



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bára Opletalová
TEPELNÁ ROVNOVÁHA ELEKTRICKÉHO
AKTUÁTORU

Bakalářská práce

2016



K616.....Ústav dopravních prostředků

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bára Opletalová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Tepelná rovnováha elektrického aktuátoru**

Název tématu (anglicky): Heat balance of the electric actuator

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Elektrický aktuátor - funkce, druhy
- Základní popis aktuátoru dodaného firmou Bosch
- Způsoby chlazení elektrických aktuátorů
- Chlazení kapalinou
- Model přenosu tepla

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího BP

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Bernard de Fornel, Jean-Paul Louis, Electrical actuators: identification and observation, ISTE, 2012, 456 s.

Yong Liu, Power Electronic Packaging, Springer - Verlag New York, 2013, 594 s.

BOSCH (online). 2012. Dostupné z: <http://press.bosch.cz>

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jiří Dunovský, CSc. IWE.**

Datum zadání bakalářské práce: **23.června 2015**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **25. srpna 2016**

a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia

b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



.....
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků

L. S.



.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

.....
Bára Opletalová
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 23.června 2015

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu prof., Ing., Jiřímu Dunovskému, CSc., IWE, vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení. Dále mému bratrovi Mgr. Petru Opletalovi za cenné rady, připomínky a trpělivost. V neposlední řadě děkuji mé rodině za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia, zároveň mým blízkým přátelům za stoprocentní psychickou podporu.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 18.srpna 2016

.....
Bára Opletalová

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní

TEPELNÁ ROVNOVÁHA ELEKTRICKÉHO AKTUÁTORU

bakalářská práce
září 2016
Bára Opletalová

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „Tepelná rovnováha elektrického aktuátoru“ je uvést přehled pojmů týkajících se přenosu tepla, a na základě tohoto popisu určit přenosy tepla v elektrickém aktuátoru. Dále popsat aktuátor a jeho pohon a zvážit vhodné chlazení elektrického aktuátoru.

Klíčová slova: teplo, přenos tepla, elektrický aktuátor, stejnosměrný motor, chlazení

ABSTRACT

The subject of the bachelor thesis „Heat balance of the electric actuator“ is to introduce concepts related to heat transfer and based on this description determine the transmission of heat transfer in the electric actuator and consider suitable cooling solution of electric actuator.

Keywords: heat, heat transfer, electric actuator, DC motor, cooling

Obsah

Obsah	4
1 Seznam použitých zkratek.....	6
2 Úvod	8
3 Historie firmy	9
3.1 Robert Bosch celosvětově	9
3.2 Rober Bosch, spol. s.r.o. - České Budějovice	9
4 Teplo - základní pojmy a definice	10
4.1 Vnitřní energie, teplo a teplota	10
4.2 Tepelná kapacita	11
4.2.1 Měrná tepelná kapacita.....	12
4.3 Tepelná vodivost.....	12
4.3.1 Součinitel tepelné vodivosti.....	12
4.4 Teplotní gradient.....	13
4.5 Tepelný tok	13
4.5.1 Hustota tepelného toku	13
5 Přenos tepla	15
5.1 Kondukce	15
5.2 Konvekce	16
5.3 Radiace	18
6 Mechatronika	19
6.1 Mechatronický systém a jeho struktura	19
6.2 Automobilová mikrotechnika	20
6.2.1 Nároky na automobilovou mikrotechniku.....	20
6.2.2 Rozdělení automobilové mikrotechniky	20
6.3 Aktuátory	21
6.3.1 Rozdělení aktuátorů.....	22
6.3.2 Elektromagnetický aktuátor	22
6.3.3 Aktuátory s pohonem	24
7 Pohony	26
7.1 Elektrické pohony	26
7.1.1 Rozdělení elektrických pohonů	26
7.2 DC Motor	27
8 Základní popis aktuátoru dodaného firmou Robert Bosch spol.s.r.o.....	31
9 Přenos tepla v aktuátoru.....	32
9.1 Účinnost víka jako izolace.....	33

9.2 Odstínění aktuátoru	34
9.3. Úprava povrchu aktuátoru	34
9.4 Chlazení kapalinou	34
9.3.1 Chlazení aktuátoru kapalinou	35
10 Závěr	36
11 Použité zdroje	37
11.1 Literatura a internetové zdroje	37
12 Seznam obrázků	39
13 Seznam tabulek	40

1 Seznam použitých zkratek

Zkratka	Název
ABS	protiblokovací systém
AC	střídavý
c	měrná tepelná kapacita
C	tepelná kapacita
DC	stejnoseměrný
e	základ logaritmu
Ek	kinetická energie
Ep	potenciální energie
ECU	elektronická řídicí jednotka
EMC	elektromagnetická kompatibility
GPA	multifunkční motor
GDI	přímé vstřikování benzínu
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
grad T	teplotní gradient
i	okamžitý proud
K	konstanta motoru
l	charakteristický rozměr
L	indukčnost
m	hmotnost
Nu	Nusseltovo kritérium
p	tlak
q	hustota tepelného toku
Q	teplo
R	odpor
Rth	tepelný odpor
S	obsah
spol.	společnost
s.r.o	společnost s ručením omezeným
T	teplota
Tinc	nárůst teploty
U	vnitřní energie
V	napětí
x	prostorová souřadnice
z	součinitel úměrnosti
α	součinitel přestupu tepla

ζ_v	tepelný účinnost
λ	součinitel tepelné vodivosti
η	účinnost
τ	čas/doba
φ	tepelný tok
ω	úhlová rychlost

2 Úvod

Fenomén zvyšování výkonu motoru je v současné době stále víc žádoucí. A lze předpokládat, že tento trend bude pokračovat i v dalších letech. Zvyšování výkonu automobilu sebou nese zápory, například přehřívání v prostoru motoru. Z čeho vyplývá, že se zvyšováním výkonu je vhodné se zaměřit na výrobu součástí automobilu, které budou odolnější vůči vysokým teplotám.

V úvodu práce bych ráda čtenáře krátce seznámila s historií firmy Robert Bosch, jak celosvětově, tak i konkrétní fungování koncernu v Českých Budějovicích. Následně se budu věnovat definováním pojmů týkajících se tepla a jeho přenosu. Popsání principů přeměny tepla využijeme k sestavení schématu přenosu tepla v aktuátoru.

Tato práce je zaměřena na aktuátor, nebo-li multifunkční pohon, který patří mezi komfortní techniku. Aktuátor je pro mnoho lidí neznámou součástí. Jedním z cílů této práce je uvést čtenáře do problematiky a ukázat, že se jedná o velice důležitou součást automobilu, co se týče komfortu při jízdě. Problémem při fungování aktuátoru je jeho teplota při zvyšujícím se výkonu. Problematika výpočtu tepla a teploty v oblasti aktuátoru je velice složitou operací, jelikož teplo sálá z několika zdrojů a šíří se nerovnoměrně. Budeme proto brát v úvahu, že je potřebně, aby se aktuátor ochladil o 20°C v nekritičtějších místech.

Obecným cílem práce je zvážit vhodný způsob snížení teploty v kritické části aktuátoru (řídící jednotka) a zvážit problematičnost provedení. Nejvhodnějším řešením se může zdát chlazení pomocí chladicí kapaliny, do úvahu připadají i alternativní druhy snížení prostupu tepla k řídící jednotce.

3 Historie firmy

3.1 Robert Bosch celosvětově

Jedná se o německou společnost, založenou v roce 1886 Robertem Boschem ve Stuttgartu. jako „Dílna pro jemnou mechaniku a elektrotechniku“. Charakteristickým znakem této společnosti byly již od začátku inovace a sociální angažovanost.

Skupina Bosch je světově jedním z největších subdodavatelů automobilového průmyslu. Oblasti zájmu jsou dieslové a benzínové systémy, startéry a alternátory, brzdové systémy, filtry, stírací a světelná technika, zapalovací svíčky, akumulátory a komfortní elektronika.

Firma je na české území již od konce 19.století a za svou přítomnost si Bosch dovedl vybudovat významné postavení, co se týče výroby i investování.

V roce 1920 byla v Praze založena první oficiální pobočka, která nebyla kvůli historickým událostem činná 44 let a své znovufungování započala v roce 1991.

3.2 Rober Bosch, spol. s.r.o. - České Budějovice

Založení koncernu Robert Bosch GmbH a Motoru Jikov, a. s. sahá do roku 1992, již o 3 roky později se koncern Bosch stává stoprocentním vlastníkem společnosti a zahajuje výrobu. V současné době má tato pobočka přes 3500 zaměstnanců pracujících ve vývoji, výrobě, ale i v administrativě.

