

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

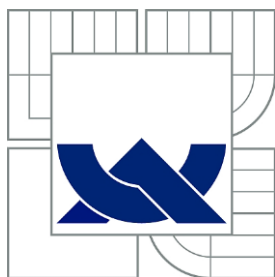
MOTORKY PRO AUTOMOBILOVÉ STĚRAČE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

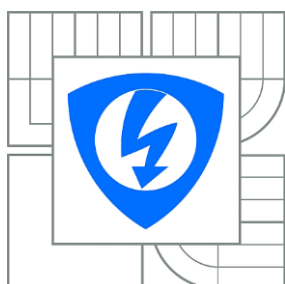
JAN SEKERKA

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

MOTORKY PRO AUTOMOBILOVÉ STĚRAČE

MOTORS FOR AUTOMOTIVE WIPERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

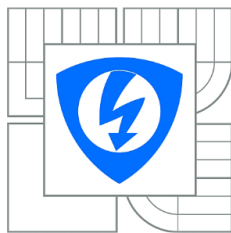
JAN SEKERKA

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: Jan Sekerka

Ročník: 3

ID: 139291

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Motorky pro automobilové stěrače

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vypracujte přehled motorků pro stěrače
2. Zvolte a analyzujte jedno provedení motorku jako příklad
3. Proveďte návrh inovace spočívající ve snížení objemu a hmotnosti aktivních materiálů

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Koziej E., Mazsyny elektryczne pojazdów samochodowych. WNT Warszawa, 1984, ISBN 83-204-0515-7
- [2] Hájek V., Kuchynková H., Requirements and design of the starting system. XIV. International symposium on Electrical Machines - ISEM 2006. CVUT, Praha, 2006, s. 69 - 78, ISBN 80-01-03548-4
- [3] Hájek V., Kuchynková 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 projektu: prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

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

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá inovací stejnosměrných elektromotorů s permanentními magnety používaných v automobilové technice k pohonu stěračového mechanismu s cílem snížení objemu a hmotnosti aktivních materiálů. Možností inovace je především použití magnetů z magneticky vzácných zemin, jako jsou Neodymové nebo Samarium-kobaltové. Další možností je zmenšení rotorové části a snížení počtu závitů (zde jde především o to, jaké jsou požadavky na výkon).

Výsledkem je inovovaný motorek, kde byl snížen objem permanentních magnetů o 65% a celkový objem motorku o 23% při zachování rotorové části. Také se mírně zvedl výkon díky Neodymovým permanentním magnetům.

Abstract

This thesis deals with the innovation of DC motors with permanent magnets used in automotive technology to drive wiper mechanism to reduce the volume and weight of the active materials. Potential innovations is mainly using magnets of the magnetic rare earths, such as Neodym or samarium-cobalt. Another option is to reduce the rotor to decreases the number of threads (here, it's all about, what are the requirements for performance).

The result is an innovative motor, wherein the volume of the permanent magnets is reduced by 65% and total volume of the motor by 23% while maintaining the rotor parts. Also slightly raised performance with Neodymium permanent magnets.

Klíčová slova

Stejnoseměrný motor; permanentní magnet; inovace; stěračový motor; automobil; bezešvá trubka; FEMM 4.2.

Keywords

Direct current motor; permanent magnet; innovation; wiper motor; car; seamless steel tube; FEMM 4.2.

Bibliografická citace

SEKERKA, J. *Motorky pro automobilové stěrače*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 39 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Motorky pro automobilové stěrače 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

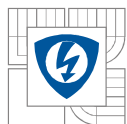
Podpis autora

Poděkování

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

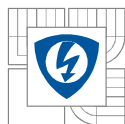
V Brně dne

Podpis autora

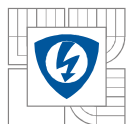


Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD.....	13
2 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY	14
2.1 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ	14
2.2 PRINCIP ČINNOSTI.....	14
3 STĚRAČE SKEL	16
4 PŘEHLED MOTORKŮ PRO STĚRAČE.....	17
4.1 DRUHY	17
4.1.1 DLE ŘÍZENÍ OTÁČEK.....	17
4.1.2 DLE VÝROBCŮ.....	17
4.2 APS SVĚTLÁ NAD SÁZAVOU	17
4.2.1 OTOČNÉ ELEKTROMOTORY S VESTAVĚNOU PŘEVODOVKOU	17
4.3 ELEKTROMOTORY S PŘÍMÝM PŘEVODEM.....	19
4.3.1 KYVNÉ ELEKTROMOTORY S VESTAVĚNOU PŘEVODOVKOU	20
5 ZTRÁTY ELEKTRICKÝCH MOTORŮ.....	21
5.1 MECHANICKÉ ZTRÁTY.....	21
5.1.1 ZTRÁTY TŘENÍM KARTÁČŮ O KOMUTÁTOR	21
5.1.2 ZTRÁTY TŘENÍM V LOŽISCÍCH A VENTILAČNÍ ZTRÁTY	21
5.2 ELEKTRICKÉ ZTRÁTY	22
5.2.1 ZTRÁTY VE VINUTÍ KOTVY	22
5.2.2 ZTRÁTY NA KARTÁČÍCH KOMUTÁTORU.....	22
5.2.3 ZTRÁTY VE VINUTÍ BUZENÍ.....	22
5.2.4 DODATEČNÉ ELEKTRICKÉ ZTRÁTY	22
5.3 MAGNETICKÉ ZTRÁTY (ZTRÁTY V ŽELEZE)	23
5.3.1 HYSTEREZNÍ ZTRÁTY	23
5.3.2 ZTRÁTY VÍŘIVÝMI PROUDY	23
5.3.3 DODATEČNÉ MAGNETICKÉ ZTRÁTY	23
6 ROZBOR STĚRAČOVÉHO MOTORKU	24
6.1 ANALÝZA MOTORKU	24
6.1.1 ROTOR:.....	25
6.1.2 STATOR:	25
6.2 VÝSLEDKY ANALÝZY POMOCÍ PROGRAMU FEMM 4.2	26
6.3 VÝSLEDKY ANALÝZY MAGNETICKÉHO POLE PROGRAMEM FEMM 4.2	28
7 MOŽNOSTI SNÍŽENÍ OBJEMU AKTIVNÍCH MATERIÁLŮ	29

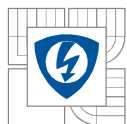


7.1 POUŽITÍ NEODYMOVÝCH MAGNETŮ (NdFeB).....	29
7.1.1 VÝROBNÍ PROCES NdFeB.....	29
7.1.2 POVRCHOVÁ ÚPRAVA NdFeB	30
7.2 POUŽITÍ SAMARIUM-KOBALTOVÝCH MAGNETŮ.....	30
7.2.1 ÚPRAVY SmCo	31
7.3 POUŽITÍ BEZEŠVÝCH TRUBEK	31
8 NÁVRH INOVOVANÉHO STĚRAČOVÉHO MOTORKU.....	32
8.1 ROTOR	32
8.2 STATOR	32
8.3 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	35
9 SROVNÁNÍ MOTORKŮ	36
10 ZÁVĚR.....	37
LITERATURA	38



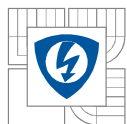
SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 - Blokové schéma stejnosměrného motoru [8]</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2 - Princip stejnosměrného motoru [10]</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 3 - Elektromotor s vestavěnou převodovkou otočný</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 4 - Elektromotor s přímým převodem</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 5 - Elektromotor s vestavěnou převodovkou kyvný</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 6 - Rotorový plech</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 7 - Stator</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 8 - Řez motorem s přiřazenými materiály v programu FEMM 4.2</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 9 - Rozložení magnetické indukce v motoru</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 10 - Vnitřní moment při jmenovitém proudu</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 11 - Magnetická indukce ve vzduchové mezeře</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 12 - Objem permanentních magnetů Durox D310</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 13 - Korozní chování neodymových magnetů [11]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 14 - Neodymové magnety [13]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 15 - Samarium-kobaltové magnety [12]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 16 - Bezešvé trubky [14]</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 17 - Řez inovovaným motorem s přiřazenými materiály</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 18 - Rozložení magnetické idukce</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 19 - Vnitřní moment inovovaného motorku při jmenovitém proudu</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 20 - Magnetická indukce ve vzduchové mezeře</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 21 – Objem permanentních magnetů NdFeB 37 MGOe</i>	<i>35</i>



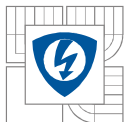
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 – Typy otočných motorků s vestavěnou převodovkou</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 2 - Typy motorků s přímým převodem.....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 3 - Typy kyvných motorků s vestavěnou převodovkou</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 4 - Parametry stěračového motoru.....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 5 - Výsledky analýzy magnetického pole</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 6 - Srovnání motorků.....</i>	<i>36</i>

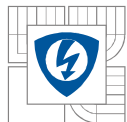


SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

FEMM	Finite Element Method Magnetics
BLDC	Brushless Direct Current Electric motor
U_i	Indukované napětí [V]
R_a	Odpor vinutí kotvy [Ω]
I_a	Proud kotvou [A]
EHK	Evropská hospodářská komise
ES	Evropská rada
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
ΔP_t	Ztráty třením kartáčů o komutátor
μ_t	Koeficient tření kartáčů o komutátor
p_k	Tlak na kartáče
ΣS_k	Plocha všech kartáčů
v_k	Obvodová rychlost komutátoru
ΔP_{tl}	Ztráty třením v ložiscích
b	Koeficient druhu oleje
d_0	Střední průměr kuličkového věnce [cm]
d_k	Průměr jedné kuličky [cm]
G_k	Hmotnost rotoru [kg]
n	Otáčky [min^{-1}]
ΔP_e	Ztráty ve vinutí kotvy
R	Výsledný vnitřní odpor kotvy [Ω]
R_t	Odpor vinutí při teplotě t [Ω]
R_0	Odpor vinutí při 20°C [Ω]
Δt	Teplotní rozdíl [°C]
α	Teplotní součinitel odporu
ΔP_k	Ztráty na kartáčích komutátoru
ΔU_k	Úbytek napětí na kartáčích komutátoru
ΔP_b	Ztráty v budícím vinutí
U_b	Napětí na svorkách budícího vinutí [V]
R_b	Odpor budícího vinutí [Ω]
I_b	Proud budícím vinutím [A]
Δp_h	Hysterezní ztráty



f	Kmitočet kotvy
B	Střední hodnota magnetické indukce
Δp_v	Ztráty vířivými proudy
γ	Součinitel ztrát pro plechy kotvy
t	Tloušťka plechu
D	průměr rotoru [mm]
l	Délka rotorového svazku [mm]
$2p$	Počet pólů
Q	Počet drážek
h_d	Hloubka drážky rotoru [mm]
K	Počet lamel
b_{zs}	Šířka zubu [mm]
S_{dr}	Plocha drážky [mm ²]
N_d	Počet závitů
$S_{vodič}$	Průřez vodiče [mm ²]
D_{so}	Vnější průměr statoru [mm]
D_{si}	Vnitřní průměr statoru [mm]
l_{PM}	Výška permanentních magnetů [mm]
l_{mag}	Délka permanentních magnetů [mm]
M_i	Vnitřní moment motoru [Nm]
B_δ	Magnetická indukce ve vzduchové mezeře [T]
V_{PM}	Objem permanentních magnetů [m ³]
SmCo	slitina Samarium-kobalt
NdFeB	slitina Neodym-železo-bor



1 ÚVOD

Tato bakalářská práce s názvem „Motorky pro automobilové stěrače“ se zaměřuje na inovaci stejnosměrných motorků používaných v automobilech k pohonu stěračů. Především se zaměřuje na snížení objemu a tudíž i hmotnosti aktivních materiálů v motoru.

