

Osnovna šola Hudinja
Mariborska 125, Celje

MAGNETNO VZBUJANJE ELEKTROMOTORJA

RAZISKOVALNA NALOGA



Avtorja:

Jan VREČER, 8.b
Rok VREČER, 8.b
Tim ŠLOSAR, 8.c

Mentor:

Uroš KALAR, prof. športne vzg.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje
Celje 2013

Kazalo

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Uvod..... | 4 |
| 1.1. | Namen in cilji raziskovalne naloge..... | 4 |
| 2. | Hipoteze..... | 4 |
| 3. | Teoretične osnove | 4 |
| 3.1. | Mehansko delo | 5 |
| 3.1.1. | Mehansko delo ventilatorja..... | 5 |
| 3.2. | Električno delo | 5 |
| 3.3. | Neodimijevi magneti | 5 |
| 3.4. | Gostota magnetnega polja | 6 |
| 3.5. | Tuljava..... | 7 |
| 3.6. | Indukcija..... | 8 |
| 3.7. | Elektromotor | 8 |
| 3.7.1. | Delovanje elektromotorja..... | 10 |
| 3.7.2. | Izkoristek elektromotorja | 10 |
| 3.7.3. | Sestava in delovanje računalniškega ventilatorja..... | 10 |
| 4. | Potek dela | 14 |
| 4.1. | Ideja za raziskovalno nalogo | 14 |
| 4.2. | Iskanje potrebnih stvari za raziskovanje..... | 15 |
| 4.3. | Priprava eksperimenta za opravljanje meritev..... | 16 |
| 4.4. | Meritve in rezultati | 18 |
| 4.5. | Interpretacija meritev..... | 30 |
| 5. | Zaključek | 32 |
| 6. | Literatura | 33 |

Povzetek

Zanimalo nas je, ali je mogoče z magneti iz neodimija vzbujati elektromotor in ga z njimi gnati, ne da bi ga napajali z električno energijo. Opravili smo številne poskuse in meritve, kako gostota magnetnega polja, s katerim smo vzbujali elektromotor, vpliva na vrtenje rotorja in poskusili ugotoviti, kako naj bi bili magneti orientirani, da bi dosegli vrtenje rotorja brez dodatne energije. Meritve so pokazale, da statično magnetno polje trajnih magnetov ne more poganjati rotorja.

1. Uvod

1.1. Namen in cilji raziskovalne naloge

Namen raziskovane naloge je bil preveriti, ali je mogoče z zunanjim magnetnim poljem toliko vzbujati elektromotor, da bi se rotor vrtel, ne da bi bil elektromotor priklopljen na električno napajanje. Glavni cilj naloge je bil ponoviti poskus, ki smo ga videli na medmrežju, ga pojasniti, hkrati pa preveriti, koliko dela lahko opravi magnetno vzbujeni elektromotor. Delo smo razdelili v več faz in si zadali naslednje etapne cilje:

- izbrati primeren elektromotor za opravljanje meritev,
- zagotoviti standardne pogoje za izvajanje meritev,
- preveriti vpliv smeri magnetnega polja, s katerim vzbujamo elektromotor, na vrtenje rotorja,
- preveriti vpliv gostote magnetnega polja, s katerim vzbujamo elektromotor, na vrtenje rotorja,
- poiskati najprimernejši položaj magnetov za vzbujanje elektromotorja,
- pojasniti delovanje elektromotorja, vzbujenega z neodimijevimi magneti.

2. Hipoteze

- Z magnetnim vzbujanjem je mogoče predelati elektromotor tako, da se rotor vrti brez zunanjega napajanja.
- Magnetno vzbujeni elektromotor proizvaja električno energijo, ki jo je mogoče izkoristiti.
- Magnetno vzbujeni elektromotor opravlja mehansko delo, ki ga je mogoče izkoristiti.

3. Teoretične osnove

Za raziskavo smo potrebovali naslednje predmete:

- računalniški ventilator (elektromotor),
- neodimijeve magnetne,
- leseno ploščo,
- lesne vijake,

- elastiko in
- štoparico.

3.1. Mehansko delo

Mehansko delo je vzrok ali posledica spremembe potencialne, kinetične, prožnostne ali notranje energije telesa (1, 2).

3.1.1. Mehansko delo ventilatorja

Za raziskovanje smo uporabili računalniški ventilator, ki je sestavljen iz elektromotorja in propelerja.

Propeler je strojni element, ki pretvarja rotacijsko gibanje v potisk ali vlek. Poznani so propelerji za pogon letal, kjer je medij zrak, in pa tisti za pogon plovil, kjer je medij voda. Sestavljen je iz krakov (lopatic), ki na sprednji strani zajemajo medij in ga na zadnji oddajajo. Na krakih nastane tlačna razlika med sprednjo in zadnjo stranjo, to pa privede do pretoka medija (3).

Mehansko delo, ki ga opravi propeler, v našem primeru ventilator, spremeni kinetično energijo zraka.



Slika 3.1: V nalogi uporabljeni ventilator

3.2. Električno delo

Za delovanje električnih porabnikov, ki opravljajo kako delo, je potreben električni tok. Ko govorimo o delu električnega toka ali električnem delu, ne mislimo na delo, ki ga opravlja električni porabnik, ampak na delo v električnem tokokrogu, ki se pretvarja v omejeno delo električnega porabnika (4, 5, 6).

3.3. Neodimijevi magneti

Trajni magneti so predmeti, ki ustvarjajo trajno magnetno polje in privlačijo druge predmete, narejene iz tako imenovanih feromagnetnih snovi. Med njimi so najbolj znane železo, kobalt in nikelj, manj znane pa nekateri elementi, ki po periodnem sistemu sodijo med redke zemlje. Tak element je neodimij ali

neodim, ki v zlitini z železom in borom ustvarja najmočnejše trajne magnete. Nosijo lahko tudi do 1300-kratnik lastne teže, v 100 letih pa izgubijo le 1 % svoje moči.

Magnetno polje nastane tudi okrog vodnika, po katerem teče električni tok. Če je vodnik navit okoli predmeta iz feromagnetne snovi, se v predmetu ustvari elektromagnetno polje, ki pa je le začasno: traja le toliko časa, kolikor po vodniku teče električni tok (7, 8).



Slika 3.2: Valjasti neodimijevi magneti (7)

3.4. Gostota magnetnega polja

Magnetno polje je prostor okoli trajnih magnetov ali vodnikov, po katerih teče električni tok. V magnetnem polju lahko zaznamo magnetno silo in magnetni navor. Določena je z gostoto magnetnega polja.

V magnetnem polju si lahko zamislimo silnice, ki imajo v vsaki točki smer magnetnega polja. Lepo jih pokažejo železni opilki, ki jih natresemo okoli magneta.



Slika 3.3: Silnice neodimijevega magneta.



