

# Elektromagnetické dělo

Ondřej Budil, Jaroslav Rozmuš, Lukáš Kalina  
Vedoucí projektu: Jakub Dvořák (Elektrokuba)

Soustředění mladých fyziků a matematiků  
Nekoř 11. 7. 2023

---

## Anotace

Tato práce popisuje výrobu elektromagnetického děla. V první řadě se věnuje Teoretickému rozboru činnosti principu na kterém dělo pracuje. Dále popisuje zapojení dílčích komponent a jejich instalaci. Celá práce obsahuje různé postřehy a poznámky, aby mohla sloužit jako návod k sestavení výsledného zařízení.

## Poděkování

V první řadě bychom chtěli poděkovat Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy, sponzorům a organizátorům soustředění. Zároveň bychom chtěli vyjádřit vděčnost vedoucímu našeho projektu, Jakubu Dvořákovi.

## Obsah

1	Úvod	3
2	Cívkové dělo	3
3	Praktická část	5
3.1	První prototyp	5
3.2	Druhý prototyp	7
3.3	Třetí prototyp	8
3.4	Návod pro zapojení	9
4	Závěr	10

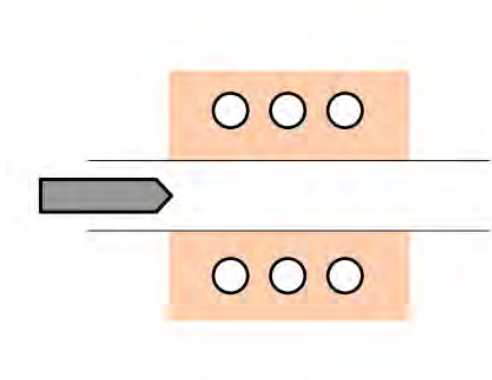
# 1 Úvod

Cílem našeho projektu je vytvořit funkční elektromagnetické dělo malých rozměrů. Chtěli bychom nejdříve vytvořit malé dělo na malé napětí a postupně z jednostupňového děla udělat víceúrovňové a zvyšovat napětí na kondenzátorech. v závěru projektu bychom rádi změřily ústové rychlosti jednotlivých prototypů a porovnali různé materiály na výrobu projektilu

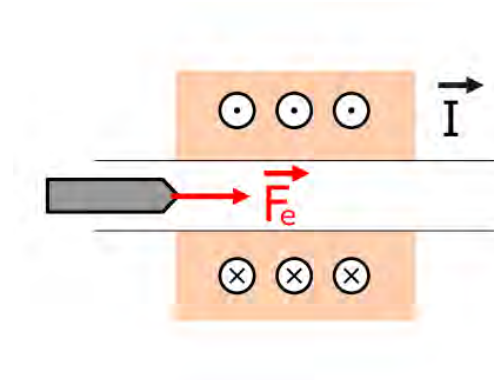
Typické střelné zbraně využívají k urychlení projektilu rozpínající se plyn, zatímco cívkové dělo používá k urychlení projektilu elektromagnetickou sílu. Elektromagnetická děla se dělí na dva typy tzv. kolejnicová děla a cívková děla. Kolejnicová děla urychlují projektil, který vodivě spojuje dvě kolejnice. Kolejnicemi prochází velký proud, jehož elektromagnetické pole urychluje projektil. Tento design ale není vhodný pro náš projekt, je totiž zapotřebí příliš velkého elektrického proudu, toto řešení je vhodné pro vojenské účely. Z toho důvodu jsme se rozhodli sestavit cívkové dělo které je jednodušší na sestavení. [3]

## 2 Cívkové dělo

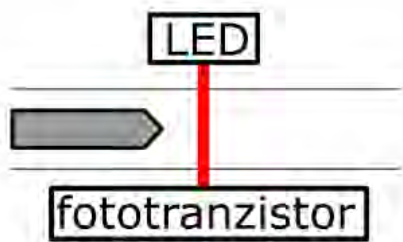
Na obrázku 1 lze vidět průřez hlavní jednoduchého cívkového děla. Cívka je namotána na hlavni, má světle hnědou barvu. Projektil je zobrazen v počáteční pozici, má šedou barvu. Na obrázku 2 už prochází cívkou elektrický proud, tím pádem v jejím okolí vznikne poměrně silné elektromagnetické pole. Důsledkem tohoto pole je feromagnetický projektil přitahován směrem do středu cívky. [4]



