

**Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy
SEZIMOVO ÚSTÍ**

Studijní obor: 26-41-N/01

Elektrotechnika – mechatronické systémy

Jiří Pražák

Návrh a konstrukce elektronického mincovníku

Sezimovo Ústí 2013

**Vedoucí absolventské práce:
Ing. Alexej Salzman**



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Jiří Pražák**
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy
Název práce: **Návrh a konstrukce elektronického mincovníku**

Zásady pro vypracování:

1. Vytvořte představu elektronického mincovníku.
2. Navrhněte funkční elektronické zapojení.
3. Vytvořte funkční model mincovníku.
4. Proveďte měření na funkčním vzorku.
5. Navrhněte vyhodnocovací obvody.
6. Zhodnoťte funkci, konstrukci a výsledky měření.
7. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

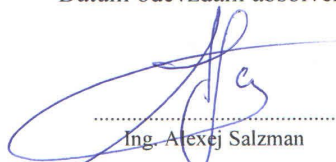
Doporučená literatura:

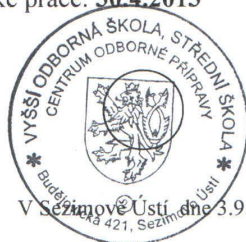
- [1] VYSOKÝ, P., MALÝ, K., FÁBERA, V. *Základy elektrotechniky*, (studijní modul 3), Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2003, ISBN 80-7204-315-3.
- [2] VOŽENÍLEK, L., ŘEŠÁTKO, M. *Základy elektrotechniky*. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1986.
- [3] Firemní dokumentace, PHOENIX MECANO.


Vedoucí práce: Ing. Alexej Salzman, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí
Odborný konzultant práce: Mgr. Marcel Udržal, EuroTact s.r.o., Hradec Králové
Oponent práce: Ing. Václav Šedivý, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **3.9.2012**

Datum odevzdání absolventské práce: **30.4.2013**


.....
Ing. Alexej Salzman
(vedoucí práce)




.....
Ing. František Kamlach
(ředitel školy)

Anotace

Tato práce se zabývá tvorbou modelu elektronického mincovníku. Seznámíme se zde s jednotlivými druhy používaných mincovníků a s elektrickými veličinami důležitými pro výrobu našeho modelu. Dále je vytvořena konstrukce mincovníku, měřicí část modelu, jsou zde navrženy vyhodnocovací obvody a na závěr jsou provedeny různé druhy elektrických měření, důležitých pro vyhodnocení hodnoty a pravosti vhozené mince.

Annotation

This work deals with the creation of the electronic coin selector model. It introduces us the various kinds of the coin selector and electrical parameters that are important for the production of our model. Next the coin selector design is created with the measurement part of the model, evaluation circuits and in the end different kinds of electrical measuring are made which are important for the evaluating of the value and authenticity of the coin.

Poděkování

Jako prvním bych rád poděkoval vedoucímu mé absolventské práce panu Ing. Alexeji Salzmanovi za odborné vedení a konzultaci. Dále panu Bc. Miroslavu Hospodářskému za odborné rady a pomoc při měření, panu Ing. Vladimíru Chalupovi za kontrolu anglické anotace a panu Mgr. Marcelu Udržalovi za poskytnutí podkladů. V neposlední řadě také děkuji své rodině za podporu při tvorbě mé práce.

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem tuto absolventskou práci vypracoval zcela sám a čerpal pouze ze zdrojů uvedených níže.

V Sezimově Ústí dne 25.4. 2013

Podpis 

Souhlasím s půjčováním mé absolventské práce

Návrh a konstrukce elektronického mincovníku

v informačním středisku odborné knihovny VOS, SŠ, COP Sezimovo Ústí. Zároveň souhlasím s tím, aby škola moji práci využívala k didaktickým a propagačním činnostem při zachování jména autora apod.

V Sezimově Ústí

dne 25.4. 2013

Jméno a příjmení: Jiří Pražák

podpis:



Obsah

1 Úvod.....	1
2 Co je mincovník.....	3
3 Rozdělení mincovníků.....	5
3.1 Optoelektronický mincovník.....	5
3.1.1 Skenování ražby mince.....	5
3.1.2 Řízení mincovníku.....	5
3.1.3 Technická data.....	6
3.1.4 Připojovací rozhraní.....	6
3.2 Indukční mincovník.....	7
3.2.1 Princip indukčního mincovníku.....	7
3.2.2 Řízení mincovníku.....	8
3.2.3 Technická data.....	8
3.2.4 Připojovací rozhraní.....	9
4 Indukčnost, kapacita, rezonance.....	11
4.1 Indukčnost.....	11
4.1.1 Induktivní reaktance.....	11
4.1.2 Vlastní indukčnost.....	12
4.1.3 Spojování cívek bez elektromagnetické vazby.....	12
4.1.4 Vzájemná indukčnost.....	13
4.1.5 Spojování cívek s elektromagnetickou vazbou.....	13
4.2 Kapacita/kondenzátor.....	14
4.2.1 Druhy kondenzátorů.....	15
4.2.2 Zapojování kondenzátorů.....	18
4.2.3 Kapacitní reaktance.....	18
4.3 Rezonance.....	19
4.3.1 Sériová rezonance.....	19
4.3.2 Paralelní rezonance.....	20
4.3.3 Jakost rezonančního obvodu.....	21
5 Model mincovníku.....	23
5.1 Představa modelu mincovníku.....	23
5.2 Celková konstrukce modelu.....	24
5.2.1 Štěrbina mincovníku.....	26
5.2.2 Nosná konstrukce.....	27
5.3 Měřicí cívky elektronického mincovníku.....	28
5.4 Vyhodnocovací obvody.....	30
6 Měření na funkčním vzorku.....	31
6.1 Měření indukčnosti na dvou zkušebních cívkách.....	31
6.2 Měření kmitočtu rezonančního obvodu vybrané zkušební cívky sacím měřičem rezonance.....	32
6.3 Měření jakosti rezonančního obvodu vybrané zkušební cívky Q Metrem.....	33
6.4 Koncové měření jakosti rezonančního obvodu u modelu mincovníku.....	34
7 Závěr.....	37
Literatura.....	39
A Použitý SoftWare.....	i
B Obsah přiloženého CD.....	iii

Seznam ilustrací

Obr. 1: Ukázka mechanického mincovníku.....	3
Obr. 2: Skenování objektu.....	5
Obr. 3: 16-ti bitový procesor.....	5
Obr. 4: 10-ti pólový konektor.....	6
Obr. 5: Indukční mincovník IMP10-P100/1.....	7
Obr. 6: Ukázka cívek s jádrem.....	7
Obr. 7: Paměť EEPROM.....	8
Obr. 8: Konektor JST PH.....	9
Obr. 9: Indukované napětí.....	12
Obr. 10: Paralelní a sériové zapojení cívek bez elektromagnetické vazby.....	12
Obr. 11: Dvě cívky sprážené magnetickým tokem.....	13
Obr. 12: Transformátor.....	13
Obr. 13: Deskový kondenzátor.....	14
Obr. 14: Válcový kondenzátor.....	14
Obr. 15: Kulový kondenzátor.....	15
Obr. 16: Svitkový kondenzátor.....	15
Obr. 17: Elektrolytický kondenzátor.....	16
Obr. 18: Keramický kondenzátor.....	16
Obr. 19: Otočný vzduchový kondenzátor.....	17
Obr. 20: Schématická značka kapacitní diody.....	17
Obr. 21: Provedení kapacitní diody.....	17
Obr. 22: Sériové zapojení kondenzátorů + výpočet výsledné kapacity.....	18
Obr. 23: Paralelní zapojení kondenzátorů + výpočet výsledné kapacity.....	18
Obr. 24: Rezonanční sériový obvod.....	19
Obr. 25: Průběh proudu v sériovém obvodu při rezonanci.....	20
Obr. 26: Průběh impedance v sériovém obvodu při rezonanci.....	20
Obr. 27: Rezonanční paralelní obvod.....	20
Obr. 28: Průběh proudu v paralelním obvodu při rezonanci.....	21
Obr. 29: Průběh impedance v paralelním obvodu při rezonanci.....	21
Obr. 30: Průběh impedance pro různé jakosti v sériovém rezonančním obvodu.....	21
Obr. 31: Sériový rezonanční obvod se všemi ztrátovými odpory.....	22
Obr. 32: Průběh impedance pro různé jakosti v paralelním rezonančním obvodu.....	22
Obr. 33: Náčrt konstrukce (bez měřících cívek).....	24
Obr. 34: Výkres modelu.....	25
Obr. 35: Štěrbina vytvořená z plexiskla.....	26
Obr. 36: Nosná konstrukce.....	27
Obr. 37: Navinuté zkušební cívky.....	28
Obr. 38: Tři vícevrstvé cívky.....	29
Obr. 39: Měřící cívky.....	29
Obr. 40: Vzorkování analogového signálu.....	30
Obr. 41: Spektrální analyzátor.....	30
Obr. 42: Jednovrstvá cívka.....	31
Obr. 43: Vícevrstvá cívka.....	31
Obr. 44: Německý sací měřič značky RFT.....	32
Obr. 45: Q METR - měřící svorky.....	33

Obr. 46: Q METR - TESLA BM 560.....	33
Obr. 47: Finální měření jakosti a indukčnosti.....	34

Seznam tabulek

Tab. 1: Technická data optoelektronického mincovníku.....	6
Tab. 2: Technická data indukčního mincovníku.....	8
Tab. 3: Změna indukčnosti měřících cívek.....	31
Tab. 4: Naměřené hodnoty 1. cívky.....	35
Tab. 5: Naměřené hodnoty 2. cívky.....	36
Tab. 6: Naměřené hodnoty 3. cívky.....	36

1 Úvod

Už od nepaměti lidé prodávají výrobky nejen v obchodech, ale také v automatech. Automaty mají tu výhodu, že není potřeba prodavače neboli obsluhy, ale pouze servisního pracovníka, který automat doplní zbožím, popřípadě opraví, ale hlavně vybere nejčastěji kovové peníze tzv. mince. Tyto mince, které jsou protihodnotou za zakoupené zboží, musí projít čtecím zařízením neboli mincovníkem.