Slika 3.4: Silnice navitja.



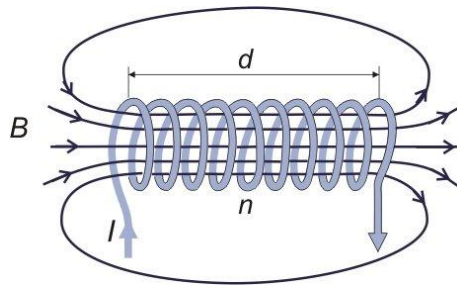
Slika 3.5: Silnice trajnega magneta – rotorja.

Tesla (oznaka T) je izpeljana enota mednarodnega sistema enot za gostoto magnetnega polja. Magnetno polje ima gostoto 1 T, če na električni vodnik dolžine 1 m, po katerem teče električni tok 1 A, in je postavljen v homogeno magnetno polje, tako da je smer vodnika pravokotna na smer polja, deluje magnetna sila 1 N (9).

$$1 \text{ T} = 1 \text{ V s m}^{-2} = 1 \text{ kg s}^{-2} \text{ A}^{-1} = 1 \text{ N A}^{-1} \text{ m}^{-1} = 1 \text{ Wb m}^{-2}$$

3.5. Tuljava

Tuljava je tisti pasivni element v električnih vezjih, ki se upira hitrim spremembam električnega toka, ki teče skozi tuljavo. Je elektronski element z dvema priključkoma, katerega glavna značilnost je induktivnost. Enosmerni električni tok povzroči v tuljavi magnetno polje (10, 11).



Slika 3.6: Inducirano magnetno polje v tuljavi (12).



Slika 3.7: Tuljave v našem ventilatorju.

3.6. Indukcija

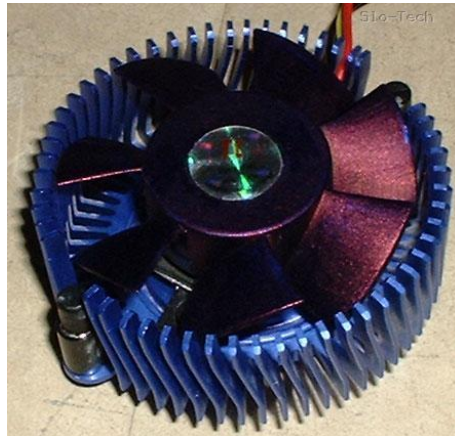
Indukcija je nastanek električne napetosti v vodniku, ki se giblje v magnetnem polju tako, da smer vodnika ne sovпада s smerjo električnega polja, ali v električnem krogu, postavljenem v spremenljivem magnetnem polju. Indukcija je pretvorba energije iz mehanske v električno, torej v obratni smeri kot pri magnetnih učinkih električnega toka.

Lastnosti vodnikov, tuljav in navitij, da z električnim tokom ustvarjajo magnetno polje, pravimo induktivnost (L) (13, 14).

Naš cilj je izkoristiti induktivnost tuljav oz. navitja v statorju elektromotorja in izmeriti inducirano napetost.

3.7. Elektromotor

Elektromotor je stroj, ki električno energijo pretvarja v mehansko. Uporablja se za pogon raznih naprav in strojev. Njegovo gibanje povzroča magnetna polja. Elektromotorji se v grobem delijo na elektromotorje na enosmerni tok in motorje na izmenični tok: prvi se seveda priključijo na vir enosmerne, drugi pa na vir izmenične napetosti.



Slika 3.8: Elektromotor (15).

V raziskovalni nalogi smo uporabili elektromotor, ki deluje na enosmerni tok. Naš osnovni namen je bil z neodimijevimi magneti vzbuditi vrtenje elektromotorja in ga uporabiti kot generatorja napetosti.

Elektromotor temelji na privlačni in odbojni sili magnetizma. Osnovni del vsakega elektromotorja je navitje – elektromagnet –, ki je uporabljen kot rotor ali stator, in trajni magnet, ki je prav tako lahko uporabljen kot rotor ali stator. Medsebojno vplivanje magnetnega polja elektromagneta in magnetnega polja trajnega magneta povzroča vrtenje rotorja (15).

Na sliki 3. 9. je prikazan stator elektromotorja, uporabljenega v raziskavi. Stator je sestavljen iz štirih navitij – tuljav – in kovinskih jeder, ki so vstavljena v tuljave. Navitje je elektronski element z dvema priključkoma; njegova glavna značilnost je induktivnost.

Tuljave so priključene na posebno vezje, ki poskrbi, da se tuljave sinhrono izmenično vklaplajo in izklaplajo ter s tem ustvarjajo vrteče se magnetno polje, ki v interakciji z magnetnim poljem trajnega magneta v rotorju povzroči, da se rotor začne vrteti. Za pravilno delovanje elektromotorja je ključen elektronski element (iz fet-tranzistorjev in Hallovega tipala), ki poskrbi, da se ritem vklapljanja in izklapljanja tuljav prilagaja hitrosti vrtenja rotorja.

Slika 3.10. prikazuje rotor, ki je sestavljen iz trajnega magneta in propelerja. Ta dva elementa sta med seboj zlepljena.



Slika 3.9: Stator je nepomični del elektromotorja.



Slika 3.10: Rotor, vrteči se del našega ventilatorja.

3.7.1. Delovanje elektromotorja

Tok skozi navitje na statorju ustvari magnetno polje v področju rotorja, katerega glavni sestavni del je trajni magnet. Navor med magnetnim poljem statorja in rotorja povzroči rotacijo rotorja, saj želi le-ta zavzeti stabilni položaj. Ko pride rotor do stabilnega položaja, ga vztrajnost pomakne v smeri vrtenja naprej, tako da rotor pohiti k novi stabilni legi itn.

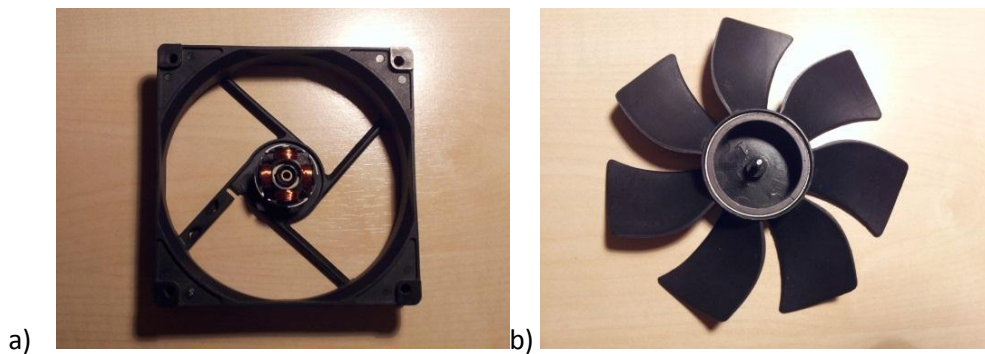
3.7.2. Izkoristek elektromotorja

Za učinkovitost elektromotorja je ključnega pomena, kolikšen delež vložene električne dela povrne v obliki mehanskega dela ali obratno. Izkoristek je delež mehanske energije, ki jo opravi elektromotor pri vloženi električni energiji (16).

