



Středoškolská technika 2019

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Gaussovo dělo

Matyáš Maňur

Gymnázium Zikmunda Wintera

Žižkovo náměstí 186, Rakovník

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Rakovníku dne

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce Mgr. Vojtěchovi Delongovi, který se mnou konzultoval vytvořené obvody. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu a trpělivost při tomto projektu.

Anotace

Cílem této práce bylo úspěšně sestavit fungující model Gaussova děla, dále v práci nazývané urychlovačem, ovládaného vývojovou platformou Arduino. Gaussovo dělo je zařízení urychlující feromagnetické projektily za pomoci magnetické síly vytvořené cívkou. Práce se zabývá základů teorie principů, se kterými jsem se setkal, popisu elektronických součástí až ke konstrukci modelu Gaussova děla.

Klíčová slova

urychlovač; kondenzátor; cívka; Arduino; napětí

Obsah

1 Úvod.....	6
2 Základní pojmy	7
2.1 Elektrické pole.....	7
2.1.1 Vodič v elektrickém poli	7
2.1.2 Izolant v Elektrickém poli	7
2.2 Elektrický proud	8
2.2.1 Stejnoseměrný proud.....	8
2.2.2 Střídavý proud	8
2.3 Elektrické napětí.....	9
2.4 Zdroje elektrického napětí a proud.....	9
2.5 Elektrický odpor	9
2.6 Elektrický výkon	10
2.7 Kapacita.....	10
2.8 Kirchhoffovy zákony.....	10
2.8.1 Kirchhoffův první zákon	10
2.8.2 Kirchhoffův druhý zákon	10
2.9 Ohmův zákon	11
2.10 Magnetické pole	11
2.10.1 Stacionární magnetického pole a jeho veličiny	11
2.10.2 Nestacionární magnetické pole	12
2.10.3 Magnetický indukční tok.....	12
3. Elektronické součástky.....	13
3.1 Rezistory.....	13
3.1.1 Parametry rezistorů	14
3.1.2 Značení rezistorů	14
3.1.3 Rezistory v obvodech	15
3.2 Kondenzátory	16
3.2.1 Konstrukce kondenzátorů.....	16
3.2.2 Parametry kondenzátorů.....	17
3.2.3 Kondenzátory v obvodech.....	17
3.3 Cívky	17
3.3.1 Rozdělení a parametry cívek	18
3.3.2 Cívky v obvodech.....	19

3.4 Transformátory	19
4 Polovodičové součástky	21
4.1 Polovodič.....	21
4.1.1 typ N – elektronegativní	21
4.1.2 typ P – elektropozitivní	22
4.1.3 P-N přechod.....	22
4.2 Dioda	22
4.3 Tranzistor	24
4.3.1 Bipolární tranzistory.....	24
4.4 Tyristor	26
5 Elektronika	27
5.1 Relé modul	27
5.2 Arduino.....	27
5.2.1 Arduino UNO.....	28
6 Praktická část.....	30
6.1 Konstrukce laboratorního zdroje a následné testování základů.	30
6.2 Návrh a sestavení druhého modelu Gaussova urychlovače	32
6.2.1 Návrh a funkce obvodu	32
6.2.2 Konstrukce modelu	33
7 Návrh a sestavení finální verze modelu Gaussova urychlovače	35
7.1 Princip obvodu	36
7.2 Konstrukce modelu	37
7.3 Program pro Arduino	38
7.5 Testování modelu	39
7.6 Fotografie finálního modelu.....	40
8 Závěr.....	42
9 Použitá literatura a seznam citací	43
10 Příloha	45
10.1 Náklady na laboratorní zdroj a jednoduchý model	45
10.2 Náklady na druhý model Gaussova urychlovače	45
10.3 Náklady na finální model Gaussova urychlovače	46
10.4 Použitý software.....	46
10.5 Zdrojový kód.....	47

1 ÚVOD

Mým osobním cílem nebylo vytvořit pušku, která by byla schopna střílet projektily ve vysokých rychlostech zdraví ohrožující, ale naučit se základům elektrotechniky, sestavovat základní obvody a naučit se pracovat a programovat s vývojovou platformou Arduino. Jelikož studuji všeobecné gymnázium, které se elektrotechnikou nezabývá podle mých představ, rozhodl jsem se obohatit mé vzdělání tímto projektem. V mé práci se zabývám převážně používáním stejnosměrného napětí a proudu, tudíž dále popsane jevy a charakteristika elektronických součástek se týká pouze v obvodech stejnosměrného napětí. Pokud se bude jednat o střídavé napětí, bude to řádně uvedeno. Postupně jsou vysvětleny základní pojmy týkající se elektřiny, princip a použití základních elektronických součástek a následně vytvoření fungujícího modelu. Celý tento projekt jsem začal absolvováním kurzů zabývajících se platformou Arduino. Poté jsem udělal pár jednoduchých projektů s Arduinem (jednoduché robotické rameno ovládané Arduinem, radar pomocí ultrazvukového senzoru), vytvořil si základní laboratorní zdroj ze starého počítačového zdroje a následně jsem vytvořil model Gaussova urychlovače.

Všechny obvody jsou mnou samotným navrženy a testované, nevyžíval jsem ničí pomoci při návrhu a konstrukci, pouze konzultoval funkčnost obvodu. Použitý software bude uveden v seznamu softwaru. Začal jsem objednáním měděných drátů o rozličných průměrech na vytvoření cívky. Tuto cívku jsem připojil k relé modulu a k laboratornímu zdroji a následným rychlým stisknutím tlačítka jsem měl hotový nejjednodušší model Gaussova urychlovače. Po koupi větší cívky jsem zjistil, že můj zdroj není dostatečně výkonný. Začal jsem tedy navrhovat obvod pro nabíjení kondenzátorů, který by sloužil místo zdroje pro cívky. Jako první jsem navrhl obvod pro nabíjení kondenzátorů pomocí obvodů z jednorázových fotoaparátů. To bohužel nebylo efektivní, proto je můj finální model nabíjen z rozvodné sítě. Stavba finálního modelu byla úspěšná.

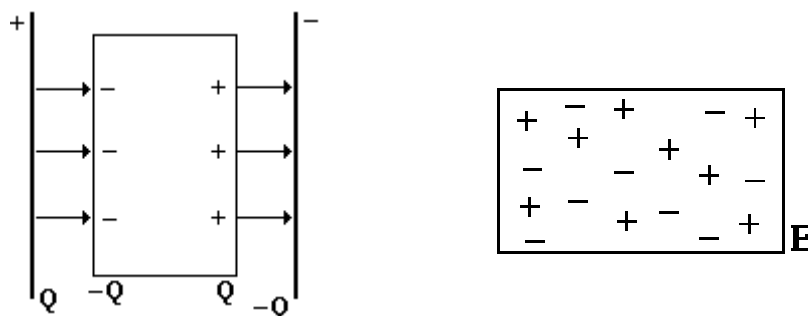
2 ZÁKLADNÍ POJMY

2.1 Elektrické pole

Elektrické pole je okolí, v němž se projevují účinky elektrického náboje. Elektrické pole se vytváří kolem každého náboje. Toto pole znázorňujeme elektrickými siločárami. Vycházejí vždy z povrchu tělesa kladně nabitého směrem do záporně nabitého tělesa. Elektrické pole se dělí na radiální a homogenní. Radiální elektrické pole se značí siločárami vycházejícími z bodového náboje. Siločáry homogenního elektrického pole, jehož intenzita má všude stejný směr a velikost, jsou rovnoběžné. Značí mezi dvěma rovnoběžnými deskami.

2.1.1 Vodič v elektrickém poli

„Elektrický vodič je látka, ve které je velký počet částic s nábojem, které se mohou volně pohybovat. U kovových vodičů nazýváme tyto částice volné elektrony, u kapalin kladné a záporné ionty, u vodivých plynů jak volné elektrony, tak oba druhy iontů.“⁵ Vloží-li se vodič do elektrostatického pole, vznikne dočasné elektrostatické pole i ve vodiči. Toto pole způsobí pohyb volných elektronů, kdy záporné elektrony se přesunou ke kladnému místu nabití a kladné elektrony se přesunou k zápornému místu nabití (obr. 1 vpravo). Tento jev nazýváme elektrostatická indukce. Takto vzniklým nábojům říkáme indukované náboje. Indukované náboje dělíme na volné a vázané náboje. Volný náboj lze z tělesa odvést. Vázaný náboj je elektrostatickou silou vázaný na vodič a nelze z tělesa odvést. Jestliže vodič vyjmeme z elektrického pole, elektrostatická indukce zanikne a vodič se vrátí do původního rovnovážného stavu (obr. 1 vlevo).



Obr. 1: Vlevo vodič v elektrickém poli.
Vpravo vodič v rovnovážném stavu [8]

2.1.2 Izolant v Elektrickém poli

Izolanty neboli dielektrika obsahují stejně jako vodiče velký počet částic s nábojem. Téměř všechny tyto částice jsou u dielektrik navzájem vázány silami tak, že se nemohou volně v látce pohybovat. Po vložení izolantu do elektrického pole se těžiště protonů v atomech posune k zápornému místu nabití a těžiště elektronů ve směru opačném. Takto natočené atomy či molekuly se stávají v elektrickém poli elektrickými dipóly. Tento jev se nazývá atomová polarizace dielektrika. V některých izolantech se tvoří dipóly samostatně bez vnějšího elektrického pole. Elektrický náboj se navenek neprojevuje, jelikož dipóly jsou neuspořádané.

Izolant se polarizuje až vložení do elektrického pole. Tento jev se nazývá orientační polarizace dielektrika.

2.2 Elektrický proud

Elektrickým proudem se nazývá uspořádaný pohyb volných částic s elektrickým nábojem. Podmínkou vzniku elektrického proudu v látce je přítomnost volných částic s elektrickým nábojem. Elektrický proud udává, jak velký náboj projde určitým průřezem vodiče za jednotku času. Značí se písmenem I, jeho jednotkou je ampér [A] a měří se ampérmetrem. Definice ampéru:

„Ampér je proud, který při stálém průtoku dvěma rovnoběžnými přímkovými velmi dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu, umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 metr od sebe, vyvolá mezi vodiči sílu $2 \cdot 10^{-7}$ newtonů na 1 metr délky.“¹

Kladný směr toku proudu se značí od kladného k zápornému místu obvodu. Pohyb elektronů je ale značen ve směru opačném. „Tato konvence byla ustanovena ještě před objevem elektronu a je používána do dnes.“¹

2.2.1 Stejnoseměrný proud

Stejnoseměrný proud, který se značí DC (direct current), protéká obvodem stále stejným směrem. Využívá se ve většině dnešní elektroniky, obvodech, ve kterých jsou polarizované součástky (citlivé na směr proudu), při elektrolýze, při galvanickém pokování nebo při přenosu elektřiny na velmi velké vzdálenosti. K výrobě stejnosměrného proudu se užívají galvanické články, fotovoltaické články, termočlánky, dynamo a usměrňovače. Nevýhody stejnosměrného proudu jsou jeho tepelné účinky při průtoku většího množství proudu vodičem.

2.2.2 Střídavý proud

Střídavý proud, který se značí AC (alternating current), je proud, jehož směr se v čase mění. Může mít periodický a neperiodický průběh. Při periodickém průběhu se hodnoty po určitém čase opakují. Naopak při neperiodickém průběhu jsou hodnoty náhodné např. záznam hlasu. Velikost střídavého proudu je obtížné zaznamenat jedním číslem, jelikož se jeho hodnota neustále mění. Proto se používá špičkový proud, což je maximální hodnota proudu, která se vyskytuje. „Efektivní hodnota střídavého proudu je určena jako velikost stejnosměrného proudu, který by vyvolal stejný tepelný účinek při průchodu rezistorem.“¹ Střídavý proud se používá především kvůli snadné výrobě v elektrárnách a následné transformaci napětí s nízkými ztrátami na přenos na delší vzdálenosti. Používá se v rozvodných sítích a v hutnictví v obloukových pecích. Střídavý proud vzniká elektromagnetickou indukci v alternátorech.

2.3 Elektrické napětí

Elektrické napětí je rozdíl dvou elektrických potenciálů mezi dvěma body. „Reprezentuje energii potřebnou k přemístění jednoho náboje z místa s nižším potenciálem na místo s vyšším potenciálem.“¹ Místa se stejnou potenciální energií se nazývají ekvipotenciální hladiny. Místa s nulovou potenciální energií se nazývají zem. Napětí se značí písmenem U , jeho jednotkou je volt [V] a měří se Voltmetrem. Definice voltu:

„Jeden volt je takové napětí mezi konci vodiče, do něhož stálý proud jednoho ampéru dodává výkon jednoho wattu.“¹

Stejnoseměrné napětí nemění v průběhu času svou polaritu. Výroba stejnosměrného napětí je totožná s výrobou stejnosměrného proudu. Střídavé napětí mění v čase svou polaritu. V praxi můžeme tuto změnu polarit pozorovat na osciloskopu, která zobrazuje nejčastěji sinusoidou.

2.4 Zdroje elektrického napětí a proud

„Elektrický zdroj je takové zařízení, které dokáže udržet rozdíl elektrických potenciálů mezi dvěma póly po připojení libovolné zátěže.“⁴ Tyto dva potenciály vzniknou snížením či zvýšením počtu volných elektronů na jedné ze svorek zdroje. Kladná svorka má méně elektronů, záporná více. Ve zdroji tedy působí neelektrostatické síly, které jsou schopné překonat elektrostatické síly vytvořené elektrickým polem. Tyto neelektrostatické síly se nazývají elektromotorické napětí zdroje. Takovému zdroji, který je schopný udržet rozdíl dvou potenciálů, se říká zdroj napětí. Pokud je vyžadováno, aby při libovolné zátěži protékal stále stejný proud, jedná o zdroj proudu. V praxi se nejčastěji setkáme se zdroji kombinovanými neboli duálními zdroji. U těchto zdrojů lze nastavit, nebo je už předem dáno (galvanický článěk), jak napětí, tak proud, který zdroj bude poskytovat. Tyto zdroje se dají dále kombinovat sériově nebo paralelně. Sériové zapojení zdrojů zvýší jeho celkové napětí. Paralelní zapojení zvýší výkon zdroje. Paralelně spojené zdroje jsou schopny dodávat větší proud při stejném napětí. Toto se nejčastěji používá u skládání galvanických článků.

2.5 Elektrický odpor

Elektrický odpor charakterizuje schopnost vodičů vést elektrický proud. Odpor tělesa závisí na délce, obsahu průřezu, materiálu a na teplotě vodiče. Odpor vodičů se stoupající teplotou roste, ale odpor polovodičů se stoupající teplotou klesá. Čím je vodič efektivnější, tím menší odpor klade. Značí se písmenem R , jeho jednotkou je ohm [Ω] a měříme ohmmetrem. Definice ohmu je:

„Vodič má odpor jeden ohm, jestliže při napětí mezi koncovými průřezy jeden volt prochází proud jeden ampér.“¹

2.6 Elektrický výkon

Elektrický výkon vyjadřuje elektrickou práci vykonanou za jednotku času. Značí se písmenem P a jednotkou je watt [W]. V obvodech stejnosměrného proudu je napětí i proud konstantní, je výkon součin elektrického proudu a elektrického napětí.

$$P = U * I$$

2.7 Kapacita

Kapacita kondenzátoru udává, jak velký náboj vznikne na jeho deskách při napětí 1V. Kapacita se značí C a má jednotku farad [F]. Definice: „Farad je kapacita takového kondenzátoru, který při napětí 1 V pojme náboj 1 C.“¹

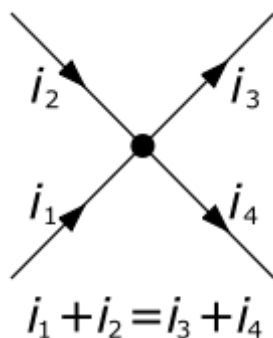
2.8 Kirchhoffovy zákony

2.8.1 Kirchhoffův první zákon

První Kirchhoffův zákon je označován jako zákon o zachování náboje. Jinými slovy to znamená, že celkový proud, který vteče do uzlu, z něj ve stejné velikosti vyteče (obr. 2).