V první části najdeme obecné informace o elektrických strojích a stěračovém mechanismu. Je zde popsán a znázorněn princip stejnosměrných motorů. Také je zde popsáno z čeho se stěračový mechanismus skládá, jakými předpisy se řídí, co musí splňovat a nejběžnější ovládání (polohy ovládací páčky).

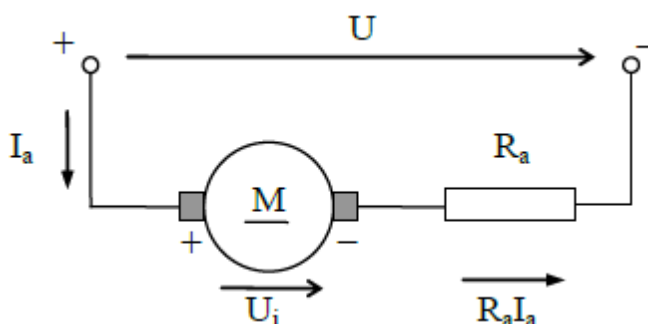
Další část se zabývá už konkrétně elektromotorky používanými pro stěračové pohony a ztrátami v elektrických motorech. Jsou zde vypsány jaké druhy buzení a řízení otáček se používaly a používají a jací nejznámější výrobci jsou dnes na trhu. Dále jsou zde popsány konkrétní elektromotory firmy APS Světlá nad Sázavou a.s. doplněné o ilustrační obrázky a katalogy firmy.

Po těchto kapitolách následuje rozbor konkrétního stěračového motoru a jeho analýza pomocí programu FEMM 4.2. Zde je model elektromotoru vymodelovaný pomocí programu AutoCAD 2013, který je následně importován do programu FEMM 4.2, ve kterém je pomocí metody konečných prvků analyzován. Dozvíme se, jaký má motorek vnitřní moment, jaký objem permanentních magnetů byl použit a jaká je v motoru indukce.

Následující část už se zabývá možnostmi inovací a konkrétní inovací námi analyzovaného motoru z předchozí kapitoly. Jsou zde popsány možnosti, jakými můžeme inovovat motorek a tím snížit objem a hmotnost aktivních materiálů. V poslední kapitole je inovace analyzovaného motoru z předchozí kapitoly a opět analýza pomocí programu FEMM 4.2 včetně konečného srovnání inovovaného a neinovovaného motoru.

2 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY

Stejnosemřné motory se historicky řadí mezi nejstarší. Jako první sloužily jako dynamy (pro výrobu elektrické energie) i jako motory (přeměna elektrické energie na mechanickou). V dnešní době se převážně využívají díky svým výhodným regulačním vlastnostem. Rozměrově jsou menší a lehčí než motory střídavé stejného výkonu. Jejich předností je velký záběrný moment s malou časovou konstantou. Nevýhodou těchto strojů je potřeba kluzných kontaktů mezi kartáči a komutátorem, což je zdrojem elektromagnetického rušení a poruch a také omezuje oblast, kde můžeme stejnosměrné motory použít. Ale díky rozvoji elektroniky můžeme komutovat elektronicky a tím konstruovat tzv. bezkartáčové stejnosměrné motory (BLDC).



Obr. 1 - Blokové schéma stejnosměrného motoru [8]

2.1 Konstrukční provedení

Stejnosemřný motor je točivý elektromotor napájený stejnosměrným proudem. Jeho princip objevil v roce 1873 Zénobe Gramme. Stejnosemřný elektromotor se jako každý elektrický točivý stroj skládá ze dvou hlavních částí:

- Stator – zde je umístěno budící vinutí vytvářející hlavní magnetické pole
- Rotor – na něm je navinuté vinutí, do kterého se přivádí proud přes komutátor

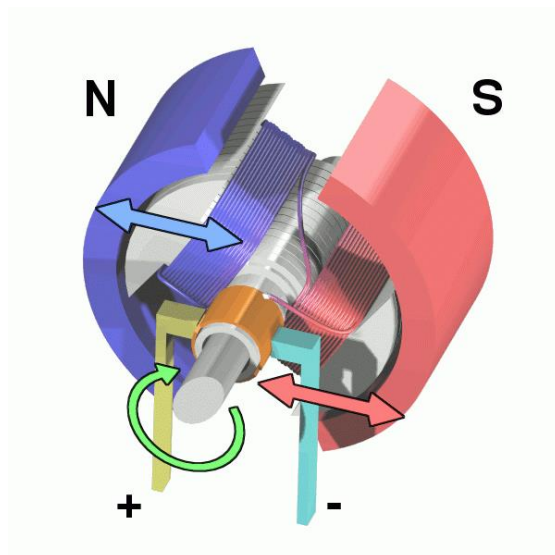
2.2 Princip činnosti

Princip činnosti stejnosměrného motoru spočívá v tom, že na vodič, kterým protéká proud v magnetickém poli, působí síla. Tato síla je závislá na velikosti elektrického proudu ve vodiči, na velikosti magnetického pole a na délce vodiče v magnetickém poli (počtu závitů).

U stejnosměrného motoru se v magnetickém poli mezi severním a jižním pólem statoru nachází otočná cívka (rotor). Je-li na cívkou připojeno napětí, proud vytvoří v této cívkě magnetické pole, které probíhá kolmo k plochám závitů rotoru. Magnetické pole statoru a magnetické pole rotoru vytvoří výsledné magnetické pole. Podle směru proudu v cívkě rotoru vzniká levotočivý, respektive pravotočivý moment. Cívka se otočí o takový úhel, dokud nemá magnetické pole statoru a rotoru stejný směr. Tato poloha se nazývá neutrální zóna. V této zóně se nevytváří žádný moment a rotor se přestane otáčet.

Přívod proudu do rotorové cívky provádíme přes dva uhlíkové kartáče, které dosedají na komutátor a společně tak tvoří kluzný kontakt. Jestliže má vzniknout pokračující točivý pohyb, tak se musí směr proudu v rotorové cívkě měnit. Přepnutí směru proudu se provádí komutátorem,

na který jsou připojeny začátky, respektive konce cívek. To má za následek, že proud pod severním a nad jižním pólem má vždy stejný směr. Vznik rovnoměrného točivého momentu docílíme tak, že na kotvu navineme více cívek. U jedné cívky by docházelo k nerovnoměrnému pohybu, protože by se kotva pod póly zrychlovala a v neutrální zóně brzdila.



Obr. 2 - Princip stejnosměrného motoru [10]

3 STĚRAČE SKEL

Stěrače jsou zařízení, která mají zajistit čistý výhled v zorném poli řidiče. Pracují na principu setření nečistot ze skla, které brání ve výhledu nebo omezuje výhled. Primární účes stěračů, na který jsou konstruovány, je odstranění vodní vrstvy ze skla. Pro stěrače platí předpisy EHK a ES, které požadují, aby stíraná plocha byla nejméně 80% referenčního pole.

Elektromotor pro pohon stěračů se zapíná a vypíná podle potřeby páčkou na sloupku volantu nebo pomocí senzoru, který je umístěn na čelním skle. Poloha páčky má několik aretovaných poloh:

- 1) Vypnuto (občas také auto)
- 2) Jedenkrát setřít
- 3) Auto (v případě senzoru na čelním skle)
- 4) Intervalové stírání (cyklovač)
- 5) Rychlost 1 (stálé stírání)
- 6) Rychlost 2 (rychlé stálé stírání)

Frekvence stírání musí ve smyslu zákonných předpisů být na první rychlostní stupeň minimálně 10 stíracích pohybů za minutu v Evropě, na druhý rychlostní stupeň minimálně 47 stíracích pohybů. Při vypnutí se musí stěrače vrátit do výchozí polohy. [1]

Stírací souprava se skládá z elektromotoru s převodovkou, stíracích ramen a stíracích lišt. Elektromotor je vybaven tepelnou pojistkou, která vypne elektromotor v momentě, kdy jsou stěrače zablokovány (např. přimrzlé ke sklu). Elektromotor bývá dvourychlostní a vybaven cyklovačem. Pohon pro stěrače skel vyžaduje velký točivý moment a poměrně malé otáčky. Nejčastěji používané elektromotory pro stěračové pohony jsou elektromotory s vestavěnou převodovkou planetovou nebo šnekovou. Součástí převodového mechanismu je i tzv. doběhový kontakt, umožňující zapojení zaručující doběh a zastavení ramen ve výchozí poloze bez ohledu na dobu vypnutí hlavního obvodu. Aby nedocházelo k překmitnutí krajní polohy, bývá elektromotor v koncové poloze elektricky brzděn.

4 PŘEHLED MOTORKŮ PRO STĚRAČE

Pro stěračové motorky, jak už bylo zmíneno výše, se používá stejnosměrných motorů s vestavěnou převodovkou planetovou nebo šnekovou. Nejčastěji se jednalo o dvoupólové komutátorové stejnosměrné motory. Stejnosměrné stoje dělíme z několika hledisek. Zda jde o generátor elektrického proudu nebo o spotřebič elektrického proudu. Dále můžeme dělit motory z hlediska zapojení budícího vinutí a vinutí kotvy.

Tím se dělí na stroje:

- se sériovým buzením
- s cizím buzením
- s derivačním buzením
- s kompaudním (smíšeným) buzením
- s buzením permanentními magnety

4.1 Druhy

4.1.1 Dle řízení otáček

Dříve se otáčky stěračových motorů řídili tak, že do jednoho bloku se umístily v podstatě dva motory. Tím pádem se zde nacházela dvě vinutí a dva komutátory. Pak záleželo, na jaké vinutí je přivedeno napětí a podle toho se hřídel otáčela různými otáčkami. Dnes se k regulaci otáček používá třetího kartáče. Pro tuto regulaci je třeba provést úpravu konstrukce. Na komutátoru přibude třetí kartáč, díky kterému můžeme měnit parametry motoru a tím pádem i otáčky. Nejčastěji se používá tento typ motoru v kombinaci s elektronickou regulací otáček.

