

Gaussova puška v1.9

R. Kubín, J. Čada, J. Gvoždiak

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

kubinros@fjfi.cvut.cz

Abstract

Cílem tohoto projektu je navázat na předchozí pokus a sestavit Gaussovu pušku, tentokrát s vyšší energií střely v přenosné podobě.

1 Úvod

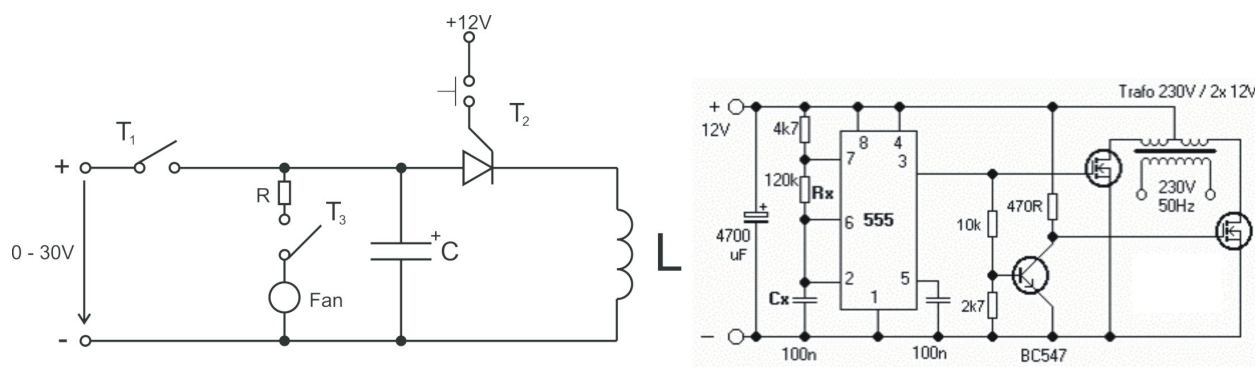
Gaussova puška (Coilgun) je založena na jednoduché myšlence použití elektromagnetů k urychlení kovového projektilu na vysokou rychlost. Historie Gaussovy pušky se datuje až do začátku 20. století, kdy byla poprvé patentována. Konkrétně Kristianem Birkelandem v roce 1904.

Princip Gaussovy pušky je jednoduchý. Základem celé konstrukce je cívka. Nejčastěji namotaná na hlavní zbraně. Před cívku je umístěn projektil z magnetického materiálu. Na cívku se přivede proud a projektil se začne hýbat do středu cívky. V okamžiku, kdy projektil dosáhne středu cívky se cívka musí vypnout, jinak by cívka začala projektil brzdit. Pokročilejší varianty počítají se soustavou cívek, které jsou za sebou na hlavní. Projektil je postupně vtahován do následujících cívek a tím je více a více urychlován. Toto uspořádání má oproti jedné cívce několikanásobnou účinnost, ale je velmi složité na řízení cívek, protože i sebemenší prodlení ve vypnutí, či zapnutí cívky způsobí zpomalení, či nedostatečné zrychlení projektilu.

2 vojenské využití

Plány na vojenské využití Gaussovy pušky existují. Najdeme informace o několika projektech, které se zajímají konstrukcí těchto zbraní. Ovšem všechny projekty zatím trápí velká neefektivita oproti klasickým střelným zbraním. Hlavní nevýhodou je velmi vysoká složitost a s tím spojené nároky na údržbu. Nezanedbatelný problém je v přesném nastavení cívek a asi největší problém je zdroj elektrické energie pro proud do cívek.

Tedy i s využitím nejmodernějších technologií zatím není výhodné Gaussovu pušku využívat, ale po dalším zdokonalení by mohla nahradit klasické zbraně. V současnosti se její větší verze experimentálně používá jako dělo, nikoli jako přenosná puška, což je jen pár kroků od skutečně využitelné a efektivní pušky.



