 1000} = 0,007 \Omega$$

$$l_{a \text{ stř}} = l_a + 1,4 * \tau_p = 137,998 \text{ mm}$$

 S_a – průměr vinutí rotoru

 τ_p – délka čela cívky



47) Ohmický odpor startéru:

$$R_{ST} = R_a + R_i = 0,007 + 0,0044 = 0,00114 \, \Omega$$

48) Ohmický odpor baterie:

$$R_B = 0,0075 \, \Omega$$

49) Celkový ohmický odpor startéru:

$$R_C = R_{ST} + R_B = 0,00114 + 0,0075 = 0,0191 \, \Omega$$

50) Celkový úbytek napětí v obvodu startéru:

$$U_C = I_{ST} R_C = 460 * 0,0191 = 8,773 \, V$$

51) Elektromotorická síla (indukované napětí):

$$U_i = U_N - (U_K + U_C) = 12 - (1 + 8,773) = 2,227 \, V$$

52) Otáčky kotvy:

$$n = \frac{60 * a * U_i}{p * N * B_\delta * Q_\delta} = \frac{60 * 2,227}{2 * 6 * 0,726 * 0,01595} = 801,047 \, \text{ot/min}$$

53) Elektromagnetický výkon:

$$P_E = U_i * I_{ST} = 2,227 * 450 = 1024,271 \, W$$

54) Ztráty vzniklé třením kartáčů:

$$P_{TK} = 9,81 * 0,3 * n_K * p_P * \frac{\pi * D_k * 10^{-3}}{60} * n = 9,81 * 0,3 * 4 * 2 * \frac{\pi * 36 * 10^{-3}}{60} * 801,047 \\ = 17,775 \, W$$

n_K – počet kartáčů

p_P – tlak pružin na kartáče

55) Ztráty třením v ložiskách:

- odhadují se jako funkce otáček

$$P_{tl} = 0,05 * n = 0,05 * 801,047 = 40,052 \, W$$

56) Celkové mechanické ztráty:

$$P_{ZMC} = P_{TK} + P_{tl} = 17,775 + 40,052 = 57,827 \text{ W}$$

57) Kmitočet:

$$f = \frac{p * n}{60} = \frac{2 * 801,047}{60} = 26,702 \text{ Hz}$$

58) Ztráty magnetické a hysterezní v zubové vrstvě:

$$\begin{aligned} P_Z &= 2 * G_Z * \left[4,4 * \frac{f}{100} + 32,7 * \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] * \left(\frac{B_Z}{1,0000} \right)^2 \\ &= 2 * 1,794 * 10^{-5} * \left[4,4 * \frac{26,702}{100} + 32,7 * \left(\frac{26,702}{100} \right)^2 \right] * \left(\frac{1,645}{1,000} \right)^2 \\ &= 3,404 * 10^{-4} \text{ W} \end{aligned}$$

G_Z – váha zubové vrstvy

B_Z – magnetická indukce v zubech

$$G_Z = \gamma_{ST} * K_C * F_Z * l_a * 10^{-3} = 7,85 * 0,95 * 85 * 10^{-3} * 0,283 * 10^{-4} = 1,794 * 10^{-5}$$

59) Ztráty magnetické a hysterezní ve jho rotoru:

$$\begin{aligned} P_a &= 2 * G_a * \left[4,4 * \frac{f}{100} + 32,7 * \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] * \left(\frac{B_a}{1,0000} \right)^2 \\ &= 2 * 7,08 * 10^{-4} * \left[4,4 * \frac{18,326}{100} + 32,7 * \left(\frac{18,326}{100} \right)^2 \right] * \left(\frac{0,021}{1,000} \right)^2 \\ &= 2,19 * 10^{-6} \text{ W} \end{aligned}$$

$$G_a = \gamma_{ST} * K_C * F_a * l_a * 10^{-3} = 7,85 * 0,95 * 85 * 10^{-3} * 11,176 * 10^{-4} = 7,08 * 10^{-4}$$

Plocha drážky:

$$F_h = b_n * h_n + \pi * r^2 * b_{n1} * t' = 0,3 * 0,58 + \pi * 0,7 * 0,3 * 0,05 = 0,207 \text{ cm}^2$$

Plocha všech drážek:

$$F_d = F_h * z = 0,207 * 23 = 4,761 \text{ cm}^2$$

Kolmý průřez kotvy:

$$F_{hl} = \frac{D_a^2 - D_h^2}{2} = \frac{5,82^2 - 1,3^2}{2} = 16,22 \text{ cm}^2$$

Kolmý průřez zubů a hřídele:

$$F_a = \frac{\pi}{4} (D_{a \min}^2 - D_h^2) = \frac{\pi}{4} (3,99^2 - 1,3^2) = 11,176 \text{ cm}^2$$

$$F_{a \text{ zub.vrstvy}} = F_{hl} - F_a = 16,22 - 11,176 = 5,044 \text{ cm}^2$$

$$F_{\text{zubů (z)}} = F_{a \text{ zub.vrstvy}} - F_d = 5,044 - 4,761 = 0,283 \text{ cm}^2$$