4.1.2 Dle výrobců

Pokud budeme dnes hledat stěračové motorky, nejčastěji najdeme výrobky společnosti Valeo, Bosch, Febi a APS Světlá nad Sázavou. Stěračové motory pro osobní vozidla se nejčastěji navrhuje na objednávku automobilového koncernu. Jeden výrobce je vyrobí a další dva až tři navrhnu podobné, podle dispozice a výkonu, které potom prodají jako náhradní díly.

4.2 APS Světlá nad Sázavou

Společnost se zabývá autopříslušenstvím od roku 1998 a v roce 2003 se stala držitelem certifikátu ISO 9000 2001. Zabývá se výrobou stejnosměrných motorů na 12V a 24V, spínači tlaku, pákových náhonů a stěračích souprav pro nákladní automobily a autobusy a plovákovými zařízeními. V sortimentu stejnosměrných elektromotorů najdeme:

- otočné elektromotory s vestavěnou převodovkou
- elektromotory s přímým převodem
- kyvné elektromotory s převodovkou

4.2.1 Otočné elektromotory s vestavěnou převodovkou

Jedná se o elektromotory pro trvalé zatížení, složené z elektromotoru a vestavěné převodové skříně. Elektromotor je stejnosměrný na napětí 12V nebo 24V, dvoupólový s buzením permanentními feritovými magnety.

Přenos krouticího momentu je řešen buď planetovými převody, nebo převodovkou s předlohou a přímým ozubením na výstupní hřídel.

Elektromotory s vestavěnou převodovkou točné s různým stupněm elektromagnetického odrušení jsou opatřeny brzdou a doběhem do krajní polohy.

Pro své výkonové parametry, možnost trvalého zatížení a robustní konstrukci lze tento pohon použít pro:

- pohony pákových mechanismů stěračů nákladních vozidel a autobusů
- pohony invalidních vozíků
- pohony malých dopravníků a podobných podávacích zařízení
- pohony dětských vozítek



Obr. 3 - Elektromotor s vestavěnou převodovkou otočný

Typ.číslo	Jmen. napětí [V]	Provoz. napětí [V]	Jmen. proud [A]	Záběr. moment [Nm]	Jmen. moment [Nm]	Jmen. otáčky [1/min]	Smysl otáčení	Odrušení	Hmotnost [kg]
443122120081	24=	28=	3,5/2	45	3	min45/ min20	pravý	ČSN 34 2875 2.c	~4,1
443132186020	24=	24=	4,8		2	120	levý	-	~3,3
443122192017	12=		5/3,5	min.40	3	53/33 +/- 15%	pravý	-	~2,4
443122193027	24=	28=	3/2	min.45	3	53/33 +/- 15%	pravý	-	~2,4
443122194027	24=	28=	3/2	min.45	3	53/33 +/- 15%	levý	-	~2,4
443122234827	24=	28=	3,5/2,5	min.45	3	53/33 +/- 15%	pravý	VW TL 965	~2,4
443122233827	24=	28=	3,5/2	45	3	min45/ min20	pravý	VW TL 965	~3,8
443122299827	24=		4,5/3,5	108/86	10	37/20	pravý		~4,1

Tab. 1 – Typy otočných motorků s vestavěnou převodovkou

4.3 Elektromotory s přímým převodem

Jedná se o elektromotory pro trvalé i krátkodobé zatížení. Elektromotor je stejnosměrný na napětí 12V nebo 24V, dvoupólový s buzením permanentními feritovými magnety.

Vyrábí se v jednorychlostním provedení s možností změny otáček či elektronickou regulací otáček a s různým stupněm elektromagnetického odrušení.

Použití:

- pohony větrání a klimatizace nákladních vozidel a autobusů
- pohony invalidních vozíků
- pohony malých dopravníků a podobných podávacích zařízení
- pohony dětských vozítek
- doprava paliva



Obr. 4 - Elektromotor s přímým převodem

Typ.číslo	Jmen. napětí [V]	Provoz. napětí [V]	Jmen. proud [A]	Jmen. výkon [W]	Vnější průměr [mm]	Jmen. moment [Nm]	Jmen. otáčky [1/min]	Smysl otáčení	Odrušení	Hmotnost [kg]
443132168020	24=	28=	6	90	92		3750		-	~2,6
443132169020	24=	28=	4	65	76		4800		-	~1,1
443132170020	24=	28=	1,5	14	63		5000		-	~0,7
443132171010	12=	14=	8	65	76		4800		-	~1,1
443132197020	24=	28=	8	140	92		3400		-	~2,4
443132203020	12=	14=	8	65	76		4800		-	~1,1
443132228820	24=		10	240	92		2700		-	~4,5
443132231820	24=	28=	8	140	92		3400		-	~2,4
443132232810	12=		7		92	1,5	530		-	~4,5

Tab. 2 - Typy motorků s přímým převodem

4.3.1 Kyvné elektromotory s vestavěnou převodovkou

Jedná se o pohony pro trvalé zatížení, složené z elektromotoru a vestavěné převodové skříně. Elektromotor je stejnosměrný na napětí 12V resp. 24 V, dvoupólový s buzením permanentními feritovými magnety.

Převodová skříň převádí vysoké otáčky šnekového hřídele na kyvný pohyb výstupního hřídele.



Obr. 5 - Elektromotor s vestavěnou převodovkou kyvný

Typ.číslo	Jmen. napětí [V]	Provoz. napětí [V]	Jmen. proud [A]	Záběr. moment [Nm]	Jmen. moment [Nm]	Úhel otočení	Počet kyvů	Odrušení	Hmotnost [kg]
443122121043	12=	14=	1,2	min. 2,5	0,4	115°	42 +/- 30%	-	~1,0
443122122046	12=	14=	1,2	min. 2,5	0,4	100°	42 +/- 30%	-	~1,0
443122129000	24=	28=	0,5	min. 2,5	0,4	115°	45 +/- 30%	-	~1,0

Tab. 3 - Typy kyvných motorků s vestavěnou převodovkou

5 ZTRÁTY ELEKTRICKÝCH MOTORŮ

Elektrický stroj přeměňuje elektrickou energii na mechanickou (motor), nebo mechanickou energii na elektrickou (generátor). Přitom se část energie mění v teplo, které stroj ohřívá. Tuto část nazýváme elektrické ztráty. Ztráty určují zároveň účinnost stroje, protože teplo se odvádí do okolí, takže účinnost je menší. Ztráty se počítají a měří v ustáleném režimu práce stroje. Ztráty jsou původu mechanického nebo elektromagnetického. [3]

Do mechanických ztrát lze zařadit ztráty způsobené třením v ložiscích, třením kartáčů o komutátor a ventilační ztráty. Do ventilačních ztrát patří ztráty třením rotoru o vzduchovou mezeru a ztráty způsobené chlazením motoru vzduchem. Ztráty elektromagnetického původu jsou dány ztrátami elektrickými a magnetickými. Elektrické ztráty dělíme na ztráty ve vinutí kotvy, ve vinutí buzení, úbytku napětí na kartáčích a dodatečné ztráty. Magnetické ztráty dělíme na ztráty hysterezní, ztráty vířivými proudy a dodatečné ztráty. [3]

5.1 Mechanické ztráty

5.1.1 Ztráty třením kartáčů o komutátor

Ztráty třením kartáčů o komutátor lze určit relativně snadno podle vzorce:

$$\Delta P_t = \mu_t \cdot p_k \cdot v_k \cdot \sum S_k \quad (1)$$

Kde:

- μ_t – koeficient tření kartáčů o komutátor (0,2-0,3)
- p_k – tlak na kartáče
- $\sum S_k$ – plocha všech kartáčů
- v_k – obvodová rychlost komutátoru

5.1.2 Ztráty třením v ložiscích a ventilační ztráty

Ztráty třením v ložiscích a ventilační ztráty třením rotoru o vzduch se jen velmi obtížně stanovují. Většinou se k tomu používá empirických vzorců, které platí pouze pro omezený rozsah rozměrů a výkonů strojů, nebo se používá různých grafů, rovněž empiricky sestavených. Je to způsobeno tím, že ztráty třením v ložiscích, především kluzných, závisí na mnoha činitelích, které není možná vždy analyticky vyjádřit. Přitom ztráty ve valivých ložiscích jsou menší než v ložiscích kluzných. Pro malé elektrické stroje s valivými ložisky je např. možné uvést vzorec:

$$\Delta P_{tl} = b \cdot \frac{d_\epsilon - d_k}{d_0} \cdot G_k \cdot n \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

Kde:

- b – závisí na druhu oleje (1-3)
- d_0 – střední průměr kuličkového věnce (cm)
- d_k – průměr jedné kuličky (cm)
- G_k – hmotnost rotoru (kg)
- n – otáčky (min-1)

5.2 Elektrické ztráty

5.2.1 Ztráty ve vinutí kotvy

Ztráty ve vinutí kotvy jsou dány odporem vinutí kotvy a přepočteny na provozní teplotu (podle třídy izolace).

$$\Delta P_e = I_a^2 \cdot R \quad (3)$$

Kde:

- I_a – proud kotvou (A)
- R – výsledný odpor vinutí kotvy (Ω)

Se vzrůstající teplotou se odpor R vinutí zvětšuje, proto je za potřeby tento odpor přepočítat na odpor při provozní teplotě podle vztahu:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (4)$$

Kde:

- R_t – je odpor vinutí při teplotě t (Ω)
- R_0 – je odpor vinutí při 20°C (Ω)
- α – je teplotní součinitel odporu
- Δt – teplotní rozdíl ($^\circ\text{C}$)

5.2.2 Ztráty na kartáčích komutátoru

Tyto ztráty jsou dány úbytkem napětí na kartáčích komutátoru, který závisí na jakosti kartáčů a mění se s hustotou proudu:

$$\Delta P_k = \Delta U_k \cdot I_a \quad (5)$$

Kde:

- ΔU_k – je úbytek napětí na kartáčích komutátoru

5.2.3 Ztráty ve vinutí buzení

Elektrické ztráty v budícím vinutí jsou dány vztahem:

$$\Delta P_b = R_b \cdot I_b^2 = \frac{U_b^2}{R_b} \quad (6)$$

Kde:

- U_b – je napětí na svorkách budícího vinutí

5.2.4 Dodatečné elektrické ztráty

Dodatečné elektrické ztráty jsou způsobeny rozptylovým magnetickým polem a projevují se např. tak, že uprostřed vodiče prochází nejmenší proud (skinefekt), nebo je proud v drážce vytlačován nahoru vlivem rozptylového pole. Skinefekt musíme uvažovat u stejnosměrných strojů s otáčkami vyššími než $20\,000\text{ min}^{-1}$ a u střídavých strojů s vysokou frekvencí. Obdobně je tomu v případě vytlačování proudu vodiče v drážce.

