

Railgun - magnetické kolejnicové dělo

A. Chevko, O. Ficker, K. Tesař, V. Větrovec

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

oficker@gmail.com

Abstrakt

Cílem projektu je seznámit posluchače fyzikálního semináře a ostatní zájemce z řad studentů FJFI se zajímavými aplikacemi poznatků z elektřiny a magnetismu. Především shrnuje historii, teoretické základy a možnosti využití magnetického děla (urychlovače) na kolejnicovém principu. Dále práce prezentuje náš model tohoto zařízení a výsledky našich pokusů o střelbu s ním.

1 Úvod

Není snad fyzikálního jevu, který by ovlivnil život moderního člověka více než propojenost elektřiny a magnetismu. Když si Hans Christian Oersted kdysi všiml, že v okolí vodiče s proudem se určitým směrem orientují magnetické střílky, jistě si nedovedl představit důsledky tohoto objevu. Po něm přišli další vynikající vědci a díky nim je dnes život o mnoho snazší a možná i zajímavější. Elektrotechnika je široký obor, ve kterém se každou chvíli posouvají hranice možného. Občas se ale mezi všemi aplikacemi, které ještě včera byly pouhými sny, najde nápad starý téměř sto let. Takový nápad může být uskutečnitelný až nyní, protože v době jeho vzniku nebyly k dispozici vhodné materiály. A jedním z takových nápadů je i Railgun - magnetické kolejnicové dělo, které v následujících odstavcích představíme.

2 Vodič v homogenním magnetickém poli

Pohybující se náboj vytváří magnetické pole. Protože ve vodiči se pohybují elektrony, dochází ke vzniku magnetického pole v okolí každého vodiče, kterým teče proud. Magnetické indukční čáry tvoří soustředné kruhy kolem vodiče a jejich směr můžeme určit pomocí pravidla pravé ruky. Pokud vodič vložíme do vnějšího homogenního magnetického pole, dochází k interakci, jejímž výsledkem je vychýlení vodiče. Směr působení síly závisí na vzájemné orientaci proudu ve vodiči a vektoru indukce vnějšího pole. Pole vnější je na jedné straně oslabováno polem vznikajícím kolem vodiče a na druhé straně posilováno. Vodič se tak, pokud není připevněn, začne pohybovat směrem do prostoru se zředeným magnetickým polem. Síla urychlující vodič tímto směrem je přímo úměrná magnetické indukci vnějšího pole, proudu ve vodiči, délce vodiče v poli a sinu úhlu, který svírají indukční čáry vnějšího pole a vodič.

3 Princip magnetického kolejnicového děla

Výše zmíněné skutečnosti je možné využít k urychlení vodivých objektů. Výhodou je, že v malé oblasti mezi dvěma rovnoběžnými vodiči, kterými prochází velký proud v opačných směrech, vzniká silné, téměř homogenní, magnetické pole. Když tedy vedle sebe položíme rovnoběžně dva vodiče (kolejnice) a kolmo je propojíme třetím volně uloženým vodičem a přivedeme na konce vodičů proud, bude třetí vodič vytlačován. Směr působení Lorentzovy síly potom závisí na polaritě připojeného zdroje napětí. Třetí vodič je tedy vlastně projektilem (viz Obr. 1). Jakmile projektil opustí prostor mezi vodiči, obvod se

přeruší. Princip kolejnicového děla je tedy velmi jednoduchý. Bohužel je jednoduchost vyvážena velkým opotřebením kolejnic a nutností extrémně velkých proudů.

4 Historie

První vážné a systematické pokusy s vystřelováním projektilu pomocí elektromagnetické indukce podnikl norský vědec Kristian Birkeland, který koncem 19. století vyvinul koncept "gaussgunu", děla urychlujícího projektil pomocí indukčních cívek (nešlo tedy přímo o kolejnicové dělo). Jeho návrh byl v principu funkční, projektil však nedosahoval rychlosti 600 m/s, kterou vědec přislíbil investorům a při předváděcím výstřelu došlo k poškození děla. Birkeland přišel o příspěvky ze strany soukromých mecenášů a začal se věnovat jiným pokusům.

