

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektrotechnologie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Filip Drobář**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Ovlivňování průtoku kapalin feromagnetickou kapalinou**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s feromagnetickými kapalinami a jejich použitím.
- 2) Experimentálně ověřte vliv feromagnetické kapaliny spolu s magnetickým polem na průtok kapaliny.
- 3) Pro experimentální část realizujte cyklický oběh kapaliny s možností vpravit do tohoto oběhu feromagnetickou kapalinu.
- 4) Výsledky experimentu vyhodnoťte.

Seznam odborné literatury:

- [1] Polcar, P. Elektrotechnický systém s magnetickou kapalinou. Autoreferát disertační práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2012. Vedoucí disertační práce Prof. Ing. Daniel Mayer, DrCs.
- [2] Kaiser, R., Rosensweig, R. Study of ferromagnetic liquid. Nasa contractor report. Lowell, Mass.: AVCO CORPORATION, 1969, 91 s, s. 22-26.
- [3] Mayer, D. Magnetické kapaliny a jejich použití (2. část). Elektro. 2007, roč. 17, č. 4, s. 4-8.

Vedoucí: Ing. Karel Dušek, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015


doc. Ing. Pavel Mach, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 11. 3. 2014

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



Bakalárska práca

**Ovplyvňovanie prietoku kvapalín
feromagnetickou kvapalinou**

Filip Drobáň

Vedúci práce: Ing. Karel Dušek Ph.D.

Praha 2014

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som túto prácu vypracoval samostatne a použil som len študijné podklady, ktoré sú priložené v zozname na konci práce.

Ďalej nemám problém z použitím tohto diela v zmysle § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o autorskom práve, o právach súvisiacimi s právom autorským a o zmene niektorých zákonov.

V Prahe dňa

.....

Podpis

Pod'akovanie

Týmto chcem poďakovať pánovi Ing. Karlovi Duškovi, Ph.D., ktorý mal hodne trpezlivosti nad touto prácou a stále veril, aj keď ja som už ďalej nemohol a podporil ma. Hlavne vďaka nemu a jeho neoblomnej viere a trpezlivosti som dosiahol výsledky, ktoré prezentujem v mojej práci.

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou feromagnetických kvapalín a pozorovaním ich chovania sa v nútenom obehu tekutiny. Snažíme sa tu ovplyvniť tok média za pomoci feromagnetickkej kvapaliny v magnetickom poli dvoch permanentných magnetov.

V prvej časti práce je priblížená teoretická časť týkajúca sa feromagnetických kvapalín ich zložením, výrobou a delením. V druhej časti práce opisujem rôzne aplikácie feromagnetických kvapalín v lekárstve alebo v technike. Tretia časť zapadá už do praktickej časti mojej práce a popisujem tam pracovisko a prístroje, ktoré boli použité pri meraniach. Štvrtá a posledná časť práce sa zaoberá samotnými nameranými výsledkami a popisom všetkých mojich pokusov.

Kľúčové slová

feromagnetická kvapalina, ferokvapalina, magnetické pole, detergent, nenočastice, mikročastice, magnetoviskózný jav, Brownov pohyb, Currieho teplota

Abstract

This bachelor's thesis deals with the problems of ferromagnetic fluids and observation of their behavior in forced circulation of fluid. I tried to influence the flow of media with the assistance of ferromagnetic fluid in a magnetic field comprising of two permanent magnets.

In the first part of my work discussed the theory concerning ferromagnetic fluids, their composition, production, and division. The second part deals with different applications of ferromagnetic fluids in medicine or the technological industry. In the third part I introduce the practical part of my work by describing my workplace and devices used for measurements. In the fourth and final part of my paper I explain in detail the process and the results of the experiments.

Key words

Ferromagnetic fluid, Ferro fluid, magnetic field, detergent, nanoparticles, micro particles, magneto viscous phenomenon, Brownian motion, Curries temperature

Obsah

Obsah	6
Úvod	8
Teoretická časť	9
Kapitola 1	10
Zloženie, delenie a výroba magnetických kvapalín	10
1.1 Zloženie magnetických kvapalín	10
1.2 Výroba magnetických kvapalín	11
1.3 Delenie magnetických kvapalín	12
1.4 Magnetoviskózný jav	13
Kapitola 2	14
Aplikácie magnetických kvapalín	14
2.1 Aplikovanie magnetických kvapalín v medicíne	14
2.1.1 Metódy liečenia s ferokvapalinami	14
2.1.2 Magnetická rezonancia (MR)	15
2.2 Aplikácia magnetických kvapalín v technických odvetviach	15
2.2.1 Tlmiče s ferokvapalinou (ferohydraulické tlmiče)	16
2.2.2 Reprodukory s ferokvapalinou	17
2.2.3 Využitie ferokvapaliny v zrkadlách	17
2.2.4 Ferokvapalina ako tesnenie	19
2.3 Vplyv magnetického poľa na ferokvapalinu	20
Praktická časť	23
Kapitola 3	24
Popis pracoviska a použité prístroje	24
3.1 Pracovisko	24
3.2 Použité prístroje a pomôcky	26

3.2.1 Použité feromagnetické kvapaliny	26
3.2.2 Použité čerpadlá.....	27
3.2.4 Ostatné použité pomôcky	28
Kapitola 4	30
Experimenty a ich realizácia.....	30
4.1 Pokus zo spojenými nádobami.....	30
4.2 Pokus s peristaltickým čerpadlom.....	32
4.3 Pokusy s membránovým čerpadlom	33
4.3.1 Meranie prietoku bez zmeny magnetického pola	33
4.3.2 Meranie prietoku pri zmene magnetického pola vonkajšou sieťou	35
4.3.3 Meranie prietoku pri zmene magnetického pola vonkajšou a vnútornou sieťou	37
4.3.4 Meranie prietoku pri zmene magnetického pola vonkajšou a vnútornou sieťou z feromagnetickou kvapalinou EMG 706	39
4.3.5 Pozorovanie odberu prúdu čerpadla pri rôznych zaťaženiach.....	41
4.4 Zhodnotenie výsledkov mojej práce	42
Záver.....	43
Zoznam obrázkov	44
Použitá literatúra.....	45

Úvod

Problematikou feromagnetických kvapalín sa ľudia zaoberajú už dlhú dobu. Približne od 60. rokov dvadsiateho storočia, začali mať tieto kvapaliny aj praktické využitie. V tomto období začali ľudia lietať do vesmíru, s čím prišli aj ďalšie problémy ohľadom kvapalín. Ich regulácia v bezťažovom stave nebola najjednoduchšia. Preto americká vesmírna spoločnosť NASA začala využívať technológiu založenú na regulácii kvapaliny pomocou magnetického poľa. Touto technológiou riadili tok tekutého paliva do motorov v bezťažovom stave. Samozrejme, počas vývoja tieto kvapaliny začali mať praktické využitie aj v iných oblastiach techniky, lekárstva a chémie. A práve v týchto odvetviach sa dajú v budúcnosti čakať veľké pokroky.

Obor, ktorý sa zaoberá vplyvom magnetického poľa na elektricky nevodivú feromagnetickú kvapalinu sa nazýva ferohydrodynamika (FDH). Z týmto vedným oborom súvisí aj obsah mojej práce. Kde sa venujem regulácii tekutín rôznej viskozity pomocou magnetického poľa. Aby sa dala táto tekutina regulovať, musí obsahovať malé množstvo feromagnetickkej kvapaliny. Kde na túto kvapalinu vplýva magnetické pole a pomocou jeho intenzity môžeme regulovať prietok.

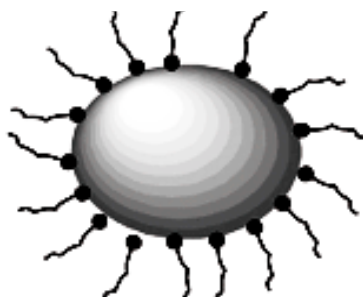
Teoretická část

Kapitola 1

Zloženie, delenie a výroba magnetických kvapalín

1.1 Zloženie magnetických kvapalín

Magnetické kvapaliny tiež označované ako *ferrofluida*, *koloidní ferokvapaliny*, *nanokompozitné magnetiká* obsahujú vo svojej nosnej kvapaline malé feromagnetické častice. Rozmery týchto častíc sa pohybujú rádovo v nanometroch (10^{-9} m), približne okolo 3 až 15 nm. Hlavne kvôli týmto rozmerom si zaslúžili názov nanočastice. Pozostávajú hlavne z práškoveho železa ale aj z oxidov železa, feritu a niklu. Každá z nanočastíc predstavuje miniatúrny permanentný magnet a spolu vytvárajú Weissove domény tj. spontánne zmagnetizované oblasti vo feromagnetiku, ich orientácia je rôzna podľa magnetického poľa. Častice sa v kvapaline pohybujú pomocou tepelného Brownovho pohybu a kvapalina sa javí ako nemagnetická. Nanočastice reagujú až na magnetické pole. Okrem nanočastíc sa na povrchu nachádza aj detergent t.j. makromolekulárny obal. Detergenty sú oveľa menšie ako magnetické nanočastice a vyvolávajú medzi nimi odpudivé sily. Sú tvorené dlhými reťazcami molekúl a jedným koncom sú pevne viazané s magnetickou nanočasticou (*viz obrázok 1.1*). Druhý koniec je voľnejší a priťahovaný molekulami nosného média. Dĺžka jedného detergentu je okolo 1 až 2 nm. Detergenty zapríčiňujú koloidnú stabilitu magnetických kvapalín t.j. nedochádza k zhlukovaniu ich feromagnetických nanočastíc, a to ani vplyvom magnetického poľa [2].



Obrázok 1.1: Magnetická nanočastica, ktorej povrch je pokrytý detergentnými reťazcami [15]

1.2 Výroba magnetických kvapalín

Prvé typy magnetických kvapalín boli vyrábané mletím magnetitu alebo uhľovodíkov s kyselinou olejnou. Bežne používané kvapaliny sú železité vodné roztoky s obsahom (Fe_3O_4 , MnFe_2O_3 a ďalšie). Čiastočky kvapalín sú pokryté kyselinou olejnou a rozptýlené v nosnej kvapaline. Nosnou kvapalinou môže byť voda, rastlinný alebo minerálny olej, petrolej a ďalšie. Hlavný vplyv na elektromagnetické a mechanické materiálové vlastnosti má veľkosť čiastočiek a ich počet obsiahnutý v kvapaline [1].

V typickej ferokvapaline sa nenachádza viac ako 5% magnetických častíc, čiže tieto kvapaliny tvoria špeciálnu kategóriu nanomateriálov, ktoré spolu spájajú magnetické a kvapalné vlastnosti. Zaujímavosťou je, že neexistuje žiadna ferokvapalina v podobe tekutých magnetov. Je to kvôli Currieho teplote, po prekročení ktorej magnetické látky strácajú svoje feromagnetické vlastnosti. Čiže keď z magnetov chceme vytvoriť magnetickú kvapalinu, musíme prekročiť Currieho teplotu a tým magnet stráca svoje magnetické vlastnosti [2].

