

Magnetohydrodynamický generátor a jeho účinnost

V. Bednář*, J. Šleis**

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

*vojtechbednar@seznam.cz, **sleisjir@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Jedna z možností jak vyrábět elektrickou energii v tokamaku je pomocí MHD generátoru. Práce přímo navazuje na práci z prvního semestru s názvem Magnetohydrodynamický generátor, tentokrát se zaměřuje na účinnost tohoto zařízení.

1 Úvod

S MHD generátorem se experimentuje jako s možným zařízením pro výrobu elektrické energie. Dále lze MHD generátor využít pro zvýšení účinnosti výroby elektrické energie při spalování fosilních paliv.

2 Princip obecně

MHD generátor funguje na základě Faradayova a Hallova jevu. Kanálem, v němž jsou umístěné uhlíkové elektrody, proudí vodivé médium – kapalina, plyn či plazma. Celá část okolo elektrod je v homogenním magnetickém poli, jehož směr je kolmý na směr proudění média a zároveň na spojnici elektrod. Na nabitě částice působí Lorentzova síla, způsobující zakřivení trajektorie částic. Částice se začnou pohybovat směrem k elektrodám – tzv. Faradayův jev, a zároveň se začnou zpomalovat vůči neutrálním částicím – tzv. Hallův jev. Tyto dva jevy můžeme popsat rovnicemi pro vektory proudové hustoty ve směrech x (1) (směr proudění média) a y (2) (směr spojnice elektrod):

$$J_x = \frac{\sigma}{(1 + \beta^2)}(E_x + \beta E_y) \quad (1)$$

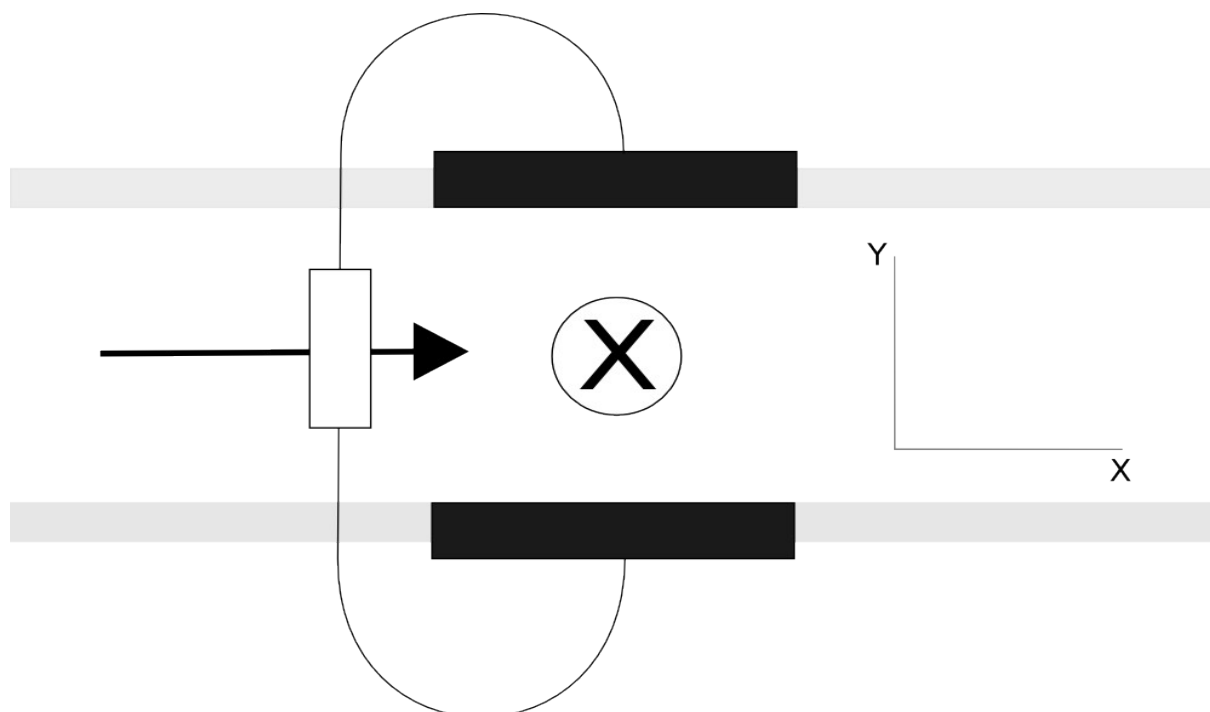
$$J_y = \frac{\sigma}{(1 + \beta^2)}(E_y - \beta E_x) \quad (2)$$