V roce 1918 zaregistroval Francouz André Fauchon-Villeplee v USA patent přímo na kolejnicové dělo, jehož konstrukce byla v základních rysech stejná, jako u našeho projektu. Zůstalo však nepovšimnuto, pravděpodobně kvůli vysokým nárokům na napájecí zdroj (velké proudy), které by možné výhody nevyvážily. Další podnět k vývoji railgunu přinesla Druhá světová válka, v Německu se jeho vývojem zabýval Joachim Hänsler, který tento koncept propracoval do detailů především pro využití v protiletcecké obraně, německé vojenské vedení však dalo přednost raketám. Veškerá technická dokumentace se pak dostala do rukou Spojenců, kteří ji podrobně prozkoumali, ale dále projekt nerozvíjeli - důvodem byly opět velmi vysoké nároky na napájení.

Po válce projekt vzkřísili v 70. letech australští vědci, kterým se podařilo urychlit třígramovou střelu na 6 km/s s použitím nových elektrotechnických prvků (homopolární generátor). To však nestačilo na překonání všech technických obtíží. Další posun přišel až v souvislosti s americkým projektem "hvězdných válek", týkal se ale jen gaussgunu - byla uvažována možnost využít jej pro vystřelování raket do vesmíru. Američané provedli řadu pokusů a vylepšení konceptu, ani tentokrát však nebyl využit ve větším měřítku.

Nakonec se však příběh railgunu vrátil tam, kde začal - ke zbraním. 31. ledna roku 2008 provedlo americké námořnictvo úspěšný výstřel náboje o hmotnosti 3,2 kilogramů rychlostí 2,52 km/s (kinetická energie 10,64 MJ, ekvivalentní běžné lokomotivě o rychlosti 60 km/h), jehož záznam je veřejně dostupný. Až do té doby podléhal projekt vyzbrojení amerických lodí kolejnicovými děly přísnému utajení. Dolet teoreticky činí až 400 kilometrů, nároky na napájení však značně zužují možnosti nasazení - v úvahu připadají jen lodě s jadernými pohony. Předpokládaná doba spuštění prvních lodí s těmito děly je okolo roku 2018.

Jiné praktické využití zatím railgun nemá, vědecké však ano, například při zpomalování elementárních částic. Jde nicméně o koncept, který je stále ve vývoji a kde stále nebyla rozřešena řada technických problémů, takže jej nepochybně čeká jistá budoucnost. Jak bude vypadat, ukáže až čas.

5 Nutné komponenty a možné problémy

Při vlastní konstrukci elektromagnetického kolejnicového děla je nutné zvážit několik faktorů, které zásadně ovlivňují jeho funkčnost. Z hlediska použitých materiálů je třeba volit adekvátně s ohledem na síly, které zde působí. Výhodným se ukázalo použití projektilu, který měl nižší teplotou tání než kolejnice. Toto výrazně sníží poškození kolejnic, ať již při běžném výstřelu nebo v mezní situaci, kterou je například uváznutí projektilu. Setrvání projektilu mezi kolejnicemi je naprosto nežádoucím, avšak v rámci testování běžným jevem. Materiál svazující kolejnice musí mít dostatečné izolační vlastnosti a zároveň musí být schopen snášet vysoké teploty a tlaky.

Dalším důležitým faktorem je nastřelení projektilu mezi kolejnice. Toho může být dosaženo například stlačeným vzduchem, který projektilu udělí potřebnou rychlost pro překonání tření. Dalšími možnostmi předurýchlení je klasický výstřel nebo použití různých mechanických systémů. Lorentzova síla způsobí finální urychlení na požadovanou rychlost. Důležitým komponentem vlastní konstrukce je spouštění a elektrický obvod, dodávající proud do kolejnic. K dosažení vysokých proudů jsou používány kondenzátorová pole nebo homopolární generátory. Vojenská kolejnicová děla jsou jednou z největších motivací pro zdokonalování kondenzátorů, kladou extrémní nároky na kapacitu i napětí. Je nutné uvolnit velké množství náboje během velmi krátké doby. Celkově je tedy nutné dbát o minimalizaci časové konstanty obvodu RC , ale při dostatečně vysoké kapacitě. Musíme tedy minimalizovat odpor všech součástí. Při nástřelech projektilu je třeba zajistit dostatečnou těsnost pneumatického systému z důvodu vysokých tlaků. Z bezpečnostních důvodů je nutné provádět iniciaci výstřelu dálkově. V elektrických systémech spínajících obvod toho lze snadno dosáhnout. Pneumatický systém nástřelu projektilu lze spouštět například s pomocí magnetického ventilu.

Základním problémem jsou již zmíněné nároky na použitý materiál. Každý výstřel způsobuje značné opotřebení kolejnic. Z tohoto důvodu vznikají nerovnosti, které zvyšují tření a mohou způsobit uvíznutí projektilu. Při nedostatečně pevné konstrukci dochází vlivem magnetických odpudivých sil ke zvětšování mezery mezi kolejnicemi. Toto má za následek energetické ztráty při průchodu proudů projektilem a může vést až k úplnému přerušování urychlovacího obvodu.

6 Náš model a dosažené výsledky

Elektromagnetické kolejnicové dělo, vytvářené pro účely naší prezentace na fyzikálním semináři v letním semestru akademického roku 2010/2011 nebylo zamýšleno jako plně funkční přístroj, nýbrž jako konstrukční prototyp dostatečně demonstrující příslušný fyzikální princip. Náš prototyp postrádal systém pro nastřelování projektilu, tedy jen obtížně překonával tření o kolejnice. Kolejnice byly vyrobeny z hliníku a izolovány tvrzeným plexisklem. Byl použit $2kV$ zdroj, který nabíjel kondenzátor s parametry $1kV$, $450\mu F$. Obvod byl spouštěn pomocí buchadla. Jako projektily byly testovány tyto materiály: alobalová fólie, měděný drát a hliníkový plech, upravené do požadovaného průřezu 2 mm.

Prototyp splnil svůj účel a poskytl nám užitečné informace a náměty k řešení různých konstrukčních problémů a výběru používaných materiálů. Poskytl cenné zkušenosti při zapojování obvodu a posloužil jako pomůcka v rámci prezentace našeho projektu. Vlastní výsledky lehce přesahovaly očekávání. Bylo dosaženo nekolikamilimetrového posunu projektilu po dráze kolejnic, ač z tohoto experimentu není zřejmé, zda je za posun skutečně zodpovědná Lorentzova síla, či byl tento posun způsoben elektrotermicky.

7 Poděkování

Děkujeme panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za zapůjčení veškerých potřebných komponentů a panu Ing. Gabrielu Vondráškovi za pomoc při výrobě a testech našeho modelu. Bez zkušeností pana inženýra bychom se moc daleko nedostali.

Reference

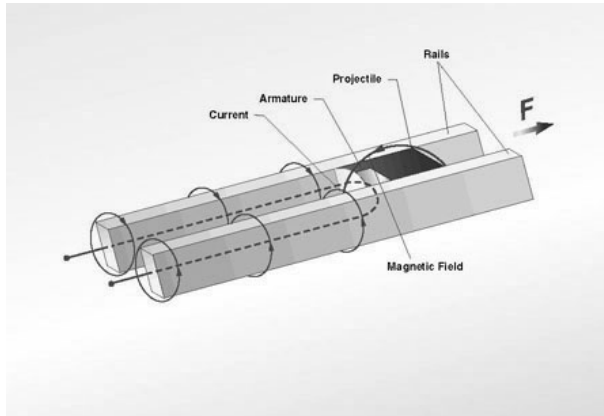
- [1] R. P. Feynmann, *Přednášky z fyziky*, Fragment, Praha (2000)
- [2] I. Štol, *Elektrina a magnetismus*, Vydavatelství ČVUT, Praha (1997)

[3] Kolektiv autorů, *Railgun*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Railgun>

[4] Sam Barros, *Power Labs Rail Gun*, <http://www.powerlabs.org/railgun.htm>

[5] Mathew Massay, *Railgun theory*, <http://www.matthewmassey.com/RailgunTheory.pdf>

[6] Jiří Hofmann, *Kolejnicové elektromagnetické dělo*, http://www.aldebaran.cz/bulletin/2008_10_bum.php



Obr. 1 Princip magnetického kolejnicového děla