„Algebraický součet proudů v kterémkoliv uzlu elektrického obvodu se rovná nule.“¹

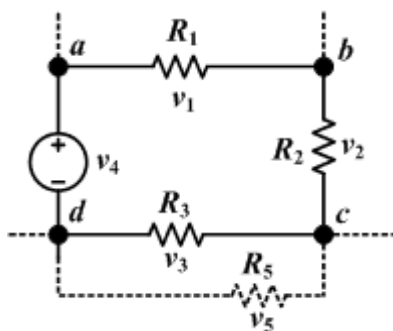
Jeden či více proudů může nabývat záporné hodnoty. Záporná či kladná hodnota proudu značí pouze směr proudu. To samé platí i pro napětí. „Z 1. Kirchhoffova zákona vyplývá, že při sériovém zapojení součástek protékají shodné proudy.“¹



Obr. 2: V každém elektrickém uzlu je proud roven nule
[9]

2.8.2 Kirchhoffův druhý zákon

„Průtok proudu, transport nosičů náboje, lze uskutečňovat jen v uzavřených obvodech. V takovém obvodu musí existovat alespoň jeden zdroj sil, tzv. elektromotorické napětí, které působí proti silám nosičů náboje, jejichž transport je uskutečňován. Součet svorkových napětí prvků elektrického obvodu v libovolné uzavřené smyčce se rovná nule.“¹ (obr. 3) Z druhého Kirchhoffova zákona vyplývá, že součástky paralelně zapojené budou mít stejné napětí.



Obr. 3: Součet všech napětí v obvodu je roven nule [9]

2.9 Ohmův zákon

Ohmův zákon vyjadřuje závislost proudu na elektrickém odporu a napětí k němu přiloženém. Základní vzorec se značí $U = R * I$, kdy U je napětí [V], I je proud [A] a R je odpor [Ω].

2.10 Magnetické pole

Magnetismus působící v magnetickém poli je jev projevující se silovým působením na nosiče elektrického náboje. „Magnetismus je tvořen pohybem elektrického náboje nebo změnou elektrického pole v čase.“² Síly v magnetickém poli znázorňujeme magnetickými indukčními čarami. Tyto čáry směřují od severu N k jihu S a jsou to uzavřené křivky. Magnetické pole se tvoří permanentními magnety a elektromagnety. Permanentní magnety jsou tvořeny z feromagnetických látek, které nepotřebují vnější vlivy na vytvoření magnetického pole. Elektromagnety naopak potřebují elektrický proud k vytvoření magnetického pole, kdy magnetické pole tvoří pohyb nábojů ve vodiči. Magnetické látky se mohou dělit na magneticky tvrdé a měkké. Magneticky tvrdé materiály zůstávají po vyndání z magnetického pole permanentně zmagnetizovány. Magneticky měkké látky se po vyndání z magnetického pole navrátí do svého původního stavu neprokazující magnetické účinky. Magnetické pole lze rozdělit na stacionární magnetické pole a nestacionární magnetické pole.

2.10.1 Stacionární magnetického pole a jeho veličiny

Magnetické stacionární pole je takové pole, jehož vlastnosti se v průběhu času nemění. Toto pole je tvořeno například permanentními magnety nebo nepohybujícím se vodičem, jímž protéká stálý elektrický proud. K určení směru magnetického pole v okolí vodiče se používá Ampérovo pravidlo pravé ruky. Toto pravidlo lze uplatnit jak pro přímý vodič, tak pro cívku. „U přímého vodiče nám palec ukazuje směr proudu, zatímco pokrčené prsty ukazují směr magnetického pole.“² U cívky směr proudu určují pokrčené prsty a směr magnetického pole nám ukazuje palec. Cívka je namotaný vodič, k tomu se dostaneme později v kapitole elektronických součástek.

Indukčnost cívky

Indukčnost charakterizuje magnetické vlastnosti vodivých těles. Značí se písmenem L a její jednotkou je henry [H]. Definice: „V cívce se indukuje napětí 1 V, pokud má indukčnost 1 H a dojde v ní k změně proudu 1 A za 1 sekundu.“²

Intenzita magnetického pole

Intenzita magnetického pole je vektorová veličina a určuje velikost a směr magnetického pole. Značí se písmenem H a její jednotkou je ampér na metr [$A \cdot m^{-1}$]. Definice: „Intenzita magnetického pole je magnetické napětí připadající na jednotku délky.“³

Magnetická indukce

„Magnetická indukce je vektorová veličina a charakterizuje působení síly magnetického pole na vodič s proudem.“¹ Značí se písmenem B a její jednotkou je tesla [T]. Magnetická indukce se mění podle prostředí, kde magnetické pole působí. Například hustota siločar feromagnetických látek v magnetickém poli je jiná, než hustota siločar stejného místa ve vzduchu.

2.10.2 Nestacionární magnetické pole

Vlastnosti nestacionárního magnetického pole se v průběhu času liší. Takovéto pole může tvořit vodič s časově proměnným proudem, či pohybující se magnet a elektromagnet. Vzniká zde elektromagnetická indukce. „Elektromagnetická indukce je jev, kdy ve vodiči vzniká indukované elektromotorické napětí a indukovaný proud.“⁴ Velikost tohoto napětí závisí na velikosti změny magnetického pole a rychlosti této změny. Tohoto jevu se využívá například v indukčních plotnách, kdy v důsledku střídajícího se proudu se indukuje proud v hrnci s vysokým odporem, což se projeví na zahřátí hrnce.

2.10.3 Magnetický indukční tok

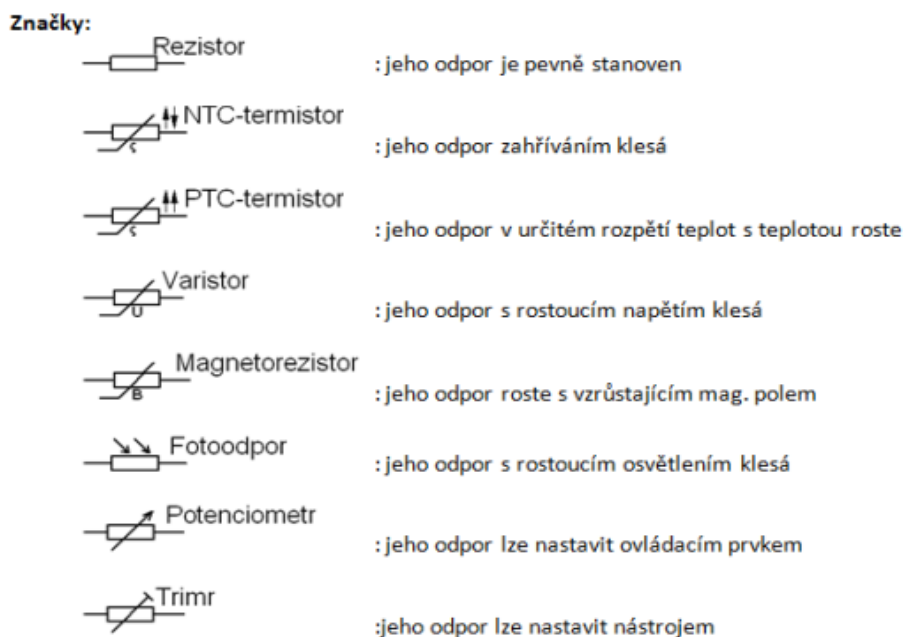
Magnetický indukční tok je veličina charakterizující magnetické pole s určitým rozložením. Vyjadřuje tok magnetické indukce procházející určenou plochou. Značka této veličiny je Φ (fí) s jednotkou weber (Wb).

3. ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY

Elektronické součástky jsou obvykle popisovány mezními a charakteristickými parametry. Mezní parametry jsou takové, jejichž překročení vede ke zničení součástky. Charakteristické parametry jsou takové, které nám dávají užitečné informace o součástce.

3.1 Rezistory

„Rezistor je elektronická součástka, která implementuje elektrický odpor R do praxe.“⁵ Rezistor slouží k převádění napětí na proud a naopak. Vychází se z Ohmova zákona, kdy $R=U/I$. Přiložíme-li napětí na rezistor, platí zde nepřímá úměra, čím větší bude hodnota rezistoru, tím bude hodnota proudu klesat a naopak. Toto platí i u proudu, kdy při průtoku proudu vzniká úbytek napětí přímo úměrný hodnotě rezistoru. Jedna z velmi častých aplikací rezistoru je, že je schopen omezovat proud. Rezistor přemění při průchodu proudem elektrickou energii na tepelnou, tudíž se zahřeje, což je ve většině případů ztrátové teplo, pokud se rezistor nepoužívá jako topné těleso. Pro odpor elektricky vodivého materiálu platí, že jeho odpor závisí přímo úměrně na měrném elektrickém odporu materiálu, délce vodiče a nepřímo úměrně na ploše vodiče. Platí zde vztah $R = \rho * \frac{l}{S}$, kdy ρ je měrný elektrický odpor, l je délka vodiče a S je plocha vodiče. Rezistory se nejčastěji skládají z tenké vrstvy materiálu, což vede k vysokému odporu. Konstrukčně bývají především drátové, kdy je drát o požadovaném odporu omotan kolem keramického tělíska. Vrstvové rezistory, které jsou dnes nejčastěji vyráběné, jsou tvořeny nanesením vodivé vrstvy na izolační tělíska a následně jsou vyfrézovány pro zvýšení odporu. Existuje mnoho jiných rezistorů lišících se konstrukcí (obr. 4), ale tyto jsou nejvýznamnější. Rezistory, jejichž hodnota se dá měnit, se nazývají potenciometry, reostaty a trimry.



Obr. 4: Značky a jejich vysvětlivky různých druhů rezistorů [10]

3.1.1 Parametry rezistorů

Mezi důležité parametry rezistoru (obr. 5) patří jmenovitá hodnota odporu a jmenovitá hodnota zatížení. Jmenovitá hodnota odporu udává, jaký odpor má daný rezistor. „Nejběžnější jsou rezistory s hodnotami 1Ω až 10⁶Ω. Rezistory tvoří řadu jmenovitých hodnot, které se v každé dekádě opakují. Číslo u písmena E udává kolik je druhů rezistorů v jedné řadě. Například v řadě E6 je uvedeno 6 různých odporů s přesností ±20%.“¹

Řada E24 ±5 %											
1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1
Řada E12 ±10 %											
1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
Řada E6 ±20 %											
1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8						

Obr. 5: Parametry rezistorů [11]

Jmenovitá zatíženost rezistoru maximální ztrátový výkon, kterého překročení povede ke zničení rezistoru. Maximální výkon udává každý prodejce rezistorů. Tento výkon se udává ve watttech [W] a vychází ze vzorce

$$P = U * I = R * I^2 = \frac{U^2}{R}$$

K dalším parametrům patří například závislost odporu na okolní vlhkosti a době používání, teplotní součinitel odporu udávající závislost odporu na teplotě atd. S těmito parametry se při běžném používání nesetkáme.

3.1.2 Značení rezistorů

Rezistory se značí podle velikosti a tvaru. K tomuto značení se využívá číselné značení s příponou, nebo barevný kód, nebo číselný kód. Nejčastěji se používá barevný kód (obr. 6)

BARVA	1 číslice	2 číslice	násobitel	úchylnka
stříbrná	-	-	0,01	±10%
zlatá	-	-	0,1	± 5%
černá	-	0	1	-
hnědá	1	1	10	± 1%
červená	2	2	100	± 2%
oranžová	3	3	1k	-
žlutá	4	4	10k	-
zelená	5	5	100k	±0.5%
modrá	6	6	1M	±0.25%
fialová	7	7	10M	±0.1%
šedá	8	8	100M	-

Obr. 6: Značení rezistorů [12]

ke značení malých rezistorů, kde není dostatek místa na číselný kód. Tento kód se skládá z dvou až tří platných číslic, násobitele a tolerance.

3.1.3 Rezistory v obvodech

Sériové zapojení

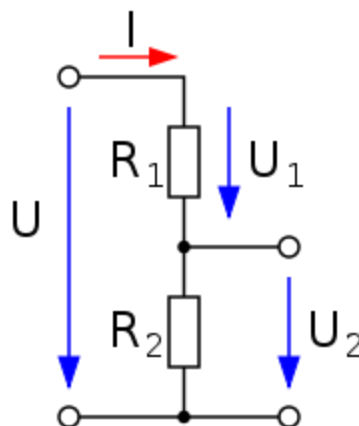
Při sériovém zapojení protéká všemi rezistory stejný proud, napětí se dělí na rezistory podle jejich odporu, celkové napětí se získá sečtením napětí na jednotlivých rezistorech a jejich celkový odpor je roven součtu jednotlivých odporů. Sériové zapojení se používá jako dělič napětí.

$$U = U_1 + U_2$$

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$R = R_1 + R_2$$

Děliče napětí (obr. 7) se používají k dělení výstupního napětí, které je úměrné vstupnímu napětí.



Obr. 7: Dělič napětí [13]

$$U_1 = U * \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Paralelní zapojení

Při paralelním zapojení se proud dělí do zapojených rezistorů, napětí zůstává stejné na všech rezistorech a celková hodnota odporu je dána součtem vodivosti, tedy převrácenou hodnotou rezistorů.

$$U = U_1 = U_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \leftrightarrow R = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

3.2 Kondenzátory

Kondenzátor je elektronická součástka schopná akumulace elektrického náboje. Tomuto jevu se říká kapacita. Kondenzátor se skládá ze dvou vodivých rovnoběžných desek, které jsou mezi sebou oddělené dielektrikem. Při napětí vznikne na deskách rozdíl potenciálů, opačně nabitě náboje, které se po sléze vyrovnávají podle potřeby obvodu. Nabítený kondenzátor se tedy stává zdrojem elektrické energie. V obvodu střídavého napětí se kondenzátor stává fázovým posuvníkem, ale tím se nebudeme zabývat. Jelikož jsou dvě desky v kondenzátoru odděleny dielektrikem, nevedou elektrický proud. To je využíváno oddělujícími kondenzátory. Kapacita kondenzátoru závisí přímo úměrně na permisivitě vakua, relativní permisivitě materiálu dielektrika, vzájemné ploše desek a nepřímo úměrně na vzdálenosti desek. Vycházíme ze vzorce $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$, kdy ϵ_0 je permitivita vakua, ϵ_r je relativní permitivita dielektrika, S je vzájemná plocha desek a d je vzdálenost desek. Energie kondenzátoru se spočte ze vzorce $W = \frac{1}{2} CU^2$.

