

Magnetohydrodynamický pohon

J. Klemsa*, D. Klečka**, J. Kubiš***

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

*klemsjak@fjfi.cvut.cz, **kleckdav@fjfi.cvut.cz, ***kubisjak@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Naším cieľom je oboznámiť študentov s princípom MHD, teoreticky rozobrať a prepočítať jeho parametre pri použití ako pohonu lodi. Tým zistíme na ktorých veličinách a ako závisí predovšetkým maximálna rýchlosť a efektívnosť. Tie sa pokúsime vopred odhadnúť na základe nameraných parametrov našej lodi, potom ich porovnáme s nameranými výsledkami. Konštrukciu lodi prispôbime zisteným záverom teoretického rozboru.

1 Úvod do problematiky

Príčina hnacej sily

Príčina hnacej sily, ktorá uvádza do pohybu plavidlo, je Lorentzova sila, ktorá pôsobí na vodič s prúdom v magnetickom poli $\vec{F}_L = \vec{I} \times \vec{B} \cdot d$. Zo zákona akcie a reakcie, môžeme položiť tuto silu rovnú sile hnacej. V našom prípade je vodič elektrolyt, ktorý sa nachádza medzi elektródami.

Prúd v elektrolyte

V elektrolyte nie je vedenie prúdu homogénne, preto môžeme nahradiť vektor prúdu reálnym vektorom prúdovej hustoty $\vec{j} = \frac{dI}{dS_{\perp}} \vec{n}$. V stacionárnom poli platí Ohmov zákon $\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\rho}$, kde ρ je merný elektrický odpor. Po dosadení dostaneme

$$\vec{F}_L = \int_V \frac{\vec{E}}{\rho} \times \vec{B} \cdot dV.$$

Vektor elektrickej intenzity sa ľahko modeluje z počiatočných podmienok, merný elektrický odpor považujeme za konštantný, ale s magnetickou indukciou nastáva problém, preto nebudeme počítať integrál numericky, ale dosadíme odhad stredných hodnôt všetkých veličín.

Zistili sme, že vplyv prúdu na tvarovanie elektromagnetického poľa, Hallov jav a spätnú indukciu môžeme úplne zanedbať (spätná magnetická indukcia podľa výpočtov je menšia o 6 rádov než prírodné napätie).

Prídružené javy

3cm

Elektrolyt sú v podstate ióny obalené molekulami vody vykonávajúce tepelný pohyb. Ióny majú malú rýchlosť kvôli zrážkam a vnútornému treniu, to zapríčiňuje minimálnu účinnosť, pretože takmer všetko sa stratí ako teplo. Ako elektrolyt sme použili vodný roztok NaCl. Bolo to výhodné riešenie vďaka, dostupnosti, ceny soli a takisto kompletnej disociácii

chloridu sodného na ióny. Avšak ak vodným roztokom NaCl začne prebiehať prúd, vyvoláva elektrolýzu, pri ktorej vzniká výbušný vodík a štipľavý chlór. Vzhľadom na to, že prúd prechádzajúci roztokom je veľký (až 5 A), vzniká aj značné množstvo týchto plynov.

2 Matematický opis deja

Závislosť rýchlosti a sily na parametroch

Model zanedbáva mnoho javov, preto namiesto numerického integrovania, postačí dosadenie stredných hodnôt veličín. Preto nám bude stačiť

$$F_L = IBd \equiv Av^2,$$

kde $I = \frac{U_e \Lambda c S}{d}$ a

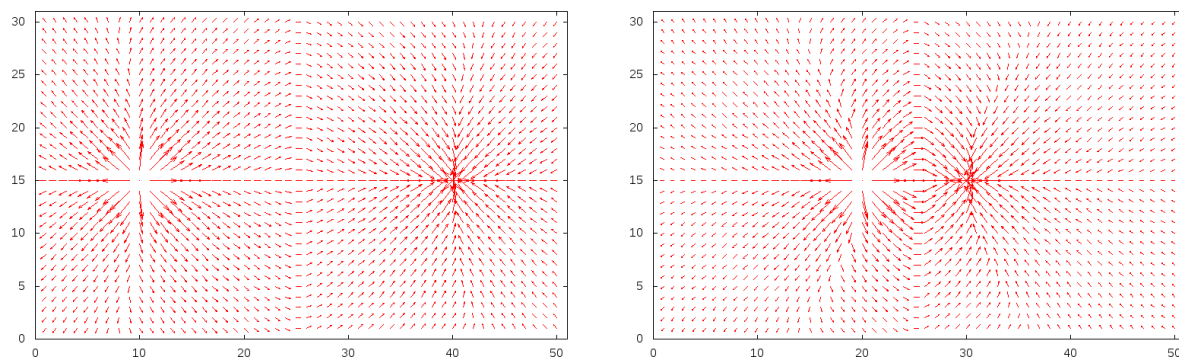
$$v = \sqrt{\frac{IBd}{A}}.$$

Modelovanie vektorového poľa prúdových hustôt

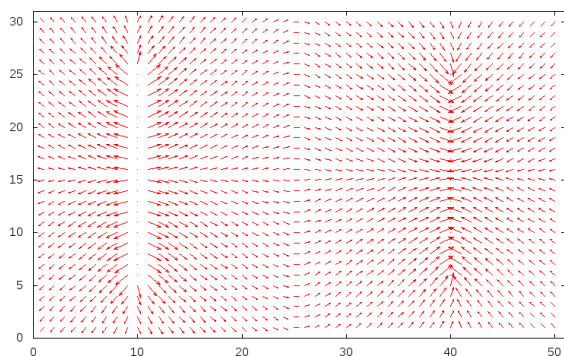
Hľadali sme najvhodnejšie vektorové pole prúdových hustôt, s požiadavkami aby boli kolmé na smer požadovanej sily magnetickou indukciou a aby bola maximálna hustota vnútri magnetického poľa. Vychádzali sme z rovnice