kde σ je koeficient elektrické vodivosti, β je součin magnetické indukce B s pohyblivostí částice μ a E je intenzita elektrického pole. Magnetická indukce je orientována ve směru osy z , a nemá tedy na proudovou hustotu ve směru osy z žádný vliv. Důsledkem toho je, že se na jedné elektrodě začnou hromadit záporné, na druhé elektrodě kladné ionty. Na elektrodách tak vznikne napětí.

Faradayův a Hallův jev projevující se zároveň jsou ale příčinou ztrát a snížení účinnosti generátoru, proto se MHD konstruuje tak, aby se projevoval jen jeden z nich a druhý byl co nejvíce potlačen. Rozlišujeme čtyři základní druhy generátorů, dva typy využívají Faradayova efektu: Faradayův generátor s průběžnými elektrodami, Faradayův generátor s článkovými elektrodami; a dva typy využívají Hallova jevu: Hallův generátor, Diskový generátor. Nejintenzivnější vývoj probíhá na Hallově generátoru, který je účinný při nízkých tlacích vodivého média a při silných magnetických polích. Dále probíhá vývoj s generátorem

diskovým, se kterým bylo v Tokyo Institute of Technology dosaženo účinnosti 30 %.

3 Faradayův generátor s průběžnými elektrodami



Obr. 1: Schéma generátoru s průběžnými elektrodami

Tento typ generátoru je nejjednodušší a byl objeven jako první už v roce 1831 M. Faradayem. Používali jsme ho při experimentech, protože je konstrukčně nejjednodušší. Využívá se zde Faradayova jevu, zatímco Hallův jev je zde příčinou ztrát. Po dosazení patřičných počátečních podmínek pro intenzitu elektrického pole E do rovnic (1) a (2) dostaneme:

$$J_x = \frac{\sigma}{(1 + \beta^2)} \beta v B (1 - K) \quad (3)$$

$$J_y = \frac{\sigma}{(1 + \beta^2)} v B (1 - K) \quad (4)$$

kde v je rychlost proudění roztoku, B magnetická indukce, K je podíl napětí na uzavřeném obvodu a na otevřeném obvodu.

Díky Hallovu jevu je vektor proudové hustoty ve směru x (3) nenulový a samotnými elektrodami teče po délce elektrický proud, který způsobuje snížení účinnosti. Výkon takového generátoru získáme vynásobením rovnice (4) s intenzitou elektrického pole:

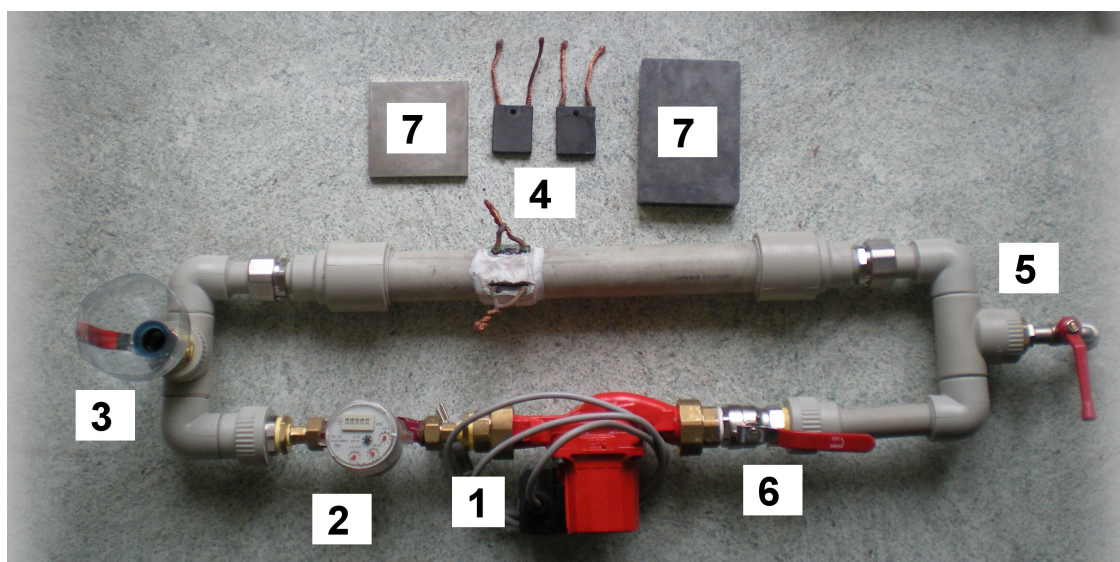
$$P = \frac{\sigma}{(1 + \beta^2)} v^2 B^2 (1 - K) K \quad (5)$$