3.2.1 Konstrukce kondenzátorů

Konstrukčně se nejčastěji setkáme s kondenzátory fóliovými, elektrolytickými a keramickými. Fóliové kondenzátory jsou tvořeny svitky fólií (polyester, polystyren, teflon). „Tyto kondenzátory mají přesnou kapacitu, dobrou teplotní stabilitu, nízký svodový proud a dobré vysokofrekvenční vlastnosti.“¹ Elektrolytické kondenzátory jsou tvořeny katodou (záporný pól), anodou (kladný pól) a dielektrikem. „Katodu tvoří elektrolyt, který přivede proud k dielektriku. Dielektrikum je částečně tvořeno oxidační vrstvou kovu, které se tvoří na povrchu

KONDENZÁTORY

Schématické značky:



Neproměnný, nepolarizovaný kondenzátor, obecná značka



Neproměnný, polarizovaný kondenzátor, elektrolytický kondenzátor



Proměnný (ladící) kondenzátor



Nastavitelný kondenzátor, kapacitní trimr

Obr. 8: Značky a vysvětlivky jednotlivých druhů kondenzátorů [14]

anody při průchodu stejnosměrného proudu. Anoda a katoda jsou oddělené separátorem.“¹ Elektrolytické kondenzátory jsou polarizovány. Tyto kondenzátory se využívají tam, kde je potřeba vysoká hodnota kapacity i přes nepříznivé malé stabilizační schopnosti kapacity. Keramické kondenzátory mají velice malé rozměry. Nemají nejpřesnější hodnoty kapacit a mají nízkou teplotní stabilitu. Tyto kondenzátory jsou vhodné pro úlohy s nízkou frekvencí (blokovací a filtrační účely). Využívají se především na osazování malých obvodů. Značky kondenzátorů jsou na obrázku 8.

3.2.2 Parametry kondenzátorů

Jmenovité hodnoty kondenzátorů většinou nebývají tak rozsáhlé jako u rezistorů, většinou se pohybují v hodnotách E6 a E12. Jmenovité napětí pro kondenzátor je maximální použitelné napětí, ke kterému je kondenzátor konstruován. Mezi další parametry patří například přesnost kapacity, ztrátový činitel nebo izolační odpor.

3.2.3 Kondenzátory v obvodech

Při sériovém zapojení kondenzátorů protéká společný proud, náboj je na každém kondenzátoru stejný. Celkové napětí se dělí mezi kondenzátory, je to součet dílčích napětí. Celková kapacita se vypočítá jako součet převrácených hodnot kapacit.

$$U = U_1 + U_2$$

$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \leftrightarrow C = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2}$$

U paralelně zapojených kondenzátorů je celkový náboj dán součtem jednotlivých nábojů, napětí je na všech kondenzátorech stejné a jejich celková kapacita je dána součtem jednotlivých kapacit.

$$U = U_1 = U_2$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$C = C_1 + C_2$$

3.3 Cívky

Cívka je elektronická součástka, která má dva významy. Buď se používá ve stejnosměrných obvodech k tvorbě stálého magnetického pole. Toto magnetické pole je jednoduše regulovatelné, jelikož je přímo úměrné na indukčnosti cívky a elektrického proudu, jenž

prochází cívkou. Dále se používá cívka k indukci elektrického proudu, kdy slouží jako induktor. Pro magnetický tok platí, že

$$\Phi = L * I,$$

kdy L je indukčnost cívky a I je proud procházející cívkou. Energie magnetického pole je

$$W = \frac{1}{2} L * I^2.$$

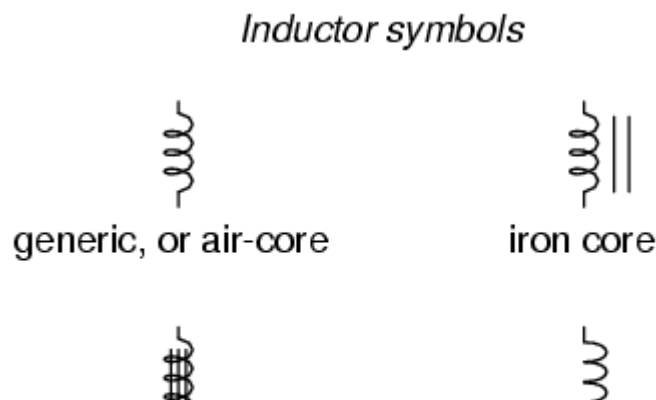
Napětí indukované na cívce vychází z

$$U = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

kdy t je časová změna magnetického toku. Takto indukovaný proud působí proti změnám, které ho vyvolaly, proto má záporné znaménko. Toho se využívá například u tlumivek, ale může to mít nepříjemné následky pro zdroj či spínače. Čím větší bude indukčnost L , tím pomaleji bude narůstat proud pro dané napětí. Je to tedy naopak než u kondenzátoru. Cívky se skládají z vodiče navinutého na kostru cívky. Vodičem, ze kterého je cívka namotána, je nejčastěji měď, jelikož má nízký odpor a nedochází k velkým tepelným ztrátám. Vinutí může být jednovrstvé nebo vícevrstvé. Pro zvýšení magnetické účinnosti se do cívky vkládá jádro z magneticky měkké oceli. U transformátorů bývá jádro z vrstev oddělených izolantem, k tomu se dostaneme později. Cívky jako elektromagnety se používají například v elektromotorech, zvoncích, relé či reproduktorech. Cívky jako induktory se používají v tlumivkách, transformátorech a v oscilačních obvodech.

3.3.1 Rozdělení a parametry cívek

Pokud cívka jádro nemá, je to cívka vzduchová. Cívka, která má pouze jednu dlouhou vrstvu, se nazývá solenoid. Cívka stočená do kruhu se nazývá toroid. Dále se cívky rozlišují podle toho, zda jsou určeny k vysokým, nebo nízkým frekvencím střídavých obvodů. Parametry udávají



Obr. 9: Značky cívek a jejich vysvětlivky [15]

například hodnotu indukčnosti, jmenovitou zatíženost, odpor cívky, maximální proud atd. Značí se podle obrázku 9.

3.3.2 Cívky v obvodech

Při sériovém zapojení cívek se celková indukčnost získá součtem indukčností jednotlivých cívek.

$$L = L_1 + L_2$$

Při paralelním zapojení cívek se celková indukčnost získá součtem převrácených hodnot jednotlivých indukčností cívek.

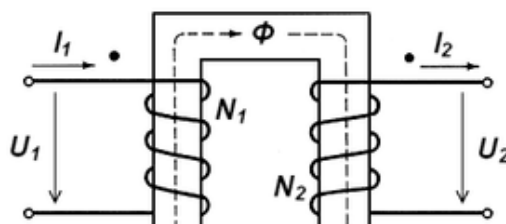
$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \leftrightarrow L = \frac{L_1 * L_2}{L_1 + L_2}$$

3.4 Transformátory

Transformátor je elektronická součástka schopná přenášet elektrickou energii dvou obvodů bez dotyku jejich vodičů. Elektrická energie se přeneše díky elektromagnetické indukci. „Toto je možné jen u střídavého nebo pulsového stejnosměrného proudu, jinak by nevznikala elektromagnetická indukce.“⁵ Transformátor se skládá ze tří částí – primární cívky, magnetického vodiče a sekundární cívky. Primární cívka indukuje magnetický tok, který je vedený k sekundární cívce, kde se indukuje zpět na napětí. Cílem magnetického vodiče je zajistit, aby co nejvíce magnetických siločar prošlo sekundární cívkou a nedocházelo ke ztrátám. Na primární cívce se indukuje napětí $U_1 = N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ a na sekundární cívce se indukuje napětí $U_2 = N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, kdy proměnná N udává počet závitů cívky. Jelikož na obě cívky působí stejný magnetický tok, platí mezi nimi vztah

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2},$$

kdy se číslo k nazývá transformační poměr (obr. 10). Pokud je $k > 1$, transformuje se napětí nahoru, pokud je $k < 1$, transformuje se napětí dolů. Transformátor je tedy schopný přeměnit střídavé napětí mezi dvěma obvody. Tohoto se využívá ve většině elektronických zařízeních, které jsou zapojeny do zásuvky, v rozvodnách elektrického napětí, ale také ke galvanickému oddělení dvou obvodů. V transformátoru dochází ke ztrátám v elektrickém a magnetickém vodiči.



Obr. 10: Princip transformátoru. [16]

V elektrickém vodiči vznikají ztráty v důsledku odporu vodiče, což vede k zahřívání. V magnetickém vodiči dochází ke ztrátám vlivem vířivých proudů. Vířivý proud je jev, kdy vzniká nežádoucí proud kolmý na směr magnetického toku. Vířivému proudu se zamezuje tím, že je magnetický obvod transformátoru tvořen úzkými vodivými plíškami s izolantem. Menší transformátory se chladí vzduchem, větší olejem.

4 POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY

4.1 Polovodič

Polovodiče jsou látky, které se za určitých podmínek mohou chovat jako izolanty, ale i jako vodiče. Při velmi nízkých teplotách se chovají jako izolanty, při vysokých jako vodiče. Tyto schopnosti jsou určeny krystalickou mřížkou polovodičů a určují je teplota a míra osvětlení polovodiče.

Vlastní vodivost

Tato krystalická mřížka je složena z jádra atomu polovodiče a valenčních elektronů, které se vzájemně vážou (obr. 11). Když se začne polovodič zahřívat, začnou se rozpadat vazby mezi valenčními elektrony a nějaký elektron se uvolní. Na místě uvolněného elektronu vznikne tzv. díra. Jelikož díra vznikne uvolněním elektronu, má kladné znamínko. Čím více polovodič zahříváme, tím více elektronů se uvolní. „Vzniklá díra bude mít odlišný potenciál než zbytek mřížky, tudíž jí zaplní jiný volný elektron. Tomuto jevu se říká rekombinace.“¹ Připojíme-li elektrický proud k polovodiči, vznikne v něm elektrické pole. Díry se poté začnou přesouvat k zápornému pólu a volné elektrony ke kladnému pólu.

Nevlastní vodivost

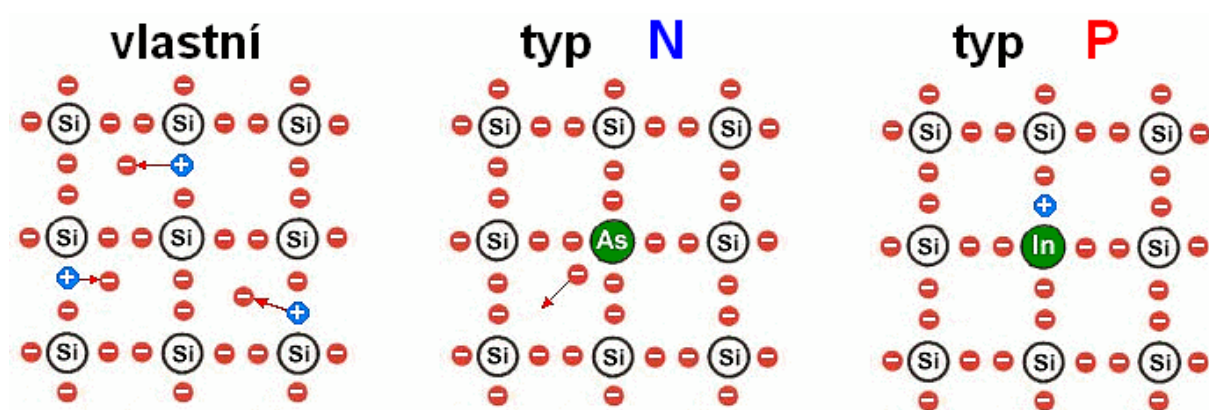
V do čistého polovodiče IV. skupiny se přidá atom vyšší, nebo nižší skupiny. Tím se vyvolá porucha krystalové mřížky. Podle tohoto rozeznáváme 2 typy příměsových vodivostí.

4.1.1 typ N – elektronegativní

Porucha se vyvolá přidáním prvku V. skupiny. Prvky V. skupiny mají 5 valenčních elektronů, z nichž 4 navážou vazbu s valenčními elektrony prvku IV. Skupiny, zbývající elektron je jen slabě vázán k původnímu atomu, může se kdykoliv odtrhnout a stát se volným elektronem (obr. 11). „Tyto volné elektrony převládají ve sloučenině nad dírami, proto se nazývají majoritní nosiče náboje, zatímco díry se nazývají minoritní nosiče náboje. Z příměsi se stává donor.“¹

4.1.2 typ P – elektropozitivní

Přidáním prvku III. skupiny se navážou pouze tři valenční elektrony na prvek IV. skupiny, na posledním volném elektronu prvku IV. skupiny vznikne díra (obr. 11). Tato díra může být snadno zaplněna přeskokem sousedního elektronu. „Tyto díry se tedy volně v polovodiči pohybují a tvoří majoritní nosiče náboje, zatím co elektrony tvoří minoritní nosiče náboje. Z příměsi se stává akceptor.“¹



Obr. 11: Typy polovodičových prvků [17]

4.1.3 P-N přechod

Spojí-li se polovodič P a N, vznikne polovodič s přechodem PN. Typická vlastnost PN přechodu je jeho usměrňovací účinek. „V oblasti přechodu je gradient koncentrace, který vede k difuzi děr do N typu a difuzi elektronů do P typu.“¹ Tímto vznikne elektrické pole na PN přechodu. Vzniklé elektrické pole odsává minoritní nosiče náboje z P a N. „Tímto vzniká drift elektronů z P do N a děr z N do P v opačném směru difuze.“¹ Tomuto místu přechodu, kde probíhá difuze a drift se nazývá valenční pás. Po vyrovnání difuze a driftu nastává na PN přechodu rovnováha. P je anoda, N je katoda.

Připojíme-li na P kladný pól a na N záporný pól, PN přechod bude v propustném směru. „Díry z P budou díky polaritě driftovat k zápornému pólu do středu přechodu PN, kde se budou následně rekombinovat s elektrony z N, které se díky elektrickému poli budou přesouvat ke kladnému pólu.“¹ Tímto vznikl propustný směr a PN přechodem teče elektrický proud.

Pokud připojíme na P záporný pól a na N kladný pól nastane závěrný směr. Na majoritní díry ve valenčním pásu působí napětí ve stejném směru jako difuze. Tudíž se díry nemohou dostat do N části. Díry se nashromáždí v P části a nemůže proběhnout rekombinace, PN přechodem neprochází elektrický proud a je v závěrném stavu.

4.2 Dioda

Dioda je polovodičová elektronická součástka, jejímž hlavním účelem je usměrnění proudu. V jednom směru protéká proud, ve druhém ne. Diody jsou tvořeny dvěma elektrodami a fungují na principu P-N přechodu. U diod jsou důležité jejich základní parametry. Prahové napětí značí,

jaké je potřeba minimální napětí, aby došlo k otevření diody. To závisí na materiálu diody (křemík 0,51V, germanium 0,28 V a LED diody až 3,5 V (tab. 1)). Maximální proud značí, jak z názvu vyplývá, jaký maximální proud může projít diodou bez jejího zničení. Maximální závěrné napětí je napětí, které je dioda schopna udržet v závěrném stavu bez jejího zničení. Diody se dělí dle užití.

Usměřňovací dioda je nejčastěji tvořena z křemíku, nebo germania. „Chování diody popisuje voltampérová charakteristika jednotlivých diod.“¹ Tyto diody se nejčastěji používají k usměřňování střídavého napětí.