60) Celkové ztráty v železe:

$$P_{ST} = P_z - P_a = 3,404 * 10^{-4} - 8,738 * 10^{-6} = 3,317 * 10^{-4}$$

61) Celkové ztráty:

$$P_{celk} = P_{ST} + P_{ZMC} = 57,827 + 3,317 * 10^{-4} = 57,827 \text{ W}$$

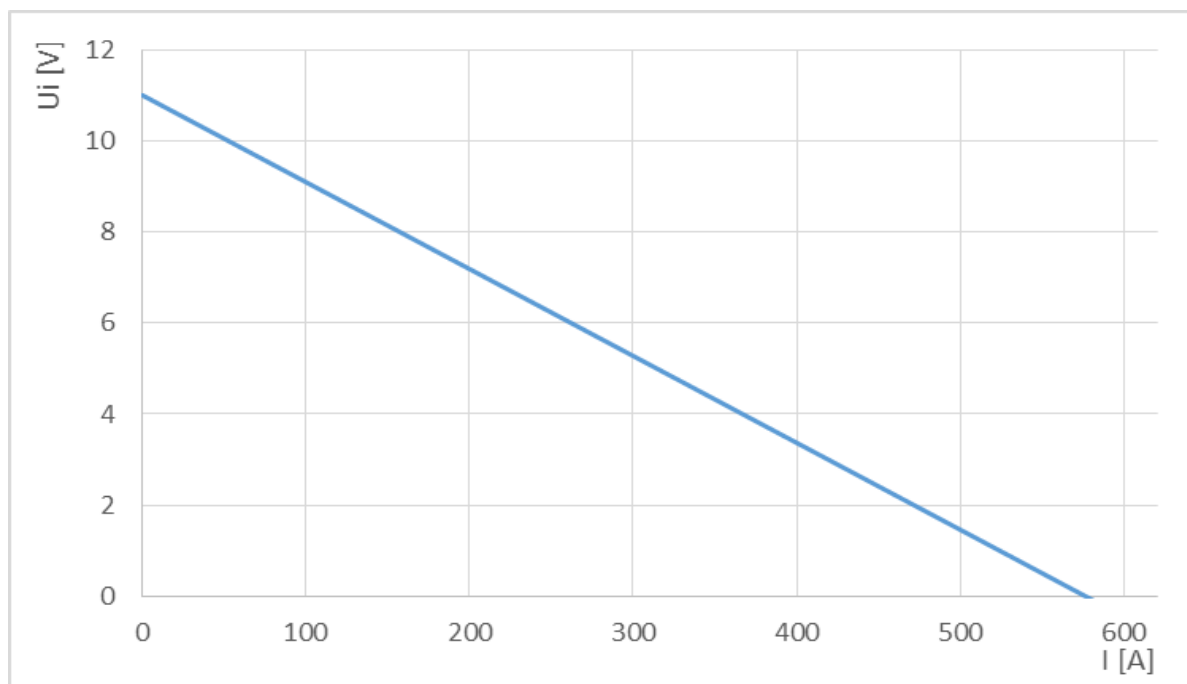
62) Užitečný výkon na hřídeli startéru:

$$P = P_E - P_{celk} = 1024,271 - 57,827 = 966,444 \text{ W}$$

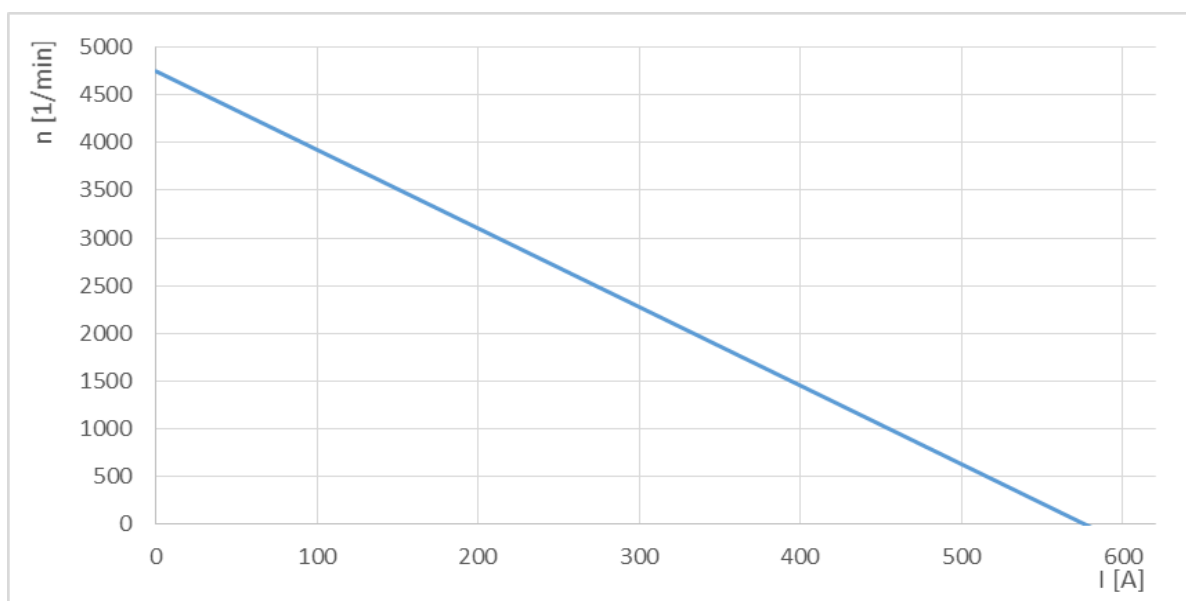
63) Moment na hřídeli startéru:

