

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Účinnost bezdrátového indukčního dobíjení**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2013/2014

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš KOPŘIVA**  
Osobní číslo: **E12N0160P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Průmyslová elektronika a elektromechanika**  
Název tématu: **Účinnost bezdrátového indukčního dobíjení**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište základní principy indukční vazby bezdrátového nabíjení.
2. Navrhněte a postavte konstrukčně jednoduché zařízení pro bezdrátový přenos energie.
3. Změřte účinnost vazby pro různé pozice primární a sekundární cívky.
4. Proveďte shrnutí a vyvoďte závěry.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


**1. Elektronické informační zdroje (IEEE)**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladimír Kindl, Ph.D.**  
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**

  
Doc. Ing. Jirí Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kús, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na popis indukčního bezdrátového dobíjení. Jejím cílem je nastínit jeho možné druhy, použití a základní znalosti, na kterých tento systém funguje. Součástí práce je vlastní návrh indukčního bezdrátového dobíjení a změření jeho vlastností.

## **Klíčová slova**

Indukční bezdrátové nabíjení, cívka, rezonanční frekvence, Qi, WiTricity, bezdrátový přenos energie, Nikola Tesla

## **Abstract**

The master theses is focused on describing the inductive wireless charging. The objective is to outline the possible types, using and a basic knowledge on which the system works. Part of the work is custom design inductive wireless charging and measure its properties.

## **Key words**

Inductive wireless charging, coil, resonant frequency, Qi, WiTricity, wireless energy transfer, Nikola Tesla

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 19.5.2014

Lukáš Kopřiva

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimírovi Kindlovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

V neposlední řadě mi je milou povinností poděkovat rodičům, kteří mě jak morálně, tak finančně během celého studia podporovali, a všem vyučujícím, kteří se na mém vzdělání na ZČU podíleli.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 HISTORIE</b> .....	<b>10</b>
<b>2 BEZDRÁTOVÝ PŘENOS ENERGIE</b> .....	<b>13</b>
2.1 VÝHODY BEZDRÁTOVÉHO PŘENOSU .....	13
2.2 VLASTNÍ INDUKČNOST .....	13
2.3 VZÁJEMNÁ INDUKČNOST VODIČŮ .....	17
2.4 ČINITEL JAKOSTI CÍVKY .....	19
2.5 INDUKČNÍ NABÍJENÍ V PRAXI .....	19
2.6 QI STANDARD .....	20
2.7 WITRICITY .....	21
2.8 STANDARDIZACE A DALŠÍ VÝVOJ .....	23
<b>3 VLASTNÍ NÁVRH</b> .....	<b>25</b>
3.1 MĚŘICÍ DESKY .....	25
3.2 OVLÁDACÍ ZAŘÍZENÍ .....	27
<b>4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ</b> .....	<b>29</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>34</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>36</b>



## Seznam symbolů a zkratek

Symbol	Veličina	Jednotka
$\omega$ .....	úhlová rychlost	[ $rad \cdot s^{-1}$ ]
$f$ .....	frekvence	[ $Hz$ ]
$\delta$ .....	vzduchová mezera	[ $m$ ]
$\mu$ .....	permeabilita	[ $H \cdot m^{-1}$ ]
$\varepsilon_r$ .....	relativní permitivita	[-]
$N$ .....	počet závitů cívky	[-]
$k$ .....	činitel magnetické indukční vazby, převod transformátoru	[-]
$z$ .....	vzdálenost mezi závitů	[ $m$ ]
$C$ .....	kapacita	[ $F$ ]
$L$ .....	indukčnost cívky	[ $H$ ]
$L_{21}, L_{12}$ .....	vzájemná indukčnost cívky	[ $H$ ]
$\eta$ .....	účinnost	[-]
$P_1, P_2$ .....	elektrický výkon	[ $W$ ]
$U_1, U_2$ .....	elektrické napětí	[ $V$ ]
$I_1$ .....	elektrický proud	[ $A$ ]
$Q$ .....	činitel jakosti	[-]
$\Phi, \Phi_{12}, \Phi_{21}$ .....	magnetický tok	[ $Wb$ ]
$\Phi_c$ .....	cívkový magnetický tok	[ $Wb$ ]
$c$ .....	smyčka	[-]
$H$ .....	magnetická intenzita	[ $A/m$ ]
DSP.....	deska plošných spojů	
ATR.....	autotransformátor	
BNC konektor....	Bayonet Neill Concelman connector	
WPC.....	Wireless Power Consortium	
AWG.....	American wire gauge	

## Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na účinnost bezdrátového přenosu energie. Text je rozdělen do čtyř částí.

V první části je krátce nastíněna historie hlavních představitelů 19. století, kteří zásadně přispěli světu svými pokusy, objevy či vynálezy.

V druhé části je vysvětleno, co se myslí bezdrátovým přenosem energie a jaké jsou jeho hlavní výhody. Dále jsou popsány základní znalosti o vlastní indukčnosti, vzájemné indukčnosti a činitele jakosti cívky pro pochopení problematiky principu indukčního nabíjení a jeho uvedení v praxi. Na konci této části je nastíněn *Qi* standard, technologie *WiTricity* a plánované nasazení těchto technologií v nedaleké budoucnosti.

Třetí část obsahuje vlastní návrh zařízení pro bezdrátový přenos energie. Popisuje ve zkratce výrobu ovládacího zařízení a desek pro samotné měření.