Robert Bosch České Budějovice je zaměřen na výzkum a vývoj v oblasti nádržového čerpadlového modulu, elektornického plynového pedálu, modulu pro redukci NOx, který slouží k odbourávání obsahu oxidu dusíku ve výfukových plynech, multifunkčního pohonu, který může sloužit k řízení turbo přepínače, škrťící klapky, zpětného vedení paliva, sacího modulu a víka hlavy válců. Při vývoji se bere na ohled zlepšení kvality výrobku, ekonomičnost výroby a spolehlivost výrobku.

Výrobky firmy Robert Bosch České Budějovice se dodávají do výroby většiny velkých automobilových závodů v Evropě. [1]

4 Teplo - základní pojmy a definice

Tato kapitola je určena pro definování základních pojmů a uvedení obecně známých vzorců.

4.1 Vnitřní energie, teplo a teplota

Před tím, než si přiblížíme pojem teplo, musíme definovat pojem *vnitřní energie*. Jakákoliv látka, bez rozdílů teploty nebo skupenství, obsahuje částice, které se neustále pohybují a tato vlastnost se projevuje nenulovou celkovou kinetickou energií E_k . Kromě pohybu na sebe částice navzájem působí nenulovou silou, což dává celkovou potenciální energii E_p . Vnitřní energii látky definujeme jako součet těchto dvou zmíněných energií [2].

$$U = E_k + E_p \quad (4.1)$$

kde

U	vnitřní energie	[J]
E_k	kinetická energie částic	[J]
E_p	potenciální energie částic	[J]

Teplo je forma energie systému, kterou systém odevzdává nebo přímá při kontaktu s jiným systémem, aniž by se vykonávala práce nebo docházelo k převodu hmoty. Při těchto tepelných výměnách platí, že úbytek vnitřní energie tělesa s větší teplotou se rovná přírůstku vnitřní energie tělesa s původně nižší teplotou a celková vnitřní energie systému zůstává konstantní, tzn. platí zákon zachování energie [3].

Množství přeneseného tepla lze vyjádřit vztahem

$$\partial Q = mc\partial T \quad (4.2)$$

kde

∂Q	množství předaného tepla	[J]
m	hmotnost systému	[kg]
c	měrná tepelná kapacita systému	[Jkg ⁻¹ K ⁻¹]
∂T	rozdíl počáteční a konečné teploty	[K]

Tato rovnice vyjadřuje změnu tepla při změně teploty, tedy při snižování a zvyšování teploty, se mění i teplo systému.

Podle prvního termodynamického zákona, který popisuje zákon zachování energie, lze charakterizovat přenos energie v uzavřeném systému pomocí rovnice:

$$\partial Q = \partial U + p\partial V \quad (4.3)$$

kde

∂Q	množství přeneseného tepla	[J]
∂U	změna vnitřní energie soustavy	[J]
p	tlak	[Pa]
∂V	změna objemu systému	[m ³]

Charakteristikou tepelného stavu hmoty je teplota. Jedná se o veličinu, která charakterizuje velikost kinetické energie neuspořádaného pohybu molekul za stavu termodynamické rovnováhy. Často se užívá jako objektivní srovnávací měřítko toho, jestli je systém teplý, či studený. Teplota je skalární veličinou a značíme ji:

T Teplota [K].

Změna tepla se odkazuje na množství energie předanou mezi dvěma tělesy, tedy nejedná se o funkci objektů, narozdíl od teploty a vnitřní energie. Místo toho, podle prvního zákona termodynamiky výměna tepla během procesů přispívá ke změně vnitřní teploty a množství předaného tepla lze kvantifikovat jako ekvivalentní množství práce, která by přinesla stejné změny vnitřní energie [4].

4.2 Tepelná kapacita

Jedná se o fyzikální veličinu, která je definována vztahem:

$$C = \frac{\partial Q}{\partial T} \quad (4.4)$$

kde

C	tepelná kapacita	[JK ⁻¹]
-----	------------------	---------------------

∂Q	teplo dodané tělesu	[J]
∂T	přírůstek termodynamické teploty	[K]

Vyjadřuje množství tepla potřebného k ohřevu systému o jeden kelvin. Je závislá na hmotnosti, chemickém složení, vnitřní stavbě a na podmínkách, za kterých systém teplo přijímá [5].

4.2.1 Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita udává, jaké množství tepla je třeba dodat jednomu kilogramu látky, aby se její teplota zvýšila o jeden kelvin. Značíme ji

c	Měrná tepelná kapacita	[Jkg ⁻¹ K ⁻¹]
-----	------------------------	--------------------------------------

Měrná tepelná kapacita je charakteristická pro danou látku. Platí, že se její hodnoty mění pro různá skupenství dané látky. Zároveň teplotně závislá, je tedy nutné udávat, k jaké teplotě se vztahuje [6][7].

4.3 Tepelná vodivost

Udává rychlost a schopnost přesunu tepla v látce, charakterizuje ji součinitel tepelné vodivosti.

4.3.1 Součinitel tepelné vodivosti

Tenzorový fyzikální parametr, popisující schopnost materiálu vést teplo, závisí na teplotě, tlaku a složení látky. Je definovaný jako množství tepla, které projde mezi dvěma plochami o shodné ploše, za čas t , které jsou rovnoběžné a ve vzájemném vzdálenosti d , za čas t , mají-li desky rozdílnou teplotu. Značíme ho

λ	Součinitel tepelné vodivosti	[WK ⁻¹ m ⁻¹]
-----------	------------------------------	-------------------------------------

Převrácená hodnota tohoto koeficientu je měrný tepelný odpor [8].

4.4 Teplotní gradient

Teplotní spád je možno demonstrovat na tyči délky d , která má na obou koncích různou teplotu. Teplotním gradientem je tedy rozdíl teplot dělený délkou tyče, Jelikož přenos tepla je řešen pomocí diferenciálních rovnic, pro výpočet gradientu se používá vztah:

$$\text{grad } T = \frac{\delta T}{\delta x} \quad (4.5)$$

kde:

grad T	gradient teploty	[Km ⁻¹]
dT	změna teploty na vrstvě	[K]
dx	změna tloušťky vrstvy	[m]

4.5 Tepelný tok

Podíl tepla, které projde danou plochou za jednotku času [9].

Vyjadřuje rychlost, kterou prochází teplo danou plochou nebo také výkon přenášený při průchodu tepla danou plochou [10].

$$\phi = \lambda S \tau \text{grad } T \quad (4.6)$$

kde:

ϕ	tepelný tok	[W]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[WK ⁻¹ m ⁻¹]
S	obsah průřezu	[m ²]
τ	doba	[s]
grad T	gradient teploty	[Km ⁻¹]

4.5.1 Hustota tepelného toku

Vektorová veličina, jejíž velikost q je rovna podílu tepelného toku procházejícího elementární plochou kolmou ke směru tepla a obsahu této plochy.

$$q = \frac{dQ}{dS} \quad (4.7)$$

kde

q	hustota tepelného toku	[Wm ⁻²]
dQ	změna tepelného toku	[W]
dS	plošný obsah	[m ²]

Směr vektoru je kolmý k ploše dS a takto se určuje pouze k určitému místu v látce [11].

5 Přenos tepla

Vedení tepla můžeme rozdělit na:

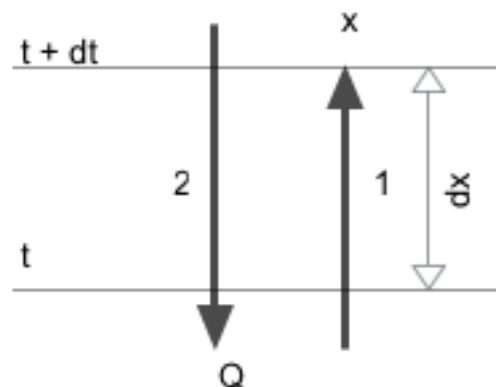
stacionární	teplota se v určitém místě s časem nemění
nestacionární	teplota se v určitém místě mění s časem

Jelikož výpočty nestacionárního přenosu tepla se popisují pomocí parciálních diferenciálních rovnic. A toto řešení je matematicky velmi náročné, budeme uvažovat pouze vedení tepla stacionární.

Pro přenos tepla uvažujeme tři základní způsoby podle fyzikálního principu, a to na vedení (kondukce), proudění (konvekce) a sálání (radiace). V hmotném prostředí probíhá přenos tepla pomocí vedení a proudění, zatímco je možné přenášet teplo i ve vakuu pomocí záření [12].

5.1 Kondukce

Vedení tepla je charakteristické pro spojitě látkové prostředí, tedy pro pevné látky. Podstatou tohoto způsobu sdílení tepla je předávání kinetické energie při srážkách částic. Částice, které nesou vyšší kinetickou energii, ji předávají částicím s nižší kinetickou energií. Tento způsob můžeme popsat pomocí *Fourierova zákona*. Pro zjednodušení si zavedeme rovinnou stěnu o tloušťce δ ve směru osy x , v ostatních směrech má stěna nekonečnou šířku, tedy teplo nevede. Na obou stranách desky je různá teplota T_1 a T_2 .