$$M = 60 * \frac{P}{2 * \pi * n} = 60 * \frac{966,444}{2 * \pi * 801,047} = 11,521 \text{ Nm}$$

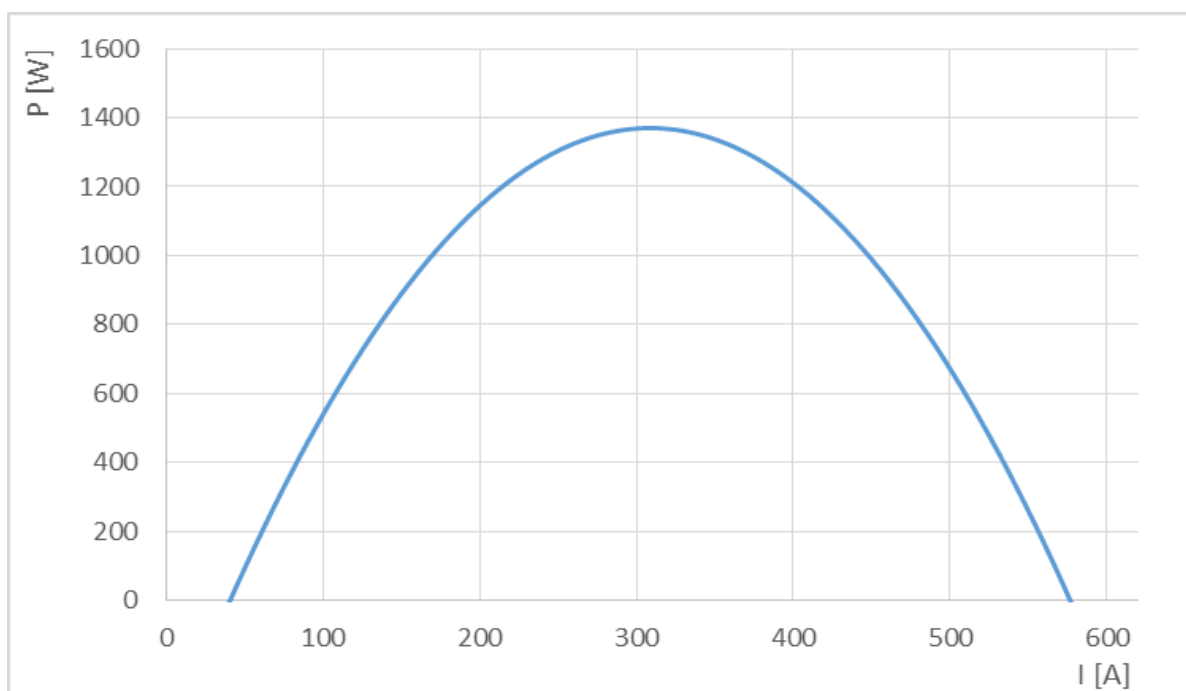
3.2.1 Analyticky vypočtené charakteristiky startéru



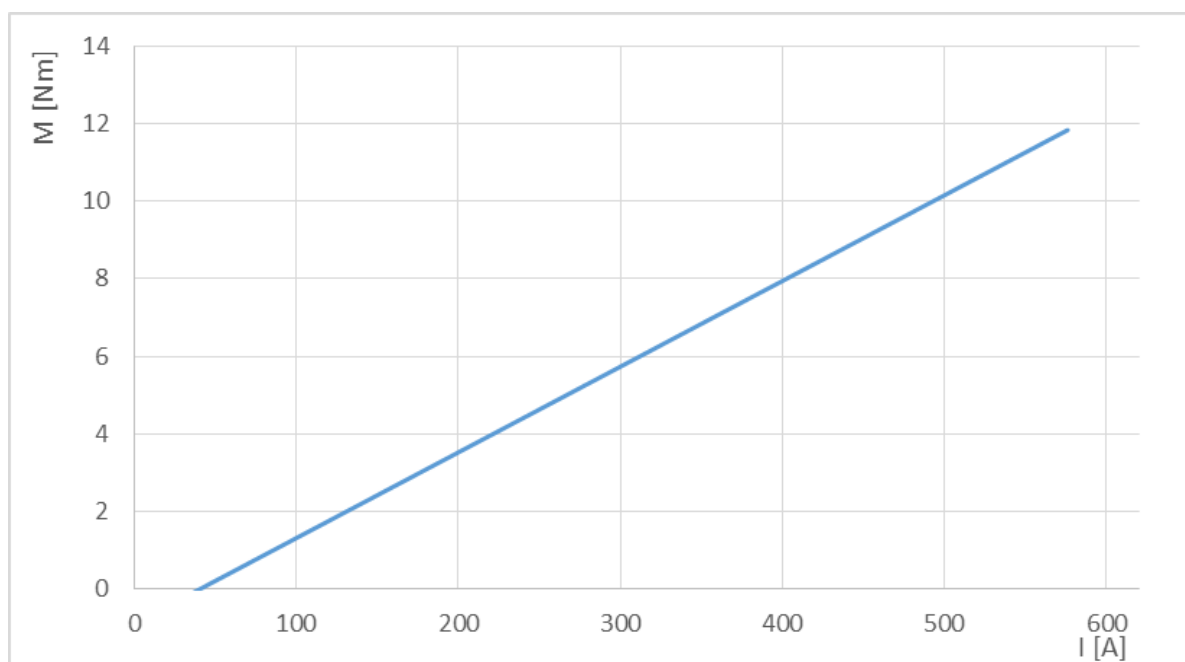
Obrázek 7 Závislost indukovaného napětí na procházejícím proudu