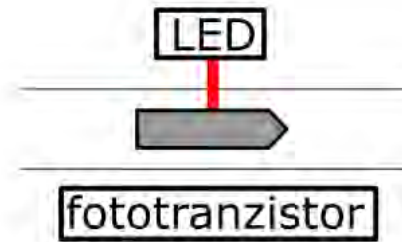
Obrázek 1: dělo před výstřelem



Obrázek 2: dělo při výstřelu



Obrázek 3: optron-1

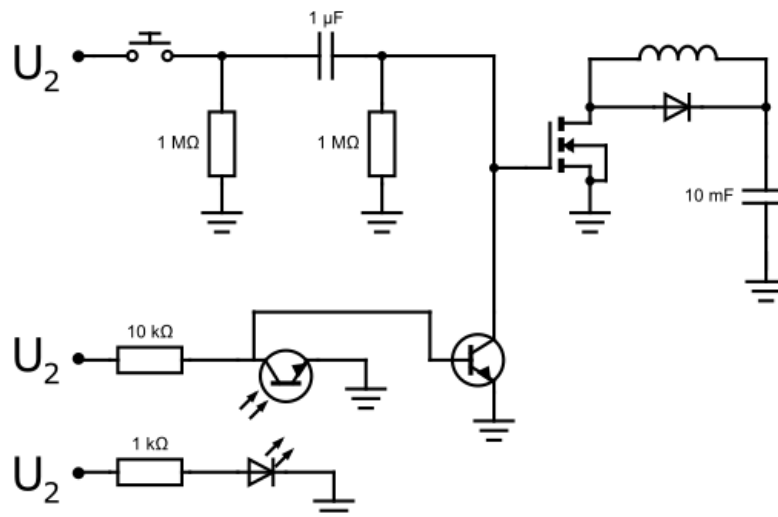


Obrázek 4: optron-2

Jakmile se projektil dostane do středu cívky, musí být cívka odpojena od zdroje napětí. Pokud by k odpojení nedošlo, projektil by nebyl vymrštěn, ale začal by oscilovat okolo středu cívky. Chceme-li tomuto zabránit, musíme ve správný moment cívku odpojit od zdroje napětí. Na to jsme použili fototranzistor a LED. Fototranzistor je součástka, která nechává procházet proud, pokud je osvětlován dostatečným množstvím světla. Na obrázku 3 je vidět pozice projektilu před výstřelem. A na obrázku 4 projektil přerušil paprsek světla mezi LED a fototransistorem, tuto změnu lze využít jako signál pro odpojení cívky od napájení. [1]

## 3 Praktická část

### 3.1 První prototyp



Obrázek 5: Schéma 1. prototypu

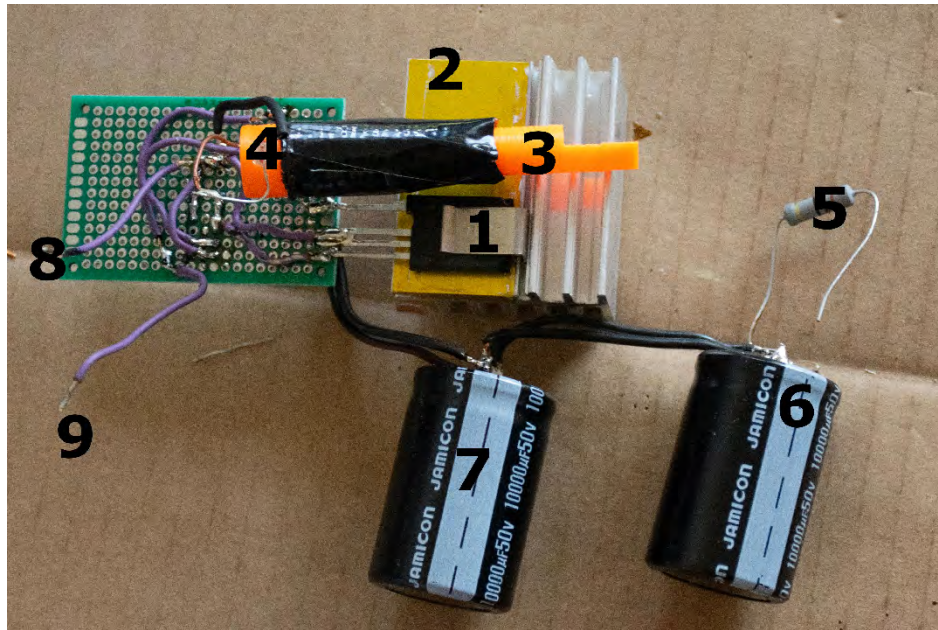
Výše na obrázku 5 lze vidět schéma zapojení našeho obvodu. Níže lze vidět fyzické zapojení téhož obvodu 6 z vrchní části a 7 ze spodní části. 6 ukazuje zapojení magnetického děla (3) v obvodu. Cívka, která je obmotána kolem hlavě (3) je navedena na tranzistor (1) a kladný pól kondenzátoru.