V poslední čtvrté části je popsáno samotné měření účinnosti na vzdálenosti vzduchové mezery bezdrátového nabíjení a zhodnocení výsledků.

# 1 Historie

Než budeme hovořit o indukčním bezdrátovém přenosu, je potřeba zmínit důležité aspekty, které vedly k jeho objevení. Nejprve se vraťme do 19. století, doby, která dala světu řadu geniálních vynálezců.

Prvním z nich se jmenuje André Maria Ampère (1775 - 1836). Tento Francouz a velký myslitel se zabýval elektromagnetismem v letech 1820 – 1827. Popsal řadu fyzikálních zákonů, jimiž se řídí elektrické a magnetické jevy, které daly vzniknout novému oboru, jenž nazval elektrodynamika. Ampère její základy rozvinul pomocí důmyslných experimentů, při nichž např. odvodil vztah pro sílu, jíž na sebe působí dva délkové elementy proudovodičů (tzv. Ampèrův zákon). [1, 2]



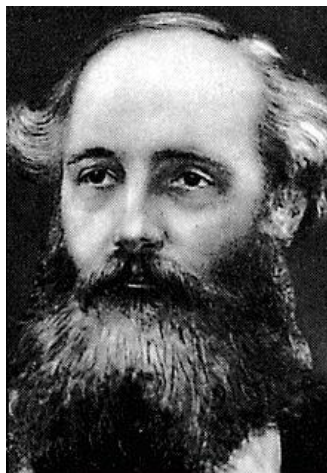
Obr. 1.1 – André Maria Ampère [25]

Druhým je také muž, který se však narodil na předměstí Londýna a vyučil se knihařem. Navštěvoval po večerech přednášky slavného vědce sira Humpreye Davyho a v roce 1831 objevil zákon elektromagnetické indukce. Tímto mužem není nikdo jiný než samotný Michael Faraday (1791 - 1867). [1, 2]



Obr. 1.2 – Michael Faraday [26]

Třetím mužem byl výborný student s vynikajícím prospěchem a později profesor na univerzitě v Aberdeenu a v Londýně, než se rozhodl odejít a sepsat svou slavnou knihu *Pojednání o elektřině a magnetismu*. Jamese Clerka Maxwella (1831 - 1879) doslova zaujaly Faradayovy myšlenky a rozhodl se je proto matematicky vyjádřit. [1, 2]



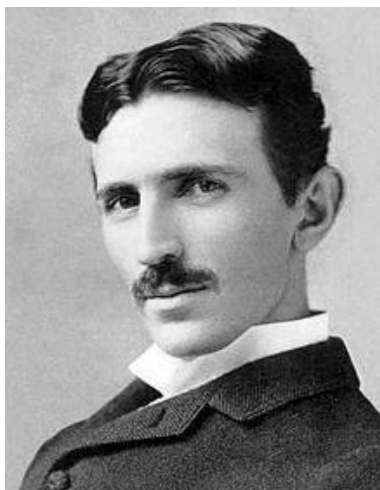
Obr. 1.3 – James Clerk Maxwell [27]

Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894) byl vysoce manuálně zručný, zvládal např. práce se soustruhem. Tento Němec nejdříve studoval matematiku a fyziku v Mnichově a poté přestoupil na berlínskou univerzitu. Profesor Hermann Helmholtz si nemohl nevšimnout Hertzovo nadání, a proto se stal osobou, která stála v pozadí při jeho několika pozdějších úspěších. Helmholtz zastával Maxwellovu teorii elektromagnetického pole a úkoloval svého učeníka experimentováním pro její potvrzení nebo vyvrácení. V letech 1887 – 1888 se Hertzovi podařilo dokázat existenci elektromagnetických vln a jejich vlastnosti. Jednalo se o první funkční bezdrátový přenos elektromagnetických vln. [1, 2]



Obr. 1.4 – Heinrich Rudolf Hertz [28]

Poslední jmenovaná osoba měla fenomenální paměť, studovala rok na Karlově univerzitě v Praze a v pokročilém věku se stala vegetariánem. Nikola Tesla (1856 - 1943) byl Srb a v roce 1893 na World Columbian Exposition v Chicagu dokázal, že je možné bezdrátově rozsvítit žárovku. [1, 2, 10]



*Obr. 1.5 – Nikola Tesla [10]*

## 2 Bezdrátový přenos energie

Moderním trendem dnešní doby je dozajisté bezdrátové nabíjení. Jeho základ tvoří přenos energie ze zdroje elektrické energie do zátěže bez použití jakéhokoli vodiče přes vzduchovou mezeru. K tomuto systému pro bezdrátové nabíjení jsou potřeba dvě cívky. První z nich tvoří vysílač a druhá cívka je přijímačem. [5]

Bezdrátový přenos energie lze rozdělit do dvou skupin.

1. Induktivní vazba
2. Induktivní rezonanční vazba

První skupina obsahuje princip, který se často využívá v našich domácnostech. Pomocí indukčních podložek si můžeme dnes doma nabíjet mobilní telefony nebo elektronické zubní kartáčky. Nevýhodou této skupiny je však vzdálenost mezi cívkami, která je v tomto případě velmi malá. [6]

Druhá skupina slouží k nabíjení zařízení, které vyžadují větší množství energie. Mezi ně patří notebooky, vysavače, roboti nebo elektrické automobily. [6]

### 2.1 Výhody bezdrátového přenosu