Výkon je vyjádřen na jednotku objemu, takže je závislý také na ploše elektrod a jejich vzdálenosti. V rovnici (5) vystupuje člen β na druhou, který je mimo jiné přímo závislý na magnetické indukci B . Čím větší je β , tím větší jsou ztráty, zvyšování magnetické indukce má tedy na výkon generátoru tohoto typu pouze nepatrný vliv.

4 Využití MHD generátoru

Využití magnetohydrodynamických generátorů v technické praxi je zatím spíše hudba budoucnosti. Dnes se využívá spíše MHD pohonu, například pro čerpání kapalných kovů v hutnictví. S MHD pohonem se experimentuje jako s pohonem lodí, ponorek, či vesmírných sond (NASA). Hlavní výzkum však probíhá na MHD generátorech, kde se mluví zejména o jejich využití v tokamacích. Také se pracuje na zvyšování účinnosti výroby energie z fosilních paliv pomocí MHD generátoru. Ten by byl umístěn před tepelným výměníkem a účinnost celého cyklu by tak vzrostla až na 60%. Je zde ovšem celá řada problémů, jednak s materiálem na elektrody, navíc se spaliny musí čistit a dotovat například cesiem pro zvýšení vodivosti.

5 Konstrukce vlastního generátoru



Obr. 2: MHD generátor. 1 - čerpadlo, 2 - vodoměr, 3 - napouštěcí ventil, 4 - uhlíkové elektrody, 5 - vypouštěcí ventil, 6 - regulační ventil, 7 - magnety

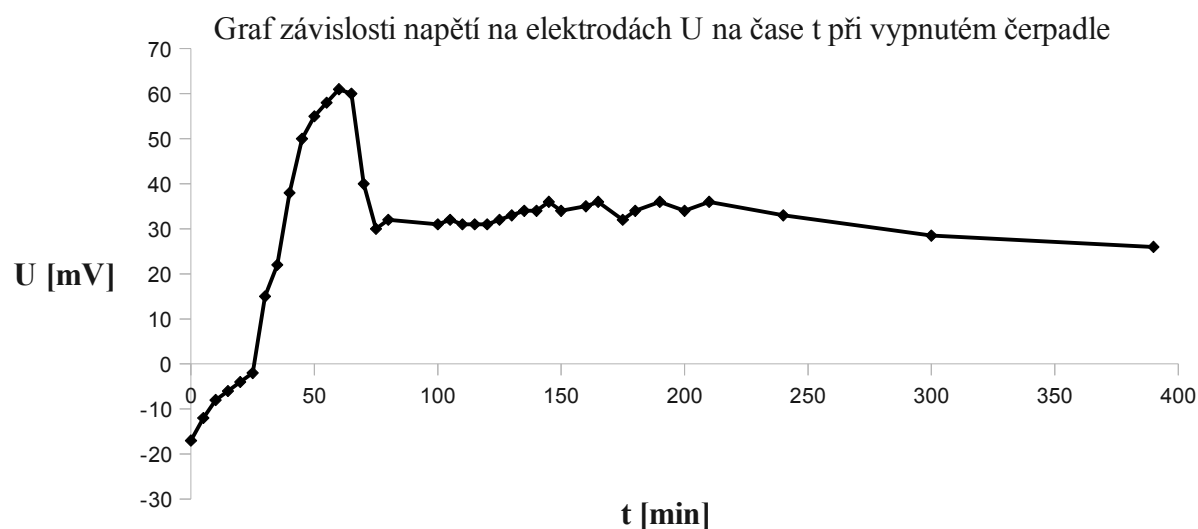
Naším cílem bylo postavit generátor o co možná největším výkonu, při rozumné pořizovací ceně, a měřit jeho účinnost v závislosti na podmínkách. Vycházeli jsme při tom z práce pro minulý semestr, kdy se nám podařilo sestavit funkční generátor i pohon, ale se zanedbatelným výkonem. Zlepšili jsme proto podmínky zvýšením rychlosti proudícího média a zvýšením magnetické indukce. Navíc rychlost proudění byla regulovatelná, což umožnilo měřit vznikající napětí v závislosti na rychlosti. Uspořádání elektrod bylo typu Faradayova generátoru s průběžnými elektrodami a jako vodivé médium jsme použili koncentrovaný roztok NaCl. Roztok NaCl je snadno dostupný, není nebezpečný pro životní prostředí a je dobře elektricky vodivý.