Cílem této práce bude seznámení se základními elektronickými mincovníky, jejich fyzikálními principy, konstrukcí a komunikací. Dále se seznámíme s navrženým indukčním mincovníkem a s měřením funkčnosti na zmiňovaném mincovníku. Zpracování mé absolventská práce bude dále rozčleněno do několika částí.

Ve 2. části je zmíněno, co je vlastně je samotný mincovník.

3. část se zabývá rozdělením mincovníků.

Ve 4. části se dozvíme podrobnější informace o indukčnosti, kapacitě a rezonanci.

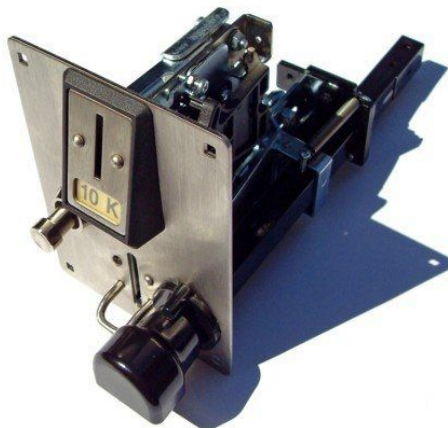
5. část se zabývá tvorbou kostry modelu, výrobou měřících cívek a návrhem možných vyhodnocovacích obvodů.

V 6. části probíhá samotné měření na funkčním vzorku.

Poslední 7. část hodnotí funkci, konstrukci a výsledky měření.

2 Co je mincovník

Mincovník je nejčastěji elektronické zařízení, sloužící ke zjišťování hodnoty a ke kontrole pravosti mincí. Funkce je vždy stejná, vhozením mince správné měny je určitou metodou vyhodnocena její hodnota a pravost. U starších mincovníků bylo nejčastěji využíváno metody vyhodnocování rozměrů mince a často také její váhy. Tato metoda nebyla však příliš bezpečná a vychytralý člověk brzy přišel na způsob, jak tyto mincovníky obelstít a zneužít jejich slabin. Toto zneužívání nedokonalostí se však nelíbilo majitelům a nájemcům automatů, ve kterých byly použity tyto typy mincovníků. Proto se začaly využívat na kontrolu mincí jiné fyzikální metody. U bezpečnějších konstrukcí jsou nejčastěji využívány metody indukční a optoelektronické kontroly mince. U těchto konstrukcí je využíváno změny indukčnosti a optického snímání povrchu mincí. Tyto technologie mohou být využívány jak samostatně, tak v kombinaci spojení obou technologií. V další kapitole se budu věnovat principům a funkci nejpoužívanějších druhů elektronických mincovníků, které se vyrábějí v dnešní době.



Obr. 1: Ukázka mechanického mincovníku

3 Rozdělení mincovníků

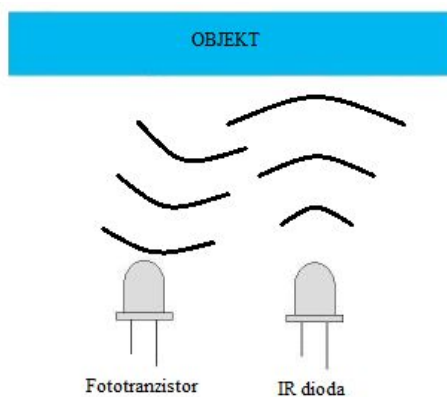
V této kapitole budou popsány jednotlivé druhy elektronických mincovníků, jejich základní principy a vlastnosti. Protože přesné složení mincovníků je hlídáno tajemství každé společnosti zabývající se výrobou tohoto druhu elektroniky, nebude popis příliš podrobný.

3.1 Optoelektronický mincovník

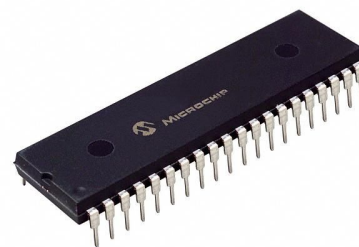
Základním principem tohoto mincovníku je zamítnutí padělků známých i cizích měn na základě testu průměru mince při mechanickém upevnění a vycentralizování mince, testu materiálu a skenování ražby [1].

3.1.1 Skenování ražby mince

Skenování ražby mince se provádí pomocí reflexních senzorů pracujících v infračerveném pásmu záření. Procesor analyzuje naměřené hodnoty, které srovnává s hodnotami uloženými v integrované paměti mincovníku [1].



Obr. 2: Skenování objektu



Obr. 3: 16-ti bitový procesor

3.1.2 Řízení mincovníku

Mincovník může být řízen například 16-ti bitovým procesorem, který zajišťuje test celého systému po každém restartu, rozpoznání specifických padělků, analýzu a ukládání všech naměřených dat. Dále zajišťuje otáčení a vystředění testovaných mincí pomocí krokového motorku [1].

3.1.3 Technická data

U optoelektronických mincovníků je také potřeba znát technická data, jako jsou: napájecí napětí, spotřeba elektrické energie, provozní teplota, rozměry mince atd [1].

Tab. 1: Technická data optoelektronického mincovníku

Napájecí napětí	7,8V...27,6V bzw. 20V...42,5V
Spotřeba energie	Pohotovostní: typ. 55mA @ 12V Během provozu: max. 2,5A @ 12V
Provozní teplota	-20 °C ... +70 °C
Rozsah teplot při skladování	-20 °C ... +85 °C
Ochranný systém	IP20
Kanály	max. 16 mincí
Průměr mincí	18 ... 32 mm
Tloušťka mincí	1,0 ... 2,8 mm, volitelně až 3,3 mm
Vstup mince	Shora nebo ze strany
Výstup mince	pozice 3, volitelně pozice 4
Sekvence mincí	cca 1 mince za sekundu
Připojení	paralelní dle DTG-Standard 2 MDB podle Nama-Standard MDB podle BTA-Standard

3.1.4 Připojovací rozhraní

Mincovník využívá 3 konektory. 16-ti pólový konektor a dva 10-ti pólové konektory. Konektory slouží pro napájení, propojení se samotnými automaty, pro potřebu programování a další komunikaci [1].



Obr. 4: 10-ti pólový konektor

3.2 Indukční mincovník

Dalším druhem mincovníku, kterým se budeme zabývat podrobněji a ze kterého také byla vytvořena základní myšlenka modelu je indukční mincovník. Tento mincovník slouží opět na rozeznání známých druhů mincí a jejich padělků. Testovací fyzikální vlastnost už není záření, ale v tomto případě indukčnost.



Obr. 5: Indukční mincovník IMP10-P100/1

3.2.1 Princip indukčního mincovníku

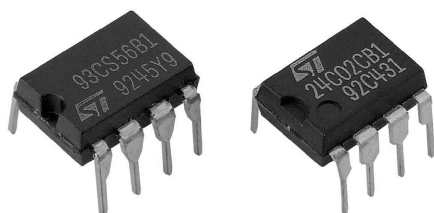
Základní myšlenka indukčního mincovníku je taková, že po vložení jádra (mince) do cívky se změní velikost permeability. Permeabilita má hodnotu podle vloženého druhu mince (materiál, rozměr).



Obr. 6: Ukázka cívek s jádrem

3.2.2 Řízení mincovníku

Řízení je prováděno pomocí procesoru, který vykonává činnost ve spolupráci s pamětí EEPROM, která obsahuje informace o mincích a na kterou je ukládána statistika. Programování zařízení je možné z továrny, samotným uživatelem nebo pomocí tzv. učicího modu. Pomocí DIL přepínačů je možné měnit používanou hodnotu mincí [3].



Obr. 7: Paměť EEPROM

3.2.3 Technická data

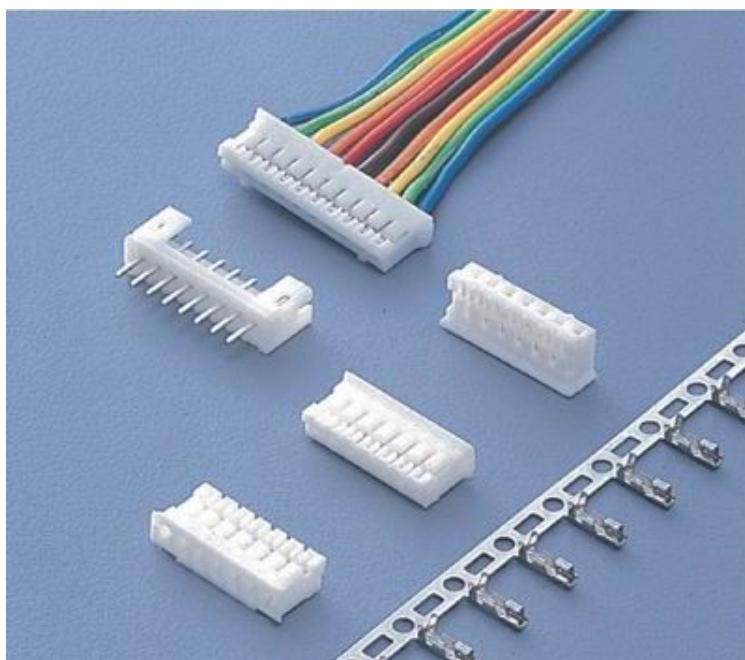
Stejně jako optoelektronický mincovník má indukční mincovník svá technická data, která je potřeba pro správnou funkčnost dodržet [3].