Hlaveň děla jsme se rozhodli vytisknout na 3D tiskárně, plní totiž několik funkcí najednou. Slouží jako jádro k navynutí cívky, dále obsahuje otvory, do kterých je zasazena infračervená LED a fototranzistor. I přes to, že je fototranzistor nejcitlivější na infračervenou část spektra, tak může reagovat i na okolní světlo. Takže toto záření musí být odstíněno od okolního světla .

Kondenzátory (6, 7), jsou zde 2 v paralelním zapojení, každý z nich má kapacitu 10 mF a lze je nabít na napětí 50 V. Druhý kondenzátor slouží ke zvýšení maximálního proudu. Následně je zde tranzistor (1), který je připevněný na hliníkový chladič (2). Kvůli velkému napětí na kondenzátorech a malému odporu cívky prochází po krátký čas velký elektrický proud, až 50 A. LED (4) vyzařuje infračervené světlo, které je snímáno fototranzistorem a přerušováno pokud je mezi LED a fototranzistorem projektil, proud světla se přeruší, čímž se přívod proudu do cívky utne a cívka tím pádem již nebude přitahovat projektil. Rezistor (5), připájen ke kondenzátoru (6) zabraňuje příliš rychlému nabíjení, čímž prodlužuje životnost kondenzátoru. Nakonec jsou zde dva kabelové

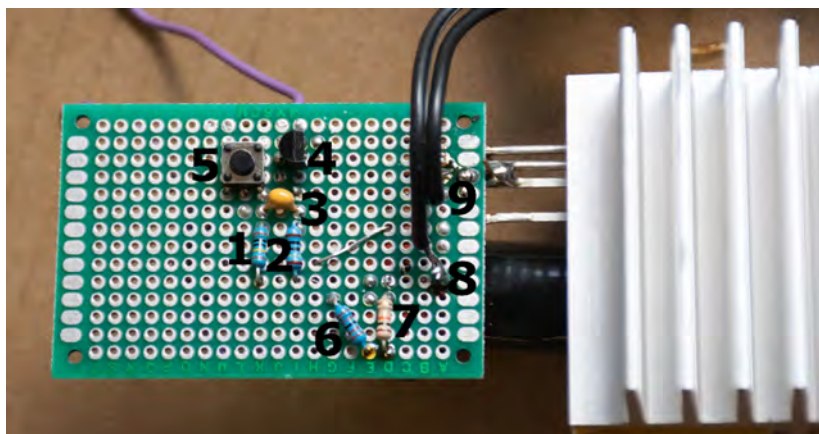
---

vývody (8, 9). První kabelový vývod (9) vede kladný pól ze zdroje a druhý kabelový vývod (8) je připojen k zápornému pólu zdroje. Zdroj je stejnosměrný proud o hodnotě cca 15V. [2]