5.3 Magnetické ztráty (ztráty v železe)

5.3.1 Hysterezní ztráty

V každém elektrickém stroji se mění magnetický tok (i u stejnosměrných strojů v kotvě), střídavý magnetický tok způsobuje ztráty přemagnetováním neboli hysterezní ztráty. Tyto ztráty jsou úměrné ploše hysterezní smyčky magnetického materiálu. Rozložení magnetické indukce v plechovém tělese kotvy je složité, proto pro výpočet ztrát v železe používáme zjednodušených předpokladů.

$$\Delta p_h = K_h \cdot \frac{f}{50} \cdot B^2 \quad (7)$$

Kde:

- K_h – součinitel
- f – kmitočet kotvy (počet pólových dvojic · otáčky rotoru)
- B – střední maximální indukce v magnetickém obvodu kotvy

5.3.2 Ztráty vířivými proudy

Ztráty závisí na druhé mocnině amplitudy magnetického indukce, na čtverci frekvence a na druhé mocnině tloušťky plechu. Z toho je možné odvodit způsob snižování ztrát. Pro výpočty používáme vzorec:

$$\Delta p_v = K_v \cdot \gamma \cdot t^2 \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^2 \cdot B^2 \quad (8)$$

Kde:

- t – je tloušťka plechu
- K_v – je činitel přihlížející na rozložení magnetického toku, vlivu opracování a nedokonalosti izolace
- γ – součinitel ztrát pro plechy kotvy

5.3.3 Dodatečné magnetické ztráty

Ztráty jsou způsobeny především nesinusovým průběhem indukce ve vzduchové mezeře stroje a dále drážkováním statoru, rotoru nebo obojího. Projevují se jako ztráty vířivými proudy a je prakticky nemožné je separovat (při měření) od ztrát vířivými proudy. Také je lze jen velmi přibližně stanovit výpočtem.

6 ROZBOR STĚRAČOVÉHO MOTORKU

Pro rozbor jsem si vybral motorek od firmy APS, Světlá nad Sázavou a.s. Jedná se motorek pro stěrače u nákladních automobilů. Takže jeho napájecí napětí je 24V. Tento motorek má vyvedenou hřídel na obě strany. Provedu analýzu magnetického obvodu v programu FEMM 4.2. [4]

Parametry motorku:

- APS, Světlá nad Sázavou a.s.
- Napájecí napětí 24V, výkon 65W, proud 5,5A, otáčky 3500 min^{-1}
- Výrobní číslo – 443 132 243 020

Průměr rotoru	$D = 41 \text{ mm}$
Délka rotorového svazku	$l = 32 \text{ mm}$
Počet pólů	$2p = 2$
Počet drážek	$Q = 12$
Hloubka drážky rotoru	$h_d = 10 \text{ mm}$
Počet lamel	$K = 12$
Šířka zubu rotoru	$b_{zs} = 2,2 \text{ mm}$
Plocha drážky	$S_{dr} = 51 \text{ mm}^2$
Počet závitů	$N_d = 30 \text{ záv.}$
Průřez vodiče	$S_{vodič} = 0,5 \text{ mm}^2$
Vnější průměr statoru	$D_{so} = 66 \text{ mm}$
Vnitřní průměr statoru	$D_{si} = 58 \text{ mm}$
Výška magnetu	$l_{PM} = 7,6 \text{ mm}$
Délka magnetu	$l_{mag} = 49 \text{ mm}$

Tab. 4 - Parametry stěračového motorku

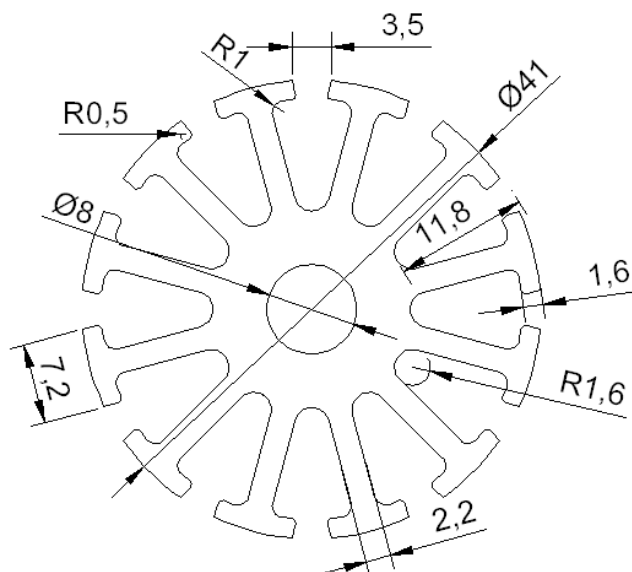
6.1 Analýza motorku

Motorek budu analyzovat pomocí programu FEMM 4.2. Program FEMM 4.2 slouží k řešení elektromagnetických úloh pomocí dvourozměrných modelů metodou konečných prvků. Ta je účinná k řešení všech okrajových úloh popsanych diferenciálními rovnicemi a právě tato analýza se bude zabývat řešením magnetického obvodu námi zvoleného motorku metodou konečných prvků.

Materiály motorku zadané do programu FEMM 4.2 pro výpočet magnetického pole:

- Permanentní magnety – Ferit Durox D 310
- Vinutí – Měděný drát 0,5 mm
- Plech rotoru – M700 – 50A
- Kostra – ocel – 1010 Steel
- Hřídel – ocel – 1010 Steel

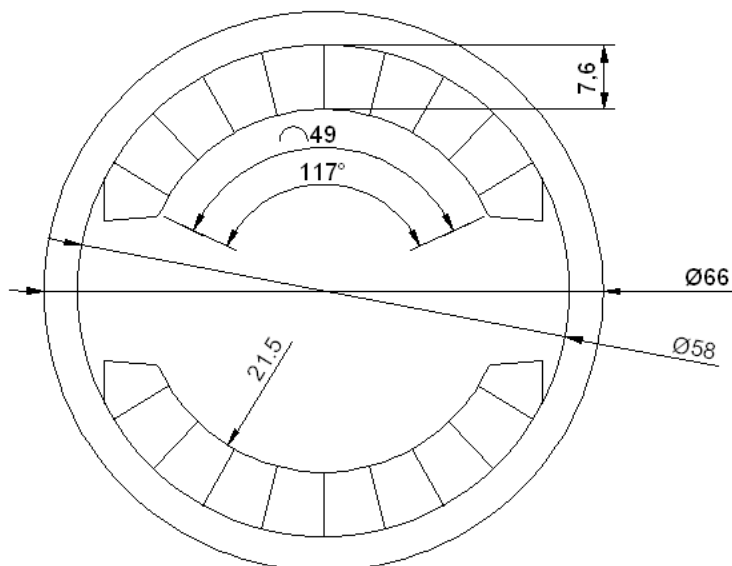
6.1.1 Rotor:



Obr. 6 - Rotorový plech

Průměr rotoru z technické dokumentace je 41 mm a délka rotoru je 32 mm. Rotor je složen z 64 plechů, každý s tloušťkou 0,5 mm. Má 12 drážek, každá s hloubkou 10 mm. Celková plocha drážky je 51 mm². Šířka zubu je 2,2 mm. Rotorem vede hřídel o průměru 8 mm. Vinutí má v drážkách paralelní větev. Každá cívka má 30 závitů, tudíž v jedné drážce je 60 vodičů o průměru 0,5 mm.

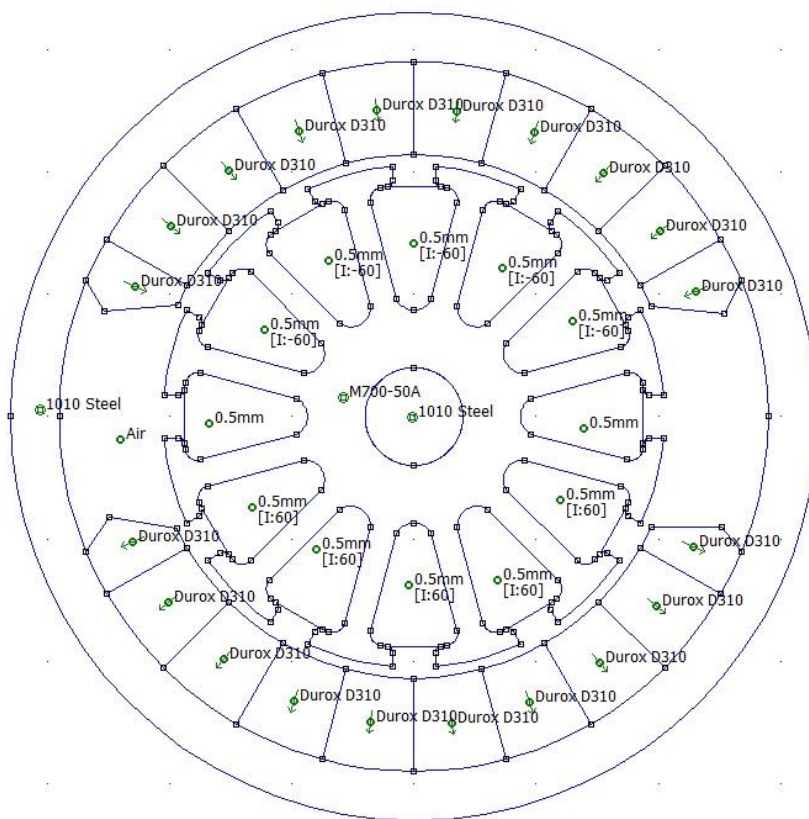
6.1.2 Stator:



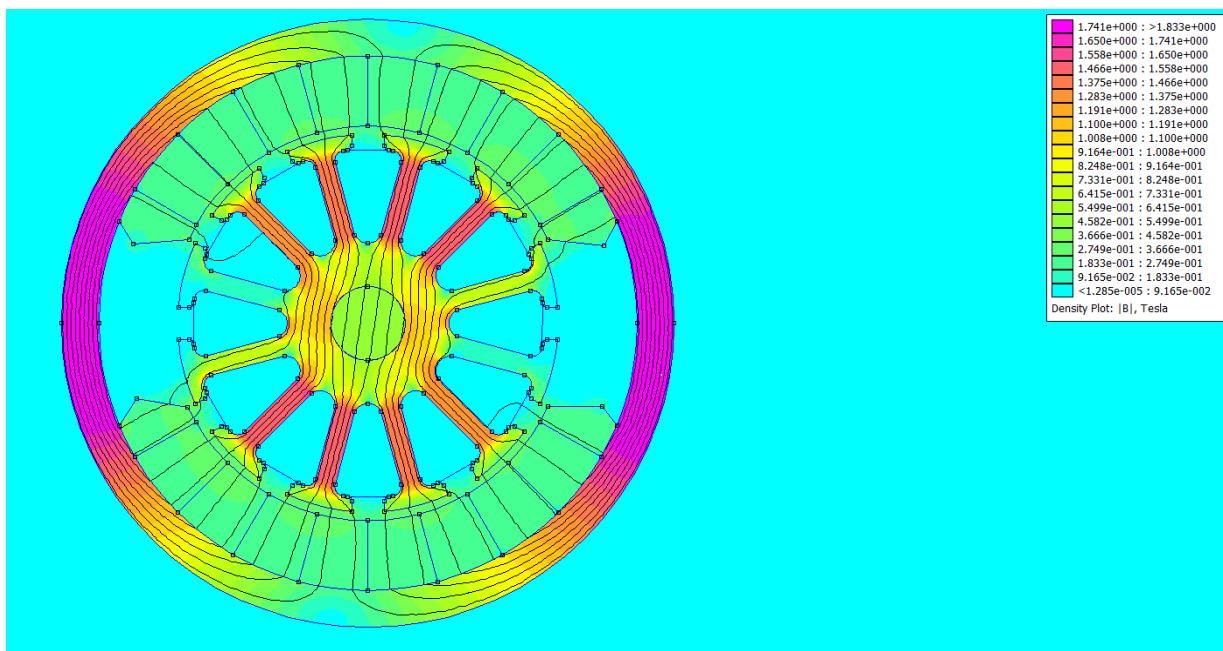
Obr. 7 - Stator

Průměry statoru jsou 66 mm vnější a 58 mm vnitřní. Délka permanentního magnetu je 49 mm a výška je 7,6 mm. Celý stator je tvořen ocelovou stáčenou trubkou se zámkem.