Obr. 1: Schéma zapojení Gaussovy pušky s výstupním napětím 30 V nalevo a výstupním napětím 120 V napravo

3 Gaussova puška se zapojením jedné cívky

V prvním semestru jsme se pokoušeli sestavit základní verzi Gaussovy pušky. V obvodu (Obr. 1) jsme měli zapojen zdroj napětí, který nám poskytoval až 30 V. Ten nám nabíjel kondenzátory. Nabily se na $13\,000\ \mu\text{F}$ a téměř okamžitě se zas vybilý přes tyristor. Tyristor je v obvodu klíčový, protože spínání proudu mechanicky je nemožné. Spínač by se zničil, resp. vydržel by jen jeden výstřel a energie by se nespoteřebovala na urychlení projektilu. Po sepnutí tyristoru je projektil vtažen elektromagnetickou silou do středu cívky. Proudový impuls musí být krátký a silný. V okamžiku, kdy je projektil ve středu cívky už musí být kondenzátory zcela vybité, jinak by magnetické pole projektil naopak brzdilo. To je taky důvod, proč cívka musí mít relativně velký počet závitů, ale malou délku. V trubici jsme měli zakomponované světelné závory, pomocí kterých jsme mohli měřit čas, za který projektil proletěl závorou. Pak už jsme lehce mohli dopočítat rychlost a energii vystřeleného projektilu. Za pomoci těchto údajů a znalosti energie nabitých kondenzátorů jsme určili účinnost přenosu energie z kondenzátorů přímo na urychlení projektilu. V těch zdařilejších pokusech jsme dosahovali i účinnosti pěti procent. Jako bezpečnostní pojistku jsme v obvodu měli implementován malý větráček, který nám pomohl vybit zbytkovou energii kondenzátorů.

Byli jsme s tímto projektem úspěšní, a proto jsme se s ním chtěli pokračovat i v tomto semestru.

4 Gaussova puška se zapojením více cívek

Mezi naše nápady na vylepšení patřilo třeba to, aby zbraň byla přenosná. V naší první verzi docházelo k velkým ztrátám energie díky vysokému koeficientu tření. Hlaveň jsme nahradili téměř dokonale hladkou trubicí s nízkým třením. Chtěli jsme také vytvořit vícestupňovou zbraň, tzn. přidat do hlavně více cívek, které by urychlovali projektil. Když jsme zkusili zapojit dvě cívky za sebou, tak se ovšem projektil nepohnul. Příčinou byla přítomnost elektromagnetického pole u první cívky, které táhlo projektil zpět. Nejdůležitější vylepšení, do kterého jsme se pustili, bylo to, že bychom obvod připojili na mnohonásobně vyšší napětí. Z původních 30 V až na 200 V. Ze vzorce (1) je vidět, že energie E na kondenzátorech o kapacitě C stoupá s druhou mocninou napětí U , takže

bychom dosáhli mnohem vyšších rychlostí projektilu. Nakonec se nám ovšem konstrukce nepodařila.

5 Nápady a konstrukce

Během konstrukce druhého modelu Gaussovy pušky jsme se pokusili o několik již zmíněných a pár dalších inovací. Jednalo se především o samostatné nabíjení pušky, změna z deskové verze na přenosnou, přechod na vyšší napětí a přidání dodatečné cívky. Samotný princip a základní design Gaussovy pušky byl ovšem zcela totožný s naším předchozím modelem.

Změna deskové verze na přenosnou byla vcelku jednoduchou záležitostí. Použili jsme bývalou vodní pistoli, do které jsme byli schopni nalepit kondenzátory, napájecí obvod, obě dvě cívky s hlavní a potřebné spínače. Tato jediná část konstrukce se obešla bez jakýchkoliv problémů. Samostatné nabíjení pušky jsme nejprve zkusili pomocí nabíjecího mechanismu postaršího externího blesku z fotoaparátu. Bohužel blesk nebyl schopen nabít naše kondenzátory na více než 40 V což bylo naprosto nedostačující. Dalším pokusem pak bylo nabíjení přes 12V baterie. Integrovaný obvod v něm změnil stejnosměrné napětí z laboratorního zdroje na stejnosměrné a transformátor následně převedl napětí z 12 V na cílených 230 V. Samotný obvod se nám podařilo vyrobit bez větších problémů, ovšem transformované napětí mělo frekvenci téměř 3 kHz místo očekávaných necelých 50 Hz. Tento problém se nám ovšem nepodařilo odstranit, místo samostatného napájení jsme tak byli nuceni používat laboratorní zdroj vysokého napětí.

Přechod na vyšší napětí byl relativně jednodušší záležitostí. V tomto případě jsme ovšem přecenili kvalitu našich součástek. Tyristory, které jsme měli k dispozici nedokázaly zvládnout vysoké hodnoty proudu v obvodu při výstřelu. Naše Gaussova puška tedy byla schopna střelby ovšem se spálením tyristoru při výstřelu.

O zapojení dvou cívek jsme se pokusili pomocí světelné závory, která měla zapnout druhou cívku ve správný okamžik. Jedinou komplikací bylo, že světelná závora měla opačnou logickou hodnotu než jsme potřebovali. Bohužel jsme v této fázi již neměli dostatek času na přidání NOT brány do obvodu a kalibrace vzdálenosti cívek.

6 Porovnání minulých a předpokládaných výsledků

Oproti minulému projektu [1], kdy jsme pracovali s napětím U o velikosti 30 V a s kapacitou kondenzátorů C o velikosti $13600 \mu F$ jsme zvýšili výstupní napětí na 230 V. Kvůli nepovedenému pokusu, kdy jsme z obvodu (Obr. 1) získali frekvenci o velikosti téměř 3 kHz místo očekávaných 50 Hz, se nám nepodařilo naměřit žádné hodnoty. U druhého pokusu, kdy jsme využívali laboratorní zdroj s nastaveným napětím U o velikosti 120 V, jsme si dopočítali energii na kondenzátorech podle vztahu

$$E = \frac{1}{2}CU^2 \quad (1)$$

a teoretickou maximální rychlost projektilu podle vztahu

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2E}{m}}. \quad (2)$$

Již v minulém projektu jsme si ověřili chování obvodu a proto při 50% ztrátě získáváme rychlost projektilu $v_{max} = 44,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. V Tab. 1 jsme shrnuli naměřené výsledky z minulého projektu a předpokládané výsledky s novým zapojením.

	U_1 [30 V]	U_2 [120 V]
E [J]	6,12	97,9
v_{max} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	11,5	44,3

Tab. 1: Předpokládaná energie E a rychlost projektilu v při účinnosti 5 %

7 Závěr

Projekt nebyl dokončen z důvodu zničení tyristoru při příliš vysokém napětí a z důvodu nefunkčnosti obvodu, kdy jsme na výstupu zařízení naměřili frekvenci téměř 3 kHz. Při pokusu vytvořit přenosnou formu Gaussovy pušky jsme selhali na zdroji napájení, kdy jsme si neověřili výstupní napětí na blesku, které činilo 40 V. Oproti minulému projektu, kdy se nám podařilo splnit všechny naše body, jsme se poučili do budoucna s lepším rozpoložením času, který nám chyběl k napravení chyb. Do příště bychom doporučili zapřemýšlet o zvýšení účinnosti Gaussovy pušky nejen zvýšením napětí, ale také např. zvětšením indukčnosti jednotlivých cívek (např. navinutí bifilární cívky), nalezením vhodného projektilu z feromagnetického materiálu nebo snížením tření mezi projektilem a hlavní.

8 Reference

- [1] R. Kubín a kol., *Gaussova puška*, <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2016-2017/Zima16/proc/GaussP.pdf>
- [2] Anonym, *Cívková pistole - coil gun 450J*, <http://danyk.cz/pistol.html>
- [3] B. Hensen, *Barry's Coilgun Design Site*, <http://www.coilgun.info/about/home.htm>