Obrázek 1: Teplotní gradient

1 - směr teplotního gradientu

2 - směr tepelného toku

Pro tento případ v homogenním prostředí je množství přeneseného tepla vyjádřeno hustotou tepelného toku, který je definován Fourierovým zákonem ve tvaru:

$$q = -\lambda \text{grad } T \quad (5.1)$$

kde

q	hustota tepelného toku	[Wm ⁻²]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[WK ⁻¹ m ⁻¹]
grad T	teplotní gradient	[Km ⁻¹]

Teplotní gradient se má záporné znaménko se směrem poklesu teploty (Obrázek 1). Záporné znaménko v rovnici (5.1) vypovídá o tom, že tepelný tok proudí proti směru teplotního gradientu [13].

5.2 Konvekce

Jedná se o výměnu tepla mezi tekutinou (kapalina, plyn) a tuhým tělesem. Přenos tepla probíhá během makroskopického pohybu tekutin, tedy při proudění.

Rozděluje se podle proudění na:

- přirozená/volná konvekce
- vynucená konvekce
- smíšená konvekce

O vynucenou konvekci se jedná, pokud bylo proudění vyvoláno uměle například při změně tlakové energie v kinetickou. Přirozená konvekce je vybuzená rozdílem hustot v důsledku rozdílů teplot [14].

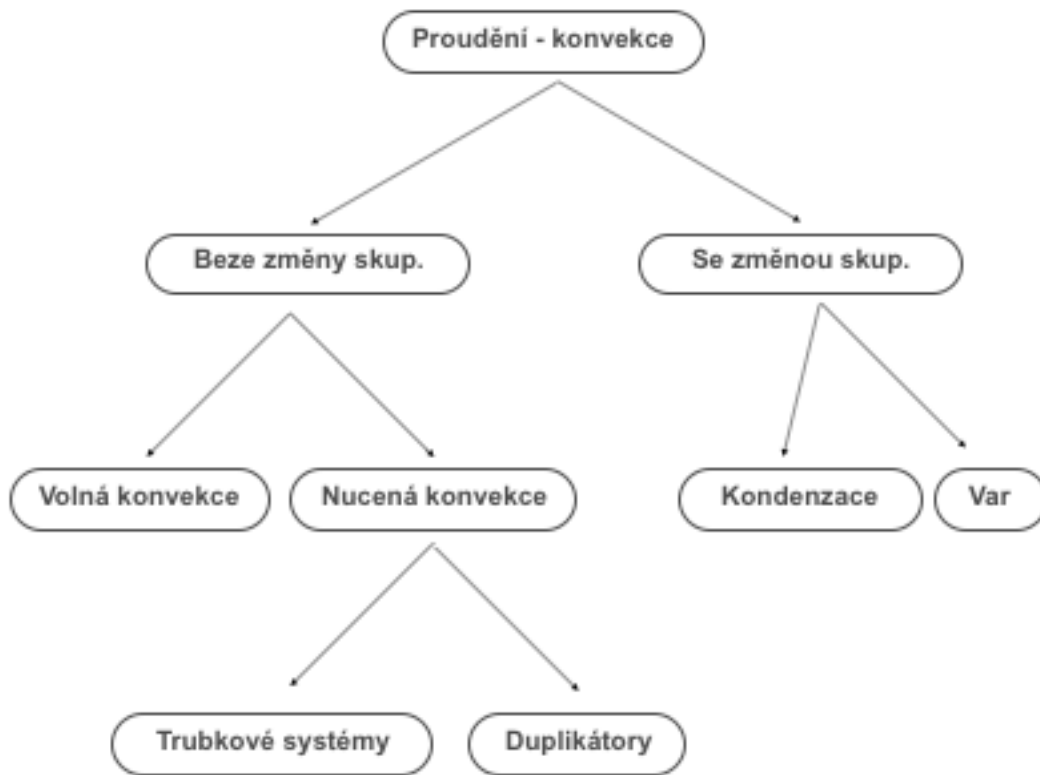
Mezní vrstva vzniká vždy podél pevné stěny ve směru proudu tekutiny, jde o tenkou vrstvu ve které se mění teplota. Tato vrstva se vytváří pomocí přilnavosti molekul tekutiny k povrchu pevného tělesa. V této vrstvě vzniká význačný teplotní gradient. Hustota tepelného toku je daná vztahem:

$$q = \alpha \partial T \quad (5.2)$$

kde

q	hustota tepelného toku	[Wm ⁻²]
α	součinitel přestupu tepla	[Wm ⁻² K ⁻¹]
∂T	přírůstek termodynamické teploty	[K]

Součinitel přestupu tepla vyjadřuje intenzitu výměny tepla mezi povrchem a obklopující proudící tekutinou. Tato konstanta se mění i v závislosti na případě konvekce (Obrázek 2) [15].



Obrázek 2: Závislost součinitele přestupu tepla na typu konvekce

Pro výpočet součinitele přestupu tepla pro volnou i nucenou konvekci používáme vztah:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{l} \quad (5.3)$$

kde

α	součinitel přestupu tepla	$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
Nu	Nusseltovo kritérium	[1]
λ	součinitel tepelné vodivosti	$[\text{WK}^{-1}\text{m}^{-1}]$
l	charakteristický rozměr	[m]

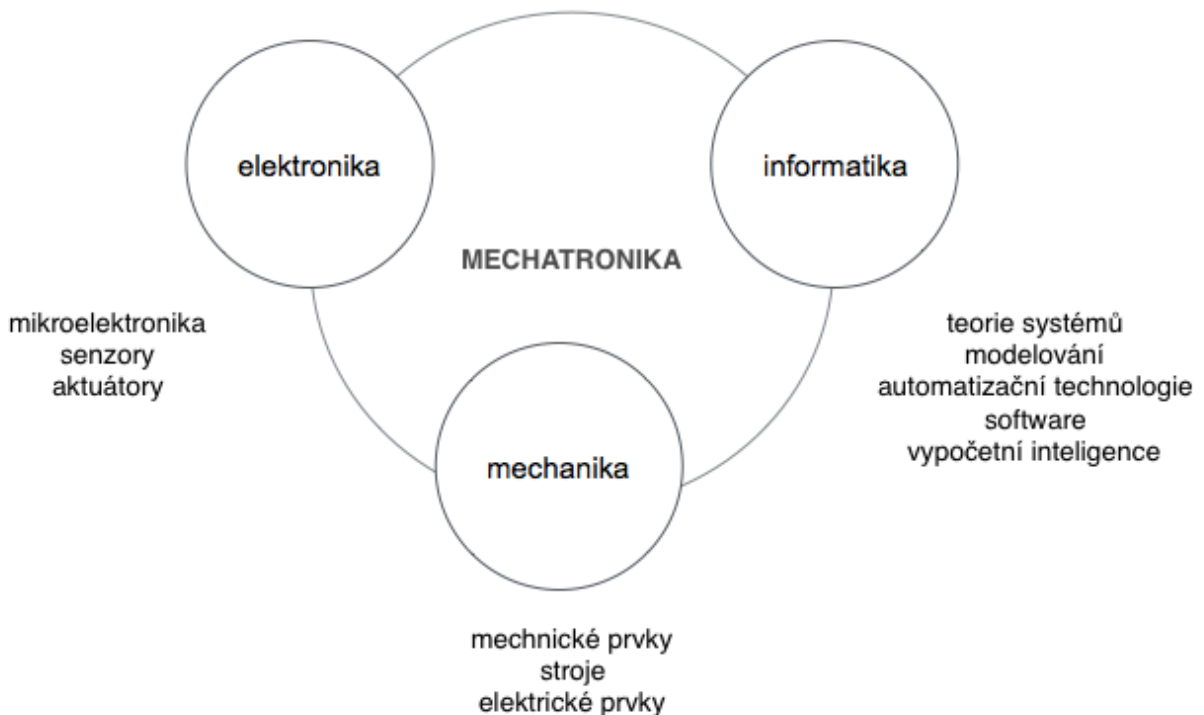
Právě Nusselovo kritérium se mění se změnou způsobu konvekce [10].

5.3 Radiace

Nebo-li záření, je závislé na elektromagnetickém záření mezi povrchy těles, a to konkrétně na absorpčním a emisním. Vzhledem k této skutečnosti - elektromagnetické vlny se šíří i bez látkového prostředí, je radiace jediný možný způsob přenosu tepla ve vakuu [16].

6 Mechatronika

Vědní obor, který integruje poznatky z několika inženýrských oborů jako je mechanika, elektronika a informatika (Obrázek 3). Cílem tohoto oboru je výroba víceúčelových systémů, které budou spolehlivější, jednodušší a ekonomičtější. Obecně lze mechatroniku vymezit jako technický vědní obor, zabývající se analýzou, syntézou, výrobou a provozem počítačově řízených a programovatelných mechatronických systémů.



