

# Gaussova puška

R. Kubín, A. Vrška, J. Čada, J. Gvoždiak

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

kubinros@fjfi.cvut.cz

## Abstract

V tomto projektu se budeme snažit sestrojít jednoduchý model zařízení, který bude demonstrovat funkci Gaussovy pušky. Armády několika zemí světa se snaží implementovat tuto technologii do praxe již několik let. Chceme nastínit základní řešení tohoto problému a pokusit se o jeho demonstrativní provedení. To spočívá v urychlení projektilu z vhodného feromagnetického materiálu elektromagnetickým polem pomocí dvoustupňového cívkového aparátu, umístěném na plastové trubici dlouhé cca 30 cm. Vše bude upevněno na ploché desce, vyrobené ze dřeva o rozměrech zhruba 50x40 cm. Na konci desky se bude nacházet terč vystlaný polystyrenem k minimalizování nebezpečí odražení projektilu. V tomto projektu jsme úspěšně sestrojili model Gaussovy pušky s rychlostí projektilu  $11,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . V letním semestru máme v plánu sestrojít přenosnou verzi Gaussovy pušky.

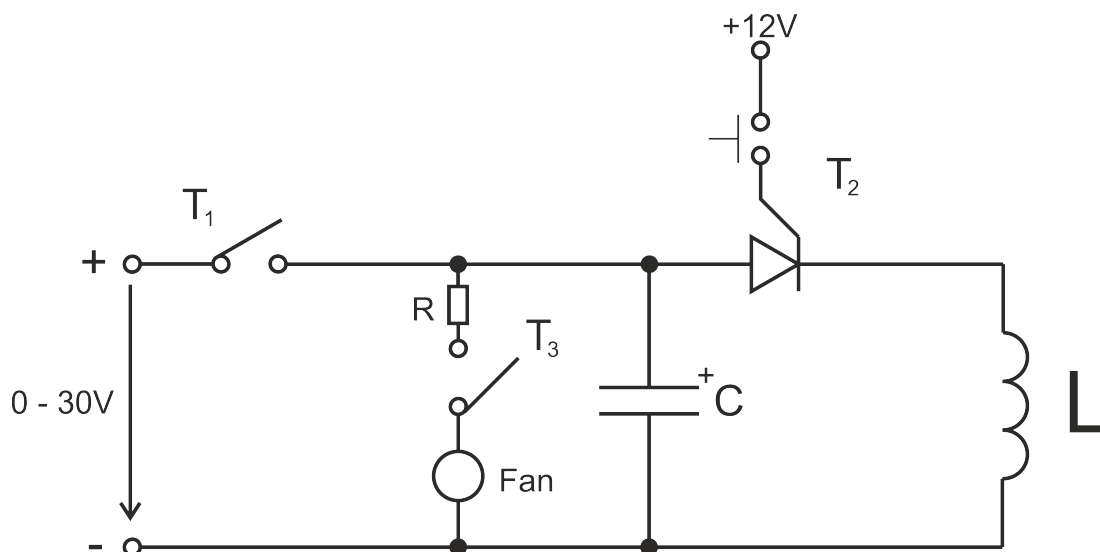
## 1 Úvod

Gaussova puška, coilgun neboli cívková pistole je zařízení na bázi urychlení projektilu pomocí elektromagnetického pole. První zmínky o zákonech elektromagnetismu spojené s tímto zařízením pochází z přelomu 18. a 19. století od Johanna Carla Friedricha Gausse, německého matematiky a fyzika. Cílem projektu bylo přimět hřebík, aby se pohnul pomocí elektromagnetického pole generovaného cívkou, dále vytvořit jednoduchý matematický model, podle kterého dokážeme dopočítat hodnoty pro získání největší účinnosti zařízení a zanalyzovat naměřené hodnoty.