Obrázek 8 Závislost otáček na procházejícím proudu



Obrázek 9 Závislost výkonu na hřídeli motoru na procházejícím proudu

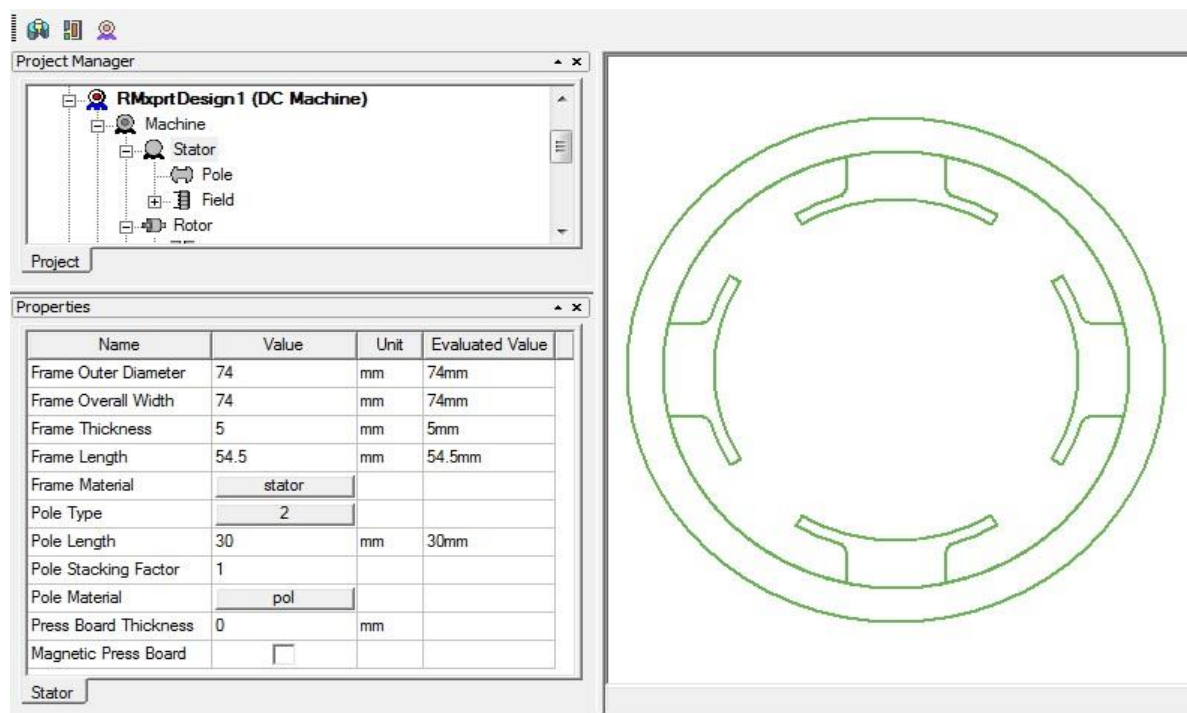


Obrázek 10 Závislost momentu motoru na procházejícím proudu

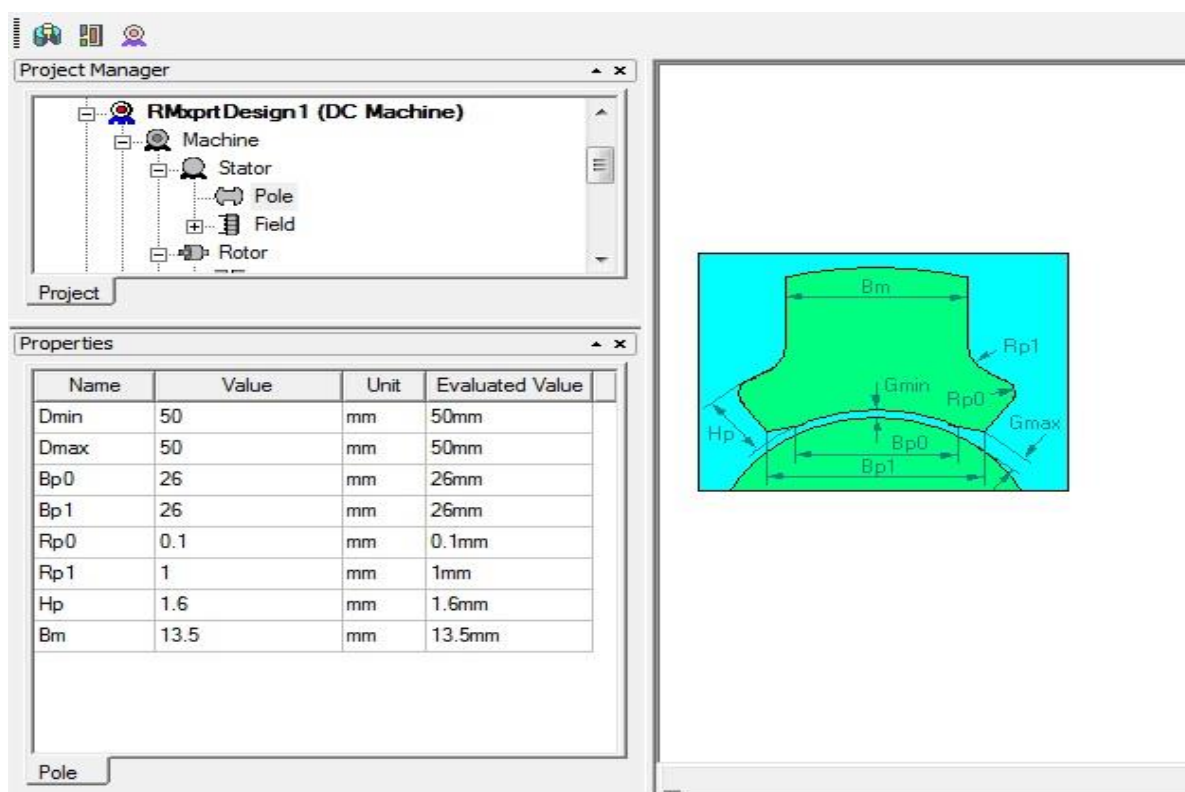
3.3 Ověření ručního výpočtu programem MAXWELL

Analytický výpočet byl ověřen v doplňkovém balíčku RMxpert programu Maxwell, v němž byl proveden výpočet ze zadaných hodnot.

Nejprve byly zadány rozměry statoru a byla zvolena podoba pólu motoru z nabídnutých variant programem podle výkresové dokumentace.