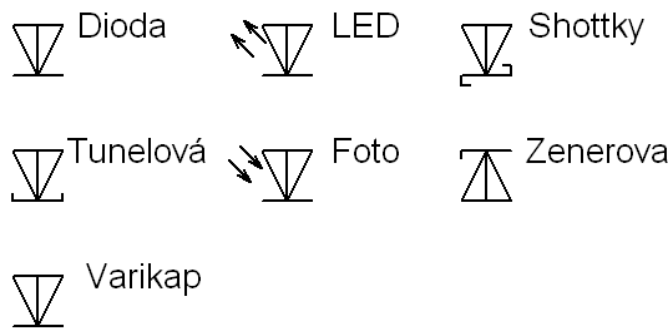
LED dioda neboli světelná dioda vytváří světlo na P-N přechodu při průtoku proudem. Tyto diody se vyrábějí v různých barevných provedeních. LED diody se nedají použít k usměrnění proudu, jelikož jejich maximální propustné i závěrné napětí je velmi nízké. „Maximální napětí se u běžných diod pohybuje kolem 20 mA, proto by se měli vždy zapojovat společně s rezistorem.“¹

Tab. 1: Úbytek napětí na LED diodách. [18]

Barva	Úbytek napětí
Infračervená	1,6 V
Červená	1,8-2,1 V
Oranžová	2,2 V
Žlutá	2,4 V
Zelená	2,6 V
Modrá	3,0-3,5 V
Bílá	3,0-3,5 V
Ultrafialová	3,5 V

„Zenerova dioda se v propustném směru chová jako usměřňovací dioda, ale v závěrném směru její průraz není destruktivní.“¹ Tyto diody mají stabilní úbytky napětí jak v propustném, tak v závěrném směru. Využívají se ve stabilizačních zdrojích a jsou součástí ochranných obvodů.

Existuje mnoho dalších diod (obr. 12), například Schottkyho dioda (je tvořena kovem a polovodičem), laserové diody, hrotové diody, varikap (kapacitní diody), tunelové, fotodiody...



Obr. 12: Značení diod [19]

4.3 Tranzistor

Tranzistor je polovodičová součástka tvořená ze tří elektrod s dvěma PN přechody. Jsou schopné zesilovat proud, napětí, nebo oboje současně, podle jejich zapojení. Malé změny proudu nebo napětí na vstupu mohou vyvolat velké změny na výstupu. Tranzistory se dají využít jako zesilovače, spínače či invertory. Dnes se používají téměř v každém integrovaném obvodu (mikroprocesory, paměti, procesory). Dle konstrukce se dělí na Bipolární, Unipolární a kombinované (obr. 13).

bipolární		Unipolární tranzistory						
		unipolární	FET - tranzistory					
			JFET a MESFET		MOSFET tranzistory			
					P - kanál		N - kanál	
NPN	PNP	typ-N	P-kanál	N-kanál	indukovaný	zabudovaný	indukovaný	zabudovaný

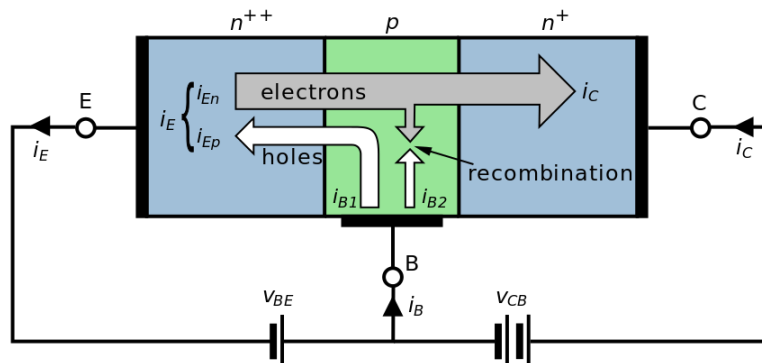
Obr. 13: Rozdělení tranzistorů [20]

4.3.1 Bipolární tranzistory

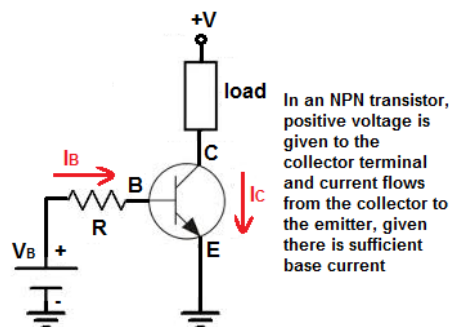
Bipolární tranzistory jsou tvořeny dvojicí přechodů PN. Dle konstrukce se dělí na PNP nebo NPN. Každá elektroda má své jméno a značku, Emitor E, bázi B a kolektor C. Emitor bývá více dotován než kolektor.

U tranzistoru NPN (obr. 14a, 14b), zvýšíme-li kladné napětí mezi bází a emitorem, začne se ztenčovat vrstva bez nosičů elektrického náboje. „Začne probíhat difuze elektronů z N části emitoru do P části báze. Elektrony v P bázi jsou minoritními nosiči náboje, proběhne zde difuze elektronů do N části kolektoru.“¹ Zvýšením napětí tedy začne protékat vyšší proud z kolektoru

do emitoru. Při průchodu elektronů se část rekombinuje v bázi, což vede k úbytku napětí na tranzistoru. Proud tedy prochází z kolektoru do emitoru.

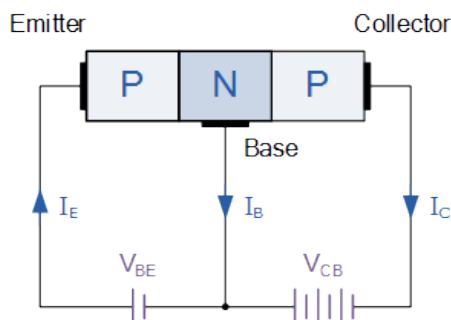


Obr. 14a: Princip NPN tranzistoru [21]

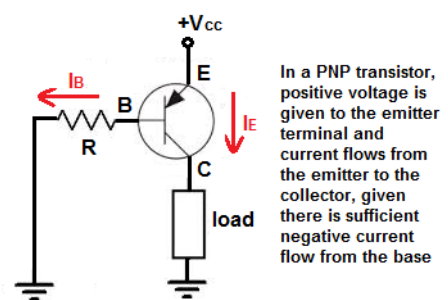


Obr. 14b: Princip NPN tranzistoru [22]

U PNP tranzistoru (obr 15, 16) platí, pokud je báze N připojena k zápornému pólu a emitor P ke kladnému pólu, dojde k průchodu malého počtu děr z kolektoru do báze. Tímto se spustí difuze děr z emitoru P, do báze N, kde začne téct proud z emitoru do kolektoru.



Obr. 15: Princip PNP tranzistoru [23]

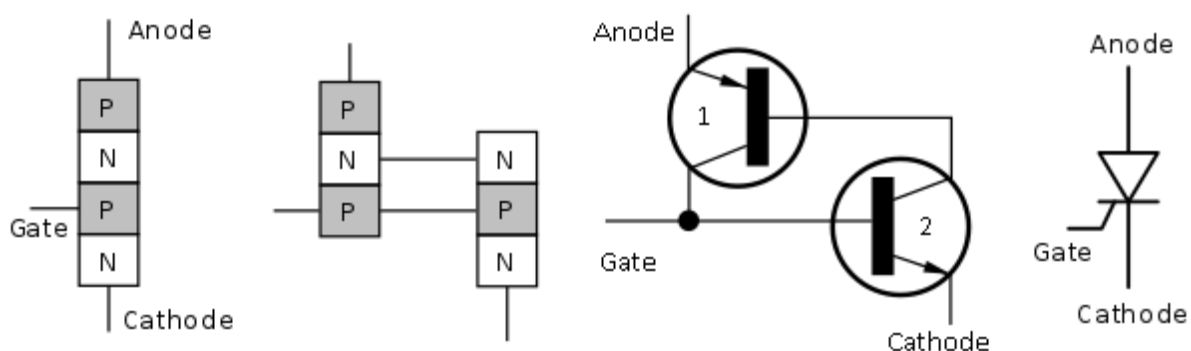


Obr. 16: Princip PNP tranzistoru [22]

Unipolárními a kombinovanými tranzistory se nebudeme zabývat, jelikož jsem se s nimi nesetkal při mé práci.

4.4 Tyristor

Tyristor je bipolární spínací součástka. „Tyristor je čtyřvrstvá součástka P-N-P-N se třemi P-N přechody a třemi elektrodami.“⁶ Katoda je C, anoda A a řídicí elektrodu G (gate). Tyristor si můžeme nahradit dvěma tranzistory pro lepší vysvětlení (obr. 17). Pokud bude na gate G nulové napětí, nebude tranzistor 2 v propustném stavu, nebude tedy ani tranzistor 1 propouštět proud. Přiložíme-li napětí na G, na bázi tranzistoru 2 bude napětí, ta tedy bude propouštět proud a tranzistor 2 se otevře. Otevře-li se tranzistor 2, proud bude moct procházet prvním tranzistorem a tyristor se otevře do propustného stavu a prochází jím proud. Po odstranění napětí z G bude tyristor stále otevřený, jelikož tranzistory se navzájem podporují v otevřeném stavu. „Tyristor může být sepnut krátkodobým proudovým impulsem do G a impulsem záření světla (fototyristor). Může být také spuštěn překročením maximální hodnoty anodového napětí, nebo vysokou teplotou při určitém napětí, ale tyto způsoby jsou nežádoucí.“¹



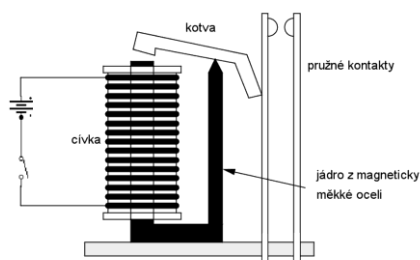
Obr. 17: Nahrazení tyristoru dvěma tranzistory pro pochopení funkce.
Vpravo je značka tyristoru [24]

Tyristor se poté vypne, pokud hodnota proudu klesne pod hodnotu přídržného proudu. Přídržný proud je minimální proud potřebný pro sepnutí tyristoru. Dále se dá vypnout zkratem anody a katody, anebo přepólováním napětí na anodě. To se děje například u střídavého proudu. Tyristory mají díky svým vlastnostem schopnost ovládat velké výkony.

5 ELEKTRONIKA

5.1 Relé modul

Relé (obr. 18) je elektronická součástka sloužící jako spínač. Nejčastěji se setkáme s elektromagnetickým relé, které užívá elektromagnet jako spínací prvek. Cívka je omotána okolo feritového jádra z měkké oceli, které při průchodu proudem sepne spínač.



Obr. 18: Princip relé [25]

V projektu jsem použil 4-kanálový relé modul na 12 V DC (obr. 19). Tento relé modul lze použít pro AC250V 10A a DC30V 10A.



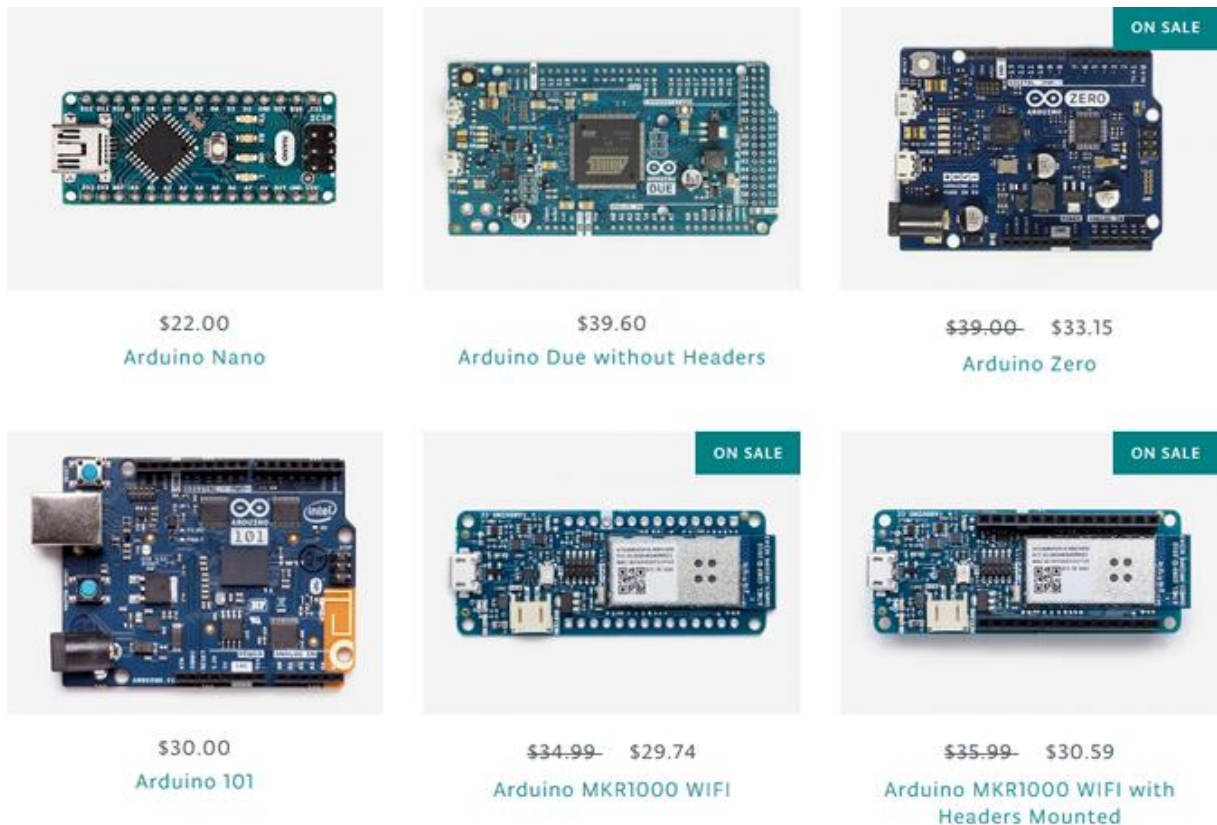
Obr. 19: Čtyřkanálový relé modul [26]

5.2 Arduino

Arduino je volně dostupná prototypovací platforma založená na jednoduchosti užívání. „Je to malý deskový počítač, založený na mikrokontrolérech ATmega od firmy Atmel. Rozdíl od normálních počítačů je, že řídicí programy jsou vyvíjeny zvlášť. Program je poté nahrán a spuštěn v jedné smyčce.“⁷ Arduino tedy neustále zjišťuje změny okolí a na ty reaguje. Díky tomu lze použít všestranně, od jednoduchých rozsvěcování LED diod, měření ze senzorů, ovládání servo motorů, až ke složitějším projektům jako například řízení robotických modelů, dronů a 3D tiskáren. Arduino je založeno na programovacím jazyku Wiring v podobě C++ a na grafickém prostředí Processing. Wiring je volně dostupný programovací jazyk určený k programování mikroprocesorů. Je mnoho modelů Arduina (obr. 20), od originálních až po kopie levně vyrobené v Číně. Modely se liší odlišným počtem vstupních a výstupních periférií, interní paměti, způsoby užití a tak dále. Na tyto modely lze umístit jejich Shiedly. Shiedly jsou

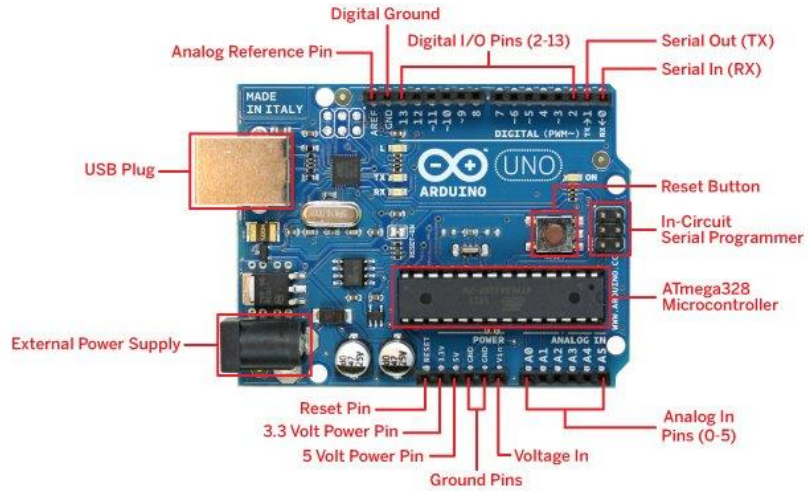
kompatibilní moduly, které lze přímo umístit na modely Arduina. Nejznámější jsou ethernetové shieldy (připojení k internetu), wifi shieldy, motor shieldy, displayové shieldy a GPS shieldy.