Tab. 2: Technická data indukčního mincovníku

Napájecí napětí	10V ... 28 V dc
Spotřeba při 12V DC	Pohotovostní: 30 mA V provozu: 400 mA Žádná v režimu spánku
Třídící výstupní signál	Otevřený kolektor NPN, aktivní nízká <0,8 V, Délka trvání signálu 40 ms ... 2s, preset = 500ms
Provozní teplota	0 ° C ... + 60 ° C
Počet kanálů	8 (24) / 16
Velikost mince	Průměr: 15 ... 33 mm Tloušťka: 1,5 ... 3 mm
Rychlost přijímání mince	Max 3 mince za sekundu
Rozměry	102 mm x 89 mm x 52 mm
CCTalk ID	Standard: 2
ID Výrobce	"Phoenix Mecano Digital"
kód produktu	"IMP10 S200 / 2"

3.2.4 Připojovací rozhraní

Mincovník obsahuje 3 druhy konektorů. 10-ti pinový DIN konektor je použit na propojení s automatem. Druhým konektorem je 8-mi pinové (JST PH) třídící rozhraní a posledním třetím konektorem je 6-ti pinový DIN servisní konektor [3].



Obr. 8: Konektor JST PH

4 Indukčnost, kapacita, rezonance

Ve 4. části bude důkladněji vysvětlena část elektrotechniky- střídavý proud a vše, co je důležité pro tvorbu mincovníku. Jako první bude vysvětlena indukčnost, induktivní reaktance, k ní navazující vlastní indukčnost a vzájemná indukčnost. Práce bude pokračovat jevem kapacita, výpočty kapacity, druhy kondenzátorů, spojování kondenzátorů a kapacitní reaktance. V poslední části bude vysvětlen jev rezonance. Tato rezonance bude rozdělena na sériovou a paralelní rezonanci. Podkapitola rezonance bude zakončena důležitou vlastností pro tvorbu mincovníku a to jakostí rezonančního obvodu.

4.1 Indukčnost

Indukčnost je fyzikální veličina, symbol veličiny indukčnosti je písmeno L a značka jednotky je Henry. V praxi se využívá menších jednotek: milihenry (mH) mikrohenry (μH), nanohenry (nH). Indukčnost se dělí na vlastní indukčnost a vzájemnou indukčnost.

4.1.1 Induktivní reaktance

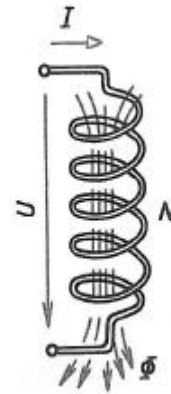
Značkou induktivní reaktance je X_L a jednotkou Ω . Induktivní reaktance známá také jako induktance je zdánlivý odpor součástky. Induktance je částí celkové impedance projevující se v obvodech střídavého proudu.

Induktance je důsledkem přeměny energie proudového pole na energii magnetického pole. Velikost induktance závisí přímo úměrně na indukčnosti a na úhlové frekvenci střídavého proudu [4].

$$X_L = \omega \cdot L$$

4.1.2 Vlastní indukčnost

Definice vlastní indukčnosti je taková, že pokud se bude měnit proud procházející cívkou, bude se měnit magnetické pole a v cívce se bude indukovat napětí. Vlastní indukčnost cívky (vodiče) je číselně rovna napětí indukovanému v závitěch této cívky při jednotkové časové změně proudu. Jednotková časová změna proudu je rovnoměrný nárůst nebo pokles, při kterém se proud mění o 1A za sekundu. Jednotka indukce je 1H. při změně proudu o 1A za sekundu se indukuje 1V [5].



Obr. 9:
Indukované napětí

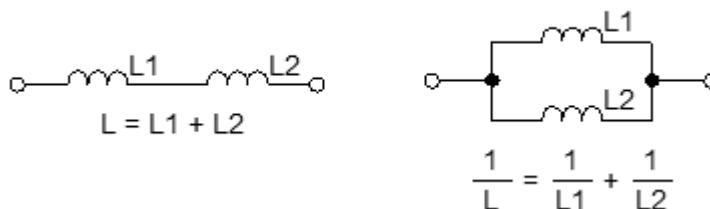
$$u = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Indukované napětí působí vždy proti změně, která jej vyvolala. Při zvetšování proudu působí indukované napětí proti svorkovému napětí a při snižování proudu působí ve směru svorkového napětí. Pro indukované napětí platí také tento vzorec [2].

$$u = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

4.1.3 Spojování cívek bez elektromagnetické vazby

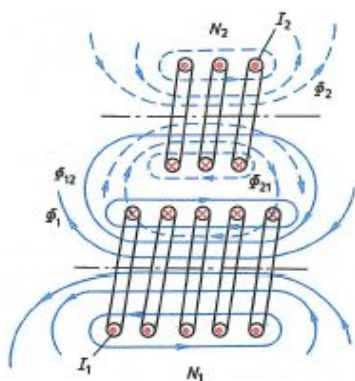
Pokud není mezi spojovanými cívkami elektromagnetická vazba, postupuje se při výpočtu celkové indukčnosti stejně, jako v případě výpočtu odporu.



Obr. 10: Paralelní a sériové zapojení cívek bez elektromagnetické vazby

4.1.4 Vzájemná indukčnost

Vzniká mezi cívkami, které na sebe mohou navzájem působit elektromagnetickým polem. Když cívkou s N_1 závitů prochází střídavý proud I_1 , který vyvolá magnetický tok Φ_1 . Část tohoto magnetického toku zasahuje do druhé cívky, která má N_2 závitů. To má za následek, že se na druhé cívkce indukuje střídavé napětí [8].



Obr. 11: Dvě cívky spřažené magnetickým tokem



Obr. 12: Transformátor

Jsou-li dvě cívky na společném jádru z feromagnetického materiálu, můžeme předpokládat, že magnetický tok se uzavírá pouze přes toto jádro. Tohoto jevu využívají transformátory.

4.1.5 Spojování cívek s elektromagnetickou vazbou

Při těsné vazbě cívek se využívá v paralelním zapojení vzorec:

$$L_V = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M}$$

Znaménko "+" ve jmenovateli použijeme tehdy, jsou-li obě vinutí spojena proti sobě (začátek vnutí 1. cívky je spojen s koncem 2. cívky a konec 1. cívky je spojen se začátkem 2. cívky) a znaménko "-" tehdy, jsou-li zapojeny souhlasným směrem.

Při sériovém zapojení se používá vzorec:

$$L_V = L_1 + L_2 \pm 2M$$

Znaménko "+" použijeme tehdy, jsou-li cívky zapojeny do série souhlasným směrem a znaménko "-" tehdy, jsou-li zapojeny proti sobě.

4.2 Kapacita/kondenzátor

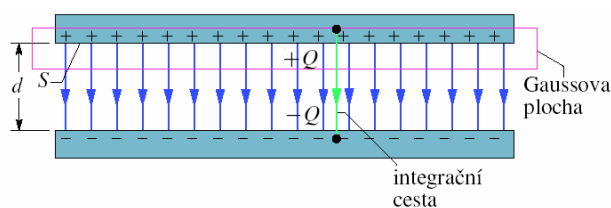
Jednotkou kapacity je 1 farad (F). Kapacita C je schopnost kondenzátoru hromadit velikost náboje (Q) 1 coulomb při napětí (U) 1 volt.

$$C = \frac{Q}{U}$$

V praxi se však využívá menších jednotek a to mikrofaradů (μF), nanofaradů (nF) a pikofaradů (pF).

Kapacita je přímo úměrná součinu permitivity vakua, poměrné permitivity dielektrika, ploše plechů a nepřímo úměrná tloušťce dielektrika (u deskových kondenzátorů mezerou mezi plechy)[5].