V raziskavi smo iskali izkoristek v obratni smeri. Cilj raziskovalne naloge je namreč bil izmeriti, koliko mehanske energije – kinetične energije rotorja – je mogoče pretvoriti v električno energijo.

3.7.3. Sestava in delovanje računalniškega ventilatorja

Računalniški ventilator je v osnovi sestavljen iz ohišja (slika 3.11a), propelerja (slika 3.11b) in brezkrtačnega elektromotorja.

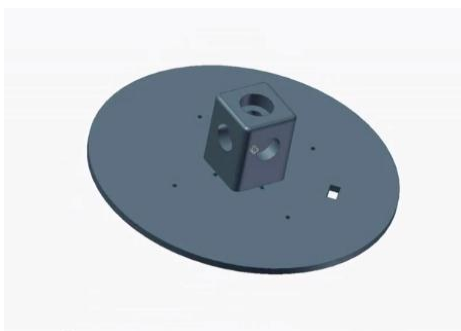


Slika 3.11: Ohišje (a) in propeler (b).

Brezkrtični elektromotor je ena izmed različic elektromotorja, ki je sestavljen iz naslednjih delov:

- osnovne plošče (slika 3.12)
- kovinskih elementov (slika 3.13)
- štirih tuljav (slika 3.14)
- Hallovega tipala (slika 3.15)
- vezja za upravljanje (slika 3.16)
- trajnega magneta – rotorja (slika 3.17)

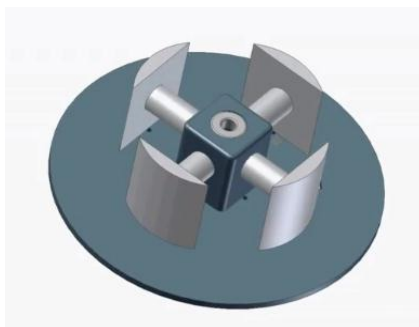
Slabost brezkrtačnih motorjev je, da potrebujejo vezje za upravljanje (mikrokrmilnika iz dveh FET-tranzistorjev in Hallovega tipala, ki uravnava napetost na tuljavah).



Slika 3.12: Osnovna plošča (17).

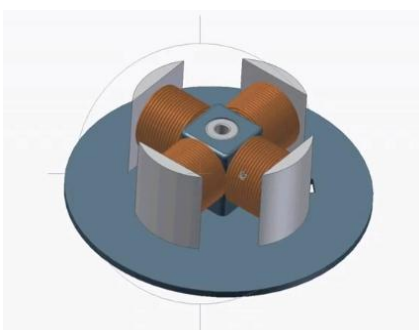
Osnovna plošča je oblikovana tako, da so nanjo pritrjeni tuljave in kovinski elementi, ki usmerjajo magnetno polje tuljav, in vezje za upravljanje. Osnovna plošča ima na sredini izvrtino, ki se natančno prilega osi rotorja in kamor so vstavljeni ležajni obročki, ki skrbijo za čim manjše trenje med rotorjem in osnovno ploščo.

Na osnovno ploščo so fiksno pritrjeni kovinski elementi, ki skrbijo za usmerjanje magnetnega polja (slika 3.13).



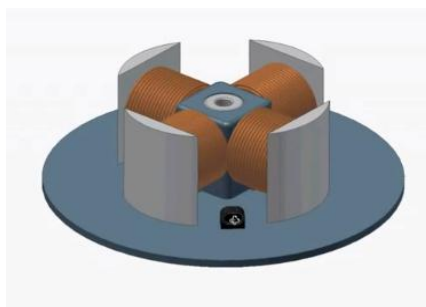
Slika 3.13: Kovinski elementi, pritrjeni na osnovno ploščo (17).

Okoli kovinskih elementov so nameščene tuljave (slika 3.14). Štiri so nameščene tako, da magnetno polje dveh sosednjih tuljav ne sovpada. Za to je poskrbljeno, s tem da je navitje obratno, ali pa da tok teče v eni v drugo smer kot v drugi. Polariteti magnetnih polj sosednjih tuljav morata biti nasprotni.



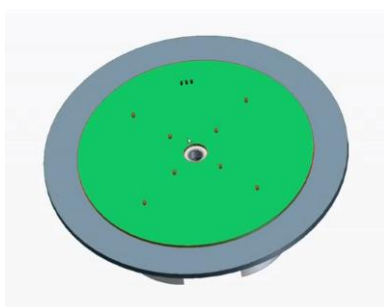
Slika 3.14: Namestitev tuljav (17).

V osnovni plošči je odprtina za Hallovo tipalo. Postavitev Hallovega tipala je zelo natančno določena na sredini med dvema tuljavama in je ključnega pomena za delovanje tovrstnega elektromotorja (slika 3.15).



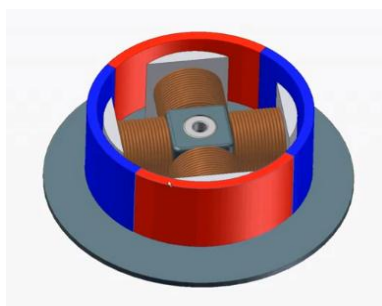
Slika 3.15: Namestitev Hallovega tipala (17).

Na zadnjo stran osnovne plošče je nameščeno vezje za upravljanje (3. 16.), s tem pa je nameščen tudi zadnji sestavni del statorja.



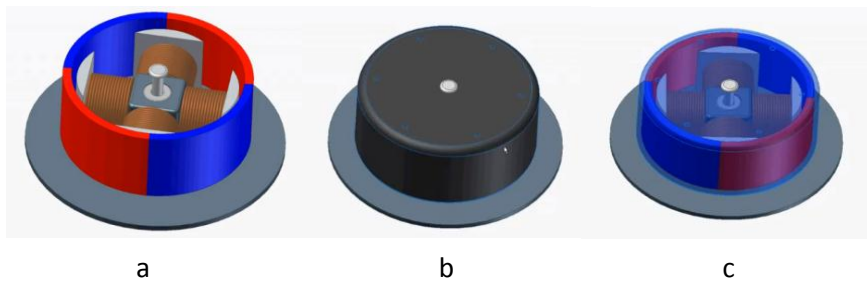
3.16: Namestitev vezja za upravljanje (17).

Rotor je sestavljen iz dveh trajnih magnetov, ki sta ukrivljena, tako da tvorita krožnico (slika 3.17). Magneta se skupaj s propelerjem vrtita okoli statorja.