5.2.1 Arduino UNO



Obr. 20: Typy programovatelných platforem Arduino [27]

Já osobně používám klon Arduina UNO (obr. 21). Tato deska je založena na mikrokontroléru ATmega 328. Tato deska obsahuje 14 vstupních/výstupních digitálních pinů, 6 z nich má funkci PWM. PWM je funkce pulzně-šířkové modulace, která využívá čtvercových vlnových signálů na simulaci efektu analogových signálů. Dále obsahuje 6 analogových vstupů, 16 MHz rezonanční krystal, napájecí konektor s vstupním napětím 6-15 V DC a USB konektor. Dále se zde vyskytují komunikační rozhraní I2C a SPI. ATmega 328 má 32 KB flash paměti.



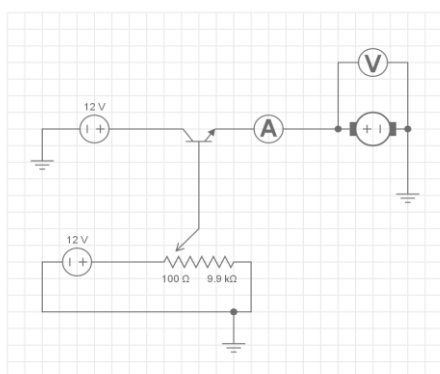
Obr. 21: Popis Arduina UNO [28]

6 PRAKTICKÁ ČÁST

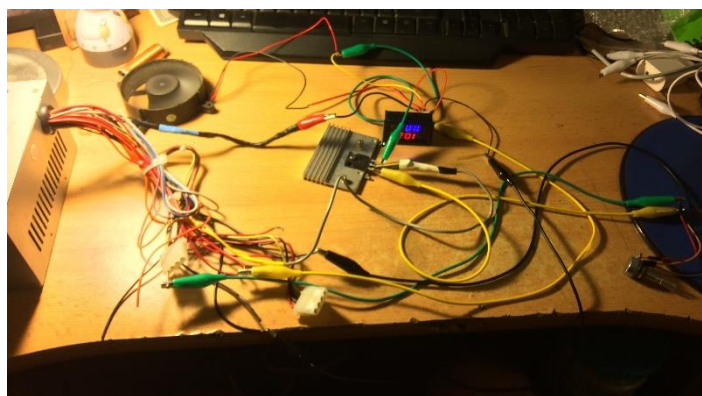
V praktické části postupně popíšu celou mojí cestu ke zhotovení funkčního modelu Gaussova urychlovače. Nejdříve jsem absolvoval dva kurzy týkající se základů Arduina. Po dokončení těchto kurzů jsem udělal pár základních projektů s Arduinem, abych mohl poté zhotovit Gaussovův urychlovač. Začal jsem konstrukcí laboratorního zdroje ze starého počítačového zdroje. Poté jsem otestoval cívky a dospěl k závěru, že mi můj laboratorní zdroj nebude stačit. Začal jsem tedy pracovat s kondenzátory. Pro nabíjení kondenzátorů jsem sestrojil dva odlišné nabíjecí obvody, z čehož jsem poté použil účinnější. Poté jsem navinul cívku a sestrojil finální obvod, do kterého jsem zapojil Arduino s LCD Shieldem na ovládání. Veškeré obvody jsem nejdříve otestoval v aplikaci EveryCircuit a poté udělal schéma v EasyEDA. Fotografie byly uprovovány v Zoner Photo Studio X.

6.1 Konstrukce laboratorního zdroje a následné testování základů.

Laboratorní zdroj jsem vytvořil ze starého počítačového zdroje MXR-200P. Počítačové zdroje mají jako hlavní výstupy 12V, 5V a 3,3V, které jsem se rozhodl použít. 12V značí žluté drátky, 5V značí červené drátky, 3,3V značí oranžové drátky a černé drátky značí zem. Jako stálé výstupní napětí jsem se rozhodl mít 5 a 3,3 V. Pro proměnné napětí jsem vytvořil obvod (obr. 22), kde proměnné výstupní napětí 12V lze regulovat přes potenciometr a tranzistor TIP142. Tranzistor byl potřeba, jelikož průtok moc velkého proudu by zničil potenciometr. K tomuto regulovatelnému vývodu jsem připojil voltmetr a ampér metr. Otestoval jsem obvod, kde jsem měl jako zátěž zapojený počítačový větrák (obr. 23).



Obr. 22: Schéma pro regulovatelné napětí.
Vlastní obsah

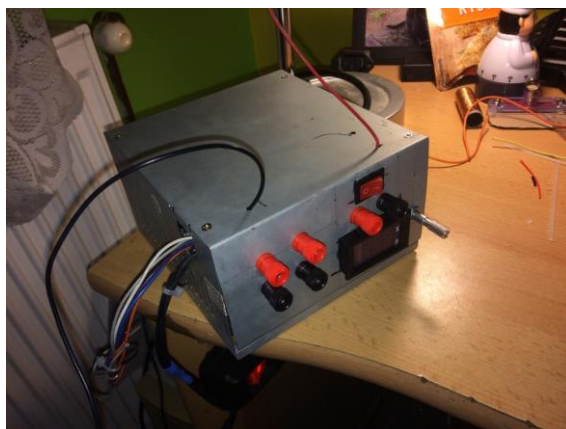


Obr. 23: Testování schématu.
Vlastní obsah

Vše fungovalo, takže jsem vyřezal díry do krytu od zdroje (obr. 24), tranzistor zapojil do zdroje, osadil kryt banánkovými samicemi, potenciometrem, vypínači a voltampér metrem. Poté jsem vše sešrouboval dohromady a měl jsem funkční jednoduchý laboratorní zdroj (obr. 26).



Obr. 24: Vyřezané díry do krytu zdroje
Vlastní obsah

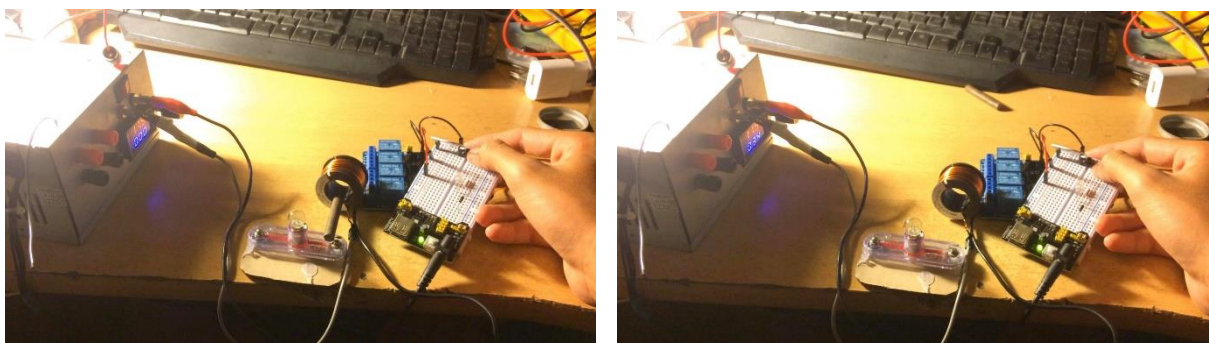


Obr. 26: Osazený a sešroubovaný laboratorní zdroj
Vlastní obsah



Obr. 25: Tranzistor s pasivním chladičem.
Vlastní obsah

Po vytvoření zdroje jsem si koupil malou cívku lakovaného měděného drátu o délce 9,6 metru a průměru 1mm. Po připojení cívky ke zdroji a relé modulu a rychlém stisknutí tlačítka se projektil velmi pomalu vymrštil z cívky. Tímto jsem vytvořil nejjednodušší Gaussův urychlovač (obr. 27). Cívka měla impulzně odběr 0,34 A při napětí 11,5 V.

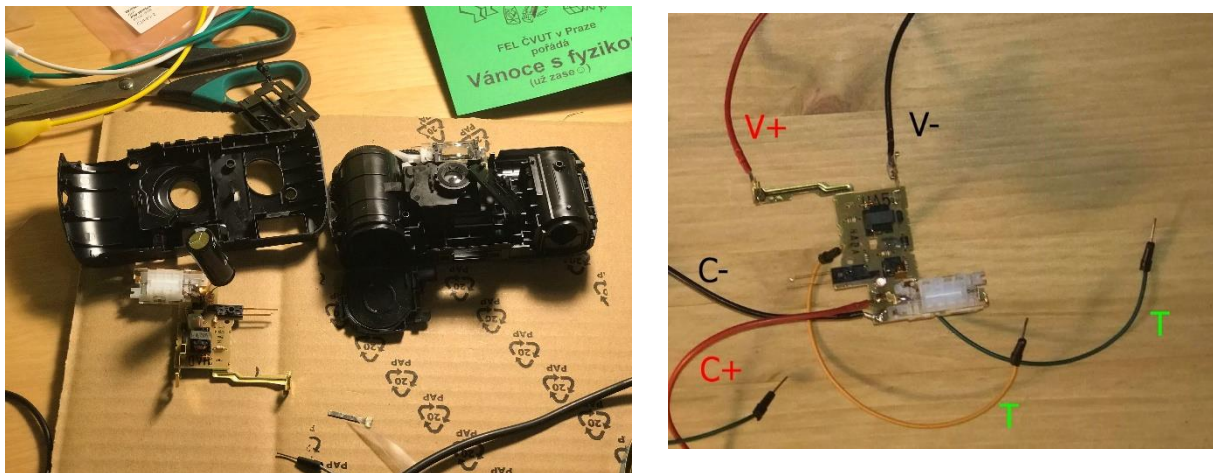


Obr. 27: Vlevo projektil před průtokem proudu, vpravo projekti po průtoku proudu cívkou.
Vlastní obsah

Dále jsem si objednal cívku lakovaného měděného drátu, která měla délku 100 m a průměr 0,8mm. Tato cívka ale měla odpor 4 Ω . Při připojení ke zdroji poskytl zdroj 4 V a 2,6 A, což nebylo dostatečné na urychlení projektilu. Začal jsem tvořit obvod pro kondenzátory.

6.2 Návrh a sestavení druhého modelu Gaussova urychlovače

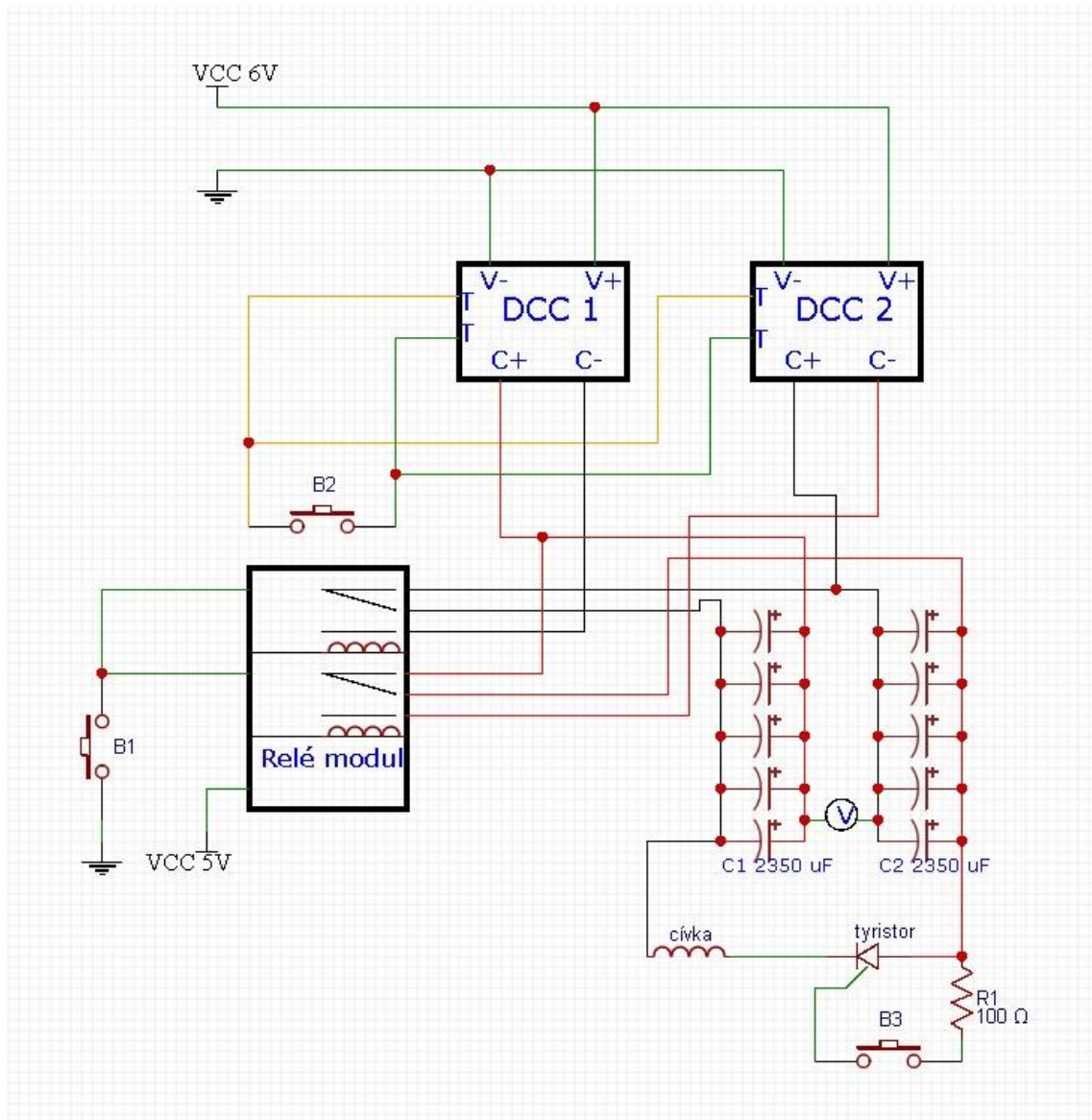
Mým hlavním problémem pro uskutečnění tohoto projektu bylo vyřešení nabíjení kondenzátorů na požadované napětí. Při stavbě druhého modelu jsem nabíjel kondenzátory přes obvody z jednorázových fotoaparátů. Tyto kamery se dají sehnat ve fotocentrech z použitých jednorázových fotoaparátů. Hlavní účel těchto obvodů je nabít kondenzátor pro blesk ve fotoaparátech. Po delším procházení fotocenter jsem v Praze sehnal dva použité jednorázové fotoaparáty (obr. 28). Z těchto fotoaparátů jsem zachránil dva plně funkční obvody (obr. 27). V+ značí vstup napětí a V- výstup napětí. C+ nabíjení kladné části kondenzátoru, C- záporné části kondenzátoru. Pokud se spojí T, proběhne nabíjení kondenzátorů.