Roztok byl uváděn do pohybu klasickým oběhovým čerpadlem, které pracuje při malých tlacích a velkém průtoku. Rychlost proudícího roztoku byla měřena nepřímo pomocí domovního vodoměru, při známé ploše mezi elektrodami. Dále byly použity uhlíkové elektrody, ostatní materiály by při elektrolýze s roztokem reagovaly. K vytvoření magnetického pole jsme zvolili permanentní magnety, na obr. 2 zleva – neodymový a klasický feritový. Pro dosažení co nejvíce homogenního magnetického pole byl jeden magnet umístěn pod a druhý nad elektrodami (opačnými póly k sobě). Magnetická indukce vytvořeného pole se uvnitř kanálu pohybovala v rozmezí 70 mT až 90 mT.

6 Měření

Prvotním záměrem bylo měřit závislost výkonu generátoru na podmínkách - magnetické indukci a rychlosti průtoku. Experiment však ukázal, výkon generátoru je velmi malý. To potvrdzoval i teoretický výpočet, který byl prováděn z časových důvodů souběžně s experimentem a který udával hodnotu okolo $1,2 \cdot 10^{-7}$ W.

Následně jsme se pokusili měřit vznikající napětí v závislosti na podmínkách. Problémem se však stalo vznikající elektromotorické napětí na elektrodách (obou naprosto stejných!), které dosahovalo řádově desítky mV a spontánně se měnilo. Ustálení nastalo až po několika hodinách, stále se však měnilo řádově o mV. V těchto řádech se však pohybovalo i generované napětí, a bylo tak v podstatě nemožné udělat seriózní měření. Závislost napětí na rychlosti průtoku kapaliny však patrná byla.



7 Závěr

Původního cíle - měřit závislosti výkonu MHD generátoru a jeho účinnosti - se nám bohužel nepodařilo, protože generovaný výkon byl příliš malý. Další rozvoj našeho zařízení nemá podle nás smysl, hlavně kvůli tomu, že v praxi se jako vodivé médium roztok NaCl vůbec nepoužívá. My jsme ho používali pouze jako „náhražku“ plazmy. Odnášíme si však cenné zkušenosti pro možné pokračování na jiných zařízeních.

8 Poděkování

Chtěli bychom poděkovat fakultě FJFI ČVUT v Praze a především panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, Csc., který umožnil vznik, chod a zprostředkoval zafinancování celého projektu.

9 Reference

- [1] D. Halliday a kol.: *Fyzika III: Elektřina a magnetismus*, Prometheus, Brno, 2000
- [2] http://www.youtube.com/watch?v=mE3uY_yKsCo
- [3] kol. autorů, http://en.wikipedia.org/wiki/MHD_generator