Slika 3.17: Namestitev trajnega magneta rotorja (17).

Elektromotor ima še os in pokrov rotorja (slika 3.18a, b). Magnet je prilepljen v notranjost pokrova rotorja, pokrov pa je pritrjen na os, ki je nameščena v osnovno ploščo statorja.



Slika 3.18: Sestavni deli elektromotorja

a: os rotorja; b: pokrov rotorja; c: popolni sestav elektromotorja (17).

Elektromotor, ki smo ga uporabili, je sestavljen iz štirih tuljav, ki sestavljajo stator, in trajnega magneta v obliki votlega valja, ki je rotor. Ko so tuljave priključene na vir električne napetosti, steče skozi tuljave tok in inducira se magnetno polje. To magnetno polje je usmerjeno v ravnino ventilatorja s pomočjo kovinskih struktur, ki so napeljene skozi tuljave. Med tuljavami in virom napetosti je električno vezje, ki usmerja električni tok, hkrati pa skrbi za sinhrono vklapljanje in izklapljanje tuljav, posledica česar je vrtnenje inducirane magnetnega polja. To je glavni razlog in pogoj, da se rotor lahko začne vrteti. Rotor se začne vrteti zaradi interakcije magnetnega polja rotorja z magnetnim poljem statorja: ko so silnice obeh polj poravnane, je navor nič in se ventilator ne pospešuje, ko pa so silnice magnetnih polj med seboj pravokotne, pa se pojavi navor, ki rotor zavrti.

S pomočjo zunanjega magnetnega polja, ki ga ustvarjamo s pomočjo statičnih neodimijevih magnetov, ni mogoče ustvariti vrtničnega magnetnega toka, zato neodimijevi magneti vrtenje rotorja zgolj ovirajo in zato zaustavljajo propeler. Sistem namreč teži k ravnovesnemu stanju, ki pa ga na začetku, torej takoj po zagonu, rotor premaguje zaradi vztrajnosti.

4. Potek dela

4.1. Ideja za raziskovalno nalogo

OPIS VIDEO: Na internetni strani *YouTube* smo zasledili video, ki prikazuje »izumitelja«, ki želi ventilator s štirimi tuljavami zavrteti brez zunanjega napajanja (17). Najprej določi magnetno polje in nato pravokotno od vsake tuljave postavi oz. prilepi po en magnet. Ob takšni postavitvi se začne ventilator vrteti. Ob postopnem odstranjevanju magnetov se ventilator počasi ustavlja.

Zanimalo nas je, ali je mogoče ta poskus ponoviti. Za raziskovalno nalogo smo sicer imeli več tem, vendar nam je bila ta najbolj izzivalna in zanimiva.

Poskusa smo se lotili na podoben način, kot oseba na posnetku. Določili smo položaj magnetov glede na položaj tuljav. Poravnali smo magnetno polje neodimijevih magnetov s tuljavami, da bi nadomestili magnetno polje, za katerega smo sklepali, da se inducira, ko tuljave priklopimo na električno napetost. Sledilo je presenečenje, saj se naš ventilator – nasprotno kot tisti na posnetku – ni niti malo zavrtel. Sestava ventilatorja je bila enaka (štiri tuljave), poskrbeli smo za močno zunanje magnetno polje in glede na dane pogoje in pripomočke smo predvidevali, da se bo naš ventilator prav tako zavrtel, kot ventilator iz videa. Prvi neuspeh raziskovanja ni zaustavil. Želeli smo se prepričati, ali je vzrok zanj napačna gostota magnetnega polja ali pa njegova usmerjenost. Čeprav se naš ventilator s pomočjo magnetov ni začel samodejno vrteti, smo želeli preveriti, ali magneti vseeno kako vplivajo na vrtenje ventilatorja. Odločili smo se, da bomo ventilator pognali. Da bi zagotovili vedno enake pogoje pri poganjanju ventilatorja,

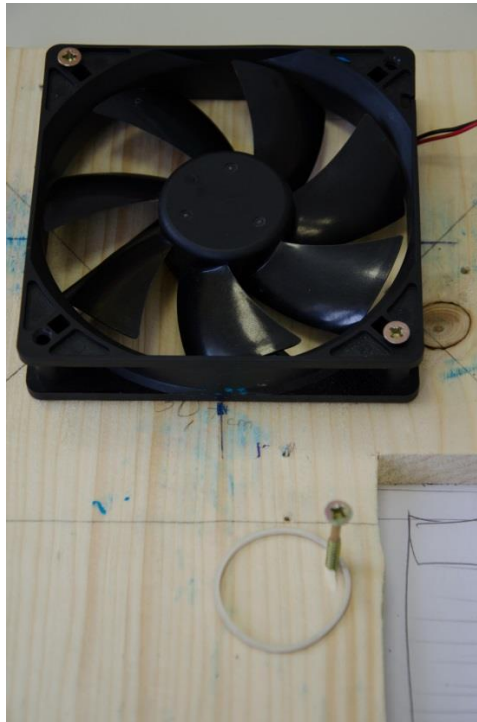
smo uporabili elastiko in stalno mesto za njeno pritrnitev. Da smo propeler vsakič pognali z enako silo, je bilo nujno, saj smo s tem zagotovili primerljivost rezultatov meritev, ki smo jih zatem opravili: merili smo, koliko časa se rotor vrti, če ga poženemo z elastiko, pri tem pa ob stator bodisi postavljamo različno število magnetov bodisi menjavamo orientiranost in gostoto magnetnega polja ob ventilatorju.

Ventilator smo privili na leseno desko, da smo ga za vse meritve pritrčili na stabilno mesto, in nato opravili meritve. Merili smo, kako dolgo se vrti ob različnih postavitvah in različnem številu magnetov (največ smo na vsako stran postavili po 4 magneti). Ko smo opravili vse meritve, smo ugotovili, da število magnetov in njihova postavitve vpliva na čas vrtenja rotorja ob standardnem zagonu.

4.2. Iskanje potrebnih stvari za raziskovanje

Za raziskovanje smo potrebovali:

- računalniški ventilator,
- neodimijeve magneti,
- leseno desko,
- elastiko,
- lesne vijake in
- plastelin, s katerim smo na leseno ploščo pritrčili magneti, da so bili stabilni.



Slika 4.1: Postavitev potrebščin za meritve.

4.3. Priprava eksperimenta za opravljanje meritev

Najprej smo računalniški ventilator z lesnimi vijaki privili na leseno ploščo, da smo zagotovili njegovo stabilnost. Na vsako stran računalniškega ventilatorja smo postavljali različno število magnetov, s čimer smo spreminjali gostoto magnetnega polja.