Obr. 28: Vpravo původní obvod z jednorázového fotoaparátu.
Vlevo obvod z jednorázového fotoaparátu po připojení potřebných kabelů a jejich označení.
Vlastní obsah

6.2.1 Návrh a funkce obvodu

Navrhl jsem obvod (obr. 29) pro nabíjení kondenzátorů z DCC – disposable camera circuit (obvod z jednorázových kamer). Tento obvod tvoří dva DCC, relé modul voltmetr V, zdroj napětí 6V a 5V, tři tlačítka B1, B2 a B3, 10 kondenzátorů o jednotlivé kapacitě 470 uF a maximálním napětí 250V, rezistor R1, tyristor BT152-800R a cívka. Pokud je obvod v klidovém stavu (není stlačeno žádné tlačítko), jsou všechny kondenzátory zapojeny paralelně a jejich celková kapacita je 4700 uF. Pro nabíjení se nejdříve stiskne tlačítko B1, které spustí relé modul. Při sepnutí relé modulu se kondenzátory rozdělí na dvě skupiny pěti paralelně zapojených kondenzátorů C1 a C2. Každou skupinu je možno individuálně nabíjet z DCC. Stiskne-li se tlačítko B2 současně s tlačítkem B1 dojde k propojení spouští T z DCC. DCC 1 nabíjí C1 a DCC2 nabíjí C2 nezávisle na sobě. Průběžné napětí lze měřit voltmetrem V. Po dosažení požadovaného napětí se uvolní tlačítka B2 a B1, relé modul se vrátí do původního stavu a kondenzátory se opět spojí do jedné skupiny deseti paralelně zapojených kondenzátorů. Stisknutím tlačítka B3 dojde k průchodu proudem tyristorem a proteče proudový impuls cívkou, která urychlí projektil.

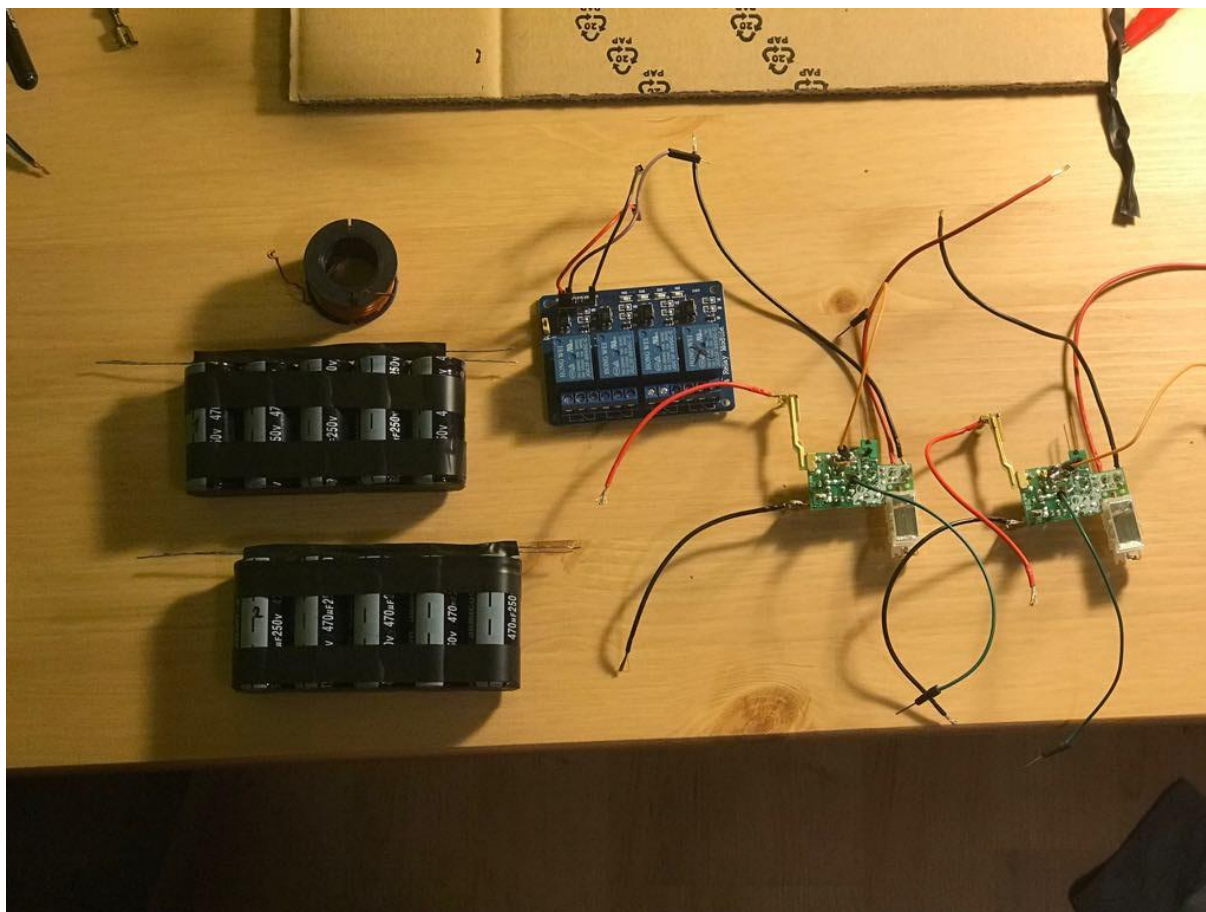


Obr. 29: Schéma pro druhý model Gaussova urychlovače.
Vlastní obsah

6.2.2 Konstrukce modelu

Začal jsem vytvořením dvou kondenzátorových bank, spojením pěti kondenzátorů paralelně (obr. 30). Poté jsem k původním DCC (obr. 28) připájel potřebné drátky na snadnou manipulaci s obvodem. Vše jsem následně zapojil podle schématu a vznikl druhý model urychlovače (obr. 31). Po sestavení modelu jsem začal testování. Hned se objevilo několik nedostatků tohoto způsobu nabíjení kondenzátorů. Obvody z jednorázových kamer jsou určeny pro nabíjení jednoho kondenzátoru. Nabíjení pěti tedy trvá o poznání déle. Nabití pěti kondenzátorů jedním DCC na 170V trvalo přibližně dvě minuty. Takto nabitých 10 kondenzátorů uchovávalo energii 68 J. Při umístění projektilu do cívky a vystřelení to bohužel nestačilo ani na zaseknutí projektilu do kartonové krabice. Tento model byl tedy časově velmi nevýhodný s nízkou energií

přenesenou do projektilu. Rozhodl jsem se tedy nezapojovat Arduino a navrhnout finální verzi modelu.



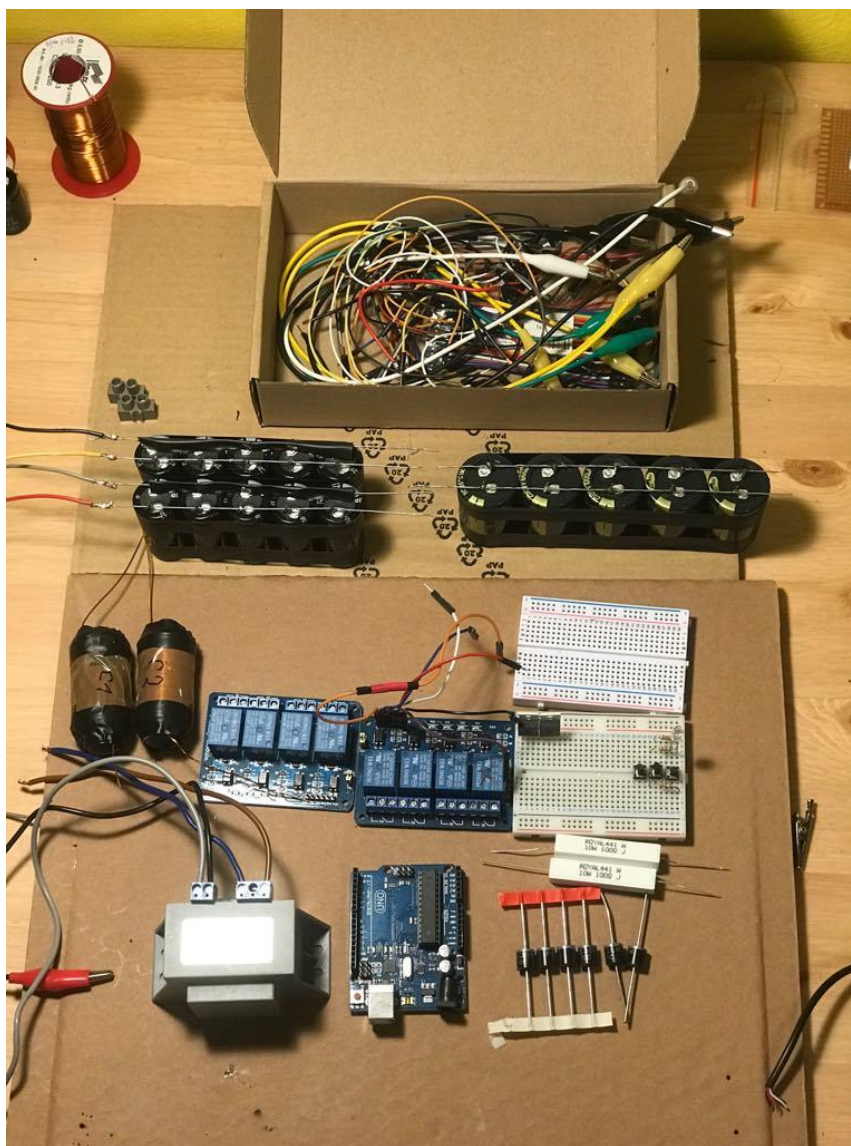
Obr. 30: Kondenzátory, relé modul, cívka a dva DCC pro druhý model
Vlastní obsah



Obr. 31: Zhotovený druhý model Gaussova urychlovače
Vlastní obsah

7 NÁVRH A SESTAVENÍ FINÁLNÍ VERZE MODELU GAUSSOVA URYCHLOVAČE

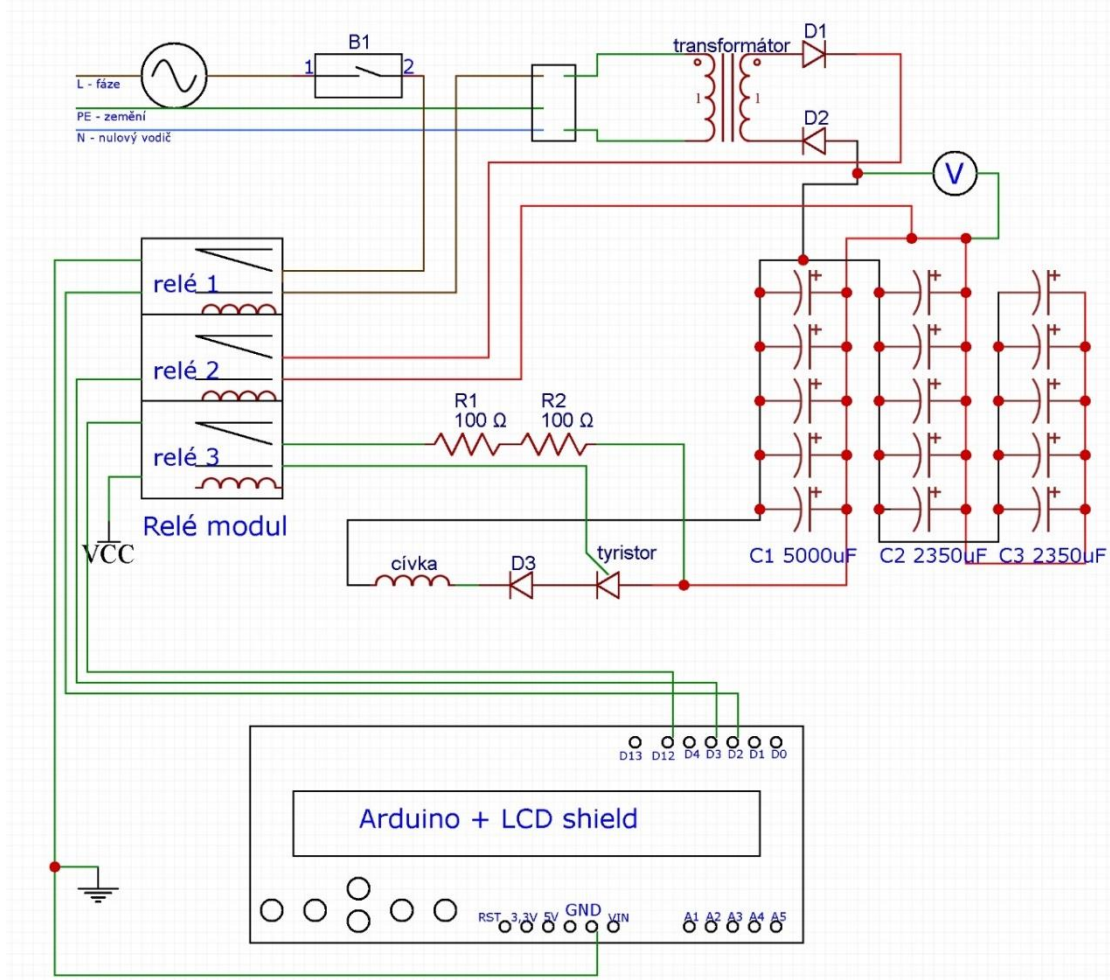
Ve finálním modelu jsem se rozhodl nabíjet kondenzátory přes oddělovací transformátor z rozvodné sítě. Tento obvod tvoří oddělovací transformátor v poměru 1:1, relé modul, specificky navinutá cívka, dva rezistory o odporu $100\ \Omega$, tyristor 40TPS08APBF, tři usměrňovací diody P600M, které mají maximální hodnoty $1000\ \text{V}$ a $6\ \text{A}$, spínač, deset kondenzátorů o jednotlivé kapacitě $470\ \mu\text{F}$ a maximálním napětí $250\ \text{V}$, pět kondenzátorů o jednotlivé kapacitě $1000\ \mu\text{F}$ a maximálním napětím $250\ \text{V}$, voltmetr a Arduino s LCD shieldem. Potřebné komponenty, kromě LCD shieldu a voltmetru jsou vidět na obrázku 32.



Obr. 32: Komponenty pro finální verzi Gaussova urychlovače
Vlastní obsah

7.1 Princip obvodu

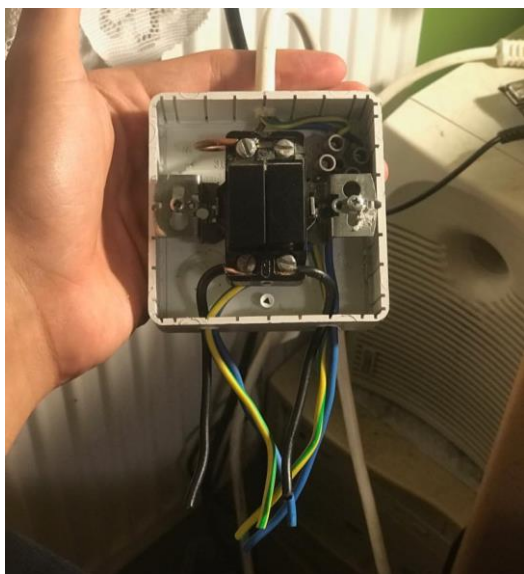
Obvod je vidět na obrázku 33. Spínač B1 je nutno manuálně sepnout, aby se kondenzátory mohly nabíjet. Tento spínač je manuální z důvodu jednoduchého a bezpečného vypnutí a zapnutí elektrického proudu do obvodu. Po sepnutí spínače B1 a aktivaci relé 1 se spustí transformátor. Do transformátoru je přivedeno střídavé napětí 230V z rozvodné sítě. Na sekundárním výstupu transformátoru jsou zapojeny usměrňovací diody z důvodu usměrnění střídavého napětí na stejnosměrné. K nabíjení kondenzátorů je nutné aktivovat současně s relé 1 relé 2. Jsou-li tyto relé zapnuté, začne se nabíjet 15 paralelně zapojených kondenzátorů o celkové kapacitě 9700 uF. Po nabití kondenzátorů na požadované napětí se vypnou relé 1 a 2. Tímto přestane pracovat transformátor a nedochází k tepelným a elektrickým ztrátám. Po zapnutí relé 3 se přivede na bránu tyristoru slabý proud, který umožní průtok proudu tyristorem. Za tyristorem je další usměrňovací dioda z důvodu zabránění poničení tyristoru zpětným rázem cívky. Cívkou projde impulsní proud, který urychlí projektil. Celý relé modul je řízen Arduino, kde je možno nastavit napětí na kondenzátorech a propustnou dobu tyristoru, k tomu se dostaneme později.