1.3 Delenie magnetických kvapalín

Kritérii pre delenie magnetických kvapalín je veľa. Jedno z hlavných kritérií, je podľa veľkosti ich feromagnetických častíc. Tu sa delia tieto kvapaliny na 2 skupiny: *ferokvapaliny* a *magnetoreologické kvapaliny*. Ferokvapaliny majú veľkosti častíc rádovo okolo (3-15 nm) a magnetoreologické kvapaliny majú veľkosť častíc okolo (1-20 μm). Mikročastice magnetoreologických kvapalín sú multidoménové a ak nie sú magneticky spolarizované, tak nemajú ani magnetický moment [5,6]. Pri týchto kvapalinách s väčšími čiastočkami sa tiež prejavuje magnetoviskózný jav (*vysvetlený v stati 1.4*). Tým, že ferokvapaliny obsahujú čiastočky menších rozmerov a hmotností, je magnetoviskózný jav zanedbateľný a neustále sa pohybujú vplyvom Brownovho pohybu a sú jednodoménové, tj. sú orientované jedným smerom. Zatiaľ čo u magnetoreologických kvapalín je Brownov pohyb zanedbateľný, vďaka hmotnosti čiastočiek, ktoré kvapalina obsahuje. Zhrnutie týchto fyzikálnych vlastností zhrňuje tabuľka 1.2 [2,5,8].

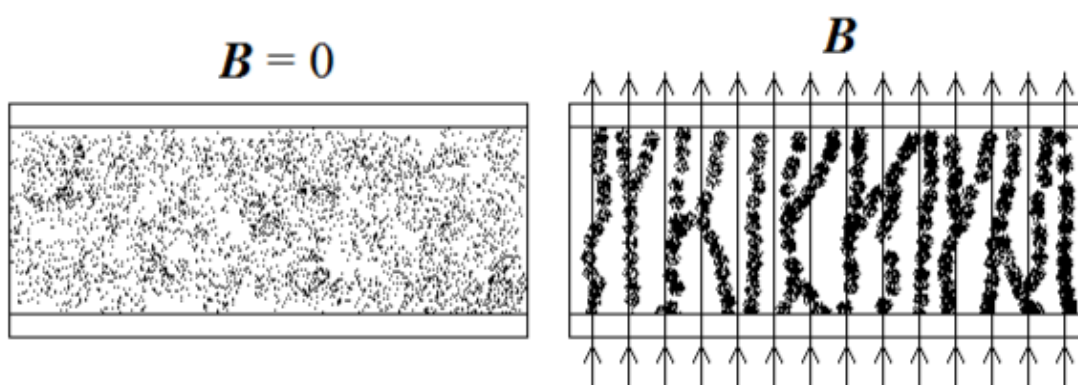
Tabuľka 1.2: Základné rozdiely medzi ferokvapalinou a magnetoreologickou kvapalinou

	Veľkosť častíc	Domény	Magnetoviskózný jav	Brownov pohyb
Ferokvapalina	3-15nm	JEDNODOMÉNOVÁ	NIE	ÁNO
Magnetoreologická kvapalina	1-20 μm	VIACDOMÉNOVÁ	ÁNO	NIE

1.4 Magnetoviskóznny jav

Tento jav sa prejavuje u magnetoreologických kvapalín, kde ich viskozita je závislá na pôsobení vonkajšieho magnetického poľa. Vzniká vtedy, keď nosná kvapalina obsahuje veľké množstvo železitých častí o veľkých rozmeroch rádovo μm . Ferokvapaliny sa vyznačujú tým, že tento jav sa u nich nevyskytuje, lebo ich nosná kvapalina obsahuje malé častice, ktoré sa v nej vyskytujú menej častejšie ako u magnetoreologických kvapalín [9].

Bez pôsobenia magnetického poľa sa častice v nosnej kvapaline len chaoticky pohybujú. Pri pôsobení magnetického poľa, dochádza k zoskupeniu častíc v smere magnetického poľa. Zoskupenie, ktoré častice vytvárajú v smere magnetického poľa, zabraňuje pohybu kolmému na smer siločiar. Keď nosná kvapalina obsahuje veľké množstvo častíc, tak pôsobením magnetického poľa sa jej skupenstvo môže zmeniť na pevné. Táto fyzikálna vlastnosť je znázornená na obrázku 1.2.



Obrázok 1.2: Vľavo sa nachádzajú častice rozptýlené v magnetickej kvapaline. Vpravo sa nachádzajú častice zoskupené za pôsobenia magnetického poľa [5].

Kapitola 2

Aplikácie magnetických kvapalín

2.1 Aplikovanie magnetických kvapalín v medicíne

Využitie ferokvapalín v liečivách je založené na použití vonkajšieho magnetického poľa a feromagnetické častice sa používajú ako prenášače liečiva do miesta kde to potrebujeme. Tieto magnetické častice sa spolu s farmaceutikom vpichnú priamo do krvného obehu pacienta, kde sa cirkuláciou krvi rozptýlia do celého ľudského tela. Postihnutá oblasť sa lieči tak, že sa na ňu priloží permanentný magnet. Tento magnet postupne odchyťava čiastočky ferokvapaliny aj s liečivom priamo v postihnutej oblasti a udržiava ich tam. Liečivo sa uvoľňuje pomocou zahriatia častice, ktoré sa vyvoláva pôsobením vonkajšieho vysokofrekvenčného magnetického poľa.

2.1.1 Metódy liečenia s ferokvapalinami

Ďalšou metódou liečenia za pomoci ferokvapalín je priame vstreknutie ferokvapaliny do postihnutej oblasti, alebo do nádoru či tumoru. V tejto oblasti sa udržiava za pomoci permanentného magnetu. Liečenie pri tejto metóde spočíva v rozkmitaní a zahriatí feromagnetických častíc. Rozkmitanie a ich zahriatie sa vyvoláva vonkajším vysokofrekvenčným striedavým magnetickým poľom. Tieto častice sa v dôsledku Néelovho-Brownovho relaxačného procesu rozkmitajú a tým sa zahrejú. Rozkmitané častice odovzdávajú svoje teplo nádoru pomocou trenia, alebo vedením tepla a takto ho priamo ničia [4,9].

V súčasnej dobe sú tieto praktiky v Českej aj Slovenskej republike zakázané. Hlavne kvôli nedostatku odborných poznání ohľadom nano- a mikro-castíc a ich vplyvu na ľudský organizmu [4]. Väčšina metód je založená na vstreknutí magnetických kvapalín

do krvného obehu človeka, ale bez znalostí všetkých možných dopadov, ktoré môžu mať tieto nanočastice na organizmus je to vlastne hazardovanie s ľudským životom. Niektoré odborné knihy a pramene tvrdia, že pevné nanočastočky, ktoré obsahujú magnetické kvapaliny sa ukladajú v mozgu, pečeni, a obličkách. Zatiaľ táto štúdia na dopad magnetických kvapalín na ľudský organizmus v súčasnosti chýba [9].

2.1.2 Magnetická rezonancia (MR)

Tento druh liečenia sa používa na trojrozmerné zobrazenie ľudského tela, pričom dokáže odhaliť rôzne nádory, tumory a iné závažné ochorenia ľudského tela, ktoré sa voľným okom nedajú pozorovať. Táto technológia využíva vlastnosti atómov vodíku, ktorý sa nachádza v tkaninách ľudského tela. Pre lepšie a podrobnejšie zobrazenie postihnutej časti ľudského tela sa používajú kontrastné látky. Tieto sú založené na princípe magnetickej tekutiny, ktorá slúži ako nosná kvapalina pre rôzne druhy enzýmov, ktoré zvyšujú citlivosť rezonancie.[9]

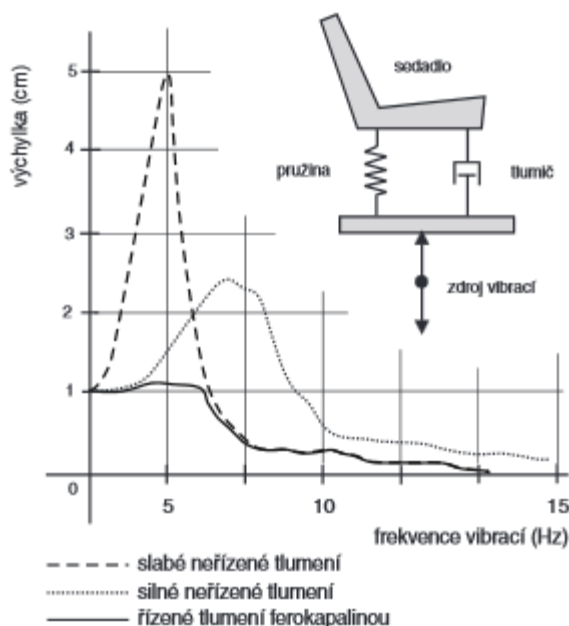
Rezonancia sa to volá hlavne kvôli skutočnosti, že pri tomto vyšetrení sa vyvoláva rezonancia jadra pomocou určitej frekvencie. V prípade ľudského tela sa rezonančná frekvencia pohybuje okolo 42,58 MHz pri 1T(Tesla). Táto frekvencia je daná rezonančnou frekvenciou vodíku, lebo je najpočetnejší zo všetkých prvkov v ľudskom tele [10].

2.2 Aplikácia magnetických kvapalín v technických odvetviach

V technických odvetviach sa magnetické kvapaliny používajú už dlhšiu dobu a osvedčili sa pri rôznych druhoch použití. Hlavne ako tesnenia a v tlmičoch. Zvláštnou kategóriou sú brzdy založené na tomto princípe. Hlavnou otázkou pri tejto problematike je ich spoľahlivosť. Preto sa zatiaľ táto technika používa hlavne pri brzdení robotických ramien.

2.2.1 Tlmiče s ferokvapalinou (ferohydraulické tlmiče)

Pri tlmičoch má feromagnetická kvapalina za úlohu zvýšiť tlmenie a tým znížiť otrasy spôsobené nerovnosťami na vozovke, alebo trati vlaku. Tieto tlmiče sú používané ako tlmenie automatických pračiek, sedadiel nákladných áut a ďalších. Pracujú na princípe prúdového signálu, ktorý je privedený do cievky, kde indukuje magnetické pole. Čím sa zvýši viskozita ferokvapaliny a tým sa zvýši aj tlmenie [3].