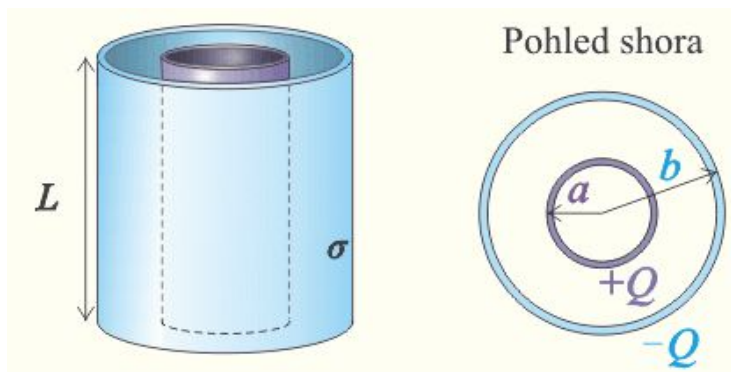
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$



Obr. 13: Deskový kondenzátor

Výpočet pro válcový kondenzátor, který je tvořen dvěma soustřednými válci o poloměrech a a b , kde $a < b$:

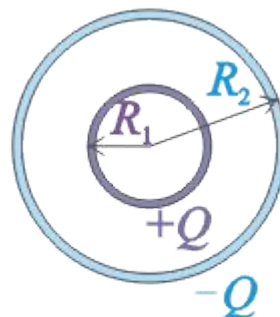
$$C = 2\pi \epsilon_0 \epsilon_r \frac{L}{\ln(b/a)}$$



Obr. 14: Válcový kondenzátor

Pro kulový kondenzátor, který tvoří dvě soustředně vodivé kulové slupky o poloměrech R_1 a R_2 , kde $R_1 < R_2$:

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$



Obr. 15: Kulový kondenzátor

4.2.1 Druhy kondenzátorů

Kondenzátorů se vyrábí několik druhů, které jsou odlišné velikostí, tvarem, složením a hlavně použitím.

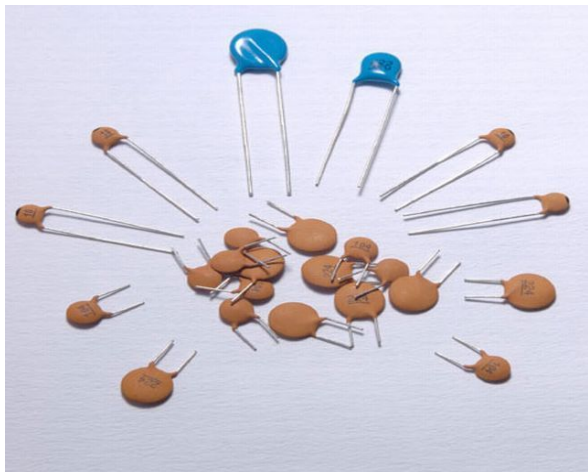
Kondenzátory se dělí na:

Papírový kondenzátor (svítkový): dielektrikum je zde tvořeno papírem a elektrody hliníkovou fólií s vývody. Dielektrický papír včetně elektrod je svinut do válce. V některých případech je hliník nahrazen pokovením fólie z obou stran. Takový druh kondenzátoru je označen jako metalizovaný a je odolný vůči průrazu napětovými špičkami [6].



Obr. 16: Svítkový kondenzátor

Keramický kondenzátor: tento kondenzátor je tvořen speciální keramikou s velkou permitivitou a malým ztrátovým činitelem. Většinou se vyrábějí spékáním keramického prachu při teplotě 1 100 – 1 900 °C do požadovaného tvaru. Jsou vyráběny jak v klasickém, tak SMD provedení [6].



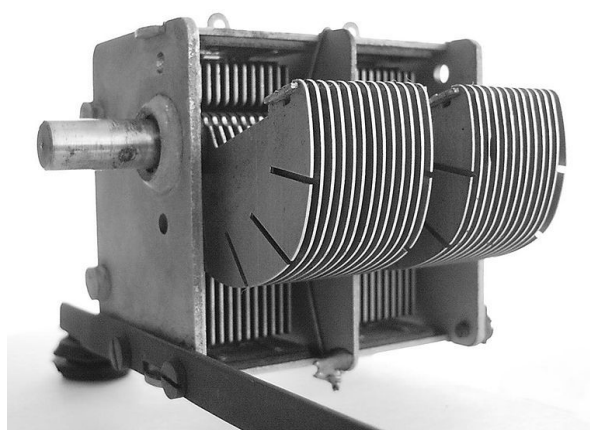
Obr. 18: Keramický kondenzátor



Obr. 17: Elektrolýtický kondenzátor

Elektrolýtický kondenzátor: elektrody mají velký povrch, který je tvořený nepravidelně naleptanou strukturou povrchu hliníku. Katoda je tvořena vodivým elektrolytem, který může být jak tekutý, polosuchý nebo pevný. Anoda je tvořena čistou hliníkovou fólií, na které je vrstvička Al_2O_3 (oxid hlinitý) nebo fólií z čistého sintrovaného tantalu, na které je vrstvička Ta_2O_5 (pentoxid tantalu). Tato vrstvička je dielektrikum. Jeho výhodou je vysoká měrná kapacita, nevýhodou naopak to, že nesmí být přepólován a obvykle snese oproti jiným typům jen velmi nízké napětí. Pokud kondenzátor není dlouhou dobu pod napětím, jeho kapacita se zmenší. Do jisté úrovně se dá zase obnovit připojením stejnosměrného proudu. Pokud je elektrolyt kapalný, časem vysychá - ve starších zařízeních je pak nutné elektrolýtické kondenzátory měnit[6].

Otočný vzduchový kondenzátor: jedná se o kondenzátor s proměnnou kapacitou. Je složen ze dvou hlavních částí a to rotoru a statoru, na kterých jsou umístěny desky, které se vysouvají a zasouvají do sebe. Tím se mění aktivní plocha desek S , čímž se mění i kapacita C . Jako dielektrikum je použit vzduch, někdy také polystyren, olej, nebo jiná látka. Desky mají tvar polokruhový nebo ledvinovitý. Hodnota kapacity u tohoto kondenzátoru se nejčastěji pohybuje od jednotek pF až do stovek pF. Tento typ kondenzátoru se ve zmenšené formě využívá v radiotechnice [6].



Obr. 19: Otočný vzduchový kondenzátor

Kapacitní dioda: jedná se o speciální polovodičovou diodu, která se změnou napětí mění i svou kapacitu. Zapojuje se v závěrném směru a čím se přivede větší napětí, tím se kapacita sníží. Maximální kapacita diody je závislá na velikosti PN přechodu. Standardně vyráběné kapacitní diody mají maximální kapacitu od 10 pF do 1000 pF.



Obr. 20: Schématická značka kapacitní diody

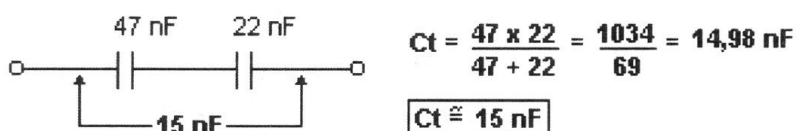


Obr. 21: Provedení kapacitní diody

4.2.2 Zapořádání kondenzátorů

Kondenzátory se stejně jako rezistory dají zapojovat sériově nebo paralelně. Při sériovém zapojení dvou kondenzátorů se používá stejný vzorec jako při paralelním zapojení dvou rezistorů [5].

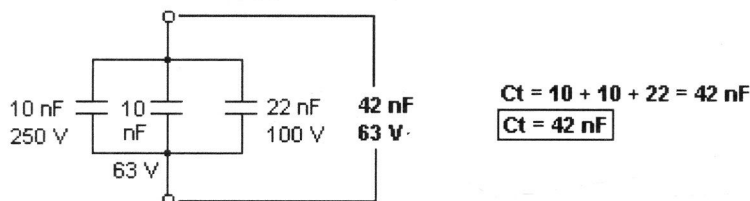
$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



Obr. 22: Sériové zapojení kondenzátorů + výpočet výsledné kapacity

U paralelního zapojení dvou kondenzátorů se kapacity sčítají obdobně jako u sériového zapojení rezistorů.

$$C = C_1 + C_2$$



Obr. 23: Paralelní zapojení kondenzátorů + výpočet výsledné kapacity

4.2.3 Kapacitní reaktance

Jedná se o zdánlivý odpor kondenzátoru projevující se při střídavém proudu (tzn. neztrácí se na něm činný výkon).

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

4.3 Rezonance

Rezonance u elektrických obvodů (obsahujících rezistory, kondenzátory a cívky) je jev nastávající při určitém kmitočtu. Indukční a kapacitní reaktance se vzájemně rovnají a zdroj napětí zatěžuje pouze rezistory. Rezonance se vyznačuje tím, že svorkové napětí zdroje a proud z něho odebíraný, jsou ve fázi. Tento jev může nastat (za určitých podmínek) v každém obvodu střídavého proudu[2].

Podle zapojení součástek (vzhledem ke zdroji napětí) dělíme rezonanci na sériovou a paralelní.

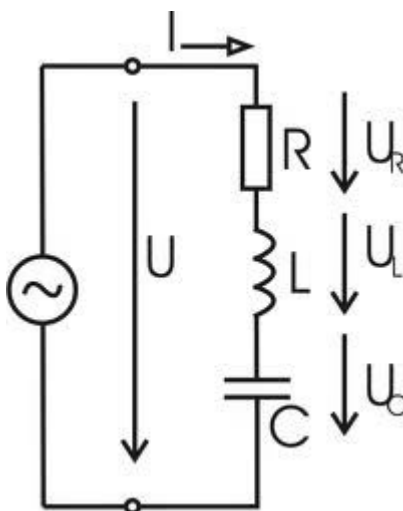
4.3.1 Sériová rezonance

Při určité kapacitě kondenzátoru C a indukčnosti cívky L dosáhne kapacitní reaktance hodnotu indukční reaktance ($X_C = X_L$). Reaktance se navzájem vyruší, impedance je minimální a obvod je v tzv. rezonanci.