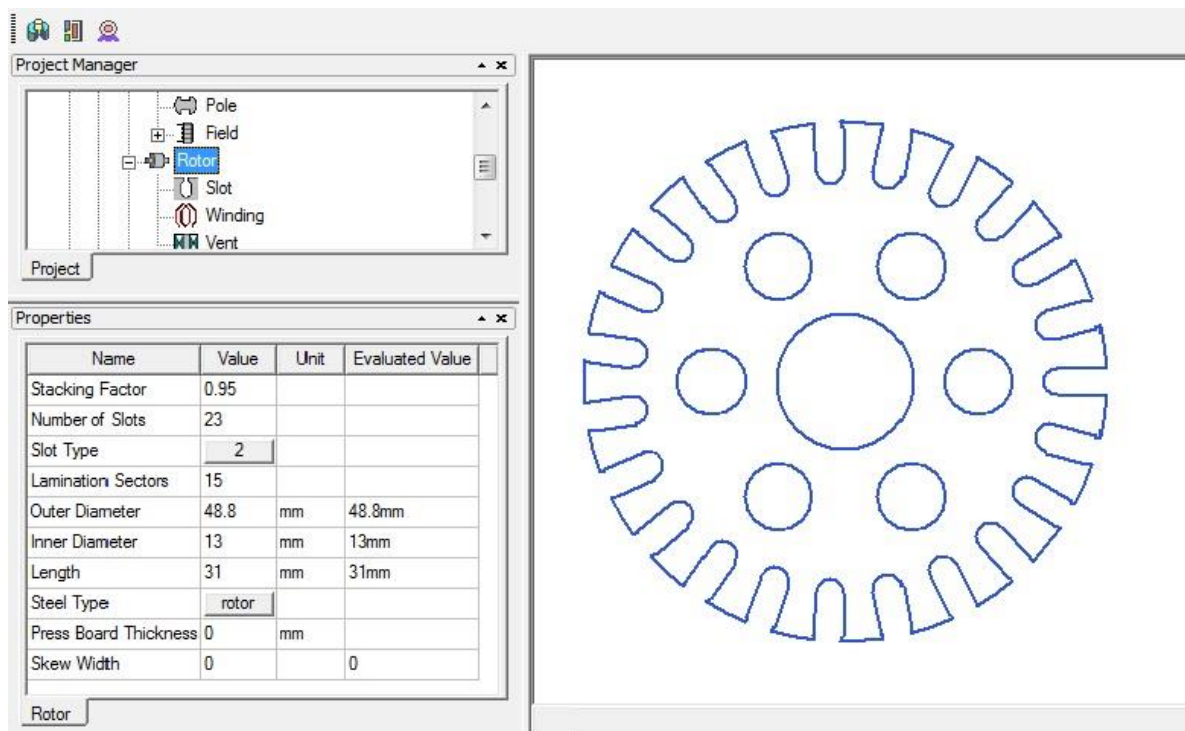


Obrázek 11 Stator motoru v RMxpert



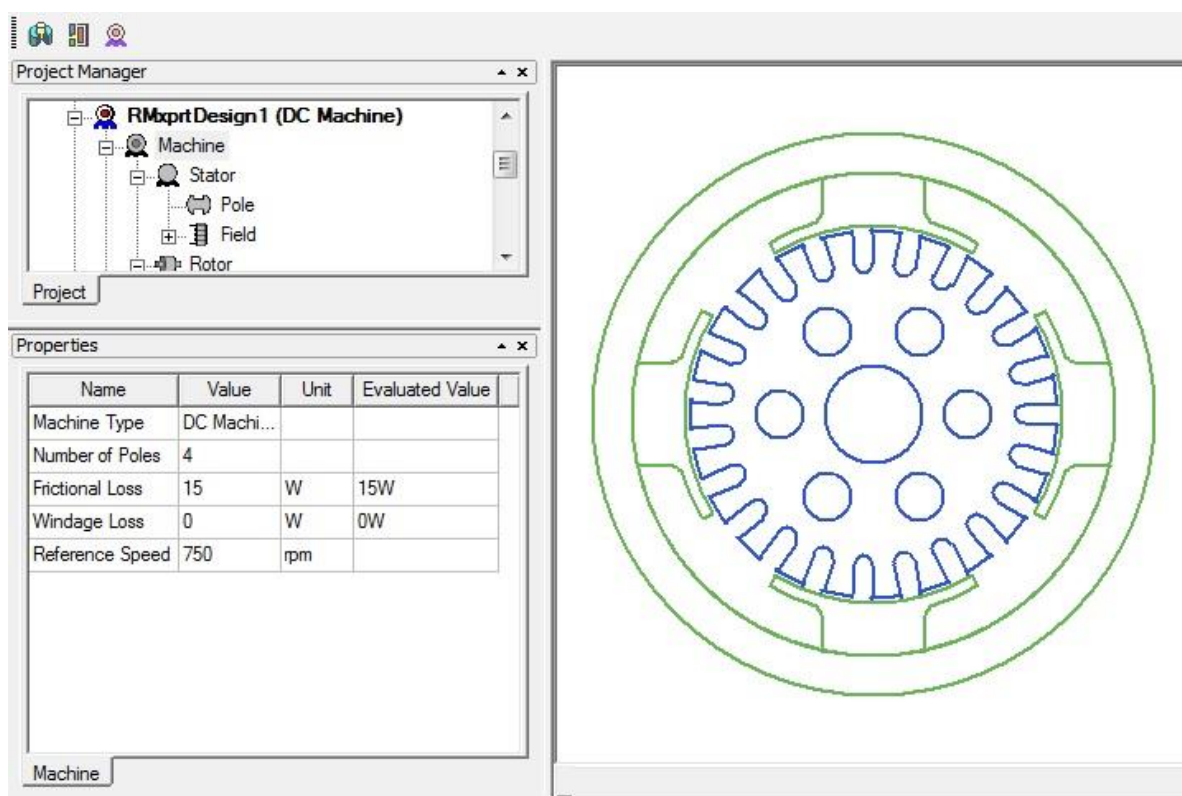
Obrázek 12 Pól motoru v RMxpert

Poté byly zadány rozměry a parametry rotoru motoru a byla provedena analýza.