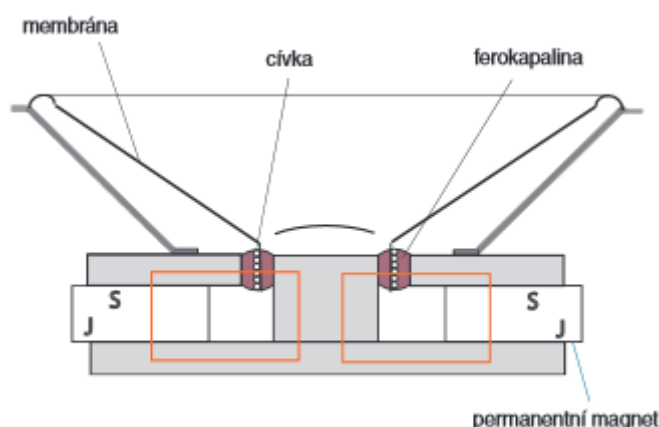
Obrázok 2.1: Porovnanie neriadeného (konvenčného) tlmiča a tlmiča z ferokvapalinou [3].

Za krátku dobu po vynájdení, boli tieto tlmiče použité aj na tlmenie nerovností u automobilov a nákladnej dopravy, ktoré sa pohybujú po cestných komunikáciách. Ferohydraulické tlmiče sa vyznačujú rýchlou reakciou na nerovnosti na vozovke a to v dobe len 5 ms. Zatiaľ čo normálne konvenčné tlmiče dokážu zareagovať až za 15 ms. Z tohto sa dá usúdiť, že bezpečnejšie a pohodlnejšie sú tlmiče z ferokvapalinou. Zabezpečujú bezpečnejšiu jazdu v zákrutách a na mokrej vozovke hlavne pri nadskakovaní kolesa po nerovnostiach zabraňujú javu tzv. *aquaplaningu* [3]. Vyskytuje sa hlavne u konvenčných tlmičoch a starších automobiloch vo vyšších rýchlostiach, kde koleso poriadne nedolieha na vozovku pri malej vrstve vody a tým sa automobil

dostáva do šmyku a často to končí nepríjemnou nehodou, pričom sú ohrozené ľudské životy.

2.2.2 Reprodukory s ferokvapalinou

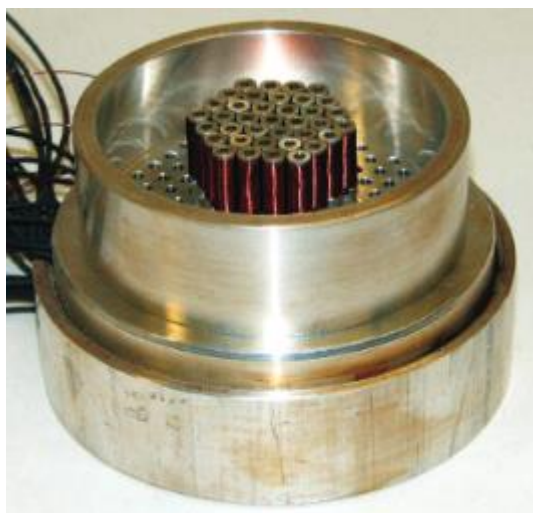
Už dlhšiu dobu sa používajú reproduktory s magnetickou kvapalinou. U normálnych reproduktorov sa v obvode s magnetom nachádza vzduchová medzera v ktorej kmitá cievka podľa akustického signálu. Pri reproduktoroch s magnetickou kvapalinou sa namiesto vzduchovej medzery nachádza magnetická kvapalina. Tým, že na ňu pôsobí silné magnetické pole z permanentného magnetu na zadnej strane reproduktoru, je táto kvapalina držaná v medzere [3]. Táto magnetická kvapalina má veľkú výhodu, lebo pomáha chladiť prúdom zaťažovanú cievku až osem krát intenzívnejšie ako vzduch. A vďaka tomuto chladeniu môže byť cievka namáhaná väčším prúdom a tým sú reproduktory výkonnejšie [3,9]. Princíp takéhoto reproduktoru z ferokvapalinou je znázornený na obrázku 2.2.



Obrázok 2.2: Reprodukter s ferokvapalinou [3]

2.2.3 Využitie ferokvapaliny v zrkadlách

Zrkadlá tohto typu sa využívajú hlavne pri korekciách a opravách svetla pomocou odrazu svetla z povrchu ferokvapaliny. Povrch kvapaliny sa deformuje pomocou magnetického poľa, kde sa na spodnej strane prípravku nachádzajú malé cievky. Prúd, ktorý vytvára v cievkach elektromagnetické pole, môže deformovať povrch ferokvapaliny (viz. obrázok 2.3) [9,12,14].



Obrázok 2.3: podložka zrkadla s cievkami,
ktoré spôsobujú zakrivenie povrchu
ferokvapaliny [12]

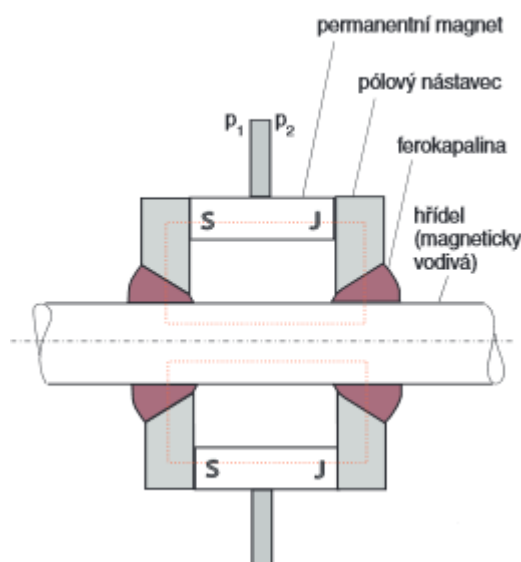
Povrch ferokvapaliny, ale nie je ideálna plocha na odraz svetla, odrazivosť jej povrchu sa pohybuje okolo 4%. To sa nedá použiť pre ďalšie spracovanie odrazeného svetla. Preto sa na povrch ferokvapaliny pridáva malinká vrstva striebra, ktorá má za úlohu zvýšiť odrazivosť povrchu až na 80% t.j. materiál s vysokou reflexivitou. Lenže táto vrstva striebra sa nedá použiť u normálne dostupných feromagnetických kvapalín. Preto bol vyvinutý nový typ feromagnetickkej kvapaliny s vyššou reflexivitou. Povrch takej kvapaliny je znázornený na obrázku 2.4 [12,14].



Obrázok 2.4: Povrch ferokvapaliny s vyššou
reflexivitou [14]

2.2.4 Ferokvapalina ako tesnenie

Najstarším použitím ferokvapalín je práve ich použitie ako tesnenie pre zachytávanie prachu a udržiavanie silnejšieho magnetického pola vo vzduchovej medzere, namiesto ktorej sa nachádza ferokvapalina. Pre použitie ferokvapaliny pri točivých strojoch musí byť hriadeľ magnetovaný v smere osy a magnetické pole medzi hriadeľom a pólovými nadstavcami musí byť okolo 1T(Tesla). Pri takejto sile magnetického pola ferokvapalina, ktorá sa nachádza vo vzduchovej medzere udrží rozdiel tlakov až 0,2-1Bar [3]. Rovnako sa toto tesnenie používa aj pri rovnakých tlakoch p_1 a p_2 . Ako je znázornené na obrázku 2.5.



Obrázok 2.5: Ferokvapalina vo vzduchovej medzere medzi hriadeľom a pólovým nadstavcom [3]

Keď porovnáme klasické tesnenie a tesnenie z ferokvapalinou, tak vychádza zo všetkého lepšie tesnenie z ferokvapalinou. Tesnenia s touto kvapalinou majú veľa výhod. Jednou z týchto výhod je cena, ktorá je v pomere z normálnym tesnením nižšia a má nižší trecí moment. Vyznačuje sa tiež väčšou spoľahlivosťou a tesnosťou. Taktiež má veľkú odolnosť voči trecím silám a tým je aj životnosť tesnenia z ferokvapalinou

vyššia. Rovnako dokáže vydržať aj veľké rozmedzie teplôt až od -100 do 200°C. Vďaka týmto teplotám sa táto technológia tesnenia osvedčila pri použití v leteectve alebo pri vesmírnych letoch a misiách [3].

2.3 Vplyv magnetického poľa na ferokvapalinu

Tento vplyv magnetického poľa sa dá pozorovať aj voľným okom, kde sa menia hlavne optické vlastnosti magnetickej kvapaliny. Je to spôsobené magnetickým poľom, ktoré magnetickými silami pôsobí na nanočastice v kvapaline. Pôsobením nehomogénneho magnetického poľa na ferokvapalinu vznikajú na jej povrchu bizarné obrazce pripomínajúce ihly. Na obrázku 2.6 je v hornej časti ferokvapalina a v spodnej časti permanentný magnet, ktorý svojim magnetickým poľom vplýva na kvapalinu. Táto nadobúda tvar pologule pokrytej kužeľmi [4]. Osa týchto kužeľov je zhodná so smerom magnetických siločiar permanentného magnetu. Vytváranie týchto kužeľov je spôsobené magnetickými nanočasticami vo ferokvapaline. Tieto sa účinkom magnetického poľa budú polarizovať, tj. sa budú natáčať do smeru magnetického poľa (viz obrázok 2.7). Tým môžeme povedať, že častice sú zmagnetizované. Po vypnutí magnetického poľa, alebo po odobratí permanentného magnetu na ferokvapalinu nevplývala žiadne magnetické pole [3,4]. Nanočastice začnú relaxovať dvomi rozličnými spôsobmi:

1. Pomocou Brownovej rotácie častice vo ferokvapaline

$$\tau_B = \frac{3V\eta}{kT} \quad (1)$$

Kde: τ_B - relaxačný čas, V - objem častice, η - dynamická viskozita, k - Boltzmanova konštanta, T - absolútna teplota

2. Pomocou Neélovej rotácie magnetického momentu

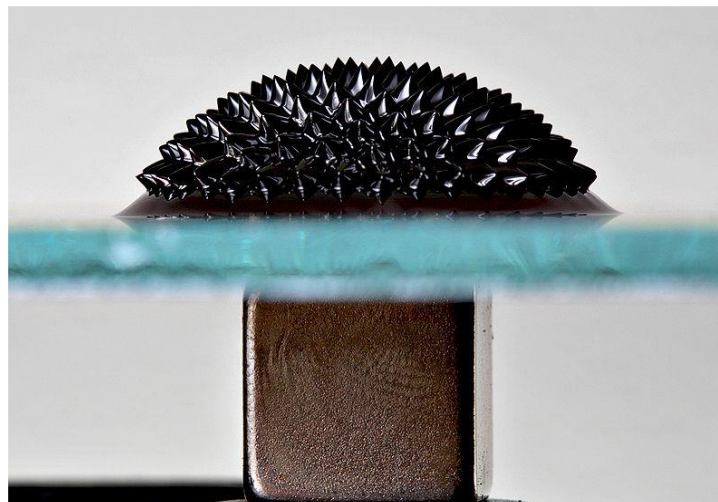
$$\tau_N = \frac{1}{f_0} e^{\frac{KV_M}{kT}} \quad (2)$$