Obrázek 3: Synergie oborů mechatroniky

6.1 Mechatronický systém a jeho struktura

Mechatronický systém je celek tvořený akčními členy, snímači, mikroelektrickými obvody. Znaky mechatronického systému:

- alespoň jeden z podsystémů s přímou energetickou interakcí je mechanický;
- strategie řízení obsahuje koncept odpovídající odezvy na dynamický stav procesu a jeho okolí;
- systém jako celek disponuje jistou mírou inteligence.

6.2 Automobilová mikrotechnika

Jedním z podoborů mechatroniky je mikrotechnika, která se nachází v moderních motorových vozidlech a je standardním vybavením všech nových vozidel. Mikrotechnika způsobila revoluci v technologii vozidel. Tento relativně mladý obor jako takový netvoří důležité komponenty vozidla, ale bez její existence by většina moderních technologií nefungovala, např. zvýšení ochrany účastníků dopravního provozu (ABS, airbagy), zvýšení komfortu jízdy (navigační systémy, klimatizace) nebo omezení výfukových emisí spalovacích motorů [17].

6.2.1 Nároky na automobilovou mikrotechniku

Jelikož se tyto komponenty nacházejí v prostoru motoru vozidla jsou vystaveny extrémnímu stresu, jako jsou vysoké výkyvy teplot, nezvyklé klimatické podmínky, vibrace způsobeny špatným povrchem vozovky nebo koroze. Zde jsou některé z požadavků, které musí splňovat, aby byly schopny spolehlivě fungovat bez závad po dlouhou dobu:

- rezistence vůči teplotám v rozsahu -40°C až 125°C
- EMC nebo-li elektromagnetická kompatibilita = imunita vůči externím interferencím a neemitování elektromagnetického záření, které by mohlo způsobit rušení na jiném zařízení
- rezistence vůči otřesům a vibracím
- rezistence vůči vodě a vlhkosti
- rezistence vůči korozivním kapalinám (oleje a slaná voda)
- nízká hmotnost
- ekonomické výrobní náklady
- bezpečná a bezproblémová montáž.

6.2.2 Rozdělení automobilové mikrotechniky

Automobilovou mikrotechniku rozdělujeme na oblasti podle použití:

- motor a hnací ústrojí
- bezpečnost
- komfort a pohodlí
- komunikace a multimédia.

Ve zmíněných oblastech se objevují tyto elektrické systémy:

- aktuátory
- senzory a setpoint generátory
- řídící jednotky (ECUs)
- ECU komunikační spojení (sítě)
- elektronické diagnózy [18].

6.3 Aktuátory

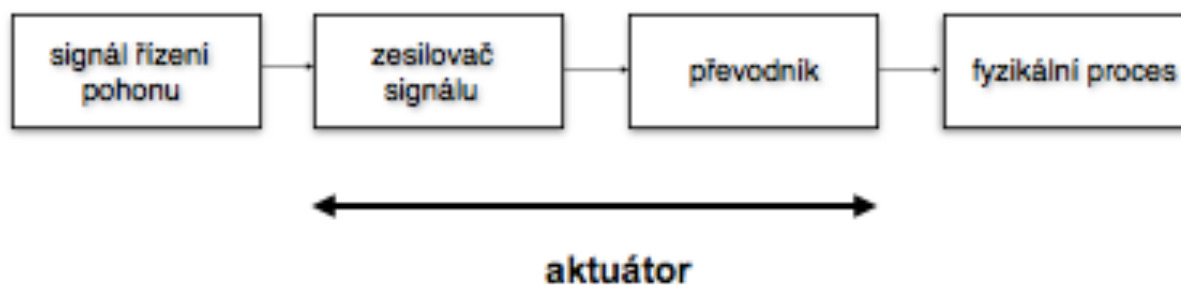
Akčními členy - aktuátory jsou všechny prvky, které jsou určené k využití zpracované informace, jsou to tedy prvky na konci řetězce zpracování informace. Nastavují velikost akční veličiny, tj. realizují vstup do regulované soustavy. Jejich nejčastějšími představiteli jsou pohony a na ně navazující regulační orgány [19].

Aktuátory jsou mechanické přístroje pro pohyb nebo kontrolu. Jejich úkolem je transformace vstupu na jiný výstup. Opakem aktuátorů jsou senzory, dohromady je nazýváme transduktory.

Obečně platí, že aktuátory používáme v případě, kdy potřebujeme mnohem dynamičtější, silnější a přesnější pohyb. Z toho důvodu elektricky komutované motory jsou stále důležitější, protože produkují vyšší krátkodobý výkon na jednotku hmotnosti.

Pro tuto práci platí, že se jedná o typ motoru, který je zodpovědný za pohyb nebo řízení mechanismu nebo systému [20].

Interně lze aktuátory rozdělit do 2 samostatných modulů: signálový zesilovač a převodník (Obrázek 4). Zesilovač převádí (nízký výkon) řídicí signál, který je přiváděn do převodníku; převodník převádí energii zesíleného řídicího signálu do činnosti; tento proces obvykle zahrnuje převedení z jedné formy energie na jinou, např. elektrické motory převádějí elektrickou energii na kinetickou energii.



Obrázek 4: Schéma struktury aktuátoru

6.3.1 Rozdělení aktuátorů

Aktuátory můžeme dělit podle různých parametrů, nejpoužívanější dělením je podle fyzikálního působení:

a) Elektrické:

jeden z nečistších a snadno dostupných forem ovládacího systému, který nezahrnuje olej. Elektrická energie se používá k ovládnání mechanického systému pomocí magnetického pole.

b) Mechanické:

obvykle se rotační pohyb převádí na lineární pohyb. Tento pohon obvykle vyžaduje ozubená kola, kolejnice, řemenice atd. k provozu.

c) Hydraulické:

vytváří vyšší energii, než jakýkoliv jiný systém.

d) Pneumatické

Podle působení síly:

a) Lineární

b) Rotační

Dále aktuátory můžeme dělit podle: přenosu - lineární spojité, vs. nelineární spojité, atd. ovlivnitelných veličin - např. síla, průhlednost, poloha v systému [21].

6.3.2 Elektromagnetický aktuátor

Typickým příkladem tohoto aktuátoru je vstřikovač paliva. Jsou-li vinutí pod napětím, tak je kotva přitahována v důsledku magnetismu a stlačuje pružinu. V případě vstřikovacího ventilu paliva je pohyb omezen na 0,1 mm. Doba, ve které zůstává strikovač otevřen je velmi malá, je závislá na provozních podmínkách a pohybuje se od 1,5 do 10 ms.

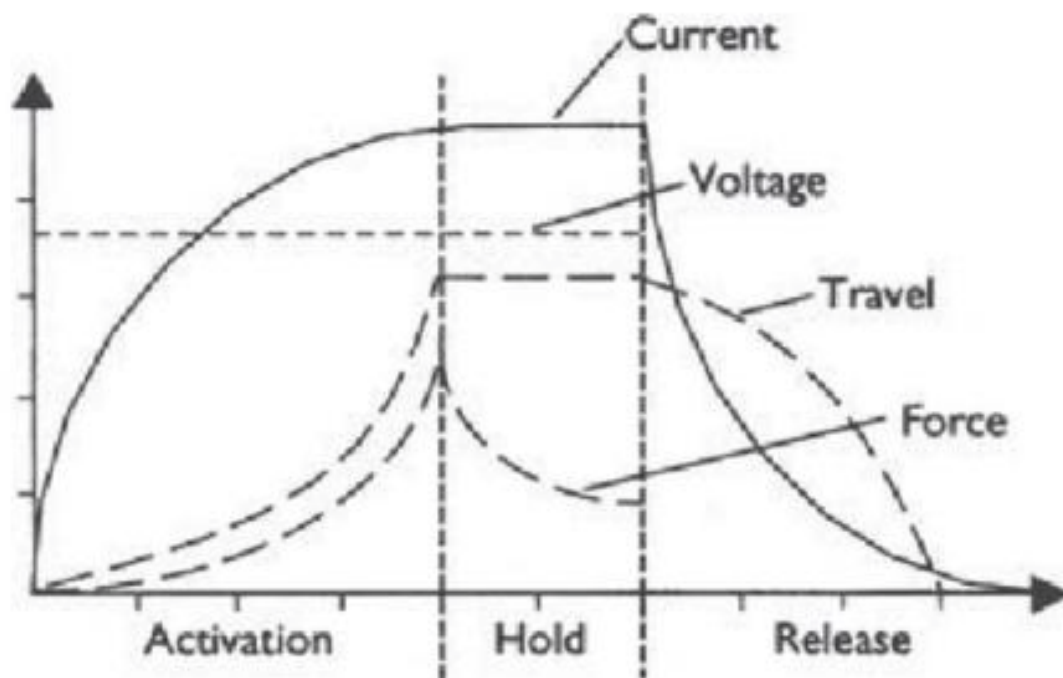
Reakční doba pro elektromagneticky poháněné přístroje záleží na indukčnosti vedení.

Vhodný vzorec upravující vztah mezi některými z proměnných (Obrázek 5) je následující:

$$i = \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) \quad (6.1)$$

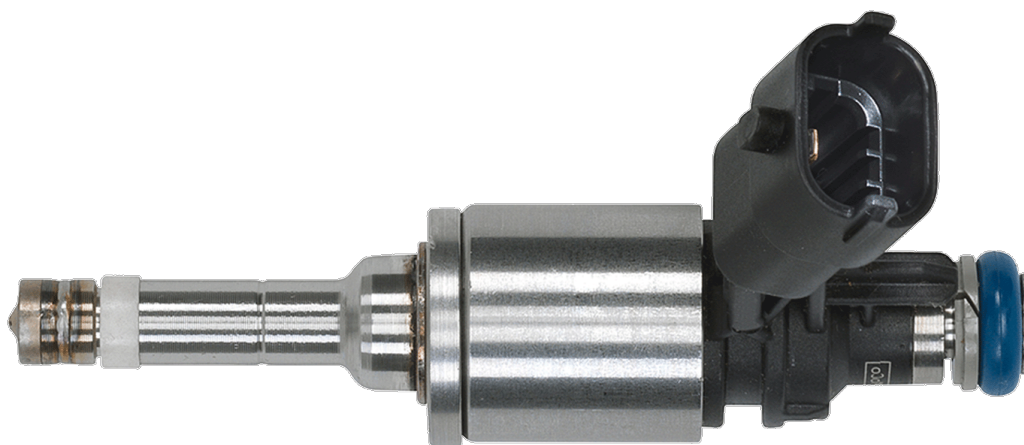
kde

i	okamžitý proud	[A]
V	napájecí napětí	[V]
R	celkový odpor	[Ω]
L	indukčnost	[H]
t	doba protékajícího proudu	[s]
e	základ logaritmu	[1]



Obrázek 5: Proměnné solenoidu pohánějí elektromagnetický aktuátor [22]

Odpor často používaných propisovacích vstřikovačů se pohybuje okolo hodnoty 16 ohmů, tato hodnota se mění, ale typicky pouze o několik ohmů. Některé systémy využívají zátěžové odpory v sérii se vstřikovači paliva (Obrázek 6). To umožňuje nižší indukčnost a odolnost provozního vinutí, čímž se snižuje reakční doba. Další typy elektromagnetických aktuátorů, jako je aktuátor sloužící k uzamykání dveří, který má méně kritické reakce, nicméně základní princip zůstává shodný.



Obrázek 6: Bosch přímé vstřikování benzínu GDI [22]

6.3.3 Aktuátory s pohonem

Permanent magnet electric motors jsou používány v mnoha směrech a jsou velmi univerzální. Výstupem motoru je samozřejmě rotace, ale ta může být použita různě. V případě, že motor pohání rotující matice přes kterou je namontován píst, na kterém je šroubový závit, může být rotační pohyb snadno převeden na pohyb lineární. Ve většině komponentů vozidla musí být výstup z motoru usměrněn, to je snížení rychlosti a zvýšení otáčivého momentu.



Obrázek 7: Elektrické otevírání oken FPC3 [1]

Mezi typické příklady použití patří:

- stěrače a ostřikovače
- lift světlometů
- elektrické ovládání oken (Obrázek 7)
- nastavení sedadel a zrcátek (Obrázek 8)
- palivová čerpadla
- ventilátory



Obrázek 8: Pohon na nastavení sedadel ACH2 [1]

Nevýhodou těchto aktuátorů je, že neexistuje žádná přímá vazba. Tato možnost není, tak často vyžadovaná, přes to v některých případech, jako je například 'paměť' nastavení vozidel, je vyžadovaná. V takovém případě je možné nainstalovat odporové senzory, které zajistí zpětnou vazbu [22].

7 Pohony

Pohony jsou zařízení, která převádějí signál ústředních členů regulačního obvodu (členů pro zpracování informace) na výchylku konající požadovanou práci s požadovaným výkonem.

Základními druhy pohonů podle energie jsou :

elektrické

pneumatické

hydraulické

7.1 Elektrické pohony

Nebo-li zařízení pro elektromechanickou přeměnu energie (včetně řízení této přeměny), které slouží k tomu, aby předepsaným způsobem uvedli poháněný pracovní mechanismus nebo zpracovávanou látku do požadovaného pohybového stavu [23].

7.1.1 Rozdělení elektrických pohonů

Podle druhu pohybu kterým se přenáší mechanická energie na pracovním mechanismu:

točivý pohon

netočivý pohon.

Podle stupně říditelnosti:

jednorychlostní pohon

pohon s nastavitelnou rychlostí.

Podle druhu řízení:

ovládaný pohon

regulovaný pohon.

Podle způsobu přenosu mechanické energie:

s převodovkou

bez převodovky

bez spojky

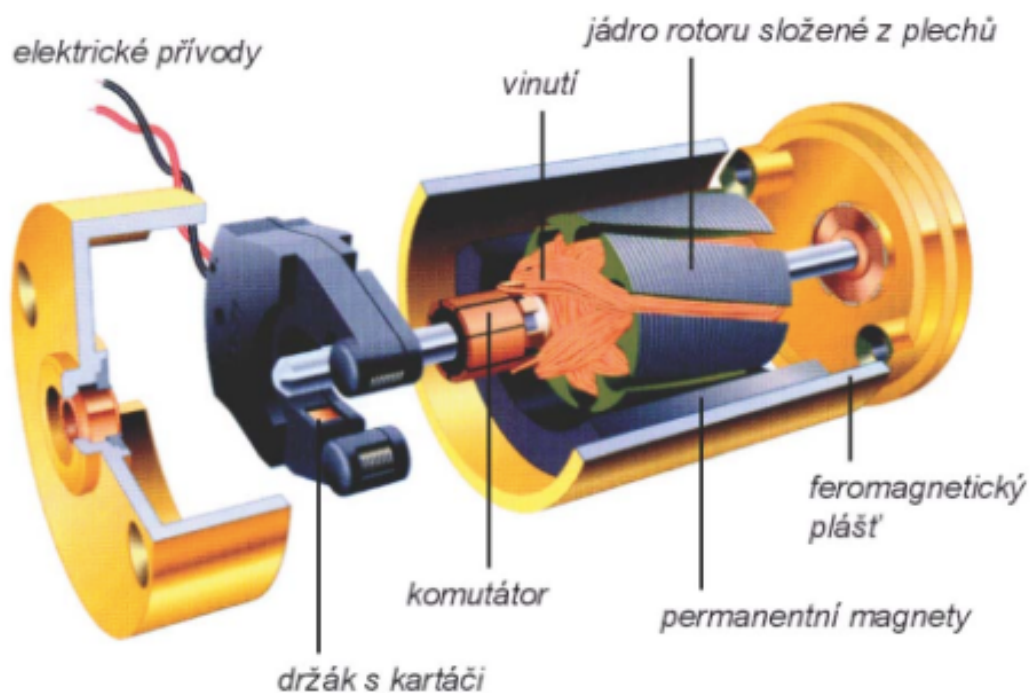
se spojkou.

Podle druhu použitého elektromotoru:

- stejnoseměrný pohon (se stejnosměrným motorem) DC-drive
- střídavý pohon (s hnacím střídavým elektromotorem) AC-drive
- pohon s krokovým motorem [24].

7.2 DC Motor

Nebo-li stejnosměrný elektromotor, tento motor pracuje na principu, kdy smyčkou nacházející se v magnetickém poli, prochází elektrický proud. Motor indukce magnetické pole, které je orientováno shodně jako vnější magnetické pole. Díky tomu působí na smyčku moment a ta má tendenci se otáčet (Obrázek 9).

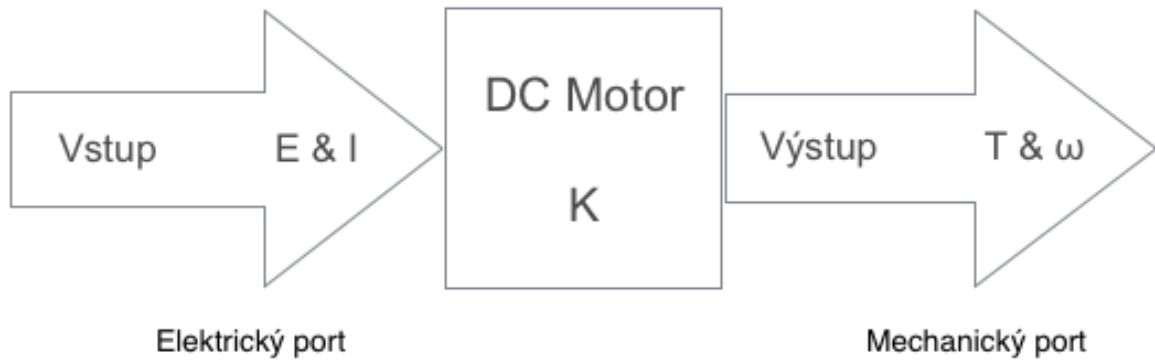


Obrázek 9: Řez stejnosměrným motorem s permanentními magnety

Pokud se obrátí směr proudu ve vodiči, směr otáčení se také obrátí. Když je magnetické pole a elektrické pole v vzájemné interakci, produkují mechanickou sílu a na základě toho je stanoven princip fungování stejnosměrného elektrického motoru.

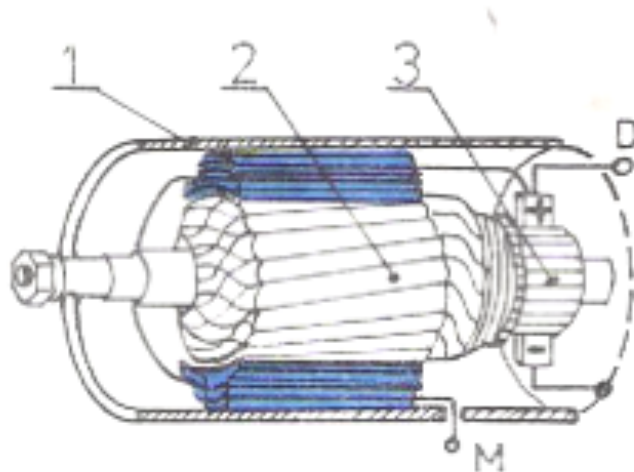
Směr rotace je daný Flemingovým pravidlem levé ruky: Nastavíme-li levou ruku tak, aby indukční čáry magnetického pole vstupovaly kolmo do dlaně a natažené prsty ukazovaly směr proudu ve vodiči, pak vztyčený palec ukazuje směr síly F vychylující vodič.

Strukturně i stavebně je DC motor shodný s DC generátorem, ale je přesným opakem, co se týče vedení elektrické energie. Zde se narozdíl od generátoru dodává elektrická energie k vstupnímu portu a odvádí mechanická energie z vystupního portu [25].



Obrázek 10: Blokové schéma DC-Motoru

Napájecí napětí E a proud I je směřován do vstupního portu a jako výstup dostáváme točivý moment T a úhlovou rychlost ω . Vstup a výstup jsou spojeny pomocí parametru K (Obrázek 10).



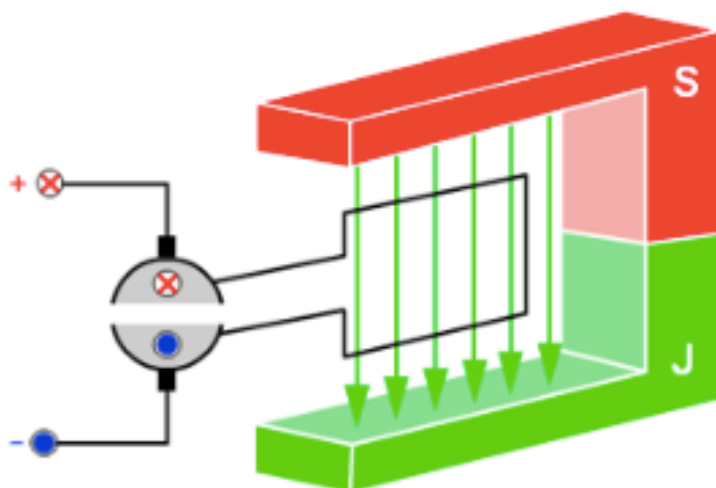
Obrázek 11: Konstrukce stejnosměrného elektromotoru - stator, rotor
1 - stator, 2 - kotva, rotor s pracovním vinutím, 3 - komutátor s kartáči

Stejnosemřný motor má dvě hlavní řásti (Obrázek 11):

Stator - vnitřek obsahuje póly - s budící frekvencí nebo permanentní magnety. Vytváření opačných pólů mají na starost cívky budícího napětí, které jsou zapojeny do série. Je vyroben z ocelolitiný nebo z elektrotechnických plechů. aby se změnřily ztráty vířivými proudy.

Rotor - na obvodu rotoru jsou drážky, ve kterých je uloženo vynutí a konce vynutí cívek jsou vyvedeny na komulátor. Komulátor je vyroben z vodivých měděných lamel, které jsou vůči sobě i kostře rotoru odizolovány, tyto lamely jsou od sebe odděleny drážkami. Na komitátor také dosedají grafitové kartáče, pomocí kterých se zprostředkovává průchod poudu mezi pevným přívodem a otáčející se řástí vinutí rotoru.

Mezi těmito dvěma hlavními řásti je vzduchová mezera o tloušřce 1-1,5 mm.



Obrázek 12: Princip funkce stejnosmřného elektromotoru

Základním principem stejnosmřného motoru je silové působení na vodič, kterým protéká proud.

Při přívodu proudu do vinutí elektromotoru, vzniknou v něm dva magnetická pole - ve statoru a na rotoru). Tato magnetická pole spolu interagují a vzájemné silové účinky těchto polí uvedou kotvu do pohybu. Jakmile by se magnetické póly rotoru dostaly do zákrytu s pólovými nastavci statoru, tzn. že kotva by byla v neutrální poloze, měl by její počáteční pohyb ustát. Kotva se však svojí setrvačností otáčí dále, až v určitém okamžiku komutátor přivede do vinutí kotvy znovu proud a kotva se pak nuceně pohybuje dál, ale její pohyb je nerovnoměrný.

Na rotor se dává větší počet cívek - nejméně tři, aby se elektromotor rozběhl v každé poloze kotvy. Čím větší počet cívek rovnoměrně rozložených po obvodu kotvy, tím vyšší je otáčivý moment a otáčivý pohyb je rovnoměrnější (Obrázek 12) [26].

Při provozu a zvyšování výkonu se elektromotor zahřívá, následující rovnice se používá k výpočtu změny teploty při zvyšování / snižování proudu procházejícího přes vinutí motoru.

$$T_{inc} = I^2 R (R_{th1} + R_{th2}) \quad (7.1)$$

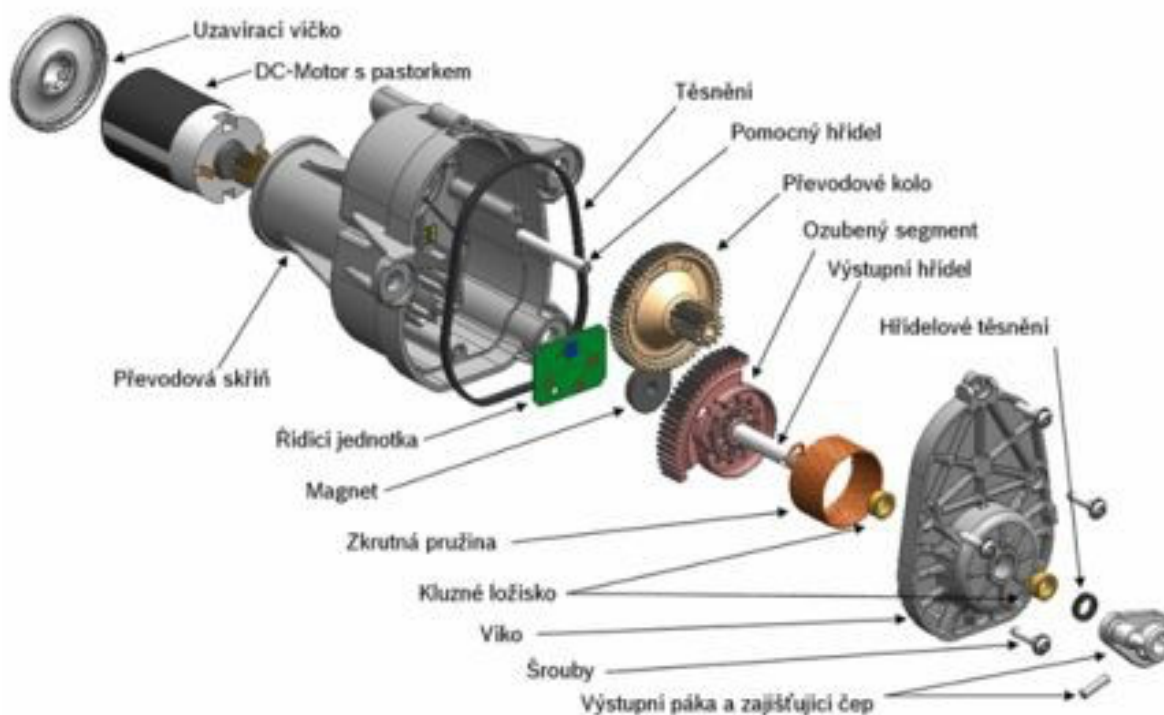
kde

T_{inc}	nárůst teploty	[°C]
i	proud procházející vinutím	[A]
R	odpor vinutí motoru	[ohm]
R_{th1}	tepelný odpor od vinutí k pouzdru	[°C/Watt]
R_{th2}	tepelný odpor pouzdra vůči okolí	[°C/Watt]

Je důležité, aby konečná teplota nepřesáhla jmenovitou hodnotu vinutí. Proto je důležité vědět, jakého točivého momentu se můžeme dosáhnout bez přehřívání [27].

8 Základní popis aktuátoru dodaného firmou Robert Bosch spol.s.r.o

GPA (general-purpose actuator) česky - multifunkční pohon je zařízení, které se používá například k řízení turbo přepínače nebo regulace řídicího tlaku.



Obrázek 13: Multifunkční pohon (GPA) [1]

Tento aktuátor je tvořen z několika hlavních částí:

Obal aktuátoru - skládá se z krytu - díl vyroben z polyamidu, obsahující převodovou skříň, která nese kontakty a umožňující propojení s řídicí jednotkou, a z víka - odlitek z hliníku, který chrání citlivé elektornické součástky proti teplu proudícího z motoru.

Uzavírací víčko - jeho funkcí je utěsnění aktuátoru a ochrana motoru.

DC-Motor - zajišťuje pohon, více v kapitole 7.2

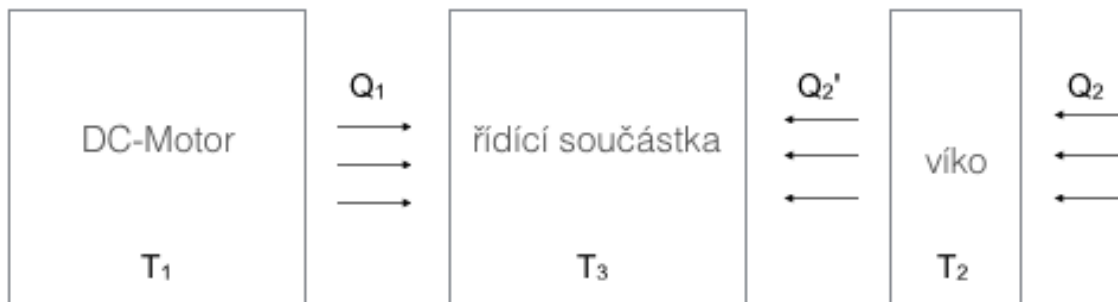
Řídicí jednotka - regulační, řídicí a diagnostická funkce, nejdůležitější část GPA, je osazena Hallovým senzorem, odpory a kondenzátory.

Převodové kolo - slouží jako převodový stupeň mezi motorem a výstupní hřídelí, konstrukce se skládá z dvou průmětů a je vyrobeno z polyamidu.

Výstupní hřídel - zajišťují přenos rotačního pohybu na klapku výstupní páky.

9 Přenos tepla v aktuátoru

Kritickým místem v aktuátoru je řídicí jednotka, která má nižší teplotní odolnost, než ostatní části aktuátoru a zároveň nese nejdůležitější funkce. Řídicí jednotka je zahřívána dvěma zdroji, prvním je DC-Motor a druhými jsou externí zdroje mimo aktuátor.



Obrázek 14: Schéma proudění tepla aktuátorem

Z Obrázku 14 je zřejmé, že mezi okolím a víkem dochází k volné konvekci a při přenosech tepla mezi DC-Motorem - řídicí součástí a víkem - řídicí součástí dochází ke kondukcí.

Látka	Součinitel tepelné vodivosti [$\text{WK}^{-1}\text{m}^{-1}$]
stříbro	529
měď	386
hliník	237
mosaz	120

Tabulka 1: Součinitel tepelné vodivosti [28]

Kondukcí je závislá na vlastnostech materiálu, a to hlavně na součiniteli tepelné vodivosti (Tabulka 1). Víko je vyrobeno z hliníku, což se dá považovat za vhodně zvolený materiál, vzhledem k jeho hodnotě λ , ceně a hmotnosti (hustotě (Tabulka 2)).

Látka	Hustota [kgm^3]
stříbro	10 500
měď	8960
hliník	2700
mosaz	8400 - 8750

Tabulka 2: Hustota látek [28]

Teplo přicházející z DC-Motoru není možno ovlivnit, ale je vhodné pozorovat změnu teploty se zvyšujícím se výkonem (7.1).

V případě konvekce je důležitým faktorem součinitel přestupu tepla α , který je závislý na více parametrech (Kapitola 6.2).

9.1 Účinnost víka jako izolace

Tepelnou účinnost víka lze definovat jako podíl tepla, která dostává řídicí součástka k množství tepla, které odevzdává okolí víka

$$\eta_v = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (9.1)$$

nebo též po zavedení poměrové tepelné ztráty

$$\zeta_v = \delta Q_1 + \frac{\delta Q_2}{Q_1} \quad (9.2)$$

ζ_v je tepelná účinnost víka

$$\eta = 1 - \zeta_v \quad (9.3)$$

Za předpokladu, že tepelné ztráty jsou úměrné sdílenému teplu, lze psát

$$\delta Q_1 = z_1 Q_1 \quad (9.4)$$

a

$$\delta Q_2 = z_2 Q_2 \quad (9.5)$$

takže rovnice (7.4) a (7.5) dostanou tvar

$$Q_S = (1 - z_1) Q_1 \quad (9.6)$$

a

$$Q_S = (1 + z_2) Q_2 \quad (9.7)$$

odkud pro tepelnou účinnost plyne

$$\eta_v = \frac{1 - z_1}{1 + z_2} \quad (9.8)$$

s respektováním tepelných ztrát

$$Q_2 = Q_1 - \eta_v \quad (9.9)$$

[29].

9.2 Odstínění aktuátoru

Jedná se o jednoduchý způsob, jak zvýšit výkon a snížit teplotu za nízkou cenu. Hliníkové fólie se dají použít jako tepelný štít a izolovat oblast víka. Tento způsob je jednoduchý na instalaci, ale v případě požadavku na stále se zvyšující výkon může být nedostatečný.

9.3 Úprava povrchu aktuátoru

Přenesené teplo je závislé na ploše, přes kterou prochází, jak bylo popsáno v kapitole 4. Vhodným způsobem úpravy povrchu, při zachování velikosti aktuátoru je žebrování. Žebrování zvětší povrch, a tím usnadní odvod tepla do okolí.

9.4 Chlazení kapalinou

Nejčastějším způsobem chlazení v prostoru vozidla je pomocí cirkulace chladící kapaliny, obvykle vody, která je smísená s roztokem proti zamrznutí, která je distubovaná pomocí speciálních chladících kanálů [30].

Chladící kanály jsou propojeny přes vodou chlazený blok motoru a hlavu válců. Čerpadlo, které je poháněno kladkou a pásem z klikového hřídele, pohání horkou chladící kapalinu z motoru do chladiče, což je forma tepelného výměníku.

Obvykle čerpadlo dodává chladící kapalinu prostřednictvím motoru a zpátky přes chladič, s využitím skutečnosti, že teplá voda expanduje, stává se lehčí a stoupá nad studenou při zahřívání, čerpadlo pouze napomáhá cirkulaci.

Při běžné pracovní teplotě motoru je chladící kapalina jen těsně pod nominální teplotou varu. Riziku varu se zabrání zvýšením tlaku v systému, což zvýší hodnotu bodu varu. Zvýšení

tlaku je omezeno uzávěrem chladiče, který má tlakový ventil. Nadměrný tlak otevře ventil a chladící kapalina proudí ven přes přepadovou trubku.

V chladícím systému tohoto typu dochází k neustálé ztrátě chladiva, když je motor přehřátý. Proto je potřeba chladící kapalinu doplňovat [31].

Výhodou je stejnosměrný a intenzivní účinek ochlazování ve všech částí motoru s malými rozdíly pracovní teploty. Nevýhodou je náročnost na údržbu, zábor prostoru a náchylnost ke vzniku poruch [32].

9.3.1 Chlazení aktuátoru kapalinou

V případě chlazení aktuátoru kapalinou, je náročné zavedení chladící kapaliny k prostoru aktuátoru. Při instalaci je nezbytné zajistit termostat, který bude regulovat teplotu v chladícím okruhu s vodní pumpou. Dalším důležitým parametrem je provedení kapalinového chlazení, a to jeho provedení, zda-li aktuátor chladit externě nebo interně.

V případě externího chlazení, je samotné provedení chlazení aktuátoru nenáročné. Jedním z vhodných řešení, může být instalace vodících kanálů chladící kapaliny po obvodu aktuátoru. Dalším možné řešení je instalace širokého a plochého kanálu s chladící kapalinou podél víka aktuátoru.

Instalace kanálů s chladící kapalinou do vnitřní části aktuátoru, je operací, která vyžaduje uzpůsobení samotného aktuátoru, tedy vhodné zapuštění chladících kanálů do vnitřku aktuátoru. Tento typ řešení má výhodu v rovnoměrném ochlazení celého aktuátoru, tedy i oblasti pohonu aktuátoru.

10 Závěr

V bakalářské práci jsem se zabývala dvěma hlavními tématy; teplo a jeho přenos a aktuátor a jeho druhy, pohon a obecný popis. Po shrnutí těchto informací jsem určovala vhodný způsob snížení teploty v nejkritičtější části aktuátoru, a to v řídicí jednotce.

V úvodu práce jsem definovala základní pojmy týkající se tepla, rozdělila a popsala přenos tepla v pevné látce i v kapalině. Pro jednotlivé druhy přenosu tepla se používají různé konstanty, které jsou závislé na materiálu ze kterého je systém vyroben. V aktuátoru dochází k přenosu tepla dvěma druhy, kondukcí - vedení a konvekcí - prouděním.

Další podstatnou částí této práce je mechatronika, obor kombinující elektroniku, informatiku a mechaniku. Mechatronika v systému automobilu má vysoké nároky, mezi které patří například odolnost vůči teplotě, otřesům, ale i nízká hmotnost součástky. Tyto nároky jsou podstatné, jelikož právě aktuátor patří mezi automobilovou mechatroniku. V práci jsem rozdělila druhy aktuátorů a popsala fungování dvou nejpoužívanějších druhů - elektromagnetický aktuátor a aktuátor s pohonem. Zároveň popsala fungování stejnosměrného motoru, který pohání elektrický aktuátor a uvedla rovnici pro výpočet změny teploty motoru, při zvýšení proudu procházejícího v cívce.

Na závěr bakalářské práce jsem se věnovala přenosu tepla v aktuátoru a uvedení možných způsobů, jak chladit aktuátor. Mezi možné řešení patří chlazení kapalinou, odstínění víka aktuátoru a zvýšení povrchu víka aktuátoru pomocí žebrování, uvedená řešení se dají kombinovat dohromady. Při výběru řešení je vhodné zvážit výrobní faktory, například u chlazení kapalinou, musí nastat úprava povrchu aktuátoru, tedy musí se změnit tvar obalu aktuátoru. Je vhodné zvážit, jestli požadavek na snížení teploty bude stále růst, v tomto případě použít chlazení kapalinou. Pokud tento požadavek není žádoucí, je dle mého názoru vhodné aktuátor odstínit, a tím nezasahovat do rozvodu chladící kapaliny v prostoru motoru.

Bakalářská práce „Tepelná rovnováha elektrického aktuátoru“ by měla sloužit jako teoretický podklad a podmět k tvorbě vhodného chlazení elektrického aktuátoru. Věřím, že tyto poznatky a navržená řešení budou předmětem diskuze při výběru vhodného chlazení elektrického aktuátoru.

11 Použité zdroje

11.1 Literatura a internetové zdroje

- [1] www.bosch.cz
- [2] CRAWFORD, Franzo H. *Heat, thermodynamics and statistical physics*. London: Hart-Davis, 1963, 700 s.
- [3] SAZIMA, Miroslav; KMONÍČEK, Vladimír; SCHNELLER, Jiří. *Teplo*. Praha: SNTL, 1989, 588 s.
- [4] GLAZEBROOK, Richard Tetley. *Heat: an elementary text-book theoretical and practical*. Cambridge: University Press, 1904, 230 s.
- [5] ZÁBRANSKÝ, Milan. *Heat capacity of liquids: critical reviews and recommended values*. Woodbury: Amer. Inst. of Physics, 1996, 813 s.
- [6] *Tepelná kapacita a měrná tepelná kapacita* [online], [cit. 2016-06-26]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/molekul/3_3
- [7] Měrná tepelná kapacita. *Encyklopedie fyziky*. [online], [cit. 2016-06-26]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/578-merna-tepelna-kapacita>
- [8] Thermal Conductivity of some common Materials and Gases. *The Engineering Toolbox*. [online], [cit. 2016-06-29]. Dostupné z: http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html
- [9] SÝKORA, Karel. *Základy sdílení tepla*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962, 225 s.
- [10] DVOŘÁK, Zdeněk. *Sdílení tepla a výměníky*. Praha: České vysoké učení technické, 1992, 120 s.
- [11] Tepelný tok. *Termodynamika nevratných procesů* [online], [cit. 2016-07-01]. Dostupné z: http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199_5%20Nevratne%20procesy.pdf
- [12] KOLAT, Pavel. *Přenos tepla a hmoty*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001, 266 s.
- [13] Vedení tepla. *Zvýšení spolehlivosti stavebních nosných konstrukcí výpočtem požární odolnost podle evropských norem*. [online], 2010 [cit. 2016-07-03]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-2_Vedeni_teplo.pdf
- [14] Mechanismy sdílení tepla. Výpočet sdílení tepla při návrhu výměníku. [online], [cit. 2016-07-03]. Dostupné z: [http://energetika.cvut.cz/files/VTK%20pr3\[1\].pdf](http://energetika.cvut.cz/files/VTK%20pr3[1].pdf)
- [15] BEJAN, Adrian. *Convection heat transfer*. New York: Wiley, 1995, 623 s.
- [16] SIEGEL, Robert; HOWELL, John R. *Thermal radiation heat transfer*. New York: McGraw-Hill, 1972, 814 s.
- [17] VALÁŠEK, Michael. *Mechatronika*. Praha: České vysoké učení technické, 1995, 153 s.
- [18] BAUER, Horst. *Automotive electrics, automotive electronics: systems and components : new: sensors, microelectronics*. Bury St. Edmunds: Professional Engineering, 2004, 503 s.

- [19] FORNEL, Bernard de; LOUIS, Jean-Paul. Electrical actuators: identification and observation. London: ISTE, 2010, 465 s.
- [20] De SILVA, Clarence W. Sensors and actuators: engineering system instrumentation. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2016, 819 s.
- [21] What's the Difference Between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical Actuators?. Machine design. [online], 2015 [cit. 2016-07-5]. Dostupné z: <http://machinedesign.com/linear-motion/what-s-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators>
- [22] DENTON, Tom. Automobile electrical and electronic systems. Abingdon: Routledge, 2012, 703 s.
- [23] ČSN 34 5170, *Elektronické názvosloví. Názvosloví elektrických pohonů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1978, 68 s. Třídící znak 34 5170.
- [24] PAVELKA, Jiří. Elektrické pohony. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 222 s.
- [25] Elektrický proud v magnetickém poli. E-motor. [online], [cit. 2016-07-6]. Dostupné z: <http://www.emotor.cz/elektricky-proud-v-magnetickem-poli.htm>
- [26] DC Motor or Direct Current Motor. Electrical 4 U. [online], [cit. 2016-07-6]. Dostupné z: <http://www.electrical4u.com/dc-motor-or-direct-current-motor/>
- [27] DC Motor Calculations. MICROMO. [online], [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <http://www.micromo.com/technical-library/dc-motor-tutorials/motor-calculations>
- [28] <http://www.wolframalpha.com>
- [29] JIROUŠ, František. Aplikovaný přenos tepla a hmoty. České vysoké učení technické: Praha, 2010, 207 s.
- [30] STRATTON, D. G.; STRINGER R. E.; TAYLOR, S. R. C. Engine cooling system design and development. London: Institution of Mechanical Engineers, 1966, 221-236 s.
- [31] How an engine cooling system works. How a car works. [online], [cit. 2016-07-10]. Dostupné z: <http://www.howacarworks.com/basics/how-an-engine-cooling-system-works>
- [32] Chlazení motorů, údržba, opravy chladících soustav. [online], [cit. 2016-07-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/14.html>

12 Seznam obrázků

Obrázek 1.	Teplotní gradient
Obrázek 2.	Závislost součinitele přestupu tepla na typu konvekce
Obrázek 3.	Synergie oborů mechatroniky
Obrázek 4.	Schéma struktury aktuátoru
Obrázek 5.	Proměnné solenoidu pohánějící elektromagnetický aktuátor
Obrázek 6.	Bosch přímé vstřikování benzínu GDI
Obrázek 7.	Elektrické otevírání dveří FPC3
Obrázek 8.	Pohon na nastavení sedadel ACH2
Obrázek 9.	Řez stejnosměrným motorem s permanentními magnety
Obrázek 10.	Blokové schéma DC-Motoru
Obrázek 11.	Konstrukce stejnosměrného elektromotoru - stator, rotor
Obrázek 12.	Princip funkce stejnosměrného elektromotoru
Obrázek 13.	Multifunkční pohon (GPA)
Obrázek 14.	Schéma proudění tepla aktuátorem

13 Seznam tabulek

Tabulka 1.	Součinitel tepelné vodivosti
Tabulka 2.	Hustota látek