Pri raziskavi smo uporabili valjaste neodimijeve magnetne premera 10 mm in višine 10 mm, ki imajo moč 6,12 kg. Gostota magnetnega polja neodimijevih magnetov in gostota magnetnega polja navitja:

- 1 magnet 238 uT
- 2 magneti 327 uT
- 3 magneti 562 uT
- 4 magneti 1010 uT
- Navitje 116 uT

Magnete smo osno poravnali s tuljavami. Ker so se magneti med seboj privlačili in se premikali, smo njihov položaj učvrstili s plastelinom. Magnetno polje magnetov smo poravnali s tuljavami v elektromotorju. Poravnava magnetnega polja se nam je zdela pomembna, saj smo želeli nadomestiti magnetno polje, ki bi se sicer induciralo v tuljavah. Za meritve smo uporabljali ves čas isto elastiko, saj bi druga elastika lahko imela drugačne elastične lastnosti in zato rezultati meritev ne bi bili med seboj

primerljivi. Pri elastiki smo pazili tudi, da je nismo preveč raztegnili, da se ne bi plastično deformirala, saj bi to prav tako povzročilo neprimerljivost rezultatov. Da je bila elastika vsakič enako napeta, smo si na ventilatorju označili točko, za katero smo vsakič zataknilo elastiko. Druga točka, kjer smo vpeli elastiko, je bila prav tako fiksno določena. S tem smo pri vsaki meritvi zagotovili enak navor, s katerim smo zavrteli rotor.

Vsako meritev smo desetkrat ponovili in izračunali povprečje, ki nam je predstavljalo meritev. Te meritve smo vnesli v tabelo in jih med sabo primerjali, da bi ugotovili, katera postavitev je bila optimalna – da se je ventilator najdlje časa vrtel. Daljši ko je bil čas vrtenja, ugodnejši je bil rezultat za našo raziskavo. Želeli pa smo najti tako postavitev, pri kateri bi bil čas vrtenja daljši od časa vrtenja pri meritvi brez dodanih magnetov. Meritve so bile osnova za našo raziskovalno nalogo, zato smo se potrudili, da so bile čim bolj natančne.

4.4. Meritve in rezultati

- 4.4.1. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem brez dodatnih magnetov, sponki razklenjeni. Sponki nista bili sklenjeni tudi pri vseh naslednjih poskusih, razen kjer je posebej zapisano, da sta bili sklenjeni. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,38 s.



Slika 4.1: Ventilator brez magnetov in z razklenjenima sponkama.

- 4.4.2. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu z enim magnetom. Magnet je bil obrnjen s severnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,27 s.



Slika 4.2: Ventilator z enim magnetom, ki ima severni pol usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.3. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu z dvema magnetoma. Magneta sta bila obrnjena s severnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,17 s.



Slika 3.3: Ventilator z dvema magnetoma , katerih severni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.4. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s tremi magneti. Magneti so bili obrnjeni s severnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,17 s.



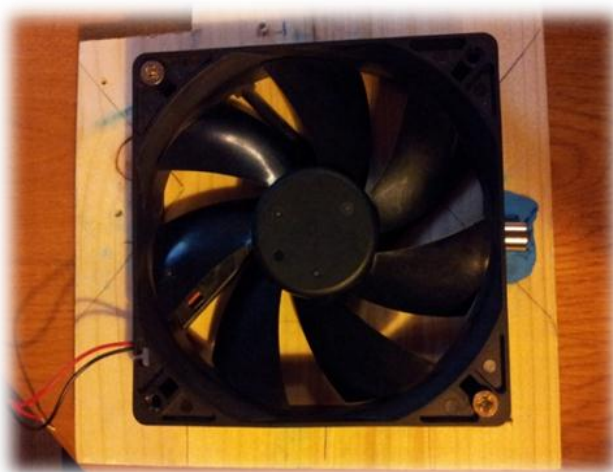
Slika 4.4: Ventilator s tremi magneti, katerih severni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.5. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s štirimi magneti. Magneti so bili obrnjeni s severnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,13 s.



Slika 4.5: Ventilator s štirimi magneti, katerih severni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.6. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu z enim magnetom. Magnet je bil obrnjen z južnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,05 s.



Slika 4.6: Ventilator z enim magnetom, katerega južni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.7. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu z dvema magnetoma. Magneta sta bila obrnjena z južnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,27 s.



Slika 4.7: Ventilator z dvema magnetoma, katerih južni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.8. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s tremi magneti. Magneti so bili obrnjeni z južnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,13 s.



Slika 4.8: Ventilator s tremi magneti, katerih južni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.9. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s štirimi magneti. Magneti so bili obrnjeni z južnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,12 s.



Slika 4.9: Ventilator s štirimi magneti, katerih južni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.10. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s štirimi magneti, postavljenimi v stolpec. Magneti so bili obrnjeni s severnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,21 s.



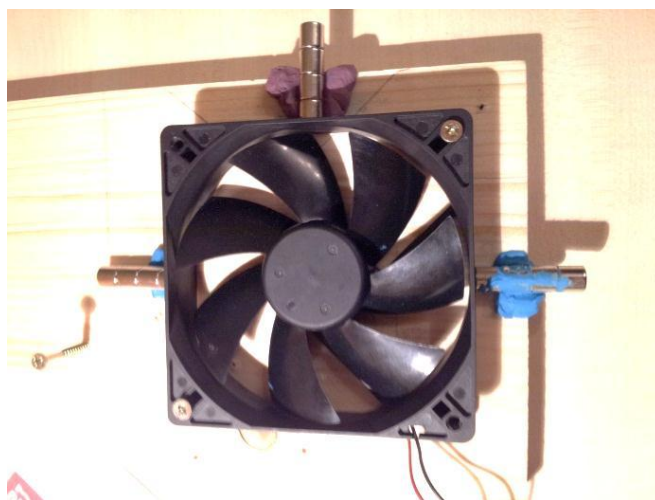
Slika 4.10: Ventilator s štirimi magneti v stolpcu, katerega severni pol je obrnjen proč od ventilatorja.

- 4.4.11. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu z dvema stolpcema iz po štirih magnetov . Magneti so bili obrnjeni s severnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,09 s.



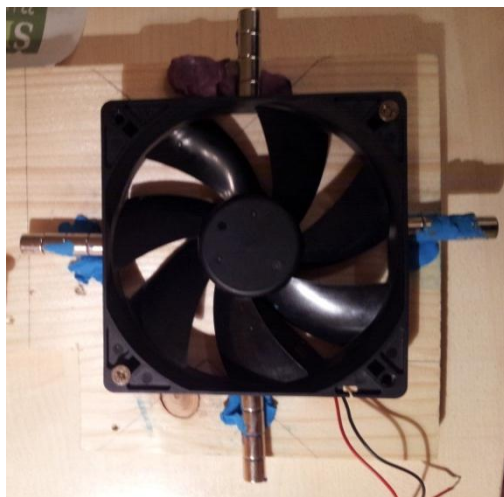
Slika 4.11: Ventilator z dvema stolpcema iz po štirih magnetov, katerih severni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.12. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s tremi stolpci iz po štirih magnetov. Magneti so bili obrnjeni s severnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,11 s.