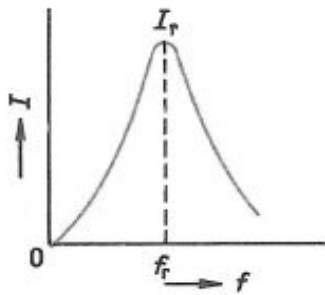
Rezonanční frekvence f_r se určí pomocí vzorce:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

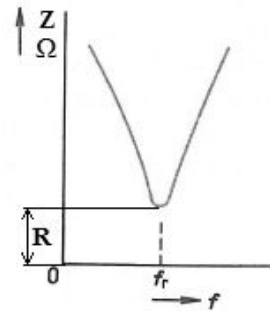
Při sériové rezonanci je impedance Z rovna hodnotě rezistoru R . Obvodem prochází maximální proud, který je ve fázi se svorkovým napětím.



Obr. 24: Rezonanční sériový obvod



Obr. 25: Průběh proudu v sériovém obvodu při rezonanci



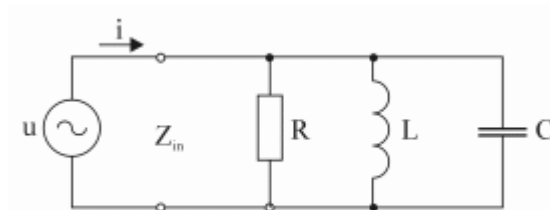
Obr. 26: Průběh impedance v sériovém obvodu při rezonanci

4.3.2 Paralelní rezonance

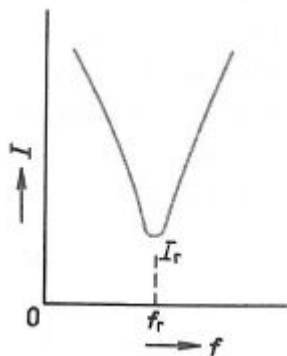
Jestliže připojíme paralelní rezonanční obvod na zdroj napětí s proměnným kmitočtem a začneme tento kmitočet zvyšovat, pozorujeme snižování proudu až do určité úrovně. Po překročení tohoto kmitočtu se proud zase postupně zvyšuje. Při nastavení nejnižšího proudu je obvod v tzv. rezonanci, při které je v obvodu maximální impedance a minimální proud.

Rezonanční frekvence f_r se určí pomocí Thomsonova vzorce:

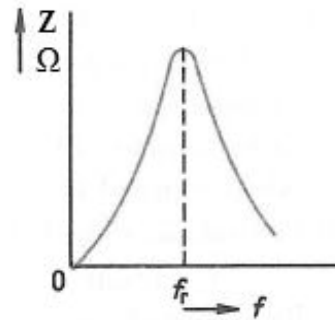
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Obr. 27: Rezonanční paralelní obvod



Obr. 28: Průběh proudu v paralelním obvodu při rezonanci



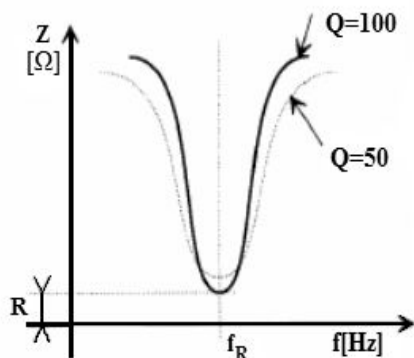
Obr. 29: Průběh impedance v paralelním obvodu při rezonanci

4.3.3 Jakost rezonančního obvodu

Kvalitu rezonance ukazuje činitel jakosti Q , který určuje strmost rezonanční křivky. Čím je Q menší, tím je křivka plošší a rezonance je méně výrazná. Čím je Q větší, tím je křivka strmější a rezonance je více výrazná.

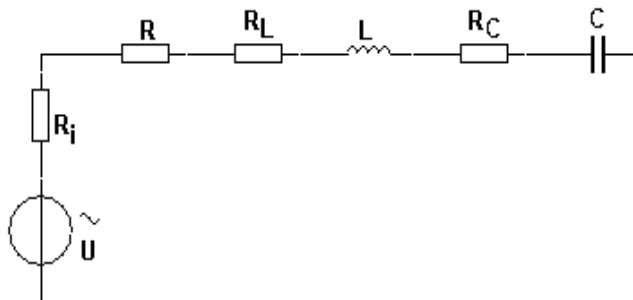
Pro výpočet provozního činitele jakosti sériového rezonančního obvodu platí tento vztah:

$$Q = \frac{2\pi f_R L}{R} = \frac{1}{2\pi f_R C R}$$



Obr. 30: Průběh impedance pro různé jakosti v sériovém rezonančním obvodu

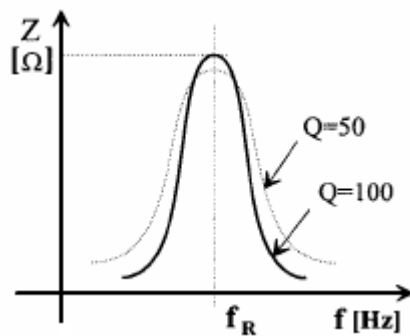
Provozní činitel jakosti zohledňuje všechny odpory v rezonančním obvodu, kterými jsou jak ztrátové odpory na cívce a kondenzátoru, tak odpor zdroje. Abychom vlivem vnitřního odporu zdroje nezměnili činitel jakosti, použijeme zdroj s malým vnitřním odporem.



Obr. 31: Sériový rezonanční obvod se všemi ztrátovými odpory

Pro výpočet činitele jakosti paralelního rezonančního obvodu se využívá tento vzorec:

$$Q = \frac{R}{2\pi f_R L} = 2\pi f_R C R$$



Obr. 32: Průběh impedance pro různé jakosti v paralelním rezonančním obvodu

5 Model mincovníku

V 1. části bude nejprve vytvořena představa samotného modelu mincovníku. V této části bude vybrán přijatelný druh technologie, podle které bude model konstruován. Ve 2. části bude popsán vývoj (tvar modelu, materiál a rozměry jednotlivých částí) a výroba (použité druhy operací a výrobních procesů) neelektrické kostry mincovníku. Tuto kostru tvoří tzv. štěrbina, kterou prochází mince a nosná konstrukce. Ve 3. části bude popsána tvorba elektronické (měřicí) části, kterou tvoří především měřicí cívky. Ve 4. části budou navrženy elektronické obvody, které by mohly sloužit jako vyhodnocovací.

5.1 Představa modelu mincovníku

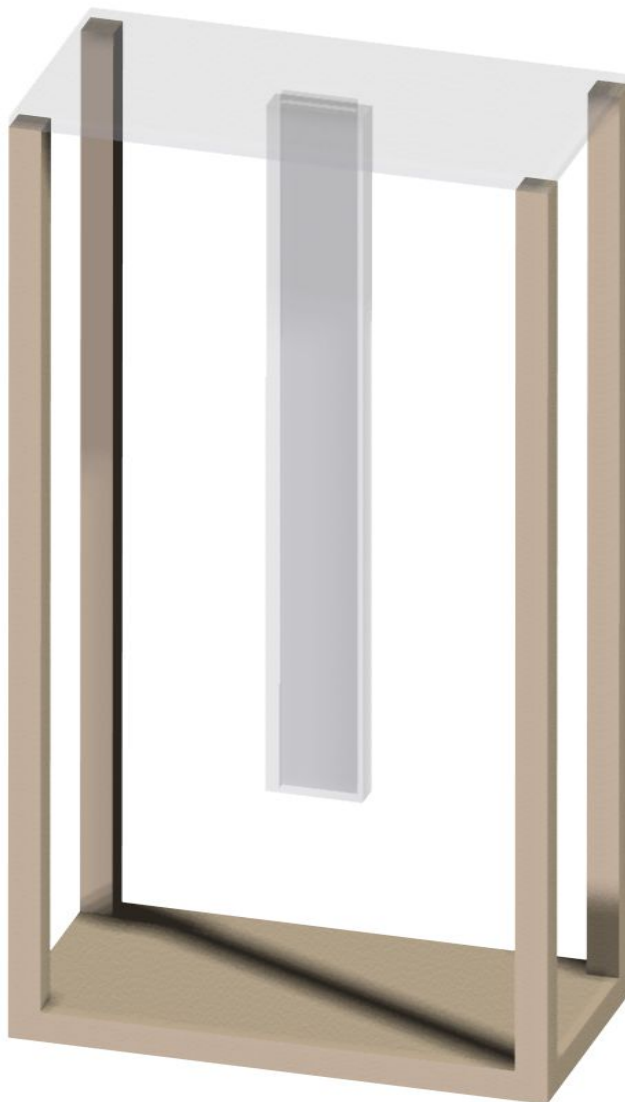
Před samotnou výrobou bude potřeba určit základní vlastnosti, které má mincovník mít. Prvním úkolem bude zvolit druh technologie, kterou bude možné reálně vytvořit a použít. Dále bude potřeba určit tvar všech částí modelu a materiál, ze kterého budou vyrobeny štěrbina a nosná konstrukce. Dále bude potřeba zvolit hodnoty měřících cívek (průměr, délka vodiče a počet závitů) a vhodnou frekvenci pro naladění rezonančního obvodu.

Ze základních druhů mincovníků byl vybrán indukční mincovník, který se nám zdál nejreálněji zrealizovatelný, ostatní druhy byly zamítnuty z důvodu obtížné realizace a také z důvodu vysokých nákladů na součástky.