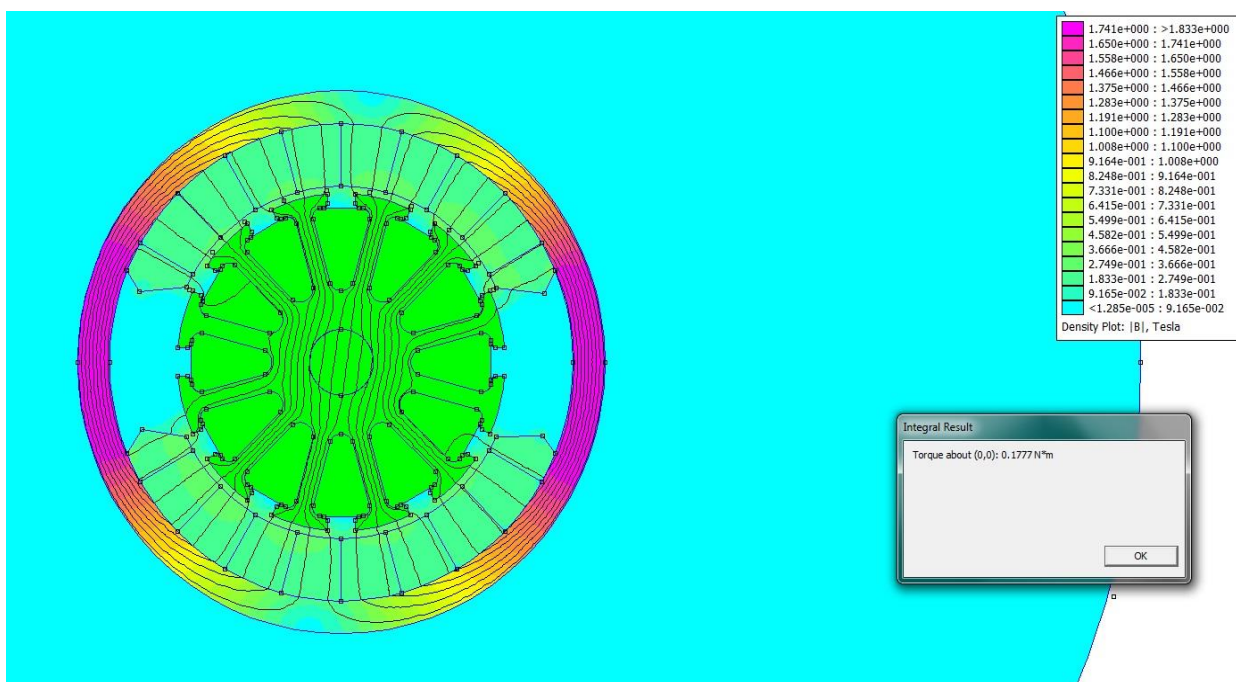
6.2 Výsledky analýzy pomocí programu FEMM 4.2



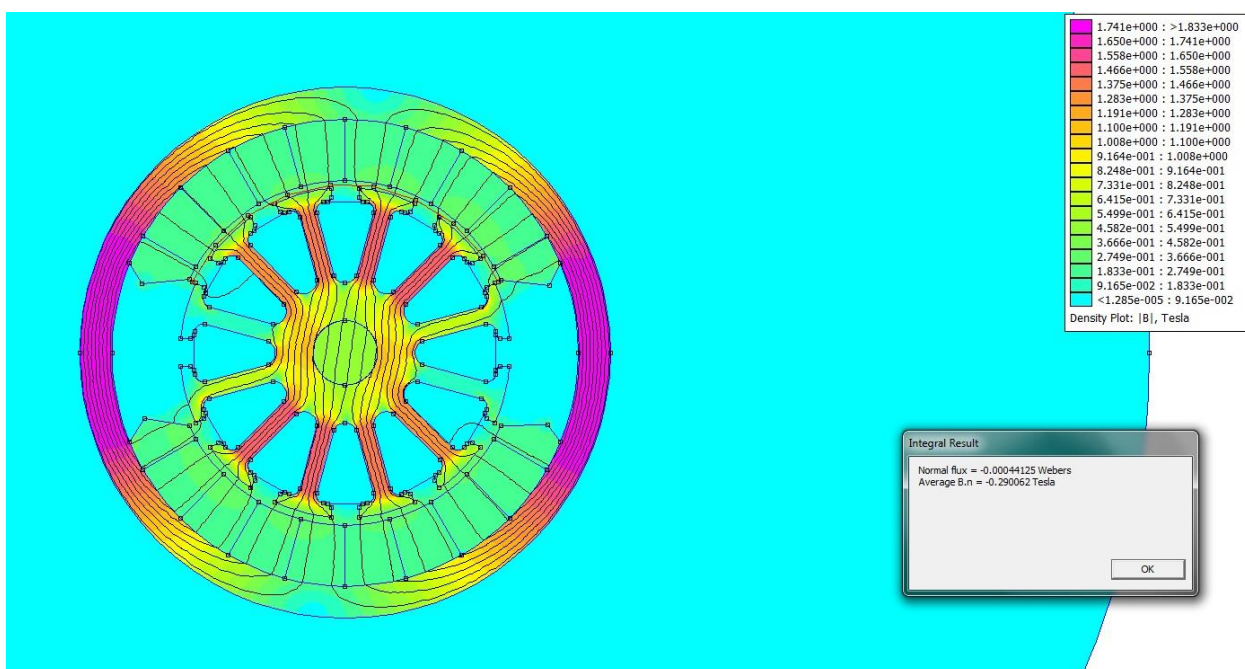
Obr. 8 - Řez motorem s přiřazenými materiály v programu FEMM 4.2



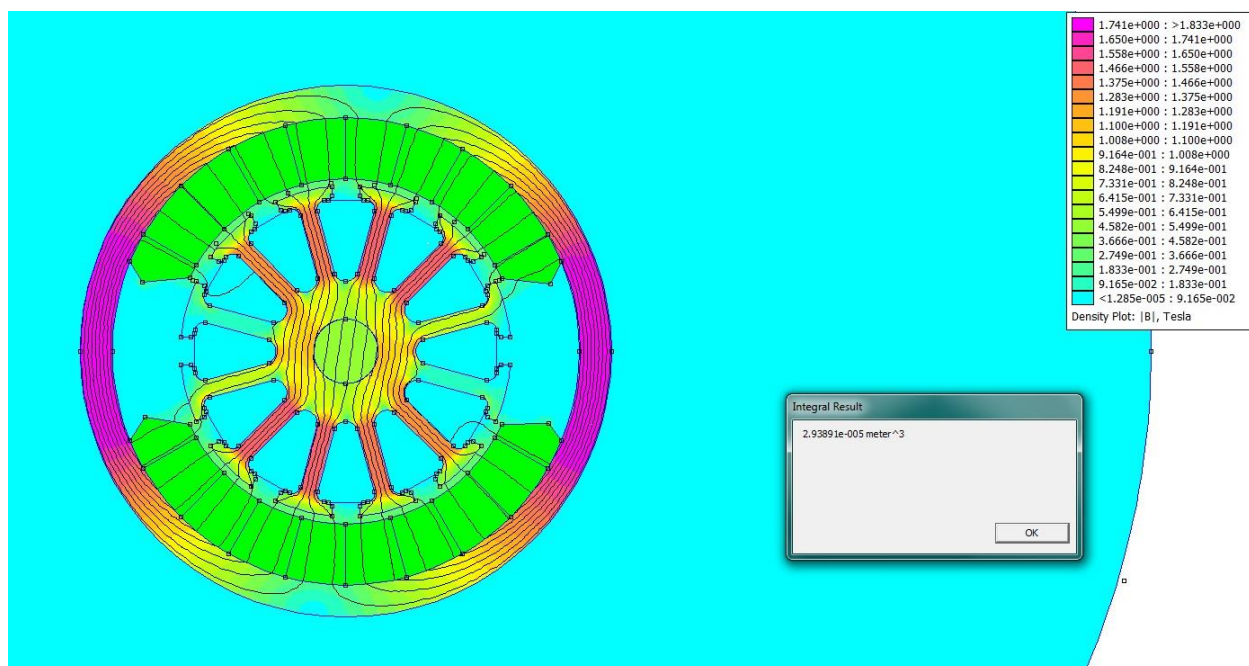
Obr. 9 - Rozložení magnetické indukce v motoru



Obr. 10 - Vnitřní moment při jmenovitém proudu



Obr. 11 - Magnetická indukce ve vzduchové mezeře



Obr. 12 - Objem permanentních magnetů Durox D310

6.3 Výsledky analýzy magnetického pole programem FEMM 4.2

V programu FEMM 4.2 jsem do vytvořeného řezu štěračového motorku přiřadil materiály a nastavil podmínky analýzy. Výsledky jsou zobrazeny na obrázcích výše.

Dále jsem pomocí programu FEMM 4.2 vypočetl indukci ve vzduchové mezeře $B_\delta = 0,290$ T, vnitřní moment při jmenovitém proudu $I = 1,5$ A (v jedné paralelní větvi, takže celkový proud $I_{\text{celk}} = 3$ A) $M_i = 0,177$ Nm a celkový objem permanentních magnetů $V_{\text{PM}} = 2,94 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$. Maximální vypočtená indukce byla ve jhu statoru o hodnotě 1,83 T a maximální indukce zubu byla 1,5 T.