Obr. 33: Schéma finálního modelu Gaussova urychlovače
Vlastní obsah

7.2 Konstrukce modelu

Konstrukci finálního modelu jsem začal vytvořením jednoduchého spínače (obr. 34), který jsem našel v dílně. K tomuto spínači jsem připojil kabel s koncovkou do zásuvky, který byl ze staré pračky. Spínač zapíná fázi, která je značena hnědým drátem. Uzemnění a nulový vodič jsem nepřipojil na vlastní spínač, jelikož to nejsou nosiči elektrického napětí, není zde nebezpečí na rozdíl od fáze. Fázi jsem připojil do relé modulu na relé 1, aby bylo možné individuálně spouštět transformátor. Původně jsem chtěl na usměrnění použít Graetzův můstek. Ten bohužel nefungoval, tak jsem se spokojil s jednoduchým usměrněním přes dvě usměrňovací diody. Z diody, která byla v propustném stavu směrem od transformátoru, jsem připojil přes druhé relé kladnou část kondenzátorů v paralelním zapojení. Zápornou část jsem připojil k druhé diodě, která byla propustná ve směru do transformátoru. Tímto vzniklo jednoduché usměrnění proudu na požadovaný stejnosměrný proud. Poté jsem připojil fázi a nulový vodič k transformátoru a otestoval, zda vše funguje jak má (obr. 35). Ke kladné části jsem poté připojil tyristor, za něj kontrolní usměrňovací diodu a následně cívku. Pro tento model jsem navinul cívku z měděného drátu o průměru 0,8mm. Tato cívka má 6 vrstev měděného drátu o délce jedné vrstvy vinutí přibližně 4,5cm. Takto jsem navinul 2 cívky, pro případnou tvorbu dvou cívkového urychlovače. Z tyristoru jsou sériově zapojeny dva rezistory o jednotlivých hodnotách 100 Ω. Tyto rezistory jsou zapojeny do relé modulu, odkud vede zapojení do brány tyristoru. Po

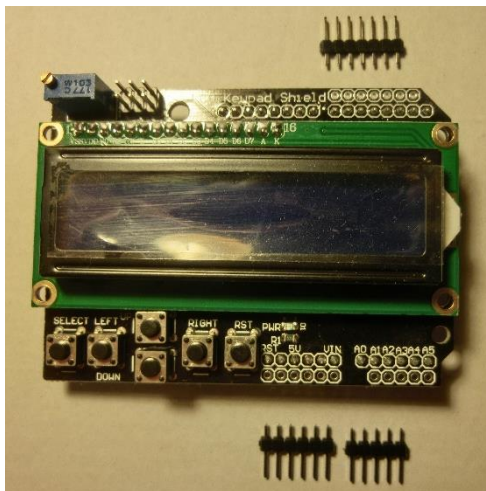


Obr. 34: Hlavní vypínač
Vlastní obsah



Obr. 35: Testování kondenzátorové banky nabíjené transformátorem
Vlastní obsah

otestování funkčnosti jsem připojil relé moduly k Arduino s LCD shieldem (obr. 36) a napsal program pro ovládání tohoto modelu.



Obr. 36: LCD shield s potřebnými kolíkovými piny před připájením.
Vlastní obsah

7.3 Program pro Arduino

Celý program lze vidět v příloze 10.5. Z obrázku 36 můžeme vidět, že na LCD shieldu je 5 tlačítek. Zleva je první Select, druhé Left, uprostřed jsou dvě tlačítka, kdy horní je Up a dolní Down. Poté vpravo od nich je tlačítko Right a poslední pravé tlačítko je RST. Tlačítko RST slouží k restartování Arduina, toto tlačítko nebudu používat. Používat budu tlačítka Select, Left, Up, Down a Right. Základní hodnoty nastavení programu jsou: napětí 200 V, doba nabíjení 18 s a doba výstřelu 500 ms. V programu jsou důležité 4 funkce. Funkce nacti () umožňuje rozpoznání stisknutého tlačítka na LCD shieldu. Tlačítka fungují na principu odporového děliče. Nelze tedy detekovat více stisknutých tlačítek zároveň. Podle výsledného odporu, který je připojen na A0 podmínky if detekují stisknuté tlačítko. Funkce voltageFunc () umožňuje nastavovat napětí, kterým budou nabity kondenzátory. Při stisknutí tlačítka Left se spustí funkce voltageFunc, kde je možno regulovat napětí tlačítka Up a Down. Při druhém stisknutí tlačítka Left se spustí funkce coilGun. Tato funkce vypíše základní údaje o modelu, zvolené napětí na nabití a zvolenou dobu spuštění tyristoru na relé 3. Poslední funkce je fireFunc (). Tato funkce se aktivuje dvouvteřinovým podržením tlačítka Left. Poté, stejně jako u funkce voltageFunc, lze nastavit požadovanou dobu spuštění tyristoru tlačítka Up a Down. Stisknutím tlačítka Left se opět spustí funkce coilGun. Je-li vše nastaveno, tlačítkem Select se spustí nabíjení kondenzátorů na požadované napětí spuštěním relé 1 a 2. Po nabití se vypíše na jaké napětí je cívka nabita. Stisknutím tlačítka Right dojde k sepnutí relé 3 a výstřelu. Poté se spustí čtyř vteřinové vybíjení zbytkového napětí kondenzátoru spuštěním relé 3. Poté se vše nastaví na základní hodnoty a model je připraven na další nabití.

7.5 Testování modelu

Své testování jsem začal tím, zda nyní vystřelený projektil prorazí kartonovou krabicí. Jako projektil jsem si nejdříve zhotovil z dlouhého šroubu tři menší projektily o délce od 4,6cm do 4,8cm. Jsou to projektily A, B a C. Po krátkém testování se ukázal jako nejlepší projektil D (obr. 37). Tento projektil je nasazovací šroubovák, který jsem našel v dílně.



Obr. 37: Použité projektily.
Vlastní obsah

Pro určení výsledné rychlosti projektilu jsem si půjčil vysokorychlostní kameru CASIO EXILIM EX-ZR100. Tato kamera je schopna zaznamenat až 1000 snímků za vteřinu. Na obrázku 38 lze vidět celkem 10 snímků při snímkové frekvenci 1000 FPS. Rozmezí pruhů pod projektilem je 1 cm. Z tohoto obrázku lze vypočítat rychlost projektilu.



Obr. 38: Deset po sobě jdoucích snímků letícího projektilu při snímkové frekvenci 1000 FPS.
Vlastní obsah

Rychlost projektilu lze vypočítat ze vzorce

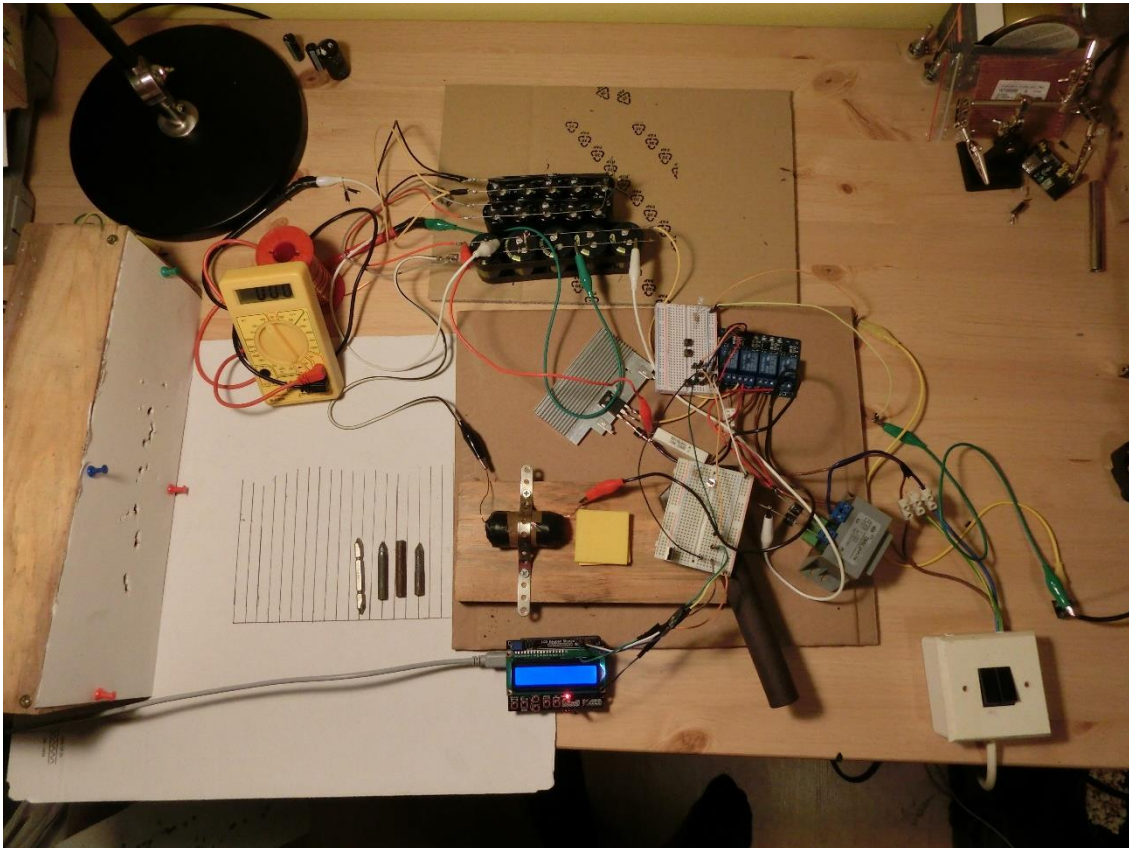
$$\text{rychlost} = \frac{\text{vzdálenost}}{\text{čas}} \text{ a } \text{čas} = \frac{\text{počet snímků}}{\text{snímková frekvence}}$$

Čas se tedy rovná 0,01 s. Rychlost je 10 ms^{-1} . Kinetická energie se spočítá ze vzorce

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2,$$

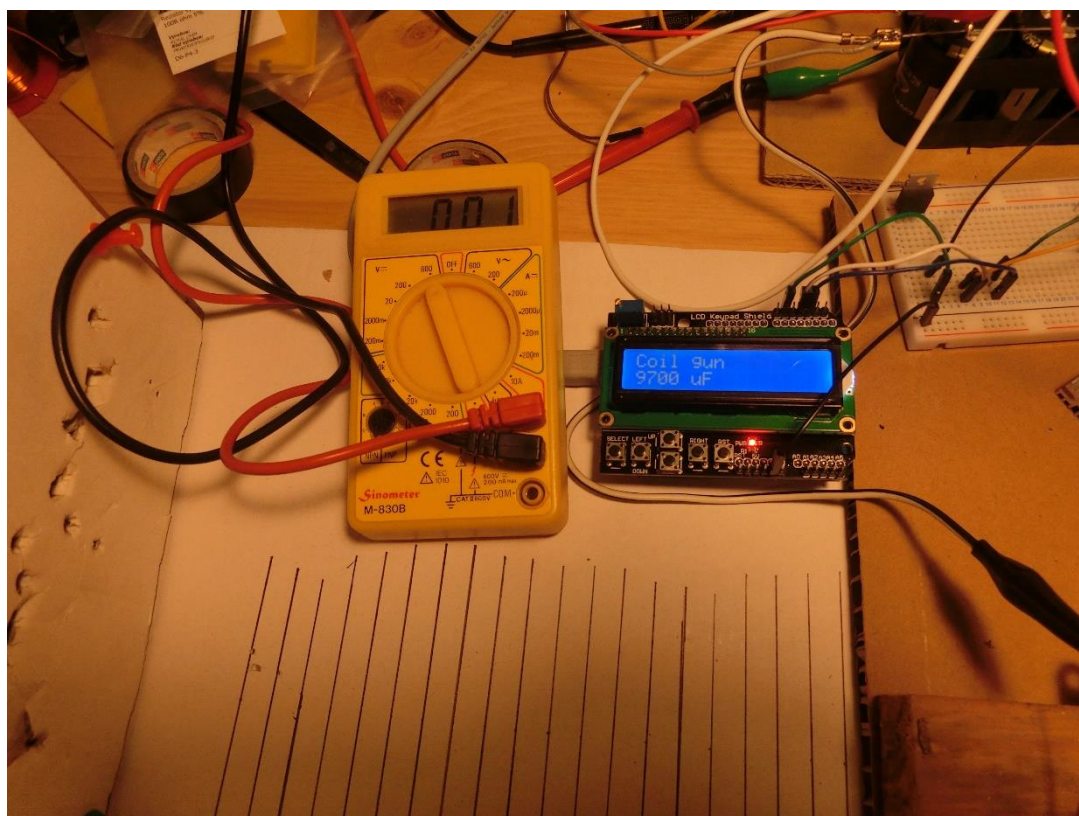
kdy hmotnost projektilu m je 14g. Kinetická energie projektilu tedy je 0,7 J. Celková energie kondenzátorů při nabití na 200 V je 194 J. Do projektilu se tedy přeneslo pouze 0,4 % energie. Proto se tyto urychlovače nepoužívají v reálném světě, jelikož jejich účinnost je velice nízká. Účinnost by se dala zvýšit různými způsoby. Například děláním pokusů s odlišnými cívkami, projektily, zvětšení průměru drátů, aby zde byl menší odpor při průchodu proudu, změnou tranzistoru, nabitím kondenzátorů na vyšší napětí a tak dále. Dalším možným zvýšením účinnosti by mohlo být zapojení dvou cívek za sebou s poloviční kapacitou kondenzátorů na každé. Toto byl můj původní záměr, proto jsem navinul 2 cívky. Bohužel z důvodu nedostatku času, jsem nestihl zhotovit další model fungující na principu dvou cívek a porovnat s modelem s jednou cívkou.

7.6 Fotografie finálního modelu



Obr. 39: Fotografie finálního modelu Gaussova urychlovače.