$$\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\rho} = \frac{1}{4\pi\epsilon\rho} \int_Q \frac{\vec{R}}{R^3} dQ.$$

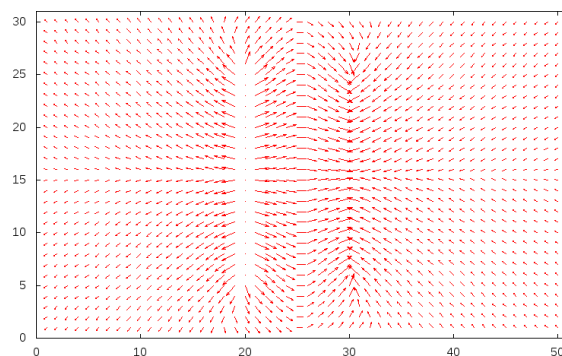
Tu už sú výsledky numerického modelovania:



Obrázek 1: Pole prúdových hustôt vzdialených bodových elektod
Obrázek 2: Pole prúdových hustôt blízkyh bodových elektod



Obrázek 3: Pole prúdových hustôt vzdialených plochých elektod



Obrázek 4: Pole prúdových hustôt blízkych plochých elektod - najlepši

3 Konštrukcia pohonu

Na konštrukciu pohonu sme použili silné neodymové magnety zo starých harddiskov, plátky z jadra cievky, opotrebované uhlíkové elektródy z elektromotoru, elektrikárske kablely a svorky.

4 Meranie parametrov pohonu

Vzdialenosť elektród a magnetické pole sme namerali ešte na začiatku (pre potreby porovnania teórie s experimentom).

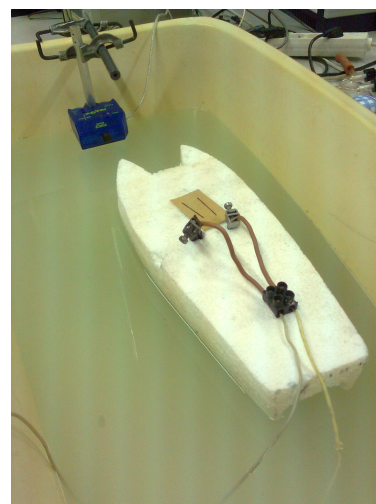
$$B = 0,13 \text{ T},$$

$$d = 15 \text{ mm}.$$

Cieľom bolo namerať závislosť sily a rýchlosti na prúdu resp. príkonu. Použili sme zdroj prúdu do 5 A, voltmeter, ampérmeter a elektronický silomer s citlivosťou 50 mN.

Dôvodom nezdaru bolo, že sme včas nedosadili známe hodnoty do rovnice $F_L = IBd$. Vyšlo by nám že plavidlo by bolo ťahané silou 10 mN pri prúde 5 A. Rovnako sme pozorovali, že prírodné kablely nám zne-možňovali merať rýchlosť, na druhú stranu pohyb slanej vody pod loďou bol viditeľný a ťah lodi pri spustení bol postrehnuteľný a bolo možné zaznamenať oných 50 mN.

Maximálny prúd bol 4,5 A pri napätí 11 V. Elektrický výkon bol 50 W a odpor 2,5 Ω . Spočítaný odpor elektrolytu bol iba 1 Ω , teda 1,5 Ω pri elektrolýze. Teda iba elektrolýza vezme 30 W, alebo 60% príkonu. Takmer celý zbytok je tepelný výkon, ktorý je avšak me- chanický zanedbateľný.



Obrázek 5: Hotový model lode s MHD pohonom

5 Porovnanie s teóriou a záver

Je treba povedať, že dosadenie do $F_L = IBd$ rádovo odpovedalo. Po určení orientácie mag- netu podľa zemského poľa sa loď pohybovala predvídaným smerom, teda sme zostrojili funkčný MHD pohon, neboli sme však schopný zapracovať a namerať závislosti, teda sme naše ciele zrovnali s teóriou len kvalitatívne.

Pod'akovanie

Na záver by sme radi poďakovali pánovi Ing. Vojtěchovi Svobodovi, CSc., za poskytnutie času a priestoru a Vojtěchovi Bednářovi z minulého seminára za užitočné rady.

Reference

- [1] kol. autorov, *Electromagnetism*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetism>
- [2] P. Terren, *Magnetohydrodynamics*, <http://tesladowndunder.com/Magnetohydrodynamics.htm>