Vnější průměr	66 mm
Vnitřní průměr	58 mm
Průměr rotoru	41 mm
Délka rotorového svazku	32 mm
Šířka zubu	2,2 mm
Výška permanentních magnetů	7,6 mm
Indukce ve vzduchové mezeře	0,290 T
Indukce v zubu	1,5 T
Maximální indukce	1,83 T
Vnitřní moment	0,177 Nm
Výška vzduchové mezery	0,9 mm
Objem permanentních magnetů	$2,94 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

Tab. 5 - Výsledky analýzy magnetického pole

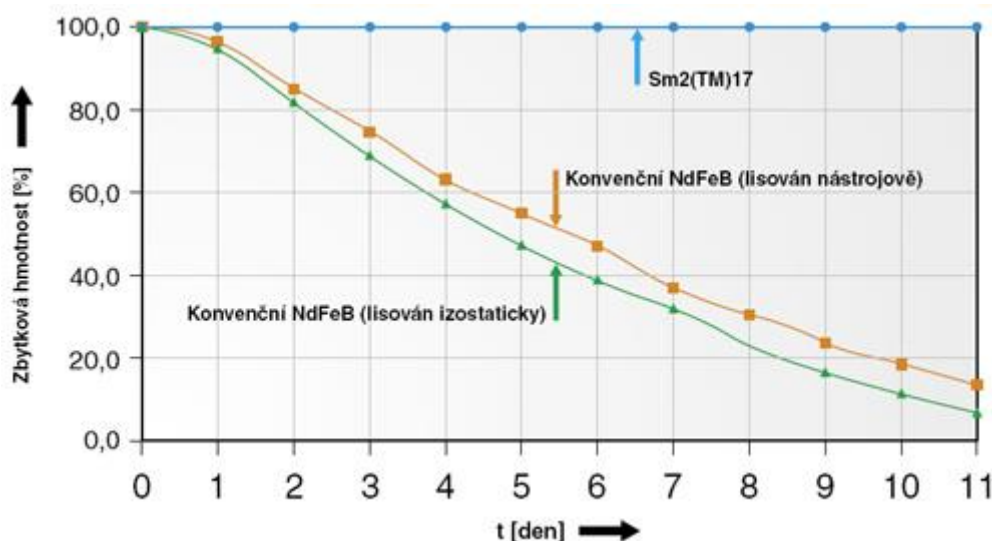
7 MOŽNOSTI SNÍŽENÍ OBJEMU AKTIVNÍCH MATERIÁLŮ

Možností, jak snížit objem aktivních materiálů a tím pádem i hmotnost celého motorku je několik. V následující části této práce popíšu jednotlivé možnosti.

První možností je použití jiného typu permanentních magnetů, jako jsou Neodymové nebo Samarium-kobaltové a tím se nám zmenší výška permanentních magnetů. Díky menším magnetům můžeme udělat dvě úpravy celého motorku. První variantou, pokud nepotřebujeme zvětšovat výkon motoru, necháme stejně velký rotor a vzduchovou mezeru a k tomu úměrně zmenšíme velikost statoru. Takže snížíme celkový objem železa statoru a velikost permanentních magnetů. Druhou variantou je zachování velikosti statoru a vzduchové mezery a zvětšení rotoru. Díky tomu zvýšíme výkon motoru, ale úbytek aktivních materiálů bude méně znatelný.

7.1 Použití Neodymových magnetů (NdFeB)

Neodymové magnety jsou směsí neodymu, železa a boru. Tyto magnety nabízejí v dnešní době nejlepší poměr ceny a výkonu. Mají vynikající magnetické vlastnosti a největší remanenci a dokáží unést až tisícinásobek své vlastní hmotnosti. Bohužel se nehodí do podmínek, kde by se mohly více zahřát, jelikož už při zhruba 80°C ztrácejí své magnetické vlastnosti.

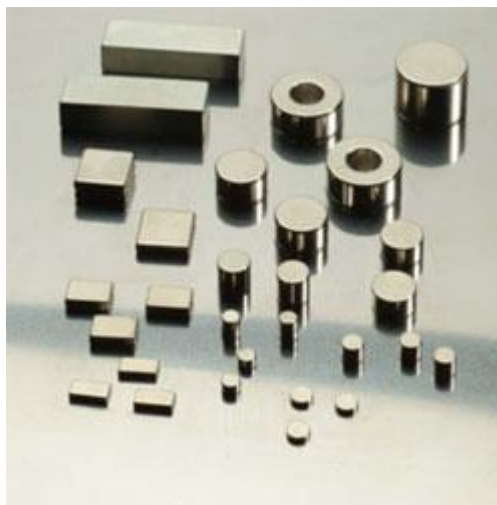


Obr. 13 - Korozní chování neodymových magnetů [11]

7.1.1 Výrobní proces NdFeB

„Bloky neodymových magnetů jsou obvykle vyráběny procesem práškové metalurgie. Neodymový prach o velikosti několika mikronů je produkován v atmosféře inertního plynu a pak následně stlačen v tuhé ocelové nebo gumové formě. Kaučuková forma je zpevněná na všech stranách kapalinou a ta předává tlak pro isostatické slisování. V ocelových formách jsou produkovány magnety finálních tvarů, zatímco v gumových formách jsou produkovány velké bloky (tzv. bochníky), které jsou pak následně děleny na konečné tvary. Magnetický výkon slitiny je optimalizován tím, že je používáno silného magnetického pole před a během lisovacího procesu. Toto pole určí směr magnetizace tzv. orientaci Weissových domén. Srovnání částíček vyplývá z anizotropní povahy slitiny a velice zlepšuje remanentní magnetickou indukci B_r a ostatní magnetické charakteristiky permanentního magnetu. Po vylisování a spečení až dosáhnou

plně tuhé konzistence, se chovají jako permanentní magnety. Vylisované magnety takto dosáhnou finálních rozměrů, ale magnety lisované v gumových formách do tzv. „bochníků“ se obvykle srovnají na velkých mlýncích a pak následně „nakrájí“ na finální tvary.“ [9]



Obr. 14 - Neodymové magnety[13]

7.1.2 Povrchová úprava NdFeB

Jelikož NdFeB magnety podléhají velmi rychlé korozi, je povrchová úprava jednou z nejdůležitějších. Možnosti, jak chránit tyto magnety před korozi jsou lakování nebo pokovení. Další nevýhodou je, že většina prostředků pro povrchovou úpravu není schopna tyto magnety upravit, slitina NdFeB nepřijme pokovení což má za následek korozi zevnitř směrem k povrchu magnetu. Materiály, které se dokáží přizpůsobit povrchu NdFeB magnetu jsou nikl, zinek, epoxidová pryskyřice nebo zlato a stříbro.

7.2 Použití Samarium-kobaltových magnetů

Samarium-kobaltové magnety (SmCo) patří k magneticky vzácným zeminám. Vyrábí se podobně jako neodymové magnety a patří ke skupině s druhou největší vnitřní energií hned po NdFeB. Na rozdíl od NdFeB magnetů nabízí nejlepší poměr ve srovnání výkonu a odolnosti proti vysokým teplotám či nepříznivým podmínkám. Vůči korozi jsou velmi odolné, takže nevyžadují povrchovou úpravu. Nevýhodami jsou vyšší cena, křehkost a velká náchylnost ke štěpení.



Obr. 15 - Samarium-kobaltové magnety[12]

7.2.1 Úpravy SmCo

Samarium-kobaltové magnety, tedy samotný materiál, je velmi křehký. Proto při opracování je použití obráběcích strojů obtížné. Proto se většinou opracovávají v nezmagnetizovaném stavu (jiná krystalová struktura než ve zmagnetovaném stavu) a následně se zmagnetizují až k nasycení. To vyžaduje velké magnetizační pole. Anizotropní povaha magnetů vyústí v jediný směr magnetizace, který musí být zachován až do konečné montáže. Často se tento směr měří indikátorem, který pozná specifický pól pro dané zařízení či stroj. Tento pól je označen barevně nebo laserovým výřezem.

7.3 Použití bezešvých trubek

Další možností je použití bezešvých trubek na kostru statoru. Dají se zde použít díky přesným vnitřním i vnějším rozměrům, které jsou normované a různým délkám, ze kterých se dají odřezávat námi požadované délky.

Díky přesným rozměrům bezešvých trubek dojde k rovnoměrnějšímu rozložení vzduchové mezery, než tomu bylo u svařovaných trubek. To má za následek snížení magnetického odporu ve vzduchové mezeře a zvýšení magnetického toku v obvodu.



Obr. 16 - Bezešvé trubky[14]

8 NÁVRH INOVOVANÉHO STĚRAČOVÉHO MOTORKU

Pro inovaci stěračového motorku jsem zvolil permanentní magnety ze vzácných zemin. Jak jsem zmínil výše, můžeme použít dva typy magnetů. Buď Neodymové, nebo Samarium-kobaltové. Já jsem zvolil Neodymové, konkrétně NdFeB 37 MGOe.

Další inovací bylo použití normované bezešvé trubky. Tu jsem volil dle toho, aby byly zachovány rozměry rotorového plechu a vzduchové mezery. Vnější průměr trubky je 58 mm s tloušťkou stěny 4,5 mm. Počet drážek zůstal také nezměněn stejně jako šířka zubu a plocha drážky.