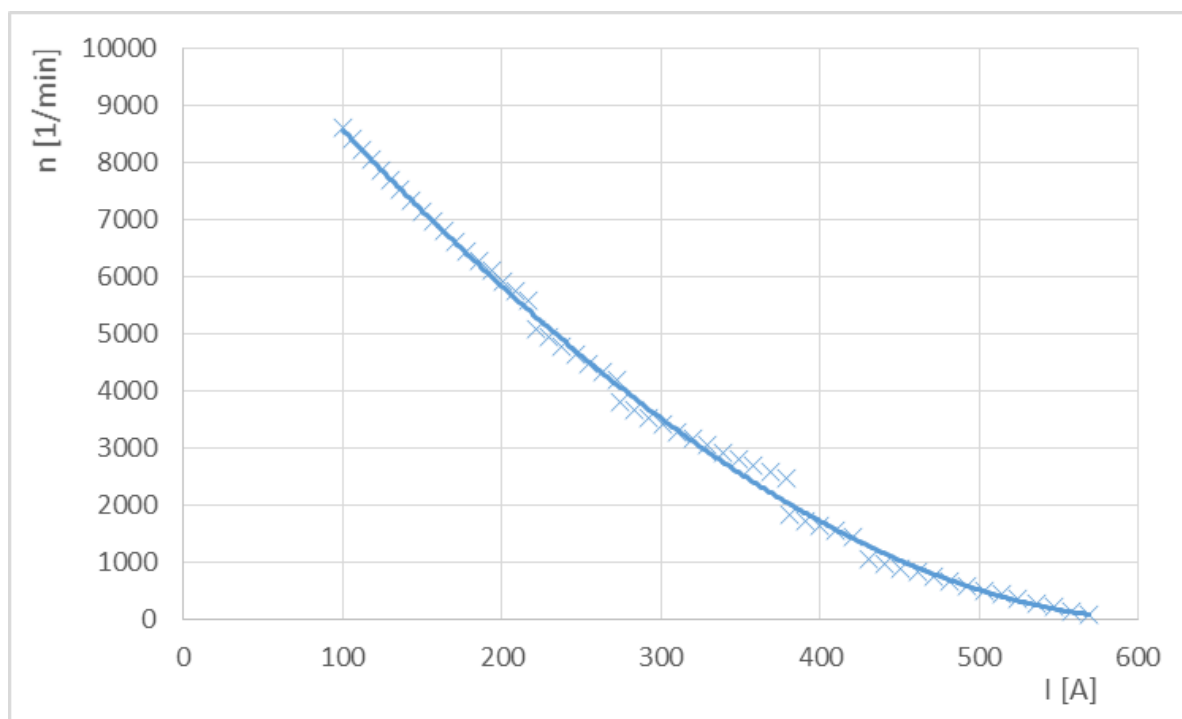
Obrázek 13 Rotor motoru v RMxpert

Aby byly výstupní hodnoty správné, musela být analýza provedena v rozsahu napětí 7-10,5 V s krokem 0,5 V. Následně byli vybrány hodnoty z okolí měřeného napětí a sestaveny výstupní charakteristiky motoru.