Vlastní obsah



Obr. 40: Fotografie Arduina s LCD shieldem a voltmetru.
Vlastní obsah

8 ZÁVĚR

V této práci jsem se seznámil s teoretickými základy elektrotechniky. Od principů o elektrickém proud a napětí až po složitou činnost polovodičů. Dále jsem se seznámil proč, a jak fungují určité součástky. Celý tento projekt jsem se rozhodl udělat, abych si otevřel dveře do světa elektrotechniky. Myslím si, že jsem si splnil svůj osobní cíl. Naučil jsem se vytvářet jednoduché schémata pro obvody, ty poté vytvořit v reálném světě, pájení komponentů a základní schopnosti programovat Arduino a tím i vytvářet různé jiné projekty. Elektrotechnika byla vždy mým koníčkem a tvorbu této práce jsem si příjemně užil, i přes pár neúspěchů. Celý tento projekt jsem začal naučením se Arduinem. Po naučení jsem se rozhodl vytvořit si laboratorní zdroj ze starého počítačového zdroje. Vytvoření tohoto zdroje byl můj první úspěch, kdy jsem udělal elektronický přístroj bez pomoci. Po vytvoření tohoto zdroje jsem začal testovat základní princip Gaussova urychlovače. Po zjištění, že můj zdroj není dostatečně výkonný, jsem vytvořil obvod na nabíjení kondenzátorů z obvodů jednorázových kamer. Bohužel mi ani tento model nepřišel dostatečně výkonný, tak jsem vytvořil finální verzi modelu, kde se kondenzátory nabíjely z rozvodné sítě. Jeden z neúspěchů byl, když se mi záhadně povedlo vyzkratovat můj vytvořený laboratorní zdroj, který jsem nadále nemohl používat. To ale nebyl problém, jelikož jsem kondenzátory nabíjel z transformátoru a relé model jsem napájel z obyčejné nabíječky na mobilní telefony, která má výstup 5 V. Tato finální verze už byla úspěšná. Při testování jsem se dozvěděl, že projektil má energii 0,7 J. Můj model měl tedy účinnost jen 0,4 %, což není dobré pro reálné využití. Projektil měl ale dostatečnou energii na zabodnutí do krabice, takže jsem byl spokojený s výsledkem. Pro ovládání finální verze modelu jsem naprogramoval Arduino podle mé představy, což bylo také mým osobním úspěchem, jelikož jsem nikdy nebyl moc dobrý v programování. Celý tento projekt stavění Gaussova urychlovače mě vyšel na 3500 Kč (viz příloha). V této částce jsou zahrnuty pouze komponenty nutné k vytvoření projektu. Celková cena, kterou mě stál tento koníček od základu tohoto projektu je několikanásobně vyšší.

Tento projekt dopadl úspěšně a doufám, že mi znalosti, které jsem se naučil při děláni tohoto projektu, pomohou k budoucímu studiu na vysoké škole.

9 POUŽITÁ LITERATURA A SEZNAM CITACÍ

- [1] VOBECKÝ, Jan a Vít ZÁHLAVA. *Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady*. 3., rozš. vyd. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 978-80-247-1241-3.
- [2][online][2018.11.24]<https://www.vedanasbavi.cz/orisek-2-magnetismus>
- [3][online][2018.11.24]http://physics.ujep.cz/~mmaly/vyuka/ruzne/ISING/Ising/05_Magnetic_ke_pole.pdf
- [4] LEPIL, Oldřich a Přemysl ŠEDIVÝ. *Fyzika pro gymnázia*. 4., upravené vydání. Praha: Prometheus, 1995. ISBN 80-7196-088-8.
- [5] OPAVA, Zdeněk. *Elektrina kolem nás*. Praha: Albatros, 1981. ISBN 13-724-85.
- [6][online][2018.11.24]<https://www.mylms.cz/text-31-tyristor-va-charakteristika-pouziti/>
- [7][online][2018.11.24]<https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [8][online][2018.11.24]<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/227-vodic>
- [9][online][2018.11.24]https://cs.wikipedia.org/wiki/Kirchhoffovy_z%C3%A1kony
- [10][online][2018.11.26]<https://www.mylms.cz/text-2-rezistory-druhy-pouziti-znacky-znaceni-hodnot/>
- [11][online][2018.11.26]<https://slideplayer.cz/slide/11198606/>
- [12][online][2018.11.24]<https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=17601&revision=-1&instance=2>
- [13][online][2018.11.26]<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Einfacher-unbelasteter-Spannungsteiler.svg>
- [14][online][2018.11.26]<https://slideplayer.cz/slide/2878702/10/images/36/KONDENZ%C3%81TORY+Sch%C3%A9matick%C3%A9+zna%C4%8Dky%3A.jpg>
- [15][online][2018.11.26]<https://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/DC/00355.png>
- [16][online][2018.11.29]<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Xfmr01CJC.png>
- [17][online][2018.11.29]<http://www.spssvsetin.cz/assets/05/el-10.htm>
- [18][online][2018.11.29]<https://cs.wikipedia.org/wiki/LED>
- [19][online][2018.11.29]<https://www.mylms.cz/obrazky/elektronika/zaverecky/11-3.png>
- [20][online][2018.11.30]<https://www.mylms.cz/obrazky/elektronika/zaverecky/16-1-s.png>

- [21][online][2018.11.30]https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/NPN_BJT_Basic_Operation_%28Active%29.svg
- [22][online][2018.11.30]<http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Difference-between-a-NPN-and-a-PNP-transistor>
- [23][online][2018.11.30]<https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran6.gif>
- [24][online][2018.12.2]<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c5/Thyristor.svg>
- [25][online][2018.12.3]https://edu.techmania.cz/sites/default/files/styles/large/public/encyklopedie/insert/20_8.gif?itok=xD62Jdn5
- [26][online][2018.12.3]<http://cdn.buysnip.com/5V-4-Channel-Relay-Module-with-light-coupling-for-Arduino-PIC-ARM-DSP-AVR-Raspberry-Pi-B58-01.jpg>
- [27][online][2018.12.3]<https://static.makeuseof.com/wp-content/uploads/2017/09/android-store-board-models.png>
- [28][online][2018.12.3]<https://aws.robu.in/wp-content/uploads/2016/04/Captureas.jpg>

10 PŘÍLOHA

10.1 Náklady na laboratorní zdroj a jednoduchý model

Tab. 2: Ceny jednotlivých komponentů. Zdroj: vlastní data

Součástky	Cena
Tranzistor TIP142 TO247	38 Kč
Digitální voltmetr a ampérmetr 100V 10A	166 Kč
Konektory banánky 3x	72 Kč
Vypínače 250V 6A	34 Kč
Potenciometr 10k Ω	12 Kč
Čtyřkanálový relé modul	77 Kč
Cívka o průměru drátu 1mm	85 Kč
Poštovné celkem	+/-300 Kč
Celková cena	787 Kč

10.2 Náklady na druhý model Gaussova urychlovače

Tab. 3: Ceny jednotlivých komponentů. Zdroj: vlastní data

Součástky	Cena
Kondenzátor 250 V 470 uF x10	470 Kč
Tlačítko x3	12 Kč
Tyristor BT152-800R	18 Kč
Role měděného drátu o průměru 0,8mm a délce 100m	304 Kč
Potenciometr 10k Ω	12 Kč
Výkonový rezistor 10W 100 Ω x4	20 Kč
Poštovné celkem	+/-200 Kč
Celková cena	1036 Kč

10.3 Náklady na finální model Gaussova urychlovače

Tab. 4: Ceny jednotlivých komponentů. Zdroj: vlastní data

Součástky	Cena
Kondenzátorů 250 V 1000 uF x5	318 Kč
Oddělovací Transformátor 1:1	315 Kč
Tyristor BT152-800R	68 Kč
Usměrňovací dioda P600M x2	9 Kč
Klon Arduino UNO	484 Kč
Arduino LCD shield	231 Kč
Poštovné celkem	+250 Kč
Celková cena	1675 Kč

Cena tohoto projektu je tedy 3500 Kč pouze za komponenty potřebné k vytvoření projektu.

10.4 Použitý software

Arduino IDE: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Zoner Photo Studio X: <https://www.zoner.cz/>

PhotoFiltre Studio X: <http://www.photofiltre-studio.com/news-en.htm>

DaVinci resolve: <https://www.blackmagicdesign.com/products/davinciresolve/>

Easy EDA: <https://easyeda.com/>

EveryCircuit: <http://everycircuit.com/app/>

Movie maker

10.5 Zdrojový kód

```
int chargeTime = 180;
//proměnná pro nastavení základního času intervalu nabíjení. Základní
nastavení 180ms.

int voltage = 200;
//proměnná pro nastavení základního nabití kondenzátorů. Základní nastavení
je 200V

int firing = 500;
//proměnná pro nastavení sepnuté doby relé 3 v ms. Základní nastavení je
500ms.

int rele = 0;
int analog = 0;

#define RELE_PIN_FUSE 2
#define RELE_PIN_CHARGE 3
#define RELE_FIRE 12

long buttonTimer = 0;
long longPressTime = 1500;

boolean buttonActive = false;
boolean longPressActive = false;
boolean palba = false;

boolean napeti = false;
boolean fireTime = false;
// připojení knihovny
#include <LiquidCrystal.h>
// inicializace LCD displeje
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
// nastavení čísla propojovacího pinu
// pro osvětlení LCD displeje
#define lcdSvit 10

void setup() {
  Serial.begin (9600);
  // zahájení komunikace s počítačem,

  lcd.begin(16, 2);
  // zahájení komunikace s displejem,
  // 16 znaků, 2 řádky

  pinMode(lcdSvit, OUTPUT);
  // nastavení pinu pro řízení osvětlení jako výstupu
  digitalWrite(lcdSvit, HIGH);

  pinMode (RELE_PIN_FUSE, OUTPUT);
  pinMode (RELE_PIN_CHARGE, OUTPUT);
  pinMode (RELE_FIRE, OUTPUT);
  //nastavení tří pinů pro relé modul jako výstupní

  digitalWrite (RELE_PIN_FUSE, HIGH);
  digitalWrite (RELE_PIN_CHARGE, HIGH);
  digitalWrite (RELE_FIRE, HIGH);
```



```

// nastavení relé modulu, aby vše relé byly vypnuté

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print ("Coil gun ");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print ("9700 uF 200V");
//vypsání základních údajů
}

void loop() {

  if (napeti == true)
  {
    voltageFunc ();
  }

  if (fireTime == true)
  {

    fireFunc ();
  }
  nacti ();
  delay (200);
}

void nacti () {
  int analog = analogRead(A0);
  if ( (analog > 600) && (analog < 750) ) // SELECT, nabíjení
  {
    lcd.clear();
    Serial.println ("nabijeni");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Nabijeni: 0-");
    lcd.setCursor(12, 0);
    lcd.print (voltage);
    lcd.setCursor (15, 0);
    lcd.print ("V");
    digitalWrite (RELE_PIN_FUSE, LOW);
    digitalWrite (RELE_PIN_CHARGE, LOW);
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print ("%");
    for ( int counter = 1; counter <101; counter++){
      lcd.setCursor (3, 1);
      lcd.print (counter);
      delay (chargeTime);}
    digitalWrite (RELE_PIN_FUSE, HIGH);
    digitalWrite (RELE_PIN_CHARGE, HIGH);
    delay (1000);
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.print ("Nabito na ");
    lcd.setCursor (10,0);
    lcd.print (voltage);
    lcd.setCursor (13,0);
    lcd.print ("V");
  }
  //smyčka na nabití o požadovaném napětí.

  if (analog < 50)// "RIGHT, výstřel";
  {

```

```

    lcd.clear ();
    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.print ("Fire ");
    lcd.setCursor (5, 0);
    lcd.print (firing);
    lcd.setCursor (9, 0);
    lcd.print ("ms");
    digitalWrite (RELE_FIRE, LOW);
    delay (firing);
    digitalWrite (RELE_FIRE, HIGH);
    delay (2000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.print ("Vybijeni");
    lcd.setCursor (0,1);
    lcd.print ("kondenzatoru");
    digitalWrite (RELE_FIRE, LOW);
    delay (4000);
    digitalWrite (RELE_FIRE, HIGH);
    voltage = 200;
    chargeTime = 180;
    firing = 500;
    coilGun ();
}
//smyčka pro výstřel, vybití kondenzátorů a nastavení na základní hodnoty
// if ((analog > 700) && (analog < 1024)){ } // text = " ";
// if ( (analog > 95) && (analog < 150) ){ } // text = "Nahoru(UP)";
// if ( (analog > 250) && (analog < 350) ){ } // text = "Dolu(DOWN)";

if ( (analog > 400) && (analog < 500) )// LEFT - určení parametrů
{
    //Serial.println ("BEGIN");
    if (buttonActive == false) {

        buttonActive = true;
        buttonTimer = millis();
    }

    if ((millis() - buttonTimer > longPressTime) && (longPressActive ==
false)) {
        longPressActive = true;
        fireTime = true;
        palba = true;
        lcd.clear ();
        lcd.setCursor (0,0);
        lcd.print ("doba vystrelu");

        Serial.println ("dlouze");
    }
}
else {

if (buttonActive == true) {

    if (longPressActive == true) {

        longPressActive = false;
    }
    else {

```

```

        Serial.println ("kratce");
        napeti = true;

    }
    buttonActive = false;
}
}
//smyčka na zjištění, zda je Left stiknuto dlouze, či krátce.
}

void voltageFunc (){
    int analog = analogRead(A0);

    if ( (analog > 400) && (analog < 500) )//LEFT - zpět do hlavní nabídky
    {
        coilGun ();
        napeti = false;
        delay (1500);
    }
    else {
        int analog = analogRead(A0);
        lcd.clear ();
        lcd.setCursor (0,0);
        lcd.print ("Napeti");
        lcd.setCursor (7, 0);
        lcd.print (voltage);
        lcd.setCursor (11,0);
        lcd.print ("V");
        lcd.setCursor (0,1);
        lcd.print ("doba nabiti");
        lcd.setCursor (12, 1);
        lcd.print (chargeTime / 10);
        lcd.setCursor (14, 1);
        lcd.print ("s");
        if ( (analog > 95) && (analog < 150) ) // UP - přidat
        {
            if (voltage <230){
                voltage = voltage + 5;
                chargeTime = chargeTime + 12;
            }
            Serial.println (voltage);
            Serial.println (chargeTime);
            delay (200);
        }
        if ( (analog > 250) && (analog < 350) )// DOWN - ubrat
        {
            voltage = voltage - 5;
            chargeTime = chargeTime - 12;
            Serial.println (voltage);
            Serial.println (chargeTime);
            delay (200);
        }
    }
}
//smyčka pro nastavení napětí, které je možno měnit o rozmezí 5 voltů
//doba nabíjení je přímo úměrná napětí, které je zvoleno

void coilGun (){
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor (0,0);

```

```

    lcd.print ("Coil gun 9700 uF");
    lcd.setCursor (2, 1);
    lcd.print (voltage);
    lcd.setCursor (5, 1);
    lcd.print ("V");
    lcd.setCursor (7,1);
    lcd.print (firing);
    lcd.setCursor (11, 1);
    lcd.print ("ms");
}
//vypsání nastavených údajů

void fireFunc (){
    int analog = analogRead(A0);
    if (palba == true){
        palba = false;
        delay (2000);
    }
    else {
        if ( (analog > 400) && (analog < 500) )// LEFT - zpět do hlavní nabídky
        {
            Serial.println ("cas");
            coilGun ();
            fireTime = false;
            delay (1500);
        }
        else {
            lcd.clear ();
            int analog = analogRead(A0);
            lcd.clear ();
            lcd.setCursor (0,0);
            lcd.print ("doba vystrelu");
            lcd.setCursor (1, 1);
            lcd.print (firing);
            lcd.setCursor (5,1);
            lcd.print ("ms");
            if ( (analog > 95) && (analog < 150) ) // UP - přidat
            {
                firing = firing + 50;
                Serial.println (firing);
                delay (200);
            }
            if ( (analog > 250) && (analog < 350) )// DOWN - ubrat
            {
                firing = firing - 50;
                Serial.println (voltage);
                Serial.println (chargeTime);
                delay (200);
            }
        }
    }
}
//smýčka pro nastavení času výstřelu
//lze měnit v rozmezí 50ms

```