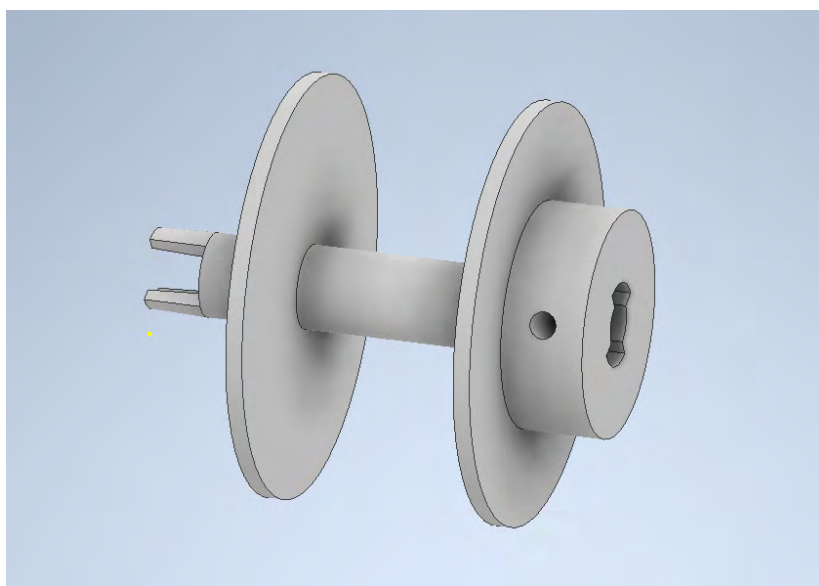
Obrázek 6: prototyp-1.1

7 ukazuje zapojení obvodu a jeho částí. Vše začíná tlačítkem (5), kde po jeho sepnutí se ze zdroje (uvedený výše) pustí proud do malého kondenzátoru (3), který impulzem o délce  $T=RC$  (s) otevře tranzistor a tím pádem vznikne i proudový impuls v cívce. Včasné uzemnění obvodu, tak aby neproudil do cívky další proud zařizuje tranzistor (4), který se sepne poté, co foto-tranzistor (6 nacházející se pod dělem) zaznamená průchod projektilu, čili přerušení vedení infračerveného záření z LED (6 4). Rezistor (6), který nabývá odporu  $10\text{ k}\Omega$  zabraňuje projetí proudu do foto-tranzistoru (6 nacházející se pod dělem), dokud se onen foto-tranzistor nesezne. Rezistor (7), který nabývá odpor  $1\text{ M}\Omega$  slouží k ochraně LED, která by nemusela vydržet napětí ze zdroje (Uvedeného výše). (9, 8) jsou kabely, které vedou proud z kondenzátorů do obvodu, který ten proud následně posílá do cívky.



Obrázek 7: prototyp-1.2

### 3.2 Druhý prototyp



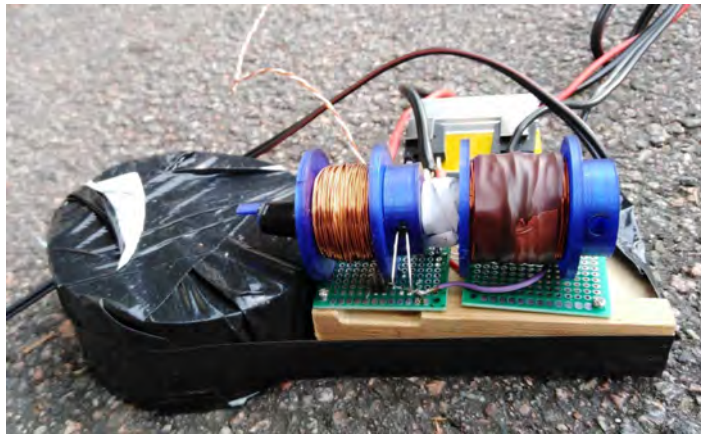
Obrázek 8: Hlaveň 2

Druhý prototyp byl pozměněn pouze o design hlavě a velikosti cívky. Rozhodli jsme se pro silnější ale kratší cívku. Výběr cívky je poměrně komplikovaný. Žádoucí je, aby cívka vytvořila co nejsilnější magnetické pole. Větší počet závitů dokáže potenciálně vytvořit silnější pole, ale cívka nesmí mít příliš velký odpor. Ideální parametry cívky by bylo možné spočítat, ale vzhledem k rozsahu naší práce jsme se rozhodli tyto parametry odhadnout. Zároveň jsme zvětšili konec hlavě pro snadnější montáž LED a foto-tranzistoru. Přidali jsme další 2 nasazovací díly, které ohraničují cívku. Model hlavě je vidět na obrázku 8. Zároveň bylo dělo utvořeno tak, aby bylo možno na něj připojit další obdobné dělo. Změnou prošly i projektily, kde jsme vyměnili uříznuté části šroubu za úzkou ocelovou tyč.