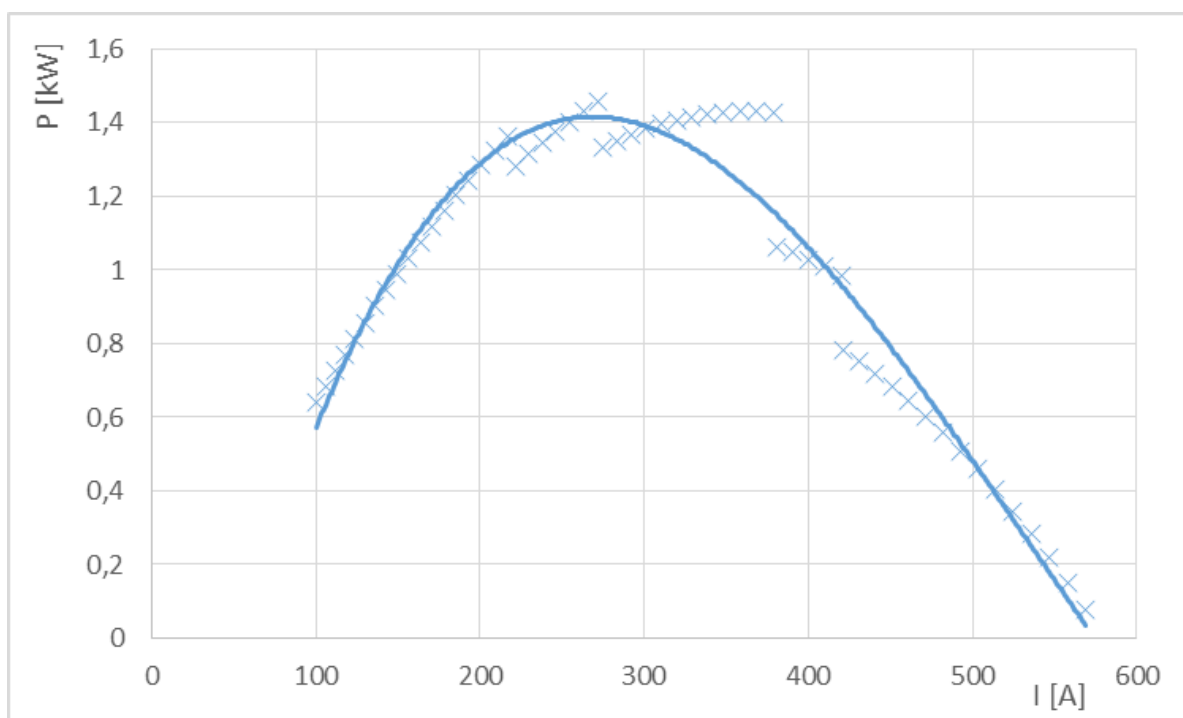


Obrázek 14 Model motoru v RMxprt

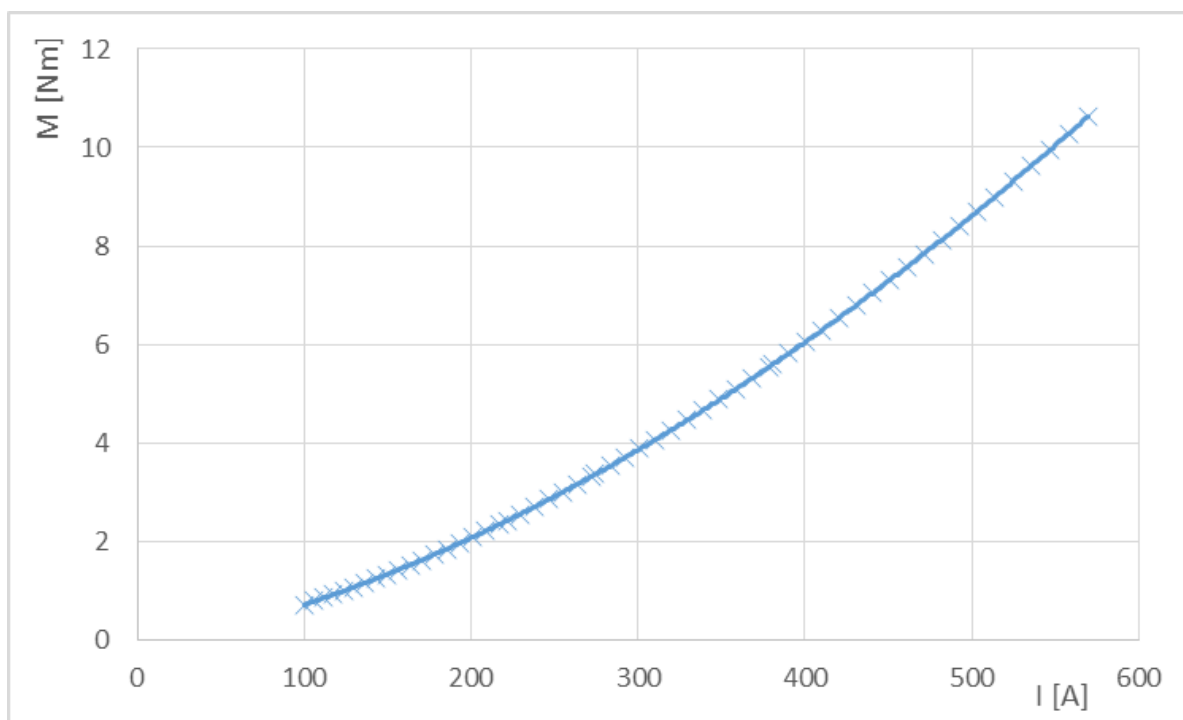
3.3.1 Výstupní charakteristiky motoru z RMxprt



Obrázek 15 Závislost otáček na procházejícím proudu



Obrázek 16 Závislost výkonu na hřídeli motoru na procházejícím proudu



Obrázek 17 Závislost momentu motoru na procházejícím proudu

4 ZÁVĚR

První kapitola je věnována rozboru a rozdělení automobilových startérů, vysvětlení pojmu automobilový startér, popis jeho hlavních funkcí automobilu a jeho složení.

V druhé kapitole je věnována pozornost přizpůsobení automobilového startéru automobilu a technickým požadavkům. Dále jsou vysvětleny druhy energetických ztrát v automobilovém startéru a způsob jejich zmenšení.

Ve třetí kapitole je proveden elektromagnetický návrh stejnosměrného motoru s permanentními magnety, který je použit jako pohon startéru. Návrh je proveden dle daného postupu. Parametry byly zadány firmou Magneton, ale vzhledem k zachování mlčenlivosti mohou být v této bakalářské práci použity pouze hodnoty motoru a nikoliv už jeho technická dokumentace a výkresy.