## 2 Naše konstrukce

Celý obvod je tvořen kondenzátory o kapacitě  $13800 \mu\text{F}$ , tyristorem, spínačem, dvěma vypínači a cívkou. V principu se kondenzátory nabijí ze zdroje stejnosměrného napětí. Kondenzátory jsou v našem případě zapojeny paralelně k navýšení celkové kapacity a to nám zaručuje proud o velikosti 35 A. Tyristor nám slouží jako spínač. Umožňuje průchod proudu, když se na řídicí elektrodu (gate) přivede napětí o velikosti 12 V. V momentě, kdy spínačem ( $T_2$ ) sepneme tyristor, proud z kondenzátorů se vybijí skrze cívku do zkratu. Vypínač ( $T_1$ ) nám chrání zdroj, aby nedošlo ke zkratu zdroje, ze kterého jsou napájeny kondenzátory. Jakmile prochází proud cívkou, naindukuje se elektromagnetické pole. Pomocí Ampérova pravidla pravé ruky dokážeme určit orientaci magnetických indukčních čar při průchodu elektrickým proudem cívkou. Pro bezpečné vybití je do obvodu zapojen

skrze vypínač ( $T_3$ ) větráček (Fan), na kterém je umístěn i terč, do kterého se zabodávají projektily.

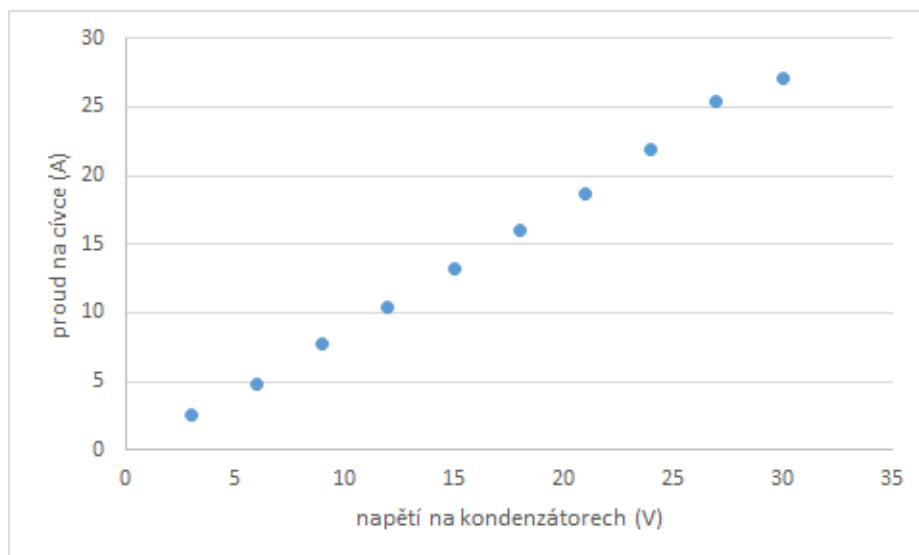


Obr. 1 Schéma zapojení.

V našem případě jsme jako projektily využili hřebíky o váze 0,25 g a 0,35 g s délkou 2,9 cm, 3,1 cm a 3,8 cm. Při výběru projektilu bylo cílem získat takový projektil, který by byl z kvalitního feromagnetického materiálu o nízké váze, nízkou cenou, nejmenším odporem vzduchu a dostupností. V našem případě neznáme typ materiálu projektilů, a proto se domníváme, že velká ztráta energie je způsobena materiálem projektilu. Do budoucna bychom chtěli vyzkoušet nitrído titanové a pochromované jehly. Jejich odpor je daleko menší, váha je o čtvrtinu nižší, ale jejich délka dosahuje až 4 cm [1].

### 3 Měření

V obvodu jsme měli zapojeny tyto měřicí přístroje: Osciloskop, který fungoval v našem obvodu jako voltmetr. Měli jsme ho zapojený na cívce, kde měřil protékající napětí. Museli jsme použít právě osciloskop, protože je schopen zachytit proudové impulsy i v krátkém časovém intervalu. Jako další jsme měli v obvodu voltmetr, který nám měřil napětí na kondenzátorech. Třetí měřicí přístroj (světelnou závoru) jsme měli seřízenou ústí hlavně, ze které se vystřeloval projektil. Světelná závora měří čas, za který projektil proletěl skrz její senzor.



Obr. 2 Závislost proudu cívkky na napětí kondenzátorů.