---

### 3.3 Třetí prototyp

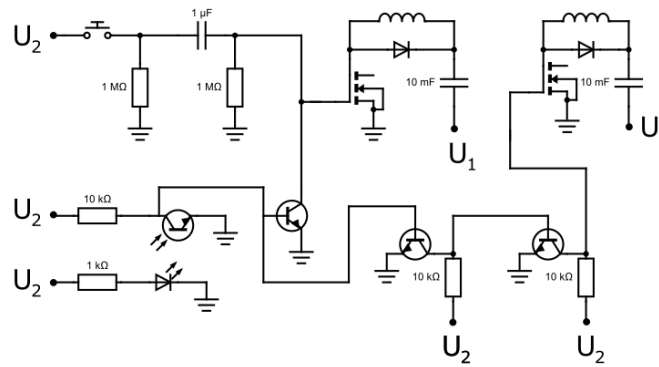
U třetího prototypu jsme se rozhodli rozšířit náš dělo o další stupeň. Toto zapojení nechá druhou cívku vytvořit magnetické pole v moment, kdy se projektil nachází za foto-tranzistorem a LED. V okamžik, kdy se odpojí první cívka od zdroje napětí, následující cívka se naopak zapne. Vypíná se až ve chvíli, kdy projektil už nebude přerušovat světlo proudící mezi LED a foto-tranzistorem proto je velmi důležitá správná délka projektilu.



Obrázek 9: Prototyp 3

Součástí třetího prototypu byl test větších kondenzátorů, s kapacitou 10 mF a maximálním napětí 450 V. Postupně jsme kondenzátory nabíjeli na různé hodnoty, 50 V, 100 V, 200 V a 300 V. S rostoucím napětím jsme pozorovali i větší rychlost projektilu, ale změna nebyla příliš znatelná. Při vyšším napětí se zároveň zvětšuje bezpečnostní riziko při manipulaci se zařízením, takže jsme se rozhodli opět zapojit původní kondenzátory s hodnotami 10 V a 450 V. Další nadstavbou projektu by mohlo být přesné měření ústové rychlosti.





Obrázek 10:

### 3.4 Návod pro zapojení



Obrázek 11: projektily

Schéma k potřebnému obvodu lze vidět na obrázku 10. Aby obvod správně fungoval je zapotřebí přivést správné napětí na odpovídající svorky. Na svorky označeny symboly  $U_2$  je třeba přivést napětí 15 V, touto částí obvodu budou protékat řádově desítky mA. Na svorky označeny symboly  $U_2$  je potřeba přivést 50 V. Jelikož v této části obvodu bude protékat proud pouze na krátký okamžik je vhodné použít na místo zdroje kondenzátor. Čím vyšší kapacitu bude kondenzátor mít, tím vícrát bude schopen vystřelit na jedno nabití.

V průběhu práce na projektu vzniklo několik projektilů, některé můžete vidět na obrázku 11. Jako první projektil jsme použili krátkou závitovou tyč, kterou jsme v zápětí nahradili za hladké ocelové ovály, protože na ně působila menší odporová síla. Dále jsme experimentovali s délkou oválu a došli jsme k závěru, že ideální byl ovál stejně dlouhý, jako použitá cívka.

## 4 Závěr

V našem projektu jsme se věnovali výrobě děla, fungujícího díky magnetickému poli vyvolanému cívkou. Výroba prvotního prototypu byla jednoduchá a proto jsme naprostou většinu času strávily vylepšováním a laděním .

Prvně jsme zapojili cívku do obvodu a následně ji rychle vypnuli. Pak jsme dokázali připojit infračervenou LED a foto-tranzistor. Jejich účelem bylo vypnutí cívky v případě, že projektil proletí ústím plastové hlavně. Naším dalším vylepšením se stalo zapojení 2 cívek, díky čemuž jsme byli schopni náš projektil déle a více akcelarovat.

Po zvýšení napětí z 50V na 100V, 200V a 300V výsledek nedopadl podle očekávání. Náš projektil neakceleroval na předpokládanou rychlost.

Náš projekt dopadl úspěšně, jelikož byl projektil akcelarován obdivuhodnou rychlostí a zaryl se do polystyrenové desky sloužící, jako náš terč.

## Odkazy

- [1] Jakub Čada. “Gaussovo dělo”. In: (2017).
  - [2] ElectroBoom. How to Make a Coil Gun. 2014. URL: <http://www.electroboom.com/?p=101>.
  - [3] PRÁCE MARTIN KOVAŘÍK. Elektromagnetické dělo. 2015.
  - [4] Pavel Svoboda. “Návrh dvoustupňového magnetického děla”. In: (2014).
-