Slika 4.12: Ventilator s tremi stolpci iz po štirih magnetov, katerih severni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.13. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s štirimi stolpci iz po štirih magnetov. Magneti so bili obrnjeni s severnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,26 s.



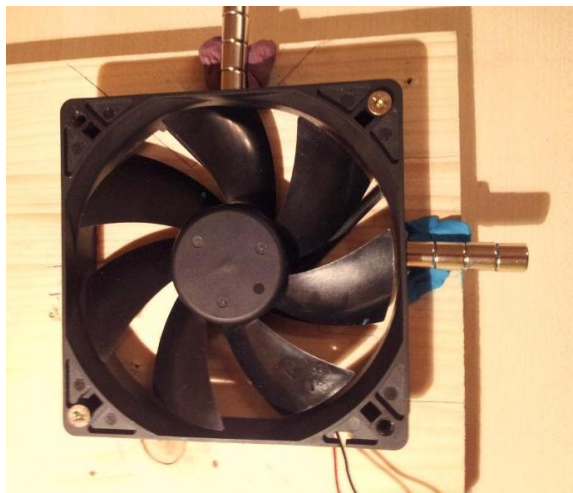
Slika 4.13: Ventilator s štirimi stolpci iz po štirih magnetov, katerih severni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.14. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu z enim stolpcem štirih magnetov. Magneti so bili obrnjeni z južnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,33 s.



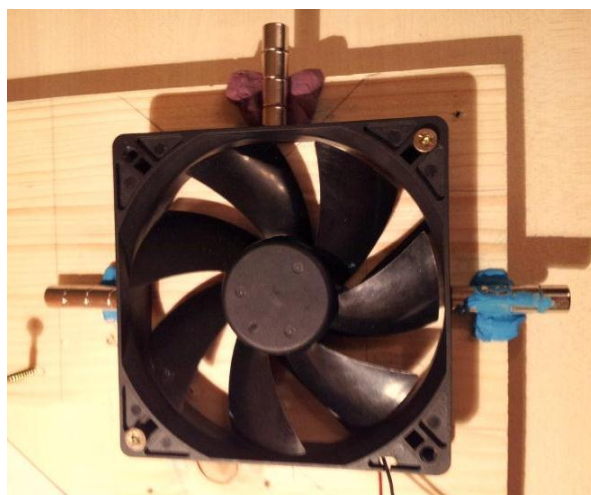
Slika 14: Ventilator z enim stolpcem iz štirih magnetov, katerega južni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.15. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu z dvema stolpcema iz po štirih magnetov. Magneti so bili obrnjeni z južnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,17 s.



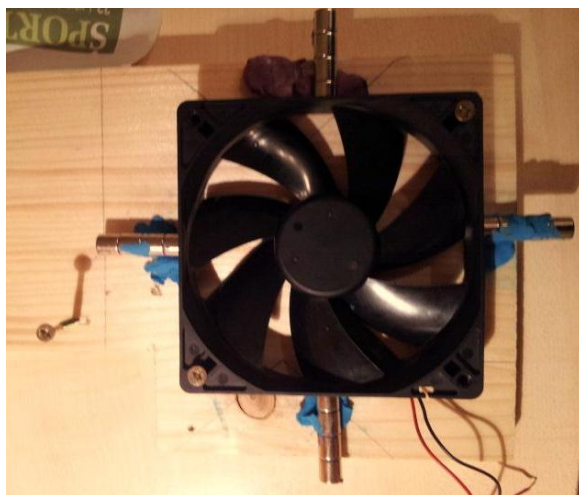
Slika 15: Ventilator z dvema stolpcema iz po štirih magnetov, katerih južni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

- 4.4.16. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s tremi stolpci iz po štirih magnetov. Magneti so bili obrnjeni z južnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,23 s.



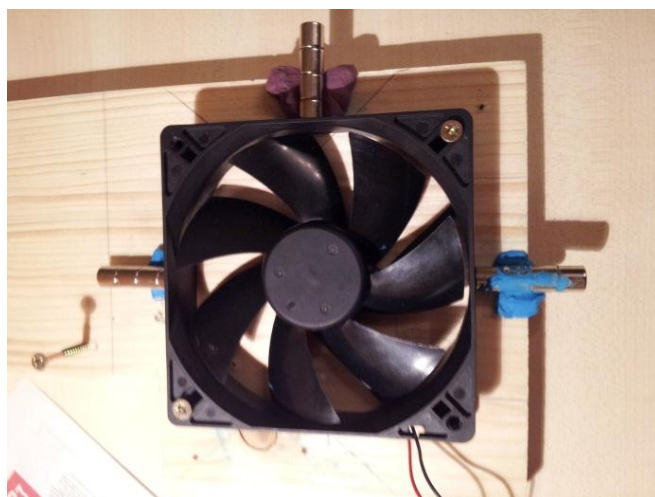
Slika 4.16: Ventilator s tremi stolpci iz po štirih magnetov, katerih južni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

4.4.17. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s štirimi stolpci iz po štirih magnetov. Magneti so bili obrnjeni z južnim polom proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,17 s.



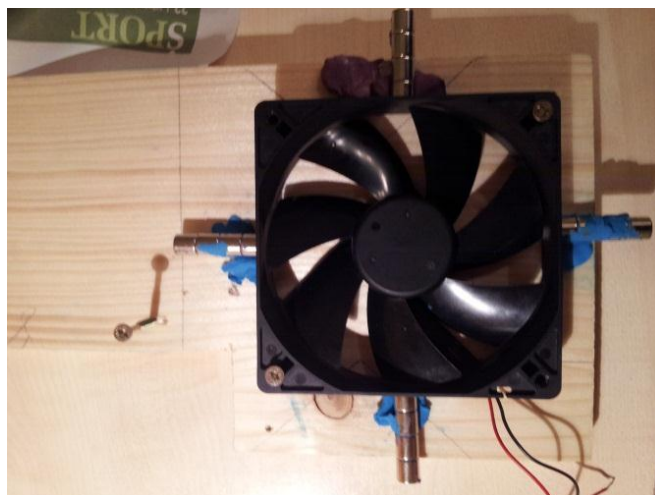
Slika 4.17: Ventilator s štirimi stolpci iz po štirih magnetov, katerih južni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

4.4.18. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s tremi stolpci iz po štirih magnetov; nasprotna dva magnetna stolpca sta bila usmerjena proč od ventilatorja s severnim polom, tretji pa z južnim polom. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,08 s.