Kde: τ_N - relaxačný čas, f_0 - precesná frekvencia, K - anizotropná konštanta, V_M - objem magnetickej domény, k - Boltzmanova konštanta, T - absolútna teplota

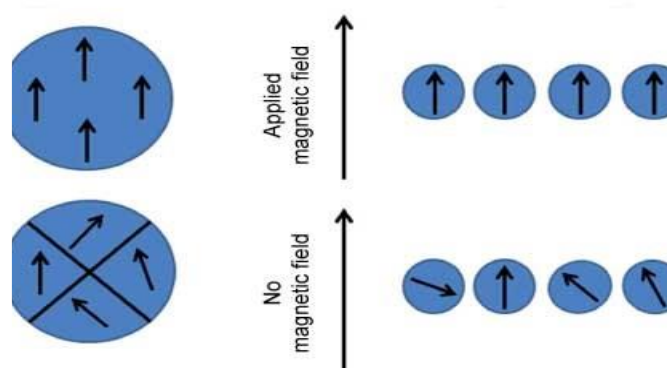
Tieto dve rotácie spôsobujú ohrievanie ferokvapaliny. Ten ktorý z týchto dvoch spôsobov je rýchlejší, viacej ovplyvňuje ohrievanie ferokvapaliny [4]. Celkový vzťah, ktorý vychádza zo vzťahov (1) a (2) je:

$$\tau_{eff} = \frac{\tau_B \tau_N}{\tau_B + \tau_N} \quad (3)$$

Po zmenení intenzity magnetického poľa, sa rovnako mení aj stav vo vnútri ferokvapaliny. Ale stabilný stav sa nedá dosiahnuť hneď, kvôli Brownovmu pohybu a viskozite. Ktoré zapríčiňujú oneskorene magnetizácie [4].



Obrázok 2.6: Vplyv magnetického poľa na ferokvapalinu [13]



Obrázok 2.7: Vplyv magnetického poľa na častice magnetickej kvapaliny

Magnetické pole tiež výrazne mení aj ostatné fyzikálne vlastnosti magnetických kvapalín. Jednou z týchto vlastností je viskozita ferokvapaliny. Vplyvom intenzity magnetického poľa sa viskozita zvyšuje. Magnetická kvapalina zostáva však aj naďalej tekutá vďaka detergentným reťazcom. Viskozita sa mení vplyvom magnetického poľa pomerne rýchlo rádovo v milisekundách [2,3].

Poznáme rôzne druhy magnetických polí (*jednosmerné, striedavé, pulzné*), každé inak vplýva na ferokvapalinu. V časovo premennom magnetickom poli sa ferokvapalina zahrieva. Tento jav je spôsobený vplyvom strát (*hysteréznich a vírivými prúdmi*) pri premagnetovávaní nanočastíc [2,3].

Praktická část

Kapitola 3

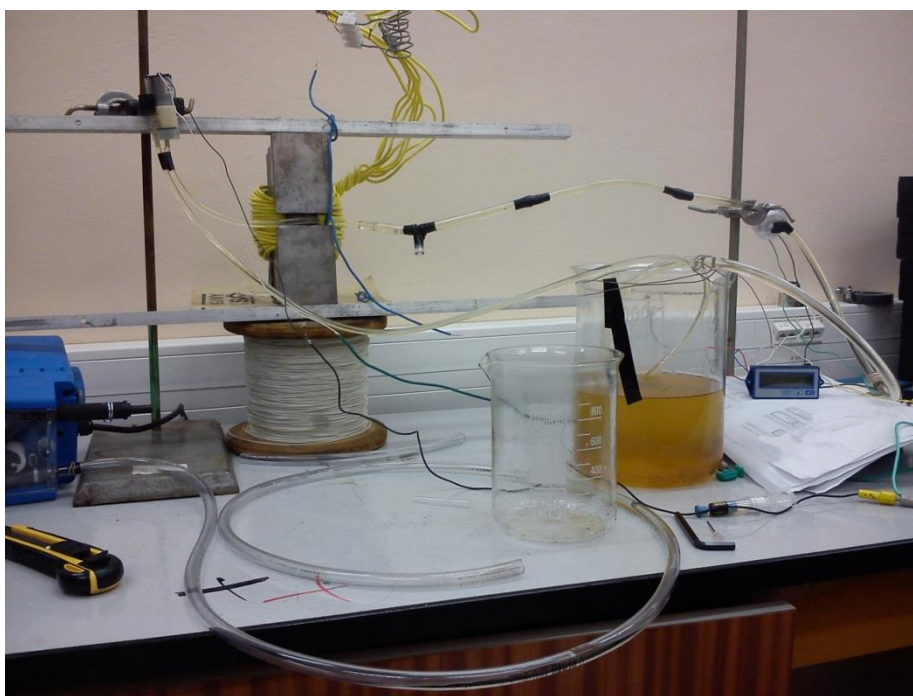
Popis pracoviska a použité přístroje

V tejto časti mojej práce sa budem venovať experimentálnym pokusom, ktorými sme sa snažili zregulovať prietok transformátorového oleja pomocou ferokvapaliny. Prietok sme zabezpečovali pomocou čerpadla a zátku z ferokvapaliny sme sa snažili vytvoriť z dvoch permanentných magnetov, ktoré boli umiestnené nad sebou zo silou magnetického pola okolo 1T(Tesla), kde sa ferokvapalina držala v magnetickom poli a tým zužovala prierez hadičky.

3.1 Pracovisko

Priestor kde som mohol zostrojiť obvod tohto zapojenia sa nachádza na katedre technológií, konkrétne v miestnosti G1-123. Priamo pri mojom konzultantovi tejto práce. Celý tento obvod čerpania zaberal pomerne veľa miesta preto som to celé robil v miestnosti vedľa. Zostaviť tento obvod nebolo moc ťažké, ťažšie bolo zapojiť a naučiť sa ovládať čítač impulzov. Ďalšia prekážka, ktorá sa vyskytla bola hneď na začiatku a zaberala aj najviacej času bolo nájdenie vhodného čerpadla a prietokomeru, keďže sme museli hľadať približne rovnaký prietok, aby nám ho prietokomer zmeral a nezostal stále na nule a aby čítač, ktorý je v ňom zabudovaný dokázal čítať tak malé impulzy keďže prietok, ktorý čerpadlo dokázalo vyvinúť nebol moc veľký. Ďalší veľký problém bolo vymyslieť, ako by sa dal tento prietok zregulovať, alebo aspoň trochu ovplyvniť feromagnetickou tekutinou v magnetickom poli. Skúšali sme rôzne výmysly typu pokus

omyl. Bohužiaľ žiadny z pokusov nami navrhnutých neuspel. Až keď sa dá preukázať, že feromagnetická kvapalina dokázala zaťažiť čerpadlo viac, ako keď sa čerpal len čistý olej. Všetko podrobnejšie ohľadom tejto práce a našich pokusov sa nachádza nižšie v statiach. Ukážku ako asi ako moje pracovisko vyzeralo znázorňuje obrázok 3.1.



Obrázok 3.1: Pracovisko

3.2 Použité prístroje a pomôcky

Pri týchto pokusoch sme používali rôzne druhy prístrojov a pomôcok v tejto stati priblížim, ktoré prístroje sme používali a stručne popíšem ich činnosť.

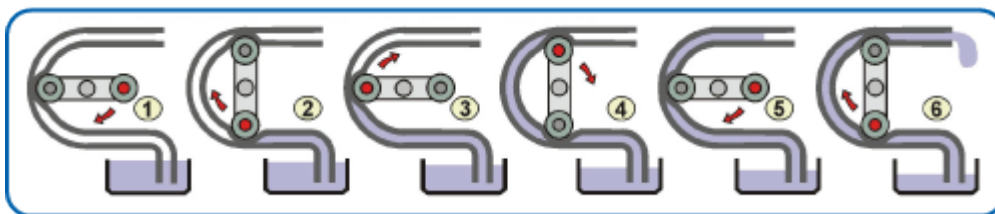
3.2.1 Použité feromagnetické kvapaliny

Prvou použitou kvapalinou bol Resovist, ktorý má katedra z nemocnice keďže ho už tam nemohli používať a bol po odpise. Avšak pre naše účely úplne stačí. Táto kvapalina sa používa ako kontrastná látka v nemocniciach pre magnetickú rezonanciu, ktorá je priblížená v stati 2.1.2. Roztok tejto kvapaliny obsahuje v 1 ml až 28 mg častíček oxidu železa, ktorý je superparamagnetický a tým vhodný ako kontrastná látka. Resovist sa v nemocniciach používa hlavne pri potrebe magnetickej rezonancie pečene. Aj vďaka tomuto u pacientov vyvoláva nežiadúce účinky ako je zvracanie, závrate a bolesti hlavy. Viacej o tejto látke sa dá dočítať v článku [17] ktorý je k dispozícii aj online.

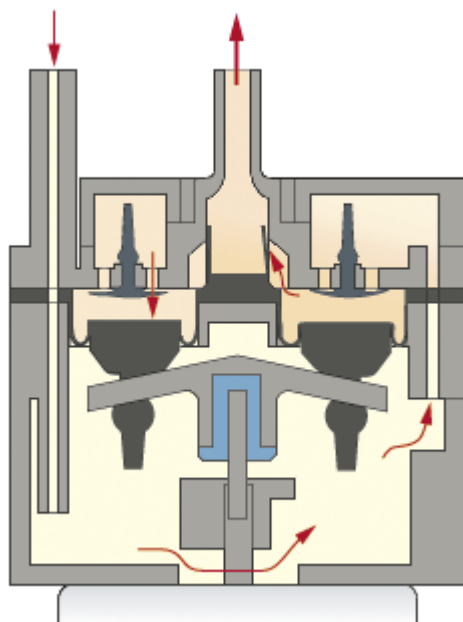
Ďalšia kvapalina, ktorá bola použitá ale len v malom množstve je EMG 705. Cena tejto kvapaliny je celkom vysoká, tak aj preto sme ju používali hlavne na konci projektu, keď sme aspoň približne vedeli ako sa kvapalina chová v magnetickom poli. Táto kvapalina obsahuje približne 69-90% vody ako nosnej kvapaliny, magnetických častíc približne 1-4% a rozpustný dispersant okolo 7-27%. Bližšie informácie o tejto kvapaline sa dajú vyčítať z použitej literatúry [18], tu je tento text k dispozícii online ale len v anglickom jazyku.

3.2.2 Použité čerpadlá

Jedno z čerpadiel použitých v tejto práci je peristaltické čerpadlo typu BH3-V vyrobené v Taliansku o výkone 20W. Toto čerpadlo malo za úlohu simulovať ako krvný obeh tak aj obyčajný tok kvapaliny. Čerpadlo tohto typu pacuje na princípe stláčania hadice a valivým pohybom po hadici ženie vodu v smere otáčania sa týchto valcov. Vďaka tomuto sa dá týmto čerpadlom simulovať krvný obeh, kvôli nepravidelnému toku kvapaliny v obvode. Princíp tohto čerpadla je znázornený na obrázku 3.2. V prvom bode sa čerpadlo nachádza v základnej polohe. Vidíme spomínané valce, ktoré jazdia po hadici a tým čerpajú kvapalinu, tlačia ju nepravidelne pred sebou.



Obrázok 3.2: Princíp fungovania peristaltického čerpadla [20]



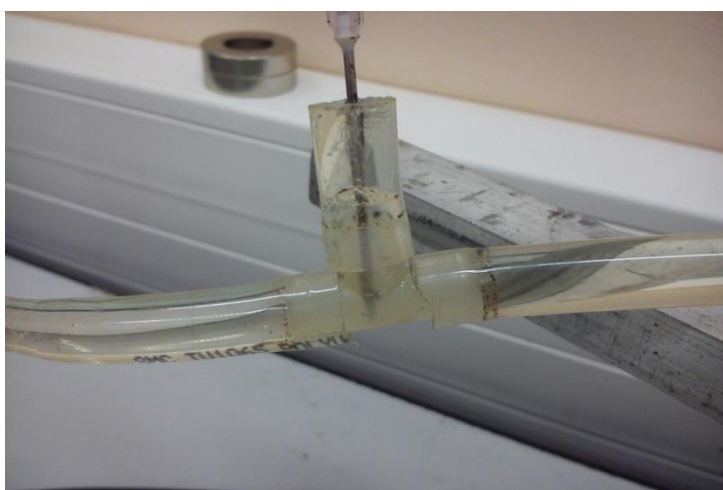
Druhé použité čerpadlo má výkon 5W a prietok okolo 2 litre za minútu a ich životnosť sa odhaduje od 70 do 2000 hodín. Na obrázku 3.3 môžeme vidieť približný princíp fungovania takéhoto čerpadla. Tieto čerpadlá vyrába známa japonská firma Oken SEIKO.

Obrázok 3.3: Princíp druhého 5W čerpadla [19]

Každé takéto čerpadlo obsahuje viacej membrán väčšinou sú dve. Červené šípky na obrázku znázorňujú tok kvapaliny cez čerpadlo. Jedna membrána je stlačená a druhá nasáva tekutinu. Po nasatí tekutiny sa zase membrána stlačí dohora a tým zatvorí malí otvor, ktorý sa nachádza nad ňou a preruší sa prívod kvapaliny, tlakom sa otvorí prepážka nachádzajúca sa na bočnej strane komory, do ktorej bola tekutina nasatá a je určitým tlakom tlačaná von z čerpadla do obvodu. Takto sa tento cyklus opakuje podľa zvoleného napätia. Maximálna hodnota napätia čerpadla, ktoré som používal pri mojom pokuse je 12V pri ktorom na prázdno odoberalo prúd 80 mA.

3.2.4 Ostatné použité pomôcky

V predchádzajúcich statiach som spomenul dve najdôležitejšie časti projektu. Ostatné veci ktoré som použil boli kúpené alebo ostali po predchádzajúcich nedokončených bakalársky prácach. Ako napríklad hadičky o priemeroch 3, 5 a 6 mm. Používal som viacej rozmerov kvôli rôznym veľkostiam prívodových hadíc na čerpadle a na čítači impulzov. Iný rozmer mala tiež prípojka tvaru T pomocou ktorej som do obvodu vstrekoval feromagnetickú kvapalinu. Táto prípojka aj z ihlou na vstrekovanie kvapaliny je znázornená na obrázku 3.4. Horná časť prípojky je zaliata silikónom pre lepšie zavádzanie ihly do obvodu a hlavne aby nezostal po vytiahnutí ihly von za ňou štrbina cez, ktorú by nám mohol z obvodu vytekať olej.



Obrázok 3.4: Vstrekovanie kvapaliny pomocou lekárskej ihly do obvodu

Ďalšou veľmi dôležitou časťou sú magnety, tieto sa nachádzajú za vstrekováním feromagnetickkej kvapaliny aby sa kvapalina udržala v magnetickom poli magnetov a tým vytvorila zátku. V tomto obvode sme používali viacej magnetov. Jeden bol hlavný jeho sila magnetického pola je okolo 1T (Tesla). Sú to vlastne dva permanentné neodimové magnety s pólovými nástavcami nad sebou, medzi ktorými vzniká silné magnetické pole. Druhý kruhový magnet, ktorý mal v strede dieru, sme používali na zachytenie magnetickej kvapaliny, aby sa zbytočne neplytvalo z touto kvapalinou a mohli sme ju použiť aj pri ďalších pokusoch. Týchto kruhových magnetov sme používali viacej za sebou pre lepšie magnetické vlastnosti a hlavne preto, lebo všetky navzájom odchytili viacej kvapaliny. Takéto magnety sú zobrazené na obrázku 3.5.



Obrázok 3.5: Viacej kruhových magnetov za sebou

Malé čerpadlo o výkone 5W sa muselo napájať z nejakého zdroja. Tento zdroj je regulovateľný a dá sa na ňom pekne nastaviť požadované napätie, ktoré sme potrebovali. Čerpadlo má písané maximálne napätie 12V. Ktoré tento zdroj dokáže dodať bez problémov. Jedná sa o zdroj HAMEG s tromi regulovateľnými výstupmi. Dva z výstupov sa dajú regulovať v rozsahu od 0-32V z maximálnym prúdovým odberom 2A. Tretí prostredný výstup sa dá regulovať v rozsahu od 0-5,5V a maximálny prúdový odber je 5A.

Kapitola 4

Experimenty a ich realizácia

V tejto časti práce priblížim pokusy a experimenty, ktoré sme vytvorili a zrealizovali. Väčšina pokusov sa javí ako nepodarená aj keď v teoretickej rovine by mali fungovať a podľa mňa aj fungujú len boli použité zlé pomôcky k realizácií týchto pokusov. Ako napríklad čerpadlá, ktoré pracujú z vysokými tlakmi a málo kvapaliny v magnetickom poli ich nedokáže zabrzdiť ani nijako ovplyvniť prietok tekutiny. Keďže oba typy čerpadiel sa snažia za každú cenu pretlačiť kvapalinu cez obvod.

4.1 Pokus zo spojenými nádobami

Základom tohto pokusu je jav spojených nádob. Kde výška hladiny vody vo viacerých spojených nádobách je stále rovnaká a nezáleží ani na rozmeroch a tvare nádob. Podobným štýlom funguje veľa používaných vecí napr. plavebná komora na riekach pre lode. Ako prvý tento jav využil Pascal, ktorý sa vo svojom zákone ale zaoberá silami ktoré pôsobia na rôzne veľké plochy spojených nádob. Na jednej strane sa nachádza plocha menšia, na ktorú zhora pôsobíme silou. Na druhej strane spojených nádob sa nachádza väčšia plocha, na ktorú pôsobí rovnaká sila ako na plochu menšiu. Priamo tento zákon sa používa pri hydraulike.

V našom prípade sme si z tohto požičali len spojené nádoby a nahradili sme ich jednou dlhšou hadičkou. Jej konce boli približne v rovnakej výške. Naliali sme do hadičky olej. Obe hladiny boli približne v rovnakej výške. Potom sme do oleja priliali kúsok

feromagnetickej kvapaliny, ktorá klesla na samý spodok, keďže má vyššiu hustotu ako olej. Cez hadičku z olejom a ferokvapalinou sme prevliekli kruhové magnety. Ferokvapalina na spodku hadičky reagovala na magnetické pole a hýbaním z jednej strany na druhú sme overili funkčnosť feromagnetickej kvapaliny. Tento pokus je znázornený na obrázku 4.1.



Obrázok 4.1: Overenie funkčnosti magnetického pola a ferokvapaliny na transformátorový olej, červenou sú označené hladiny oleja

Na obrázku je pekne vidno hladiny oleja a ich polohu. Na obrázku číslo 1 je vidieť, že obe hladiny oleja sú súmerné, magnetom sa nehýbalo. Na obrázku číslo 2 bola použitá kvapalina Resovist, ktorá v magnetickom poli vytvorila menšiu zátku a olejom sa dalo hýbať do strán. Lenže hneď ako sa z magnetom vyšlo kúsok vyššie kvapalinu neudržala a pomaly ju prepúšťala naspäť. Na spodných dvoch obrázkoch číslo 3 a 4 je znázornená kvapalina EMG 705. Táto sa v magnetickom poli chovala rovnako ako kvapalina Resovist vytvorila rovnakú malú zátku. Lenže keď sa začalo hýbať magnetom

neprepúšťala za seba skoro žiadny olej a kebyže pokračujeme ďalej nahor olej by sa z hadičky vylial. Z tohto poznania sa dá učiť, že kvapalina EMG 705 je pre naše pokusy vhodnejšia.

Tento pokus sme robili ako prvý kvôli overeniu, či vôbec sa dá regulovať transformátorový olej týmto spôsobom. Aby sme zbytočne nemíňali feromagnetickú kvapalinu na niečo čo nemôže fungovať.

Ďalšie tieto pokusy prebehli z vodou. V tejto sa obe kvapaliny ako keby rozpustili a vytvorili kalnú zmes feromagnetických častí a vody. Je to spôsobené tým, že obe feromagnetické kvapaliny sú na báze vody a ich nosnou kvapalinou je taktiež voda. Z tohto pokusu sa dá usúdiť, že feromagnetická kvapalina ktorá má ako nosnú kvapalinu vodu, je nevhodná na používanie vo vode a iných látkach založených na báze vody.

4.2 Pokus s peristaltickým čerpadlom

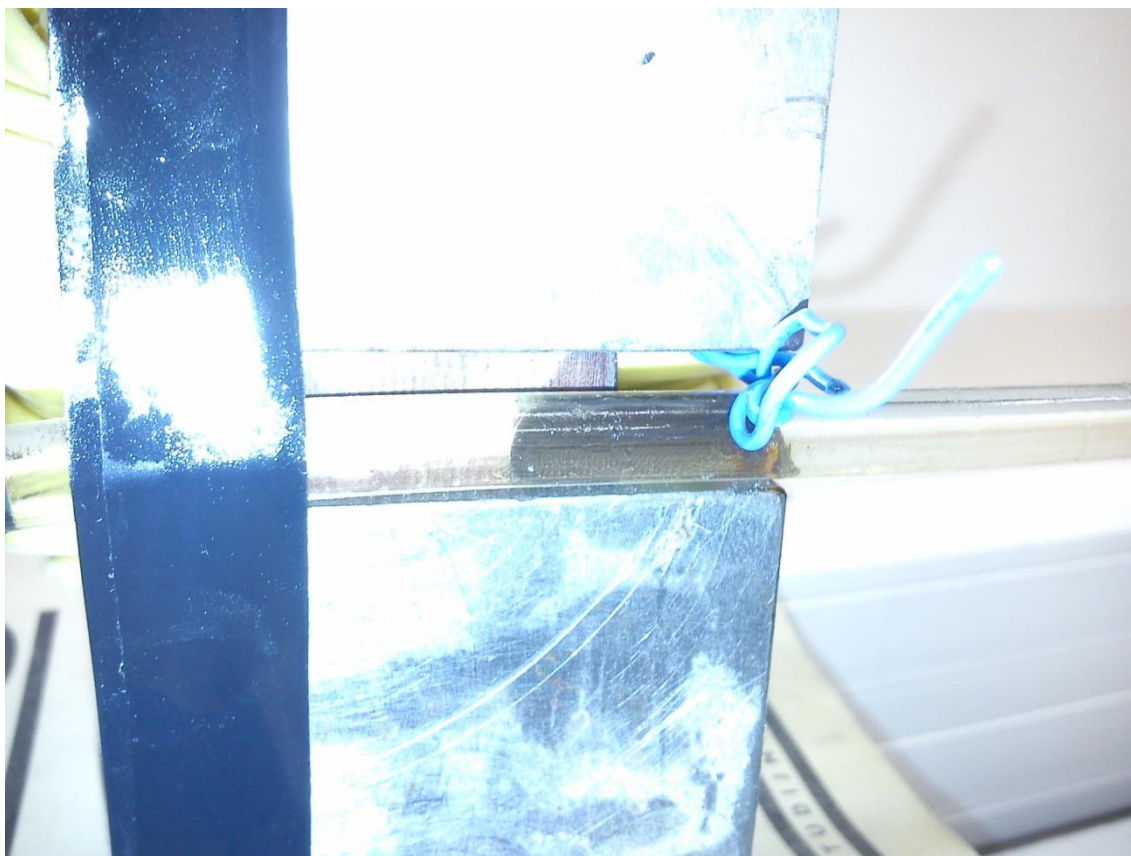
Čerpadlo fungovalo ako malo nastavili sme menší výkon čerpadla, aby sa feromagnetická kvapalina dokázala udržať v magnetickom poli. Po vstreknutí kvapaliny do tohto prúdu sa časť kvapaliny zastavila v magnetickom poli a časť z nej sa neudržala a prešla ďalej až do nádoby z ktorej sme olej čerpali. Z toho plynie ďalšie poučenie, že treba mať tesne pred koncom magnet, ktorý bude kvapalinu odchyť aby sme ju mohli použiť pri ďalších pokusoch. Tá kvapalina, ktorá sa udržala v magnetickom poli bola namáhaná nerovnomerným tlakom v hadici, ktorý spôsobuje peristaltické čerpadlo a bola po malých kúskoch vytrhávaná z magnetického pola. Nepomohlo ani zníženie výkonu na minimum, jednoducho čerpadlo bolo moc silné na to aby ten tlak feromagnetická kvapalina udržala v magnetickom poli.

4.3 Pokusy s membránovým čerpadlom

Pokusy z týmto čerpadlom za javili zo začiatku nádejne, preto sme ich vykonali viacej ako pokusov z peristaltickým čerpadlom. Keďže membránové čerpadlo má menší prietok kvapaliny za sekundu, čím je menší aj tlak v obvode a po celú dobu čerpania má toto čerpadlo rovnomerný prúd a tlak, feromagnetická kvapalina sa udržala v magnetickom poli vo väčšom množstve a tým sme mohli dospieť aspoň k nejakým výsledkom. Pokusy sa odlišujú hlavne v zmene magnetického pola, ktorú sme realizovali pomocou železnej sieťky okolo a vo vnútri hadičky. Ďalšia odlišnosť pokusov je v použitej kvapaline. Všetko ohľadom pokusov sa nachádza v nasledujúcich statiach.

4.3.1 Meranie prietoku bez zmeny magnetického pola

Pri tomto pokuse sa jedná o magnetické pole čisto vytvorené len magnetmi, do ktoré nijak inak nemením. Toto meranie je znázornené na obrázku 4.2. Kde pekne vidno feromagnetickú kvapalinu nachádzajúcu sa v magnetickom poli čisto vytvoreného len magnetom.



Obrázok 4.2: Pokus bez zmeny magnetického pola

Výsledky som zaznamenával pri napájacom napätí čerpadla 6V. Pri ktorom som sledoval za aký čas čerpadlo prečerpá 400ml oleja. Tento čas som zaznamenával pre vyhodnotenie výsledkov. Namerané hodnoty sa nachádzajú v nasledujúcej tabuľke 4.1

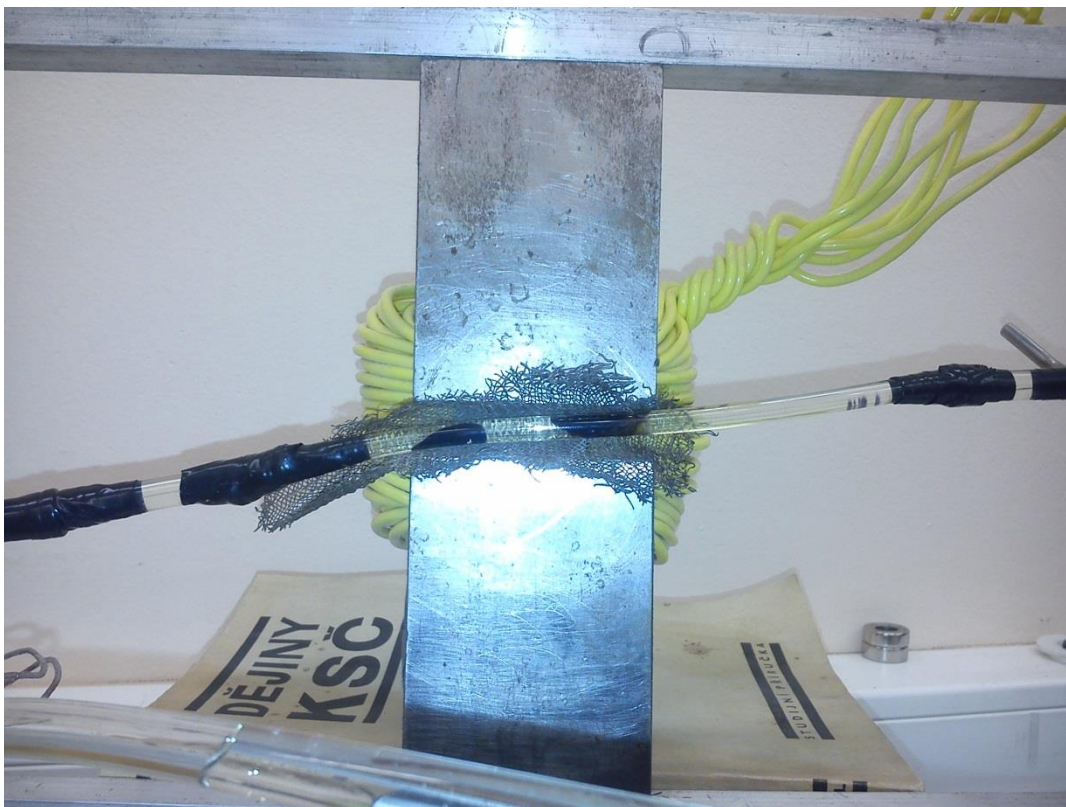
Tabuľka 4.1: Meranie prietoku bez ovplyvnenia magnetického pola

Počet meraní	Čas merania [s]	
	Bez ferokvapaliny	S ferokvapalinou
1	170	174
2	168	172
3	169	172
4	168	173
5	169	170
6	169	171
Priemerná hodnota	168,83	172

Podľa výsledkov z tejto tabuľky je zrejmé, že ferokvapalina aspoň trochu ovplyvnila prietok dodávaný čerpadlom. Z priemernej hodnoty meraní sa dá určiť, že to obmedzila približne o 4s. Čo pri použití množstva ferokvapaliny a rýchlosti prietoku oleja je skoro zanedbateľná hodnota. Tiež tento rozdiel mohol vzniknúť nepresnosťami merania, keďže odčítavanie prečerpanej hodnoty oleja bolo len vizuálne. Túto chybu som sa snažil odstrániť viacnásobným opakovaním merania. Tiež pri dlhšom bežaní čerpadla bolo vidno, že nečerpá tak ako pri prvom spustení a je prehriate. Preto tieto merania boli náročné na čas a trpezlivosť.

4.3.2 Meranie prietoku pri zmene magnetického pola vonkajšou sieťkou

Hlavnou myšlienkou tohto pokusu bolo zvýšiť časový rozdiel medzi meraniami bez ferokvapaliny a s ferokvapalinou. Realizoval som to pomocou železnej sieťky okolo hadičky cez, ktorú pretekala olej. Šlo tu hlavne o zmenu magnetického pola v ktorom sa ferokvapalina udržiava. Z pozorovaní som zistil, že veľké množstvo kvapaliny sa udrží na začiatku a na konci magnetického pola, čiže v miestach kde dochádza k jeho najväčšej zmene. A preto som sa snažil vytvoriť v magnetickom poli týchto miest čo najviacej, pomocou nepravidelnej železnej sieťky a tým zvýšiť šancu na udržanie väčšieho množstva kvapaliny v magnetickom poli. Pokus so sieťkou je znázornený na obrázku 4.3.



Obrázok 4.3: Zmena magnetického pola pomocou železnej sieťky

Z obrázku 4.3 je zrejmé, že kvapalina sa udržiava v najsilnejšom magnetickom poli. Sieťkou sa nám ale podarilo sústrediť ferokvapalinu na väčšiu plochu v magnetickom poli. Napájacie napätie čerpadla bolo 6V a merali sme čas za ktorý čerpadlo prečerpá 400ml oleja. Výsledky z tohto merania sa nachádzajú v tabuľke 4.2.

Tabuľka 4.2: Namerané hodnoty pri zmene magnetického pola pomocou sieťky

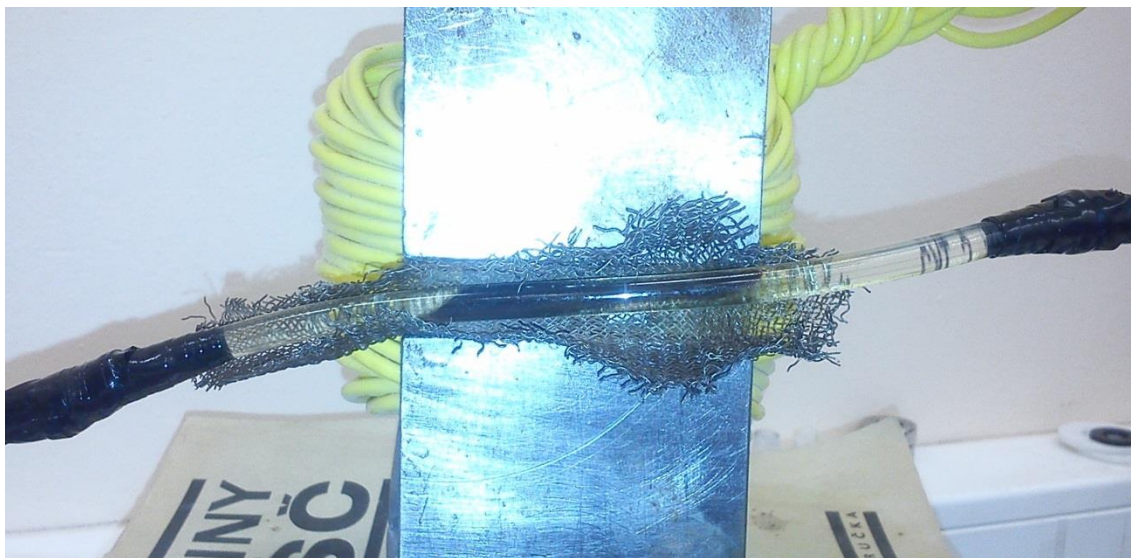
Počet meraní	Čas merania [s]	
	Bez ferokvapaliny	Z ferokvapalinou
1	167	172
2	168	174
3	167	175
4	166	173
Priemerná hodnota	167	173,5

Rovnako ako v predchádzajúcej úlohe aj v tejto mohli nastať nepresnosti pri meraní a zaznamenávaní hodnôt. Spôsobené sú taktiež prehriatím čerpadla, alebo nepresným

odčítaním hodnôt. Z tabuľky je zrejmé, že rozdiel v priemerných hodnotách čerpania bez ferokvapaliny a z ferokvapalinou je 6,5 sekundy, čo je o trochu viac ako v úlohe bez zmeny magnetického pola popísanej v stati 4.3.1. Stále to nie je veľký rozdiel čo sa týka času v závislosti na prečerpanom objeme oleja. V ďalšej stati je popísaný pokus, kde sme sa snažili ešte viac zosilniť magnetické pole.

4.3.3 Meranie prietoku pri zmene magnetického pola vonkajšou a vnútornou sieťkou

Pri tomto pokuse sme sa zamerali na čo najväčšiu zmenu magnetického pola vďaka ktorej, by sa malo udržať v magnetickom poli viac ferokvapaliny ako doteraz. Realizovali sme to pomocou železnej sieťky umiestnenej vo vnútri trubičky. Hlavnou úlohou sieťky bolo aby sa zmagnetizovala a nalepila na seba čo najviac feromagnetickú kvapalinu, týmto sa zabezpečí aj nechcené vytrhávajúce magnetickú kvapalinu z magnetického pola. Realizácia tohto pokusu je znázornená na obrázku 4.4.



Obrázok 4.4: Realizácia pokusu o zosilnenie magnetického pola sieťkou vo vnútri hadičky

Z obrázku 4.4 vidno ako sa feromagnetická kvapalina rozmiestnila pekne po celej ploche magnetického pola. Čo má za následok zvýšenie odporu pri pretekaní oleja a tým by sa mal znížiť aj celkový prietok čerpadla. Tieto hodnoty boli merané za rovnakých podmienok ako predchádzajúce merania, čiže napájacie napätie čerpadla je

6 V a merali sme čas, za ktorý čerpadlo prečerpá 400 ml oleja. Namerané hodnoty sa nachádzajú v tabuľke 4.3.

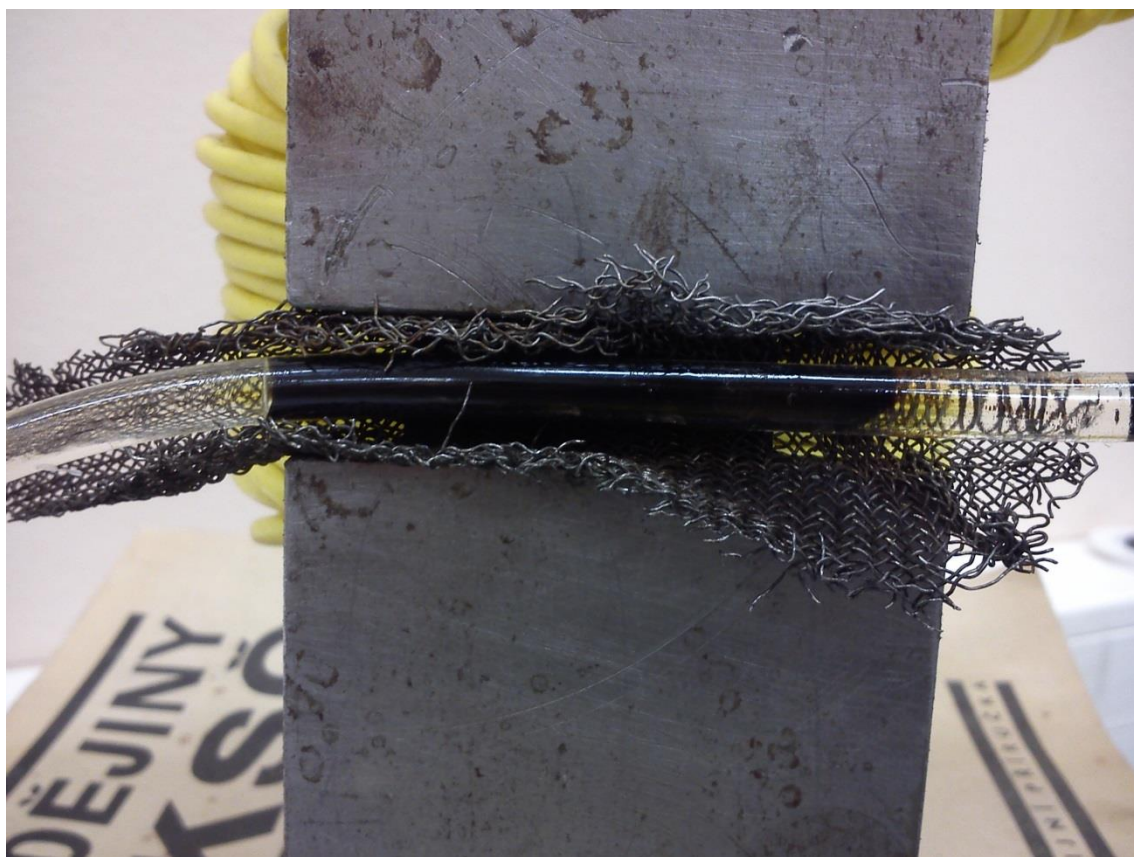
Tabuľka 4.3: Namerané hodnoty pri zmene magnetického pola so sieťkou umiestnenou vo vnútri trubičky

Počet meraní	Čas merania [s]	
	Bez ferokvapaliny	Z ferokvapalinou
1	181	185
2	180	186
3	182	184
4	183	187
5	181	185
6	180	184
Priemerná hodnota	181,17	185,17

Na základe týchto hodnôt sa dá usúdiť, že sieťka bez feromagnetickkej kvapaliny sama o sebe spôsobuje časové oneskorenie prečerpania oleja. Čo je vidno hlavne z predchádzajúcich nameraných hodnôt. Bez feromagnetickkej kvapaliny a sieťky vo vnútri trubičky bol čas čerpania okolo 167 sekúnd. Po vložení sieťky do trubičky sa tento čas zvýšil na hodnotu 181 sekúnd čo je rozdiel skoro 14 sekúnd. Keď ale porovnáme hodnoty bez feromagnetickkej kvapaliny a s ňou vidíme, že rozdiel týchto dvoch hodnôt je len 4 sekundy čo je približne rovnako ako v predchádzajúcich meraniach. Zase tento rozdiel nie je taký, aký sa očakával po vstreknutí kvapaliny do oleja. Mohol byť spôsobený aj nepresnosťami pri meraní času a odčítavaní objemu, alebo prehriatím čerpadla.

4.3.4 Meranie prietoku pri zmene magnetického pola vonkajšou a vnútornou siečkou z feromagnetickou kvapalinou EMG 706

Tento pokus prebiehal úplne rovnako ako predchádzajúci popísaný v stati 4.3.3. Z jedným rozdielom, že ako feromagnetickú kvapalinu sme použili EMG 706, podrobnosti k tejto kvapaline sa nachádzajú v stati 3.2.1. Ďalšou veľkou zmenou je nový transformátorový olej, ktorý má menšiu hustotu ako olej pred tým a čerpadlo je menej zaťažené a tým sa zníži o trochu aj čas prečerpania oleja do nádoby. Tento pokus je znázornený na obrázku 4.5.



Obrázok 4.5: Feromagnetická kvapalina EMG706 v magnetickom poli

Novo použitá kvapalina sa pekne drží v magnetickom poli aj pri prúde oleja a nevytrhá sa v takom množstve ako kvapalina Resovist. Namerané hodnoty sú znázornené v tabuľke 4.4.

Tabuľka 4.4: Namerané hodnoty pri použitej kvapaline EMG706

Počet meraní	Čas merania [s]	
	Bez ferokvapaliny	Z ferokvapalinou
1	170	175
2	171	175
3	169	176
4	171	174
5	172	175
Priemerná hodnota	170,6	175

Tieto namerané hodnoty sú odlišné od ostatných meraní len v tom, že toto meranie bolo robené z iným transformátorovým olejom, čo malo za následok zníženie času čerpania čerpadla až o 9 sekúnd, keďže v predchádzajúcej úlohe čas bez ferokvapaliny bol až 180 sekúnd a teraz pri tomto pokuse z novým olejom to je len okolo 171 sekúnd. Nový olej bol použitý naschvál, aby sa nám nezmiešali obe feromagnetické kvapaliny dohromady a mohli sme pozorovať každú zvlášť. Pri tejto kvapaline nebol výsledok taktiež podľa našich očakávaní, keďže rozdiel medzi priemernými hodnotami je len niečo viac ako 4 sekundy. Ako u predchádzajúcich úloh sa tu zase mohlo vyskytnúť mnoho dôsledkov vďaka ktorým sa hodnoty líšia.

4.3.5 Pozorovanie odberu prúdu čerpadla pri rôznych zaťaženiach

Až pri predchádzajúcom meraní mi napadlo pozorovať odoberaný prúd čerpadlom, podľa čoho sa dá zistiť, ako sa čerpadlo namáha. Tieto hodnoty sa dali veľmi ľahko pozorovať, keďže použitý zdroj ukazoval aj odoberaný prúd. Hodnoty prúdu som meral pri viacerých zaťaženiach, čerpadlo bolo stále napájané napájacím napätím 6V.

- Odber prúdu, keď čerpadlo bežalo naprázdno, nič nečerpalo: 0,08A
- Odber prúdu, keď čerpadlo čerpalo len samotný olej: 0,178A
- Odber prúdu, keď v obvode bola streknutá feromagnetická tekutina: 0,185A
- Odber prúdu, keď sa výstupná čerpacia hadička upchala úplne: 0,225A

Z týchto hodnôt sa dá taktiež preukázať, že po vstreknutí feromagnetickej kvapaliny do obvodu sa čerpadlo namáha viacej a tým odoberá väčší prúd. Keďže sa snaží pretlačiť stále rovnaký objem oleja cez obvod. Rozdiel prúdu medzi hodnotami, keď čerpadlo čerpalo len samotný olej a keď bola v obvode aj feromagnetická kvapalina je len 0,010A. Táto hodnota nie je veľká ale taktiež poukazuje na to, že beh obvodu je ovplyvnený po vstreknutí feromagnetickej kvapaliny.

4.4 Zhodnotenie výsledkov mojej práce

Pri mojej úlohe boli použité len 2 feromagnetické kvapaliny a 2 druhy čerpadiel, ktoré sme sa snažili regulovať. Oba čerpadlá sú ale pre tento typ merania nevhodné, keďže tlačia olej cez obvod za každú cenu. Čo sa prejavuje hlavne pri koncových výsledných časoch, ktoré sa moc od seba nelíšia. Ale aj to ako sa čerpadlo namáha sa dá dokázať pomocou odoberaného prúdu čerpadla čo predstavuje, že čerpadlo musí vynaložiť väčší výkon na pretlačenie oleja cez obvod. Aj keď som na meranie odoberaného prúdu prišiel až pri mojom poslednom meraní. Myslím si, že čerpadlo muselo odoberať väčší prúd aj pri ostatných meraniach, čo som pozoroval už len podľa zvuku, ktorý membránové čerpadlo vydávalo. Keďže pri väčšom výkone sa motorček, namáha viacej a vydáva tenší zvuk.

Prvý pokus, ktorým sme si overili či vôbec má nejaký vplyv feromagnetická kvapalina na transformátorový olej bol pokus so spojenými nádobami. Tento experiment vyšiel podľa očakávaní a olejom sme mohli hýbať z jednej strany na druhú pomocou magnetu a feromagnetickej kvapaliny. Ani po dlhšom hýbaní a miešaní sa feromagnetická kvapalina nerozpustila v oleji. Inak to však bolo z vodou kde ferokvapalina, ktorá má ako nosnú kvapalinu vodu, sa už pri prvom pohnutí permanentného magnetu zmiešala s okolitou vodou a feromagnetické čiastočky sa v nej rozplynuli a vôbec nereagovali na magnetické pole. Preto sme vodu nezvolili ako čerpané médium, lebo by na ňu magnetické pole vôbec nevplývalo a rozdiel časov by bol nulový, len by sme zbytočne minuli viacej feromagnetickej kvapaliny.

Všetky merania prebiehali z olejom, ako z čerpaným médium. Rozdiel medzi časmi vo všetkých meraniach nie je až taký veľký ako sme očakávali. Najväčší rozdiel je pri druhom meraní zo železnou sieťkou okolo trubičky. Tento rozdiel však mohol byť spôsobený viacerými chybami pri meraní ale aj samotným čerpadlom, ktoré pri dlhšom behu už nevládalo prečerpať také množstvo oleja. Rovnako mohli byť ovplyvnené aj ostatné namerané výsledky.

Po všetkých týchto meraniach sa dá určiť, že feromagnetická kvapalina má vplyv na reguláciu toku a ovplyvňuje činnosť čerpadla. Pri použití vhodnejších čerpadiel by sa rozdiel hodnôt zväčšil a vplyv feromagnetickej kvapaliny by bol zrejmejší.

Záver

Problematika feromagnetických kvapalín s ktorou súvisí aj moja práca je už dlho rozoberaná v rôznych odvetviach vedy, techniky či lekárstve. Za úlohu bolo pri mojej práci zregulovať tok oleja alebo vody za pomoci feromagnetickkej kvapaliny a udržať ju v magnetickom poli permanentných magnetov tak, aby vytvorila zátku a priamo ovplyvnila tok čerpaného média. Toto sa podarilo realizovať len pri oleji aj keď v použití by bola vhodnejšia voda napríklad v lekárstve. K dispozícii sme mali len dve feromagnetické kvapaliny a obe mali ako nosnú kvapalinu vodu. Kebyže sa použije ferokvapalina z inou nosnou kvapalinou napríklad nejaký druh oleja, tak by sa dala možno regulovať pomocou nej aj voda. S reguláciou vody tiež súvisí aj perspektívny výskum nových feromagnetických kvapalín do rozličných prostredí.

Myslím, že výsledky a poznania o ktorých je táto práca sa dajú použiť aj do budúcnosti pri ďalších výskumoch a meraniach ohľadom tejto problematiky. V ďalších rokoch sa dá čakať veľký nárast nových technológií, založených práve na feromagnetických kvapalinách. Je to veľmi perspektívna časť technológií v ktorej sa dá hodne pokročiť za krátky čas. Ohľadom tejto problematiky nás čakajú ešte veľké pokroky, ktoré umožnia práve to čo v tejto dobe nie je možné.

Zoznam obrázkov

- **Obrázok 1.1:** Magnetická nanočastica, ktorej povrch je pokrytý detergentnými reťazcami [15]
- **Obrázok 1.2:** Vľavo sa nachádzajú čiastočky rozptýlené v magnetickej kvapaline. Vpravo sa nachádzajú čiastočky zoskupené za pôsobenia magnetického poľa [5] .
- **Obrázok 2.1:** Porovnanie neriadeného (konvenčného) tlmiča a tlmiča z ferokvapalinou [3].
- **Obrázok 2.2:** Reproduktor s ferokvaplinou [3]
- **Obrázok 2.3:** podložka zrkadla s cievkami, ktoré spôsobujú zakrivenie povrchu ferokvapaliny [12]
- **Obrázok 2.4:** Povrch ferokvapaliny s vyššou reflexivitou [14]
- **Obrázok 2.5:** Ferokvapalina vo vzduchovej medzere medzi hriadeľom a pólovým nadstavcom [3]
- **Obrázok 2.6:** Vplyv magnetického poľa na ferokvapalinu [13]
- **Obrázok 2.7:** Vplyv magnetického poľa na častice magnetickej kvapaliny
- **Obrázok 3.1:** Pracovisko
- **Obrázok 3.3:** Princíp druhého 5W čerpadla [19]
- **Obrázok 3.2:** Princíp fungovania pristaltického čerpadla [20]
- **Obrázok 3.4:** Vstrekovanie kvapaliny pomocou lekárskej ihly do obvodu
- **Obrázok 3.5:** Viacej kruhových magnetov za sebou
- **Obrázok 4.1:** Overenie funkčnosti magnetického pola a ferokvapaliny na transformátorový olej
- **Obrázok 4.2:** Pokus bez zmeny magnetického pola
- **Obrázok 4.3:** Zmena magnetického pola pomocou železnej sieťky

- **Obrázok 4.4:** Realizácia pokusu o zosilnenie magnetického pola sieťkou vo vnútri hadičky
- **Obrázok 4.5:** Feromagnetická kvapalina EMG706 v magnetickom poli

Použitá literatúra

- [1] Polcar, P. *Elektrotechnický systém s magnetickou kapalinou*. Autoreferát disertační práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2013. Vedúci dizertačnej práce Prof. Ing. Daniel Mayer, DrCs.
- [2] prof. Ing. Daniel Mayer, DrSc. *Magnetické kapaliny a jejich použití (1. část)*. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2007
- [3] prof. Ing. Daniel Mayer, DrSc. *Magnetické kapaliny a jejich použití (2. část)*. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2007
- [4] RNDr Daniela Kaljarová. Autoreferát dizertačnej práce, *Fyzikálne vlastnosti aplikácie nanoštruktúr*, Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, 2011
- [5] Polcar, P. *Elektrotechnický systém s magnetickou kapalinou*. Autoreferát disertační práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2012. Vedúci dizertačnej práce Prof. Ing. Daniel Mayer, DrCs.
- [6] P. Bouř, A. Fenčák, E. Máhlová, O. Novák, P. Nykl, M. Šebek, *Ferrofluid, magnetická kapalina*, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
- [7] Anonym, *Magnetické kapaliny a jejich uplatnění v tepelných systémech*
- [8] HerB Hartstone^a, Christopher J. Backhouse^b, William E. Lee^c, *Ferrofluid-based microchip pump and valve*, ^aMicralyne Inc., 1991-94 Street, Edmonton, Alta, Canada T6N 1E6, ^bDepartment of Electrical and Computer Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alta, Canada T6G 2G3,

^cDefence R&D Canada-Suffield, P.O.Box 4000, Medicine Hat, Alta, Canada T1A 8K6, accepted 21 January 2004

- [9] Jakub Tomek, *Chování feromagnetické kapaliny v nuceném oběhu*, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd, Praha 2013
- [10] WIKIPEDIA, *Magnetická rezonance*, [online], [cit. 2014-04-15]
Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A1_rezonance]
- [11] Zuzana Vidláková, *Ferokaplinová zrcadla*, *Astronomie a Fyzika – Nové obzory*, Dostupné tiež z (online):
[http://www.aldebaran.cz/produkty/afno/175_176.pdf]
- [12] D. Brousseau and E.F. Borra, *Ferrofluid deformable mirrors*, Department de physique, de génie physique and Centre d'optique, photonique et laser (COPL), Université Laval, Québec, CANADA G1V 0A6, dostupné tiež z (online):
[<http://www.deepdyve.com/lp/spie/ferrofluid-deformable-mirrors-recent-advances-and-results-utQz4TocaO>]
- [13] Anonym, *Ferrofluid*, Dostupné tiež z (online):
[<http://www.absoluteastronomy.com/topics/Ferrofluid>]
- [14] WIKIPEDIA, *Deformable mirror*, Dostupné tiež z (online):
[http://en.wikipedia.org/wiki/Deformable_mirror]
- [15] [<http://www.scielo.br/>]
- [16] Kaiser, R., Rosensweig, R. *Study of ferromagnetic liquid*. Nasa contractor report. Lowell, Mass.: AVCO CORPORATION, 1969, 91 s, s. 22-26.
- [17] Bayer Schering Pharma AGD-13342, Berlín Nemecko
[http://www.mri-portal.com/kontrasty/letaky/resovist_spc.pdf]
- [18] Ferrotec USA corporation, *EMG 700 series ferrofluids*
[<https://www.ferrotec.com/downloads/emg700msds.pdf>]
- [19] OKENSEIKO Japan, [<http://www.okenseiko.com/en/product/rollingpump>]

- [20] Ing. Jindřich Kouřil, Přístavková čerpadla a dávkovače,
[\[http://www.cerpadlakouril.cz/informace-o-produktech.html\]](http://www.cerpadlakouril.cz/informace-o-produktech.html)