Při našem zkušebním měření byla nejprve změřena indukčnost při vhazování českých mincí. Výsledky tohoto měření sloužily k tomu, abychom mohli nastavit obvod pro druhé (finální) měření. Toto druhé měření jsme provedli na naladěném rezonančním obvodu, kde byly měřeny jeho vlastnosti.

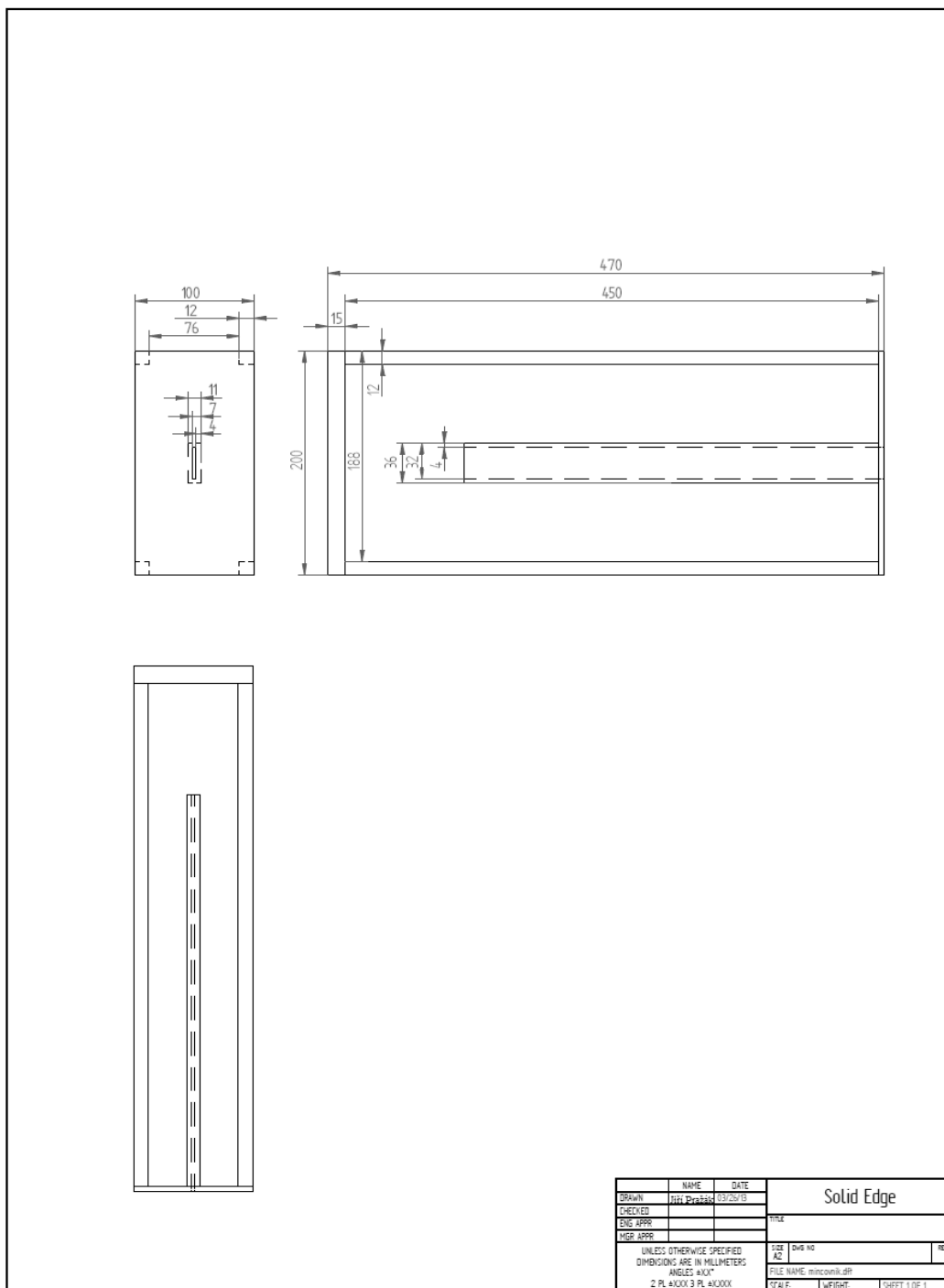
5.2 Celková konstrukce modelu

Představa modelu byla nejprve pomocí CAD softwaru přenesena do 3D grafické formy.



Obr. 33: Náčrt konstrukce (bez měřících cívek)

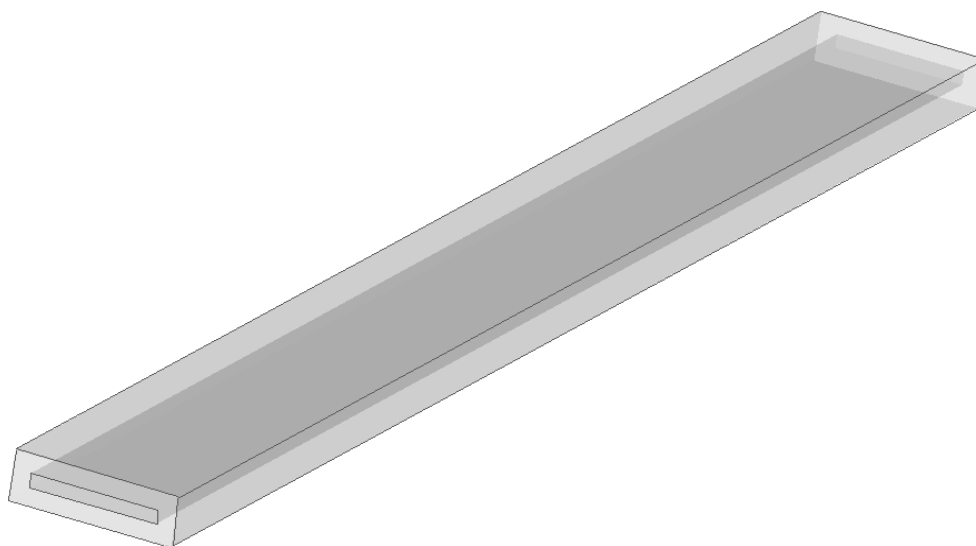
Bylo rozhodnuto, že model bude tvořen dvěma částmi, a to částí nosnou a částí funkční (tzv. štěrbinou). K náčrtům byly stanoveny přibližné rozměry všech částí, které se musely následně upravit dle požadavků na mince, měřicí cívky atd. Finální zpracování modelu bylo rozměrově trochu pozměněno oproti představeným výkresům.



Obr. 34: Výkres modelu

5.2.1 Štěrbina mincovníku

Jednou s důležitých částí modelu, bez které by nebylo možné vést minci vždy ve stejné vzdálenosti k měřícím cívkám, je tzv. štěrbina mincovníku, laicky vysvětleno tunel, kterým prochází mince. Materiálem byl zvolen polymethylmethakrylát o síle 4mm, známý také jako plexisklo. Tento materiál byl vybrán z těchto důvodů: je průhledný, nekovový, lehký a docela dobře opracovatelný. Plexisklo o celkových rozměrech 500x500x40mm bylo objednáno v internetovém obchodě. Po doručení následovalo nařezání pomocí lupínkové pilky na požadované rozměry. Důležitým rozměrem je vnitřní rozměr štěrbinu, kterou prochází mince. Tento rozměr byl zvolen tak, aby jako největší mincí, která štěrbinou projde, byla v našem případě česká padesátikoruna. Proto byly u této mince změřeny průměr a síla, ke kterým byla následně přidána hodnota 1mm. Další operací bylo nařezané části opílovat do finálních rozměrů. Poslední operace spočívala ve slepení částí do požadovaného tvaru štěrbinu pomocí vteřinového lepidla, které se nám osvědčilo nejlépe.



Obr. 35: Štěrbina vytvořená z plexiskla

5.2.2 Nosná konstrukce

S výrobu nosné konstrukce mincovníku nebylo původně vůbec počítáno. Ale po zjištění, že by se při prováděném měření musela šterbina stále ručně přidržovat a byla by s ní zhoršena manipulace, rozhodli jsme se k výrobě jednoduchého nosného stojanu. Tento stojan zajistí držení šterbiny ve svislé poloze. Stojan je tvořen ze tří částí. První částí je část základnová, která je vyrobena z dřevěné desky o rozměrech 400x400 mm a síle 17 mm. Další částí jsou čtyři podpěrné sloupky vyrobené z latěk čtvercového půdorysu s rozměry 10x10 mm a délce 400 mm. Poslední hlavní část je nosná plexisklová deska o rozměrech 350x350 mm a o síle 4 mm. Do plexiskla byly v rozích vyvrtány čtyři díry a uprostřed propilována drážka, kterou se vhazují mince. K plexisklové desce jsou v rozích přišroubovány podpěrné sloupky, které jsou na druhé straně sešroubovány se základnovou deskou. K takto vytvořené konstrukci je přilepena šterbina způsobem takovým, aby drážka u šterbiny a drážka v nosné desce lícovaly. Jako finální oparace byly přilepeny nožičky na spodní část základny a na opačnou stranu uprostřed vlepen kus koženého pásku. Tento pásek slouží jako dopadový podklad pro mince. Aby vývody cívek nebyly ve vzduchu, byla k základně přišroubována svorkovnice.