Výsledkem této bakalářské práce jsou parametry a momentové charakteristiky stejnosměrného motoru s permanentními magnety, který je použit v automobilovém startéru. Motor je napájen napětím $U_N = 12 \text{ V}$ a proudem $I_{ST} = 460 \text{ A}$, který byl zvolen při návrhu podle nominálního výkonu zadaného motoru. Při tomto napájení bylo vypočteno, že startér bude mít počet otáček $n = 801,047 \text{ min}^{-1}$ při výkonu $P = 966,44 \text{ W}$ a zatěžovacím momentu $M = 11,521 \text{ Nm}$. Po provedení tohoto výpočtu byly vytvořeny momentové charakteristiky daného motoru. Charakteristiky motoru byly následně vytvořeny také v programu Maxwell, respektive jeho částí RMxpert. Tyto momentové charakteristiky se shodují z vypočtenými.



LITERATURA

- [1] Bc. Navrátil, M. Startér, 2009. SOS Vsetín.
<http://projekty.sosvsetin.cz/Documents/I.%20Spou%C5%A1t%C4%9B%C4%8De.pdf> (accessed Dec 13, 2013).
- [2] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jindřich KUBÁT. Automobily. Aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008, 211 s. ISBN 978-80-87143-07-0.
- [3] Tom Denton: Automobile Electrical and Electronic Systems. Butterworth-Heinemann, Oxford 2003, Tom Denton: Automobile Electrical and Electronic Systems. Butterworth-Heinemann, Oxford 2003, Denton, T.: