

IGBT TRIGGERED COILGUN

Martin Kovařík

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xkova65@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Pavel Šteffan

E-mail: steffan@feec.vutbr.cz

Abstract: The coilgun is a device which ejects small projectiles at great speed only by using electromagnetism with maximal power 1,1kJ. This principle offers a much higher theoretical limit on muzzle velocity against conventional projectile propulsion mechanisms. In addition of an electromagnetic acceleration is possible to regulate output velocity/energy and acceleration applied on projectile. Precise regulation could be achieved with power IGBT transistors used in this project.

Keywords: IGBT, Coilgun, Electromagnetism

1 ÚVOD

Vývoj klasických zbraní se postupně zpomaluje, za poslední roky se většina vylepšení týkala aerodynamiky a kinetiky. Moderní zbraně, jako Barreta M82, dokážou vystřelovat projektily až 2,5x větší rychlostí než je rychlost zvuku. Nicméně postupem času budeme hledat technologii na urychlování projektilů na ještě vyšší rychlosti. Elektromagnetické urychlovače, jako kolejnicové a cívkové děla, nejsou limitované vlastnostmi rozpínání plynů a teoreticky nemají limity v dosažitelné rychlosti.

Coilgun [1], neboli cívkové dělo, je často označován jako zbraň budoucnosti především kvůli tomu, že výstřel je bez hluku a záblesku, také nepotřebuje střelný prach. Je to zařízení, které urychluje feromagnetický projektil pomocí cívky a pulzního zdroje proudu. Velký proudový impuls procházející přes cívku vytváří silné magnetické pole, které přitahuje feromagnetický projektil. Jakmile je projektil v cívce, proud je vypnut a projektil pokračuje v udaném směru daném počátečním zrychlením. Pokud by se proud nevypnul, docházelo by k následnému brždění projektilu (známé jako „suckback“). Ovšem efektivita těchto systémů se v současnosti pohybuje kolem 5%, což téměř znemožňuje jakékoli využití v praxi. Cílem této práce bude pokus o zvýšení efektivity s použitím moderních výkonových spínacích prvků.