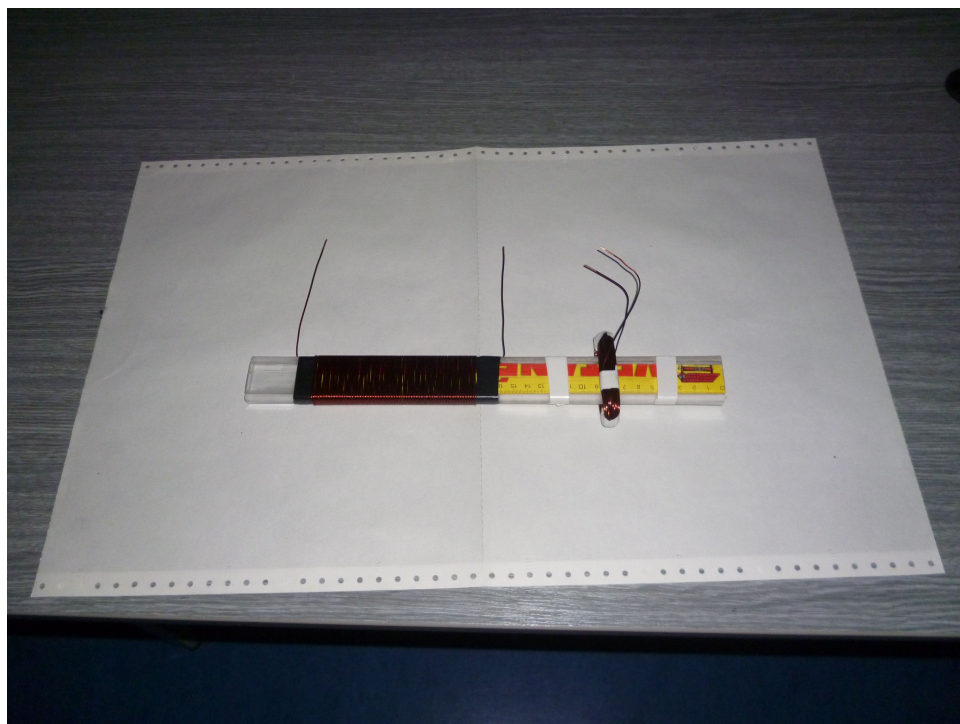
Obr. 36: Nosná konstrukce

5.3 Měřicí cívky elektronického mincovníku

Měřicí cívky jsou nejdůležitější součástí našeho modelu elektronického mincovníku. V této kapitole se budeme zabývat výběrem zkušebních cívek, jejich materiálem, průřezem, počtem závitů, způsobem navinutí na štěrbinu a indukčností těchto cívek. V další části bude vybrán nejvhodnější druh cívky, která bude finálně použita k naladění rezonančního obvodu.

5.3.1 Zkušební měřicí cívky

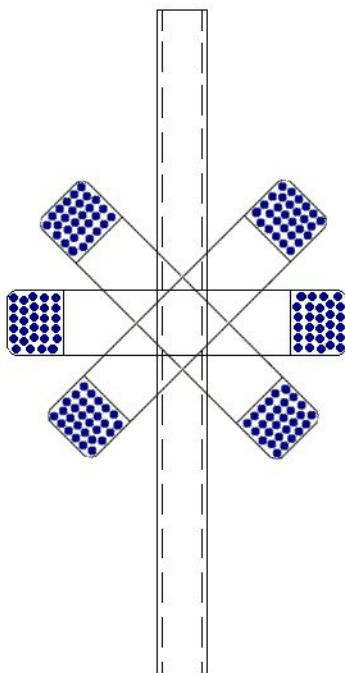
Cívky se nejprve navinuly ve dvou zkušebních provedeních na slepenou plexisklovou štěrbinu. První cívka byla vinuta lakovaným drátem o průměru 1,2 mm takovým způsobem, že závity byly na štěrbinu navinuty v jedné vrstvě v těsné vzdálenosti. Druhá cívka byla vinuta opět lakovaným drátem o průměru 1,2 mm. Závity v tomto případě nebyly navinuty v jedné vrstvě, ale v několika vrstvách na sobě. U těchto cívek se měřila jejich samotná indukčnost a následně změna indukčnosti při vložení mince. O tomto měření více v 6. kapitole.



Obr. 37: Navinuté zkušební cívky

5.3.2 Vybrané měřicí cívky v rezonančním obvodu

Jako finální měřicí cívka byla vybrána cívka vícevrstvá. Její výběr je zdůvodněn v kapitole 6.1. Cívky byly dohromady navinuty tři a to takovým způsobem, že všechny jsme navinuli tak, aby byly úhlově posunuté.



Obr. 38: Tři vícevrstvé cívky

Všechny finální cívky byly opět navinuty drátem o průměru 1,2 mm s různým počtem závitů a zajištěny proti pohybu izolační páskou.



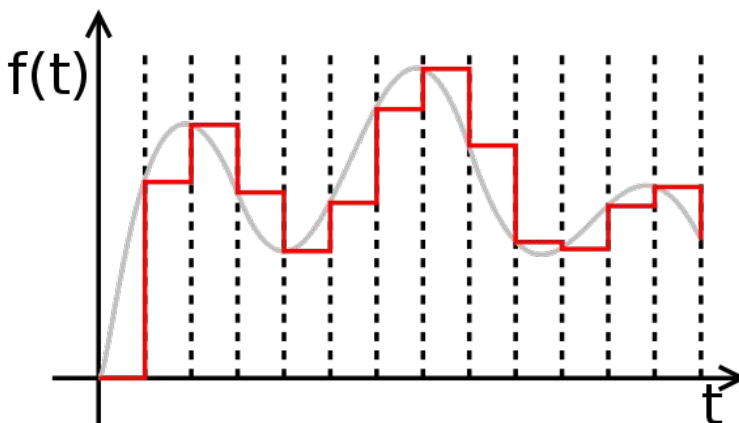
Obr. 39: Měřicí cívky

5.4 Vyhodnocovací obvody

Způsobů vyhodnocení hodnoty a pravosti mince u našeho modelu je několik. Jeden z nich už jsme jmenovali a to měření změny indukčnosti měřících cívek při vhození mince. Tento způsob je ale pro nás dosti nepřesný.

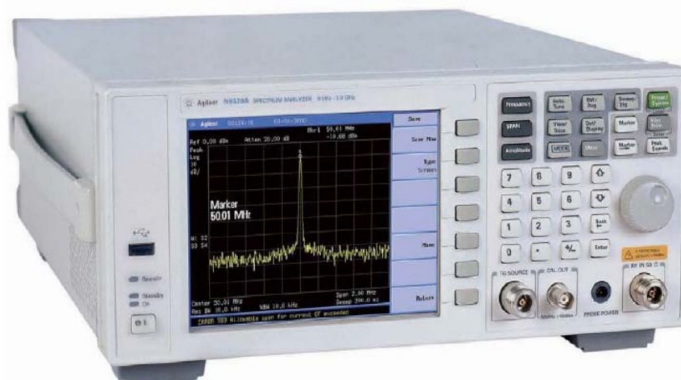
Další způsob (který jsme také využili při finálním měření) je měření změny jakosti rezonančního obvodu u jednotlivých mincích.

Přesnějším vyhodnocovacím obvodem by mohl být použit např. Analog/Digital převodník, který by převedl rezonanční křivku z analogového signálu na digitální. Tuto křivku by následně porovnal s předdefinovanými hodnotami v paměti procesoru.



Obr. 40: Vzorkování analogového signálu

Jako další by mohl být využit spektrální analyzátor. Tento přístroj umožňuje analýzu signálu ve frekvenční oblasti.



Obr. 41: Spektrální analyzátor

6 Měření na funkčním vzorku

Měření na funkčním modelu mincovníku probíhalo v několika částech. V každé části byly měřeny jiné elektrické veličiny.

6.1 Měření indukčnosti na dvou zkušebních cívkách

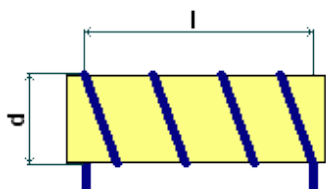
V prvním případě byla měřena indukčnost na dvou různých navinutých cívkách. Postup byl takový, že nejprve byla změřena pomocí digitálního RLC metru hodnota indukčnosti bez vložené mince a následně i hodnota indukčnosti s vložením českých mincí. Naměřené hodnoty byly zaneseny do následující tabulky.

Tab. 3: Změna indukčnosti měřících cívek

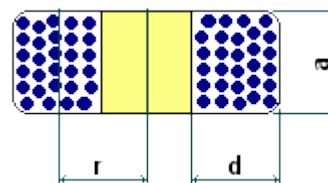
Hodnota mince	Hodnota indukčnosti (μH)	
	Jednovrstvá cívka	Vícevrstvá cívka
1,00 Kč	50,2	82,5
2,00 Kč	51,1	83,9
5,00 Kč	52,5	86,2
10,00 Kč	53,1	86,6
20,00 Kč	55,2	89,6
50,00 Kč	56,7	91,5

Naměřené hodnoty byly porovnány mezi sebou a výchozími hodnotami obou indukčností. Výchozí hodnota, neboli hodnota bez vložené mince, byla u jednovrstvé cívky $45,5 \mu\text{H}$ a u vícevrstvé cívky $73,1 \mu\text{H}$.

Pro další měření jsme si vybrali cívku vícevrstvou, která měla pro nás lepší parametry a zdála se nám vhodnější, než cívka jednovrstvá.