Materiály použité v inovovaném motorku:

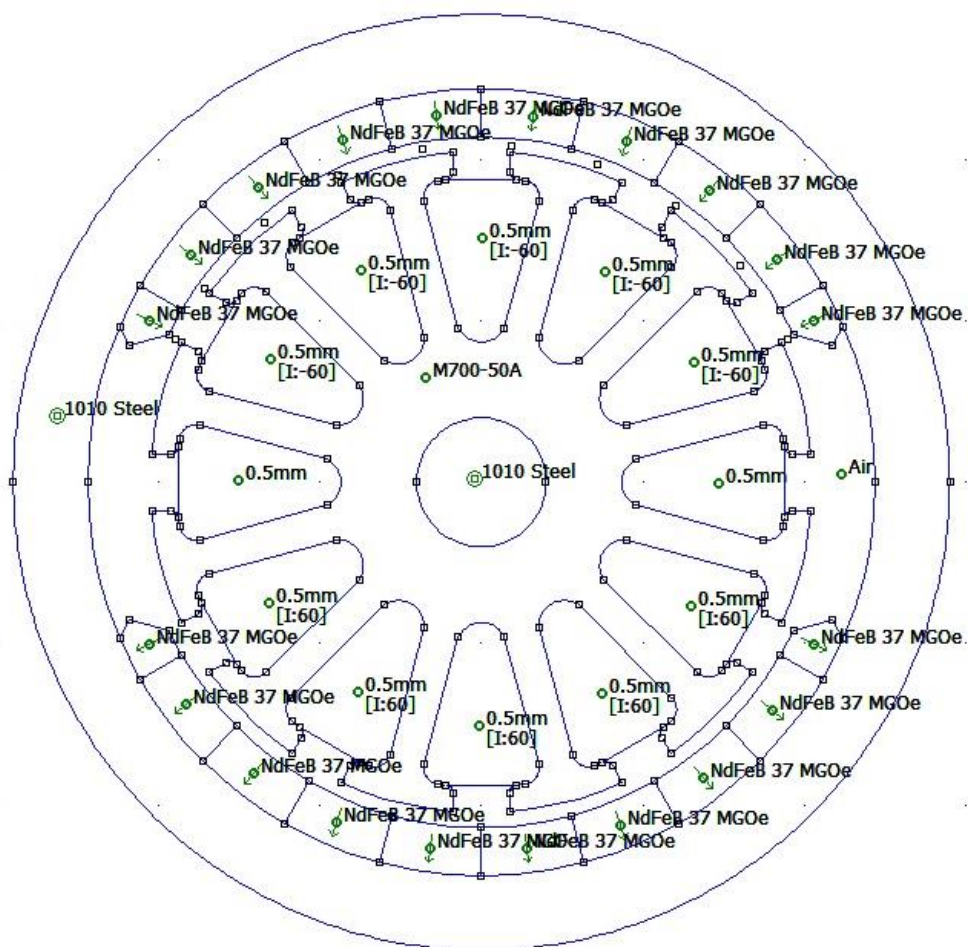
- Permanentní magnety – NdFeB 37 MGOe
- Vinutí – Měděný drát 0,5 mm
- Plech rotoru – M700-50A
- Kostra – bezešvá trubka – 1010 Steel

8.1 Rotor

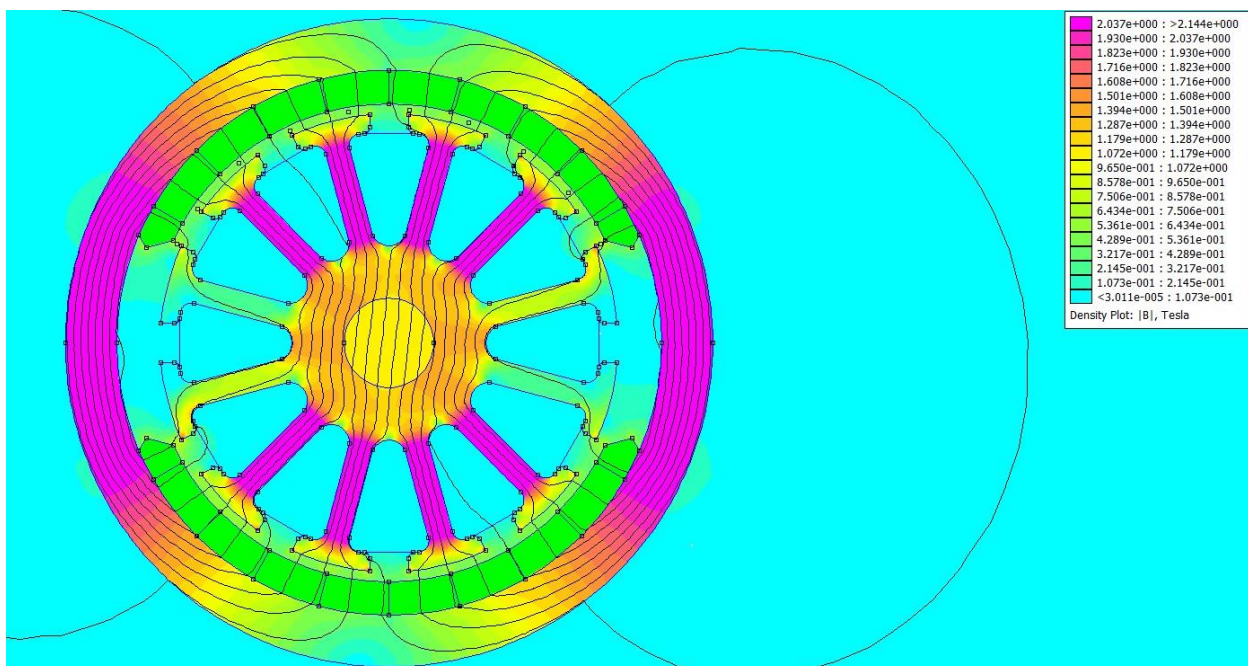
Rozměry rotoru zůstaly zachovány. Průměr rotoru je 41 mm, délka 32 mm a skládá se z 64 plechů o tloušťce 0,5 mm. Rotor má 12 drážek a 2 paralelní vinutí. V každé drážce je uloženo 60 vodičů o průměru $0,5 \text{ mm}^2$, takže každá cívka má 30 závitů.

8.2 Stator

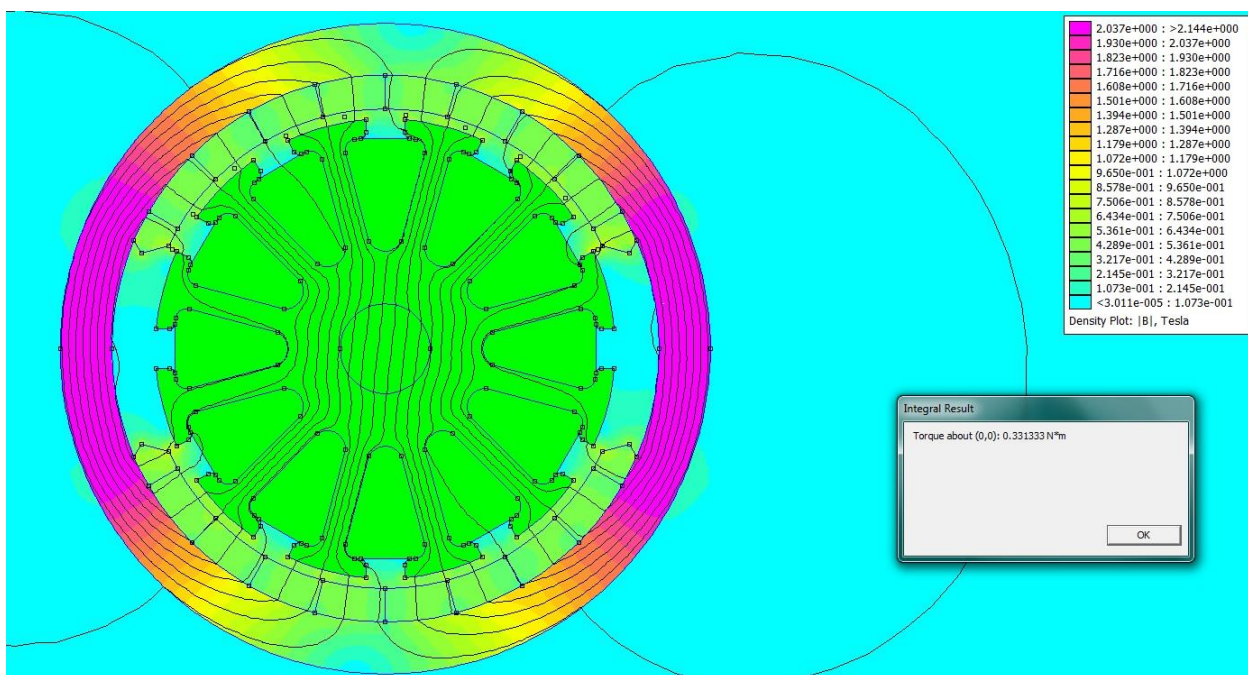
Vnější průměr statoru se zmenšil z původních 66 mm na 58 mm a je tvořen přesnou bezešvou trubkou s tloušťkou stěny 4,5 mm. Tím pádem máme přesný vnitřní průměr 49 mm. Zde jsou přilepeny Neodymové permanentní magnety (NdFeB 37 MGOe) s výškou 3 mm.



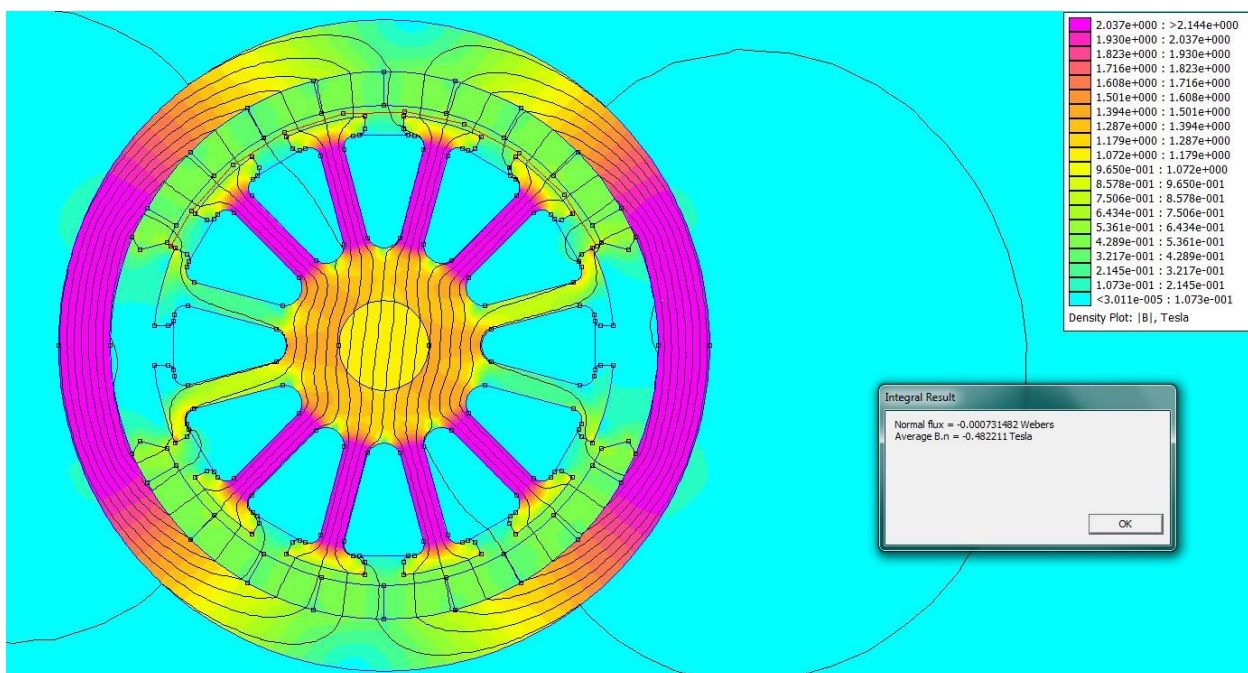
Obr. 17 - Řez inovovaným motorem s přiřazenými materiály



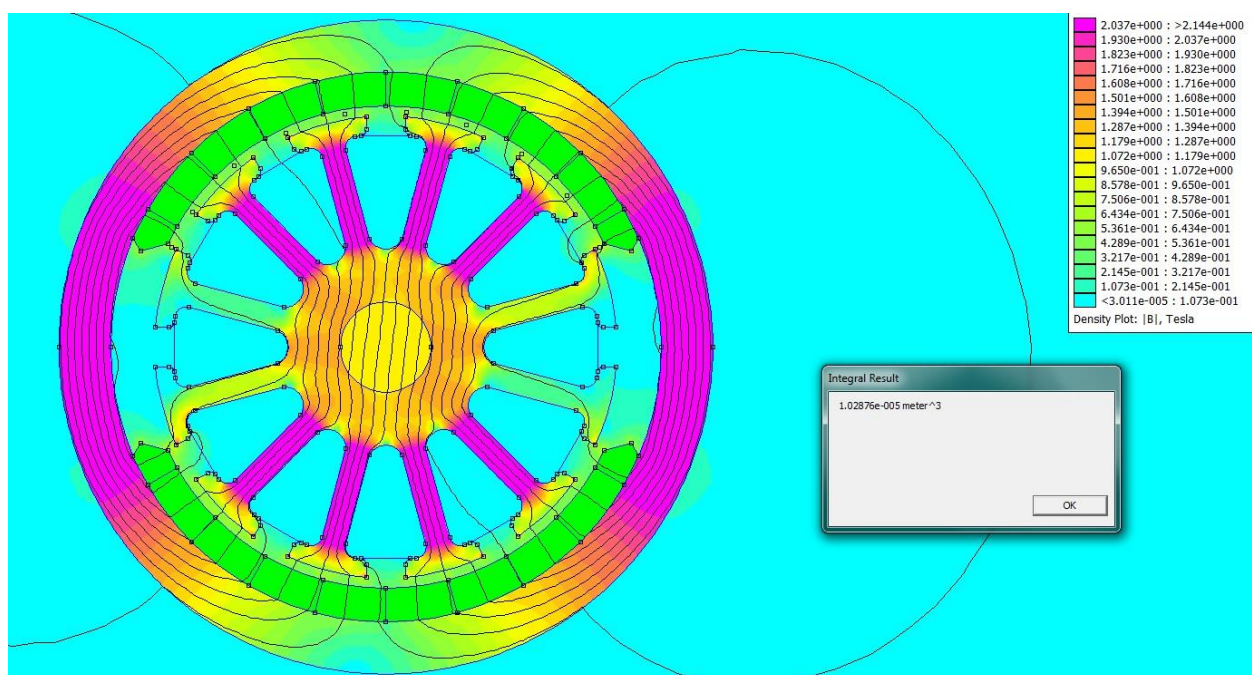
Obr. 18 - Rozložení magnetické indukce



Obr. 19 - Vnitřní moment inovovaného motorku při jmenovitém proudu



Obr. 20 - Magnetická indukce ve vzduchové mezeře



Obr. 21 – Objem permanentních magnetů NdFeB 37 MGOe

8.3 Vyhodnocení výsledků

Do programu FEMM 4.2 jsem importoval inovovaný motorek, přiřadil jsem k němu materiály a spustil analýzu, jak je vidět na obrázcích výše.

Také jsem vypočetl pomocí programu FEMM 4.2 hodnoty inovovaného motorku. Magnetická indukce ve vzduchové mezeře $B_\delta = 0,482$ T. Vnitřní moment při jmenovitém napětí 1,5 A je $M_i = 0,331$ Nm. Celkový objem permanentních magnetů je $V_{PM} = 1,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$. Maximální vypočtená indukce je 2,144 T.

Vnější průměr	58 mm
Vnitřní průměr	49 mm
Průměr rotoru	41 mm
Délka rotorového svazku	32 mm
Šířka zubu	2,2 mm
Výška permanentních magnetů	3 mm
Indukce ve vzduchové mezeře	0,482 T
Indukce v zubu	2 T
Maximální indukce	2,144 T
Vnitřní moment	0,331 Nm
Výška vzduchové mezery	0,9 mm
Objem permanentních magnetů	$1,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

9 SROVNÁNÍ MOTORKŮ

Cílem inovace motorku bylo snížení objemu a tudíž i hmotnosti aktivních částí. Pokud jsme nechtěli navrhovat kompletně nový motorek se stejnými parametry nebo případně s úplně jinými parametry, tak možností inovace bylo několik. Já jsem v této práci zvolil zachování rotorových plechů a výšky vzduchové mezery. Místo feritových magnetů jsem použil magnety z magneticky vzácných zemin, konkrétně Neodymové NdFeB 37 MGOe. Jelikož jsem zmenšoval stator, tak už je výhodné použít místo svařovaných trubek, přesné bezešvé trubky.

Starý motorek měl vnější průměr 66 mm, inovovaný motorek má vnější průměr 58 mm, takže o 8 mm menší. Díky přesné bezešvé trubce je tloušťka stěny přesně 4,5 mm po celém obvodu, takže dojde k rovnoměrnějšímu rozložení magnetické indukce uvnitř motorku. Snížením výšky permanentních magnetů ze 7,6 mm na 3 mm došlo ke snížení objemu permanentních magnetů na 35% původního objemu. Celkový objem motorku se zmenšil o 23% z $10,95 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ na $8,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$.

	Starý motorek	Inovovaný motorek	jednotka
Vnější průměr	66	58	mm
Vnitřní průměr	58	49	mm
Průměr rotoru	41	41	mm
Délka rotorového svazku	32	32	mm
Šířka zubu	2,2	2,2	mm
Výška vzduchové mezery	0,9	0,9	mm
Výška permanentních magnetů	7,6	3	mm
Objem permanentních magnetů	$2,94 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$	m^3
Celkový objem motoru	$10,95 \cdot 10^{-5}$	$8,46 \cdot 10^{-5}$	m^3
Indukce ve vzduchové mezeře	0,290	0,482	T
Indukce v zubu	1,5	2	T
Maximální indukce	1,83	2,14	T
Vnitřní moment	0,177	0,331	Nm

Tab. 6 - Srovnání motorků

10 ZÁVĚR

V této práci jsem se zabýval analýzou a následnou inovací stěračového motorku za účelem snížení objemu a hmotnosti aktivních materiálů.

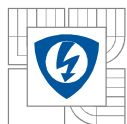
Prvním cílem práce bylo vypracovat obecný přehled elektromotorků, které se používají pro stěračové pohony. Zde jsem vypsals obecný přehled a princip stejnosměrných elektromotorů a stručně princip stěračového mechanismu a nejběžnější zapojení ovládání stěračů. V další kapitole jsem popsal přehled motorků pro stěrače s rozdělením podle typu buzení, např.: sériové, derivační a dnes nejvíce používané buzení permanentními magnety. Také jsem vypsals nejznámější výrobce (Febi, Bosch, Valeo, APS Světlá nad Sázavou) a konkrétněji jsem se zabýval výrobky firmy APS Světlá nad Sázavou a.s.

Druhým cílem práce bylo analyzování jednoho konkrétního stěračového motorku. Vybral jsem si motorek firmy APS Světlá nad Sázavou, který důkladně analyzoval ve své diplomové práci Ing. Ladislav Špaček. V této části jsem popsal i ztráty elektrických motorů. Výsledkem analýzy pomocí programu FEMM 4.2 jsem zjistil magnetickou indukci ve vzduchové mezeře $B_\delta = 0,290$ T, maximální magnetickou indukci $B_{\max} = 1,83$ T, vnitřní moment stroje $M_i = 0,177$ Nm a celkový objem permanentních magnetů $V_{PM} = 2,94 \cdot 10^{-5}$ m³.

Posledním cílem byl návrh inovace motorku. Možností inovace je spousta, mě zajímalo především snížení objemu aktivních materiálů. Hlavní změna je vyměnění feritových permanentních magnetů za magnety z magneticky vzácných zemin a to Neodymové nebo Samarium-kobaltové a zmenšení statoru. Díky tomu jsem ještě zařadil použití přesných bezešvých trubek, které mají normované vnější i vnitřní průměry. Můj inovovaný motorek má stejný průměr rotorových plechů, stejnou šířku a výšku zubu a výšku vzduchové mezery. Snížil jsem výšku permanentních magnetů ze 7,6 mm na 3 mm, vyměnil jsem feritové permanentní magnety za Neodymové NdFeB 37 MGOe a zmenšil jsem vnější průměr motorku z 66 mm na 58 mm za použití bezešvé trubky. Analýza inovovaného motorku programem FEMM 4.2 mi vypočetla indukci ve vzduchové mezeře $B_\delta = 0,482$ T, maximální magnetickou indukci $B_{\max} = 2,144$ T, vnitřní moment stroje $M_i = 0,331$ Nm a celkový objem permanentních magnetů $V_{PM} = 1,03 \cdot 10^{-5}$ m³.

Snížení objemu aktivních materiálů se mi podařilo jen u permanentních magnetů a to o 65% a celkový objem motorku se snížil o 23%.

Nepodařilo se mi ale navrhnout úplně nový inovovaný stroj, kde by bylo možné snížit objem měděného drátu na závitech nebo ještě více zmenšit celkové rozměry motorku zmenšením i rotorové části.



LITERATURA

- [1] VLK, František. *Elektrická zařízení motorových vozidel: Osvětlení*. 1. vydání. Brno: František Vlk, Mokrohorská 34, 644 00 Brno, 2005. 251 s. ISBN 80-239-3718-9.
- [2] Doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc. *Elektrické stroje*, Brno,
- [3] Ing. Vítězslav Hájek, Doc. Ing. Čestmír Ondrůšek. *Metody zvýšení účinnosti a optimalizace automobilových elektrických strojů*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2000.
- [4] GOTTWALD, M. *Dynamický model stejnosměrného motoru s využitím metody konečných prvků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Vitek, PhD.
- [5] Výkresová dokumentace stěračového motorku APS, Světlá nad Sázavou s.r.o.
- [6] ŠPAČEK, Ladislav. *Analýza a inovace elektrických motorků pro automobily*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 58s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.
- [7] VALA, T. *Analýza a inovace elektrických motorků pro automobily*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 73 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.
- [8] Neodymový magnet. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Neodymový_magnet
- [9] Stejnosměrný motor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosměrný_motor
- [10] Supermagnety.cz. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.supermagnety.cz/cz/64/magnety-ze-vzacnych-zemin/>
- [11] Samarium-kobaltový magnet. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: Samarium-kobaltový magnet. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Samarium-kobaltový_magnet
- [12] Magnet-prodej. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.magnet-prodej.cz/cz/467/o-nas/>
- [13] ABC Magnet: Neodymové magnety. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.abcmagnet.cz/druhy-magnetu.php?druh=neodymove-magnety>
- [14] Nerezové materiály: Bezešvé trubky. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.nerezove-materialy.cz/produkty/bezesve-trubky>