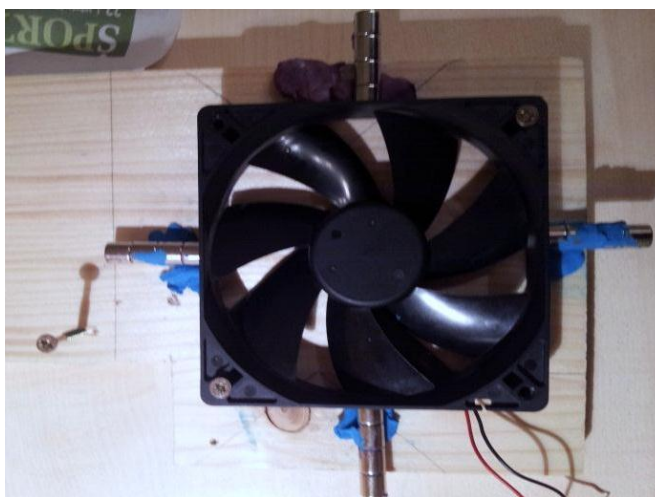
Slika 4.18: Ventilator s tremi stolpci iz po štirih magnetov: stolpca, ki si stojita nasproti, imata proč od ventilatorja usmerjen severni pol, tretji stolpec pa južnega.

4.4.19. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s štirimi stolpci iz po štirih magnetov; nasproti si stoječa para stolpcev se privlačita. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,11 s.



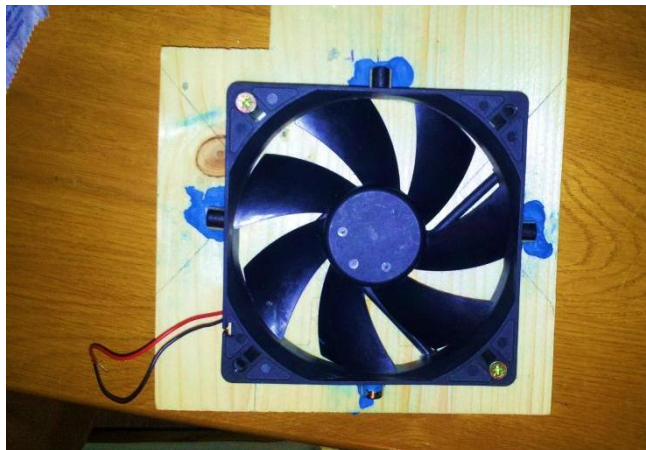
Slika 4.19: Ventilator s štirimi stolpci iz po štirih magnetov; nasproti si stoječa para magnetnih stolpcev se privlačita.

4.4.20. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s štirimi stolpci iz po štirih magnetov; en par nasproti si stoječih stolpcev ima proč od ventilatorja usmerjen severni pol, drugi pa južnega. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,13 s.



Slika 4.20: Ventilator s štirimi stolpci iz po štirih magnetov; en par ima proč od ventilatorja usmerjen severni pol, drugi pa južnega.

4.4.21. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s štirimi magneti, ki so imeli severni pol obrnjen proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,07 s.



Slika 4.21: Ventilator s štirimi magneti, ki imajo severni pol usmerjen proč od ventilatorja.

4.4.22. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu s štirimi magneti, ki so imeli južni pol obrnjen proč od ventilatorja. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 5,12 s.



Slika 4.22: Ventilator s štirimi magneti, katerih južni pol je usmerjen proč od ventilatorja.

4.4.23. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu, vendar v kratkostični povezavi in brez kakršnega koli zunanjega magneta. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 4,22 s.



Slika 4.23: Ventilator brez magnetov, v kratkostični povezavi.

4.4.24. Merili smo čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu, vendar brez kakršnega koli zunanjega magneta, a s priključeno svetilno diodo. Opravili smo 10 meritev in izračunali povprečni čas vrtenja. Povprečni čas vrtenja ventilatorja ob standardnem zagonu je bil 4,72 s. Ko se je ventilator dovolj zavrtel, je dioda zažarela.



Slika 4.24: Ventilator brez magnetov, a s priključeno svetilno diodo.

Tabela 4.1: Pregled meritev

| Meritev | Povprečni čas vrtenja [s] | NAJBOLJŠE POVPREČJE [s] |
|---|---------------------------|----------------------------|
| brez magnetov, sponki razklenjeni | 5,38 | brez magnetov: 5,38 |
| 1-krat magnet (S navzven) | 5,27 | |
| 2-krat magnet (S navzven) | 5,17 | |
| 3-krat magnet (S navzven) | 5,17 | |
| 4-krat magneti (S navzven) | 5,13 | |
| 1-krat magnet (J navzven) | 5,05 | |
| 2-krat magnet (J navzven) | 5,27 | |
| 3-krat magnet (J navzven) | 5,13 | |
| 4-krat magneti (J navzven) | 5,12 | |
| 1-krat 4magneti (S navzven) | 5,21 | |
| 2-krat 4magneti (S navzven) | 5,09 | |
| 3-krat 4magneti (S navzven) | 5,11 | |
| 4-krat 4magneti (S navzven) | 5,26 | |
| 1-krat 4magneti (J navzven) | 5,33 | |
| 2-krat 4magneti (J navzven) | 5,17 | |
| 3-krat 4magneti (J navzven) | 5,23 | |
| 4x4magneti (J navzven) | 5,17 | |
| 3x4magneti (nasprotna dva magneti sta S navzven, tretji magnet pa J navzven) | 5,08 | |
| 4-krat 4magneti (nasprotni magneti se privlačijo) | 5,11 | |
| 4-krat 4magneti (en par magnetov je obrnjen S navzven, drugi par magnetov pa J navzven) | 5,13 | |
| 4-krat 1magnet (S navzven) | 5,07 | |
| 4-krat 1magnet (J navzven) | 5,12 | |
| brez magnetov (kratkostična povezava) | 4,22 | |
| brez magnetov (priključeno na LED) | 4,72 | |

Ko smo opravili vse meritve, se je izkazalo, da se je ventilator najdlje vrtel brez magnetnega vzbujanja. Takšnega rezultata nismo pričakovali. Glede na motivacijski video posnetek smo pričakovali, da se bo najdlje vrtel ventilator, ob katerega bomo postavili stolpce iz po štirih magnetov, usmerjene s poli usmerjenimi izmenično (S, J, S, J) proč od ventilatorja. Naše pričakovanje se ni uresničilo morda zato, ker so se nasprotni magneti odbijali oz. so motili magnetno polje v rotorju, s čimer so zavirali njegovo vrtenje.

4.5. Interpretacija meritev

Glede na video, ki nas je spodbudil k raziskovanju, smo pričakovali, da se bo najhitreje vrtel ventilator, ko bomo obenj postavili stolpce magnetov s poli usmerjenimi izmenično (S, J, S, J) proč od ventilatorja. Vendar je bilo predvidevanje napačno: magneti sami ga sploh niso zavrteli, ventilator, pognan z elastiko, pa se tudi ni vrtel dalj časa.