Vytvořili jsme graf závislosti proudu v cívkce na napětí, které je na kondenzátorech. Tento graf se řídí Ohmovým zákonem, tudíž kdybychom proložili křivku body grafu, dostali bychom lineární závislost. Ještě před měřením jsme si chtěli teoreticky spočítat, jakých hodnot bychom mohli dosáhnout. Věděli jsme, že máme kondenzátory o celkovém napětí  $13600 \mu\text{F}$ . Energie nabitou na kondenzátorech můžeme tedy jednoduše spočítat podle vzorce  $E = \frac{1}{2}CU^2$ . Při napětí 30 V bychom tedy měli energii na kondenzátorech přibližně 5 J. Při 32 V pak 5,8 J a konečně při 35 V 6,9 J. Další s parametrů obvodu, co jsme si chtěli spočítat, byla indukčnost cívkky. Tu jsme si namotali sami měděným drátem o průřezu 1,5 mm. Cívka měla délku 1 cm, počet jejích závitů se rovnal 150 a její průřez byl  $1,5 \text{ cm}^2$ . Z těchto údajů jsme už jednoduše spočítali její indukčnost, tedy podle vzorce:  $L = \frac{N^2S}{l} = 260 \text{ mH}$ . Také nás zajímal čas, za který se energie nabitá na kondenzátorech přesune na náš projektil, ta činí dle vztahu  $t = 2\pi\sqrt{LC} = 4 \text{ ms}$ . Veličina, která nás ovšem nejvíce zajímala, byla rychlost projektilu. Podle vzorce  $v_{max} = U\sqrt{\frac{eC}{m}} = 20,4 \text{ ms}$  můžeme vidět, že rychlost projektilu závisí přímo úměrně na napětí na kondenzátorech, kapacitě kondenzátorů a účinnosti, se kterou se energie předá z kondenzátorů na samotný projektil. Tu jsme zjistili z literatury [2]. Nepřímo pak závisí na hmotnosti projektilu, tudíž nejlepších výsledků jsme dokázali s naším nejlehčím projektil, který měl hmotnost 0,25 g.

Když se podíváme do tabulky, do které jsme zanesli čas pro deset měření, zjistíme, že průměrný čas, za který projektil procestoval světelnou závorou, byl 2,5 ms. Jednoduše dopočítáme rychlost projektilu  $v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = 11,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Vidíme tedy, že naše změřená rychlost je prakticky poloviční oproti teoretickým hodnotám. To je dozajista způsobeno ztrátou energie, která se spotřebovala při tření projektilu o stěnu hlavně, odporem vodičů, nedokonale navinutou cívkou, či samotným projektil, který nejspíše nebyl z plně feromagnetického materiálu.

U [31,5 V]	
měření	čas [s]
1.	0.0021
2.	0.0003
3.	0.0022
4.	0.0006
5.	0.0023
6.	0.0033
7.	0.0045
8.	0.0058
9.	0.0015
10.	0.0026
$t_{prm}$	0.0025 ms
$v$	11.5 m/s

Obr. 3 Naměřené hodnoty.

## 4 Závěr

Celkově tedy můžeme říci, že jsme s projektem spokojeni. Naším cílem bylo, aby se projektil vůbec pohnul, to se nám tedy nadmíru podařilo: nejen, že se projektil pohnul, nýbrž i vystřelil z hlavně. Tato skutečnost nám dala motivaci, abychom v tomto projektu pokračovali i případně v dalším semestru, kde bychom chtěli zahrnout do projektu i pár vylepšení. Například bychom chtěli zkusit namotat bifilární cívku, použít plně feromagnetický materiál (nitrido titanový projektil), vylepšit tvar naší hlavně, aby zde nedocházelo k takovým ztrátám energie. Také bychom se pokusili, aby naše puška byla lépe přenosná, popřípadě bychom na hlaveň nainstalovali více cívek za sebou, aby zrychlení projektilu bylo ještě větší. Ovšem to hlavní vylepšení v dalším semestru by bylo, že bychom do obvodu přivedli větší napětí. Pro zajímavost jsme si i dopředu spočítali, jakých energií bychom mohli dosáhnout. Při pouze 10krát větším napětí bychom dosáhli téměř 100násobné energie na kondenzátorech, to je dáno druhou mocninou ve vzorci pro energii u napětí. Celkově tedy můžeme říci, že se nám projekt zdařil.

## 5 Reference

- [1] B. Hensen, *Barry's Coilgun Design Site*, <http://www.coilgun.info/about/home.htm>
- [2] Anonym, *Cívková pistole - coil gun 450J*, <http://danyk.cz/pistol.html>