Obr. 42: Jednovrstvá cívka



Obr. 43: Vícevrstvá cívka

6.2 Měření kmitočtu rezonančního obvodu vybrané zkušební cívky sacím měřičem rezonance

Jako první měření zkušební cívky v rezonančním obvodu bylo měření kmitočtu pomocí sacího měřiče rezonance, jinak nazývaného Grid dip metr.

Princip činnosti je založen na odsávání energie. K tomuto jevu dochází u LC obvodů, které jsou naladěny na stejnou frekvenci a umístěny v malé vzdálenosti.

Přístroj se skládá z přeladitelného oscilátoru, detektoru a indikátoru, což obvykle bývá malé ručkové měřidlo – mikroampérmetr. LC obvod oscilátoru je tvořen interním ladícím kondenzátorem a externí cívkou. Ladící kondenzátor oscilátoru je (pokud přístroj nemá digitální indikaci kmitočtu) opatřen stupnicí, umožňující odečítání kmitočtu.



Obr. 44: Německý sací měřič značky RFT

Při měření tímto měřičem (v našem případě historickým německým přístrojem značky RFT) bylo zjištěno, že pro náš druh měření není tento přístroj vhodný a proto jsme se přesunuli k dalšímu přístroji a to přístroji k měření jakosti - Q Metru.

6.3 Měření jakosti rezonančního obvodu vybrané zkušební cívky Q Metrem

Následující měření bylo zaměřeno na naladění rezonančního obvodu u zkušební cívky a odměření změny jakosti Q při vhození mincí.

Měření jakosti probíhalo pomocí měřicího přístroje TESLA Q METR BM 560.



Obr. 46: Q METR - TESLA BM 560



Obr. 45: Q METR - měřící svorky

Q-METR je elektronický měřicí přístroj sloužící nejčastěji k měření činitele jakosti cívek. Přístroj obsahuje přeladitelný oscilátor v rozsahu 50 kHz – 35 Mhz, ladící kondenzátor (nejčastěji vzduchový) a citlivý voltmetr na střídavé napětí měřící v celém rozsahu Q-METRU. Pro měření jakosti Q se využívá naladění obvodu do rezonance, při které se ručička na stupnici Q-METRU vychýlí co nejvíce na pravou stranu [7].

V našem případě byl přístroj nejprve zkalibrován. Dále byla vybraná cívka připojena na pravou svorkovnici s označením Lx na vrchní straně přístroje. Frekvence byla naladěna na hodnotu 1,5 MHz a potenciometrem se nejdříve hrubě (pomocí elektrického pohonu) a následně i jemně (ručně) kapacita doladila na takovou hodnotu, kdy byla ručička Q-METRU nejvíce vychýlena ze základní polohy.

Bez vložené mince přístroj ukazoval hodnotu jakosti $Q = 46$. Při vložení kterékoliv české mince se tato veličina snížila. Nejvíce se snížila při vložení 50Kč a to na hodnotu $Q = 32$, u 20 Kč bylo $Q = 36$ a při použití mince 1Kč bylo $Q = 41$.

Provedené měření nemělo sloužit jako finální, proto nebyla měřena změna jakosti u všech vhozených českých mincí. Měření ale sloužilo pouze jako zkušební ke zjištění vhodné frekvence a hodnoty kondenzátoru pro naladění rezonančního obvodu.

6.4 Koncové měření jakosti rezonančního obvodu u modelu mincovníku

Jako koncový (finální) způsob měření bylo vybráno měření jakosti rezonančního obvodu pomocí přístroje TESLA Q METR BM 560. Na rozdíl od měření jakosti vybrané zkušební cívky z předchozí podkapitoly, bylo toto měření prováděno na třech úhlově posunutých, postupně na sobě navinutých cívkách.

Měření započalo nejprve změřením indukčnosti 1. cívky pomocí RLC metru. Dále připojením 1. měřicí cívky na Q Metr, nastavením rezonanční frekvence na 3 Mhz a pomocí doladění kapacity kondenzátoru v přístroji na co největší hodnotu jakosti. Testovanými mincemi byly všechny v dnešní době používané české mince, jedna zoxidovaná 10-ti koruna, kterou nechtěl školní automat přijmout a z cizích měn byly vybrány slovenská 5-ti koruna, italska mince 100 Lir a litevská mince 2 Lita. Mince byly postupně vkládány do štěrbin a byla měřena změna jakosti rezonančního obvodu u jednotlivých mincí.

Měření na ostatních dvou cívkách probíhalo stejným způsobem, nejprve změřením indukčnosti, naladěním rezonančního obvodu do rezonance a měřením změny jakosti u jednotlivých mincí.



Obr. 47: Finální měření jakosti a indukčnosti

Naměřené hodnoty jakosti Q rezonančního obvodu pro všechny 3 cívky byly zaneseny do následující tabulky:

Tab. 4: Naměřené hodnoty 1. cívky

Cívka 1		
Hodnota indukčnosti L= 16,8 μ H		
Hodnota kondenzátoru v rezonančním obvodu C= 104pF		
Hodnota jakosti bez vložené mince Q= 31		
Hodnota mince	Rub mince	Líc mince
1,00 Kč	21,5	21,5
2,00 Kč	21	20,7
5,00 Kč	19,3	19,9
10,00 Kč - dobrá	15,8	15,8
10,00 Kč - špatná	16,2	16,2
20,00 Kč	14,8	15
50,00 Kč	13,8	13,8
2 LITAI	23	21,8
100 lir	12,6	13
5 SK	24,5	23,9

Tab. 5: Naměřené hodnoty 2. cívky

Cívka 2		
Hodnota indukčnosti $L = 24 \mu\text{H}$		
Hodnota kondenzátoru v rezonančním obvodu $C = 81\text{pF}$		
Hodnota jakosti bez vložené mince $Q = 20,4$		
Hodnota mince	Rub mince	Líc mince
1,00 Kč	17,2	17
2,00 Kč	16,6	16,8
5,00 Kč	16,2	16,8
10,00 Kč - dobrá	14,4	15
10,00 Kč - špatná	14,5	14,6
20,00 Kč	13,5	13,6
50,00 Kč	13	13,3
2 LITAI	14,4	14,5
100 lir	10,9	11
5 SK	15,3	15,4

Tab. 6: Naměřené hodnoty 3. cívky

Cívka 3		
Hodnota indukčnosti $L = 15,84 \mu\text{H}$		
Hodnota kondenzátoru v rezonančním obvodu $C = 126\text{pF}$		
Hodnota jakosti bez vložené mince $Q = 30,5$		
Hodnota mince	Rub mince	Líc mince
1,00 Kč	23	22,4
2,00 Kč	22	22,3
5,00 Kč	20,8	20,5
10,00 Kč - dobrá	17,7	17,8
10,00 Kč - špatná	17,2	17,2
20,00 Kč	15,6	15,3
50,00 Kč	14,5	14,5
2 LITAI	18	18,2
100 lir	13	13
5 SK	19,8	19,6

7 Závěr

Za přínos této práce považuji seznámení s elektronickým mincovníkem, který je důležitým přístrojem pro konstrukci automatů. Ve své práci seznamuji s mincovníkem jak s optickým systémem vyhodnocování, tak se systémem indukčním. Pokusil jsem se pochopit principy obou systémů vyhodnocování. Zvolil jsem si pro svoji konstrukci a měření mincovník indukční. Zkonstruoval jsem podle zkoumání v oblasti magnetismu model mincovníku a na něm jsem provedl mnoho měření. Na základě měření jsem analýzou chtěl najít nejlepší řešení vyhodnovacího obvodu. Jedno řešení jsem našel, zkonstruoval jsem konečný model vyhodnovacího obvodu a provedl jsem další měření. Neustále jsem hledal další řešení pro konstrukci vyhodnovacích obvodů, až Ing. Alexej Salzman mi poradil konzultaci s Ing. Zbyňkem Vondráškem, Ph.D., specialistou na magnetické pole TK ZUP. Na moji práci lze v budoucnu navázat.

Literatura

- [1] *Opto-electronic Coin Validator OMP 18.PS/3*. Phoenix Mecano: Berlin, 2004
- [2] Voženílek, L., Řešátko, M., *Základy elektrotechniky I pro 1. ročník SOU elketrotechnických*, NTL – Nakladatelství technické literatury, 1968.
- [3] *Inductive Coin Validator IMP10-P100/1*. Phoenix Mecano: Berlin, 2005
- [4] Sedlák, B., Štoll, I., *Elektřina a magnetismus*. ISBN 80-200-1004-1.
- [5] Nečásek, S., *Radiotechnika do kapsy*, SNTL – Nakladatelství technické literatury
- [6] Doleček, J., *Moderní učebnice elektroniky 1.díl – základy, ideální a reálné prvky: rezistor, kondenzátor a cívka*, BEN – technická literatura, 2005, ISBN 80-7300-146-2
- [7] Matyáš, V., *Elektronické měřicí přístroje*, SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981.
- [8] Vysoký, P., Malý, K., Fábera, V., *Základy elektrotechniky, (studijní modul 3)*, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2003, ISBN 80-7204-315-3.

Příloha A

Použitý SoftWare

Solid Edge ST3 (<http://www.plm.automation.siemens.com/>)

Multisim 11.0 (<http://www.ni.com/multisim/>)

Vlastník licencí na programy ze seznamu, které nejsou volně dostupné, je toho času Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autor téhož času studoval a vytvořil tuto Absolventskou práci.

Příloha B

Obsah přiloženého CD

K této práci je přiloženo CD s následujícím souborem

- Prazak_AP_2012_2013.pdf