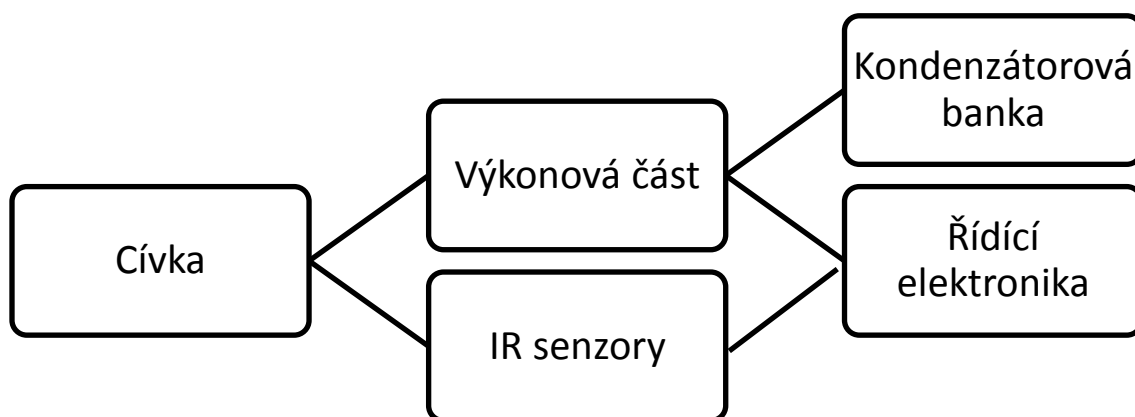
2 NÁVRH A REALIZACE CÍVKOVÉHO DĚLA

Pro spínání elektromagnetického děla je tedy vhodný prvek, který se dokáže vypnout a vydržet velké napětí a proudy. Tyto požadavky splňují výkonové spínací prvky jako Tyristor, MOSFET nebo IGBT tranzistor. Pro minimalizaci „suck back“ efektu je třeba mít spínač, který půjde vypnout. Z toho důvodu se stává tyristor nevhodný, přestože jeho napěťové i proudové parametry jsou nejlepší. Zbývá tedy MOSFET a IGBT tranzistor. Pokud uvažíme proudy v řádech stovek ampér, které budou protékat cívkou děla, stává se tak MOSFET nevhodným z důvodu nedostatečné proudové zatížitelnosti. Zbývá tedy IGBT tranzistor, který je sice pomalejší než MOSFET, ovšem nabízí výbornou proudovou zatížitelnost a je schopen vydržet velká závěrná napětí. IGBT tranzistor je vlastně bipolární tranzistor řízený tranzistorem MOSFET a má podobné parametry jako tyristor. Pro aplikaci byl zvolen bezpotenciálový modul Toshiba MG400Q1US41 [2], který je dimenzován na průrazné napětí 1200V a 400A trvalého proudu, ztrátový výkon 2400W.

Po zvolení tranzistoru je třeba vzít v potaz, že takto velký tranzistor vyžaduje pro správnou funkci korektní budič IGBT. [3] [4] Jedná se o obvod zesilující řídicí signály na napěťové a proudové úrovni potřebné ke správnému sepnutí tranzistoru. Výstup budiče je připojen na hradlo a emitor buzeného tranzistoru. Základní úlohou budiče IGBT je zajistit galvanické oddělení na rozhraní mezi řídicími a výkonovými obvody měniče. Toto galvanické oddělení je kritické pro správnou funkci celého obvodu, protože každý tranzistor se nachází na jiném napěťovém potenciálu. V mém případě jsou tranzistory posunuté o 450V. Pro elektrickou izolaci se využívá optočlenů nebo transformátorů.

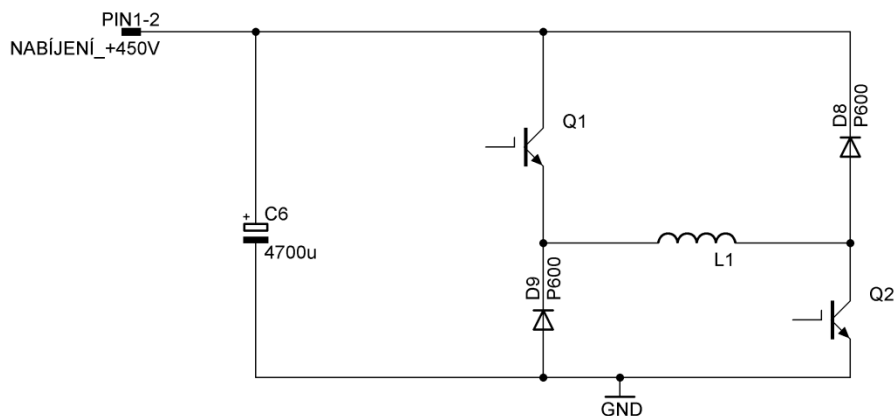
Při návrhu budiče je tedy třeba zohlednit galvanické oddělení signálové a výkonové části, použité napájení a minimální kapacitu mezi vstupem a výstupem z důvodu minimalizace kapacitního proudu přes optočleny.

1.1. BLOKOVÉ SCHÉMA



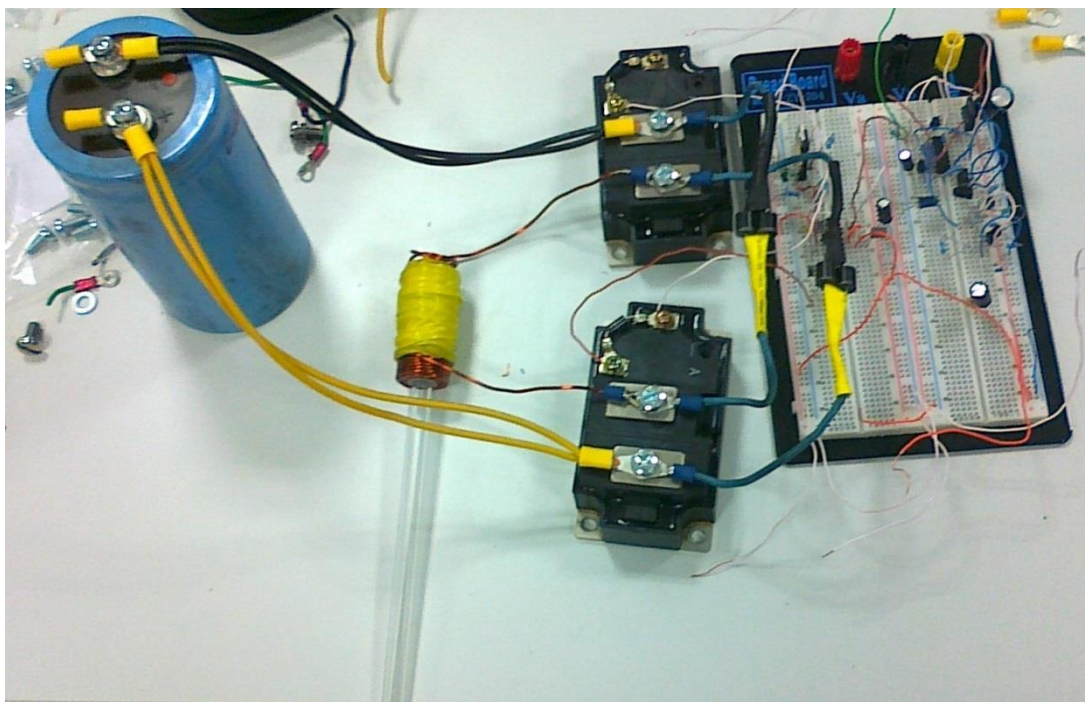
Obrázek 1: Blokové schéma Cívkového děla

1.2. FUNKCE OBVODU



Obrázek 2: Zapojení výkonové části Cívkového děla

Funkce samotného výkonového obvodu je z principu jednoduchá. Obrázek 2 ukazuje výkonový obvod použitý pro spínání proudu do cívky. Na pin NABÍJENÍ_+450V se přivádí napětí z nabíječky, které nabíjí hlavní kondenzátor – zdroj proudu pro cívku. Jako topologie zapojení je použit jednočinný propustný měnič o jednom směru proudu a dvou polaritách napětí. Při sepnutí obou tranzistorů začne cívkou procházet proud. Po vypnutí tranzistorů se obrátí napětí na cívkě a přes diody se nevyužitá energie z cívky předá zpátky do kondenzátorové banky. Díky této topologii zde lze snadno provádět regulaci proudu. Regulace proudu pomůže linearizovat proud, který poteče přes cívku a také ochrání IGBT tranzistory před přetížením.



Obrázek 3: Zapojení testovacího prototypu

Obrázek 3 ukazuje sestavený testovací prototyp děla s jednodušší verzí budiče bez použití obvodu ACPL 337J. Na prototypu byla vyzkoušená celková funkce obvodu za sníženého napětí na kondenzátoru na maximum 200V. I se sníženým napětím a nedokonalým budičem IGBT se podařilo obvod vyladit na ústřovou rychlost 22m/s. Obvod také nespotřebuje pro výstřel všechnu energii v kondenzátoru, což bude výhodné pro opakované výstřely. Rekuperace energie uložené v cívce funguje také, ale není příliš markantní z důvodu nízké indukčnosti cívky.

3 ZÁVĚR

Na konstrukci cívkového děla jsem si vyzkoušel, jak se pracuje s moderními výkonovými součástkami a sestavil testovací prototyp schopný výstřelu. Dále jsem navrhl korektní budič IGBT, který se bude v nejbližší době ožивovat pro testy na děle. Díky galvanicky oddělenému budiči bude cívkové dělo schopno pracovat na plné napájecí napětí, což by mělo zajistit vyšší ústřové rychlosti. Navíc galvanicky oddělený budič zajistí bezpečné sepnutí IGBT tranzistorů bez hrozby jejich zničení. Celý návrh je zamýšlen jako modulární stavebnice, kdy pro zvýšení výkonu se pouze přidá další urychlovací stupeň bez zásahů do předchozího stupně.

REFERENCE

- [1] Coilgun. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2001- [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Coilgun>
- [2] Toshiba IGBT. In: *Datasheet* [online]. 2003 [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/31060/TOSHIBA/MG400Q1US41.html>
- [3] PATOČKA, Miroslav a Pavel VOREL. *Budiče výkonových tranzistorů MOSFET a IGBT* [online]. VUT Brno, 2004 [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04030/index.html>. Článek. VUT Brno.
- [4] PATOČKA, Miroslav. *Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice*. Vysoké učení technické v Brně: Vutium, 2011. ISBN 8021440031, 9788021440036.