Ovreči moramo torej prvo hipotezo. Ventilator se ob vzbujanju z magneti ni začel vrteti. Celo več: dodajanje magnetov je zaviralo vrtenje propelerja.

Drugo hipotezo lahko deloma potrdimo in deloma ovržemo. Ovržemo jo, ker nam ni uspelo ventilatorja pognati z magnetnim vzburjanjem. Potrdimo pa jo lahko v delu, da vrtenje ventilatorja ustvarja električno napetost, kar je znano in kar smo dokazali, s tem da je ob dovolj hitrem vrtenju rotorja zasvetila priključena svetilna dioda.

Tretjo hipotezo zagotovo lahko ovržemo, saj elektromagneta ni bilo mogoče vzbuditi z zunanjimi magneti. Ko bi nam magnetno vzburjanje uspelo, bi propeler, ki je pritrjen na rotor, poganjal zrak in mu večal kinetično energijo, s tem pa bi elektromotor opravljal mehansko delo, ki bi ga lahko, na primer, izkoristili za hlajenje računalnika.

Elektromotor, ki smo ga uporabili, ima stator sestavljen iz štirih tuljav, rotor pa iz trajnega magneta v obliki votlega valja. Ko priključimo tuljave na vir električne napetosti, steče skozi tuljave tok in inducira magnetno polje. To magnetno polje je usmerjeno v ravnino ventilatorja s pomočjo kovinskih struktur, ki so napeljane skozi tuljave. Med tuljavami in virom napetosti je električno vezje, ki usmerja električni tok, hkrati pa skrbi za sinhrono vklapljanje in izklapljanje tuljav, posledica česar je vrtnčenje inducirane magnetnega polja. To je glavni razlog in pogoj, da se rotor lahko začne vrteti. Rotor se začne vrteti zaradi interakcije magnetnega polja rotorja z magnetnim poljem statorja, in sicer tako, da se rotor zavrti, ko so silnice magnetnih polj ena na drugo pravokotne in ustvarijo navor, ko pa so silnice obeh polj poravnane, je navor enak nič in se vrtenje ventilatorja ne pospešuje.

Z zunanjim magnetnim poljem, ustvarjenim s statičnimi neodimijevimi magneti, ni mogoče ustvariti vrtnčnega magnetnega toka. Zato njihovo magnetno polje rotor zgolj ovira, kar pa zaustavlja propeler. Sistem namreč teži k ravnovesnemu stanju, ki pa ga na začetku, torej takoj po zagonu, rotor premaguje zaradi vztrajnosti.

5. Zaključek

Želeli smo preveriti, ali lahko s statičnim magnetnim poljem toliko vzbudimo elektromotor, da bi se začel rotor vrteti brez zunanje napajanja. Za eksperiment smo pripravili sestavo, s katerim smo zagotovili stalne pogoje za vse meritve, opravljene pri različnih gostotah magnetnega polja, s katerim smo »vzbujali« elektromotor. Že ob prvi meritvi smo ugotovili, da se rotor samo ob statičnem zunanem magnetnem polju ne začne vrteti. Ta ugotovitev nas je napeljala na misel, da ugotovimo, kako zunanje magnetno polje vpliva na vrtenje rotorja. Rotor smo pri različnih postavitvah zunanjih magnetov (različnih gostotah in jakostih magnetnega polja) vedno pognali z enakim (standardnim) navorom, ustvarjenim z elastiko, in merili, koliko časa se vrti. Rezultati so pokazali, da se najdlje vrti, ko ob ventilatorju ni nikakršnega statičnega magnetnega polja.

Raziskovalna naloga je dober dokaz, da ne gre verjeti vsemu, kar se da videti na medmrežju. Na spletu je mogoče najti zelo veliko posnetkov različnih poskusov, katerih rezultati so na prvi pogled videti zelo neverjetni. Za mlade raziskovalce so odličen izziv, da preverijo njihovo verodostojnost, ob tem pa pridobijo obilo novega znanja, veščin in izkušenj. Mi smo se med svojim delom poučili o tem, kako je sestavljen brezkrtačni elektromotor, neuspešna ponovitev eksperimenta, najdenega na spletu, pa nas je spodbudila, da smo raziskali, še kako ventilator deluje. Spoznali smo mnoge nove pojme, kot je tuljava, indukcija, magnetno polje, gostota magnetnega polja, fizikalna opredelitev pojma delo ipd. Ko smo končali praktično delo in bili razočarani nad prvim rezultatom, nas je »neuspeh« celo navdušil za nadaljnje raziskovanje in proučitev delovanja. Ko bi nam eksperiment morda uspelo ponoviti, dodatnega znanja ne bi iskali. Spoznali smo tudi, da so stvari lahko veliko bolj zapletene, kot so videti na prvi pogled in da ima v tehniki vsaka malenkost svojo funkcijo in je zato ni prezreti.

Eksperiment bomo morda nadgradili, s tem da bomo z magneti ojačili magnetno polje rotorja, elektromotor priključili na napetost in spremljali, kako tako dodano magnetno polje vpliva na vrtenje ventilatorja. Ali ga res izboljša?

6. Literatura

1. Dostopno na: http://eoet1.tsckr.si/material/eOet1_02_07_05_05-2.html
2. Dostopno na: [http://sl.wikipedia.org/wiki/Delo_\(fizika\)](http://sl.wikipedia.org/wiki/Delo_(fizika))
3. Dostopno na: http://www.morjeplovec.net/index.php?option=com_content&view=article&id=79:propelerji&catid=42:baza-znanja&Itemid=62
4. Dostopno na: [http://sl.wikipedia.org/wiki/Delo_\(fizika\)](http://sl.wikipedia.org/wiki/Delo_(fizika))
5. Dostopno na: http://eoet1.evsebine.com/material/eOet1_02_07_02_01.html
6. Dostopno na: http://eoet1.evsebine.com/material/inc/02_07_02_01/eOet1_02_07_02_01-1-01.html
7. Dostopno na: <http://www.svetmagnetov.com/neodim.html>
8. Dostopno na: : <http://www.artas.hr/magneti/neodimijski.htm>
9. Dostopno na: [http://sl.wikipedia.org/wiki/Tesla_\(enota\)](http://sl.wikipedia.org/wiki/Tesla_(enota))
10. Dostopno na: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Du%C5%A1ilka>
11. Dostopno na: <http://lms.fe.uni-lj.si/amon/literatura/EK/EK5-Tuljave.pdf>
12. Dostopno na: http://si.openprof.com/wb/gostota_magnetnega_polja
13. Dostopno na: http://eoet1.evsebine.com/material/eOet1_06.html
14. Dostopno na: http://sl.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetna_indukcija
15. Dostopno na: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>
16. Dostopno na: <http://www2.shrani.si/files/vajeelek566252.pdf>
17. Dostopno na: http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=F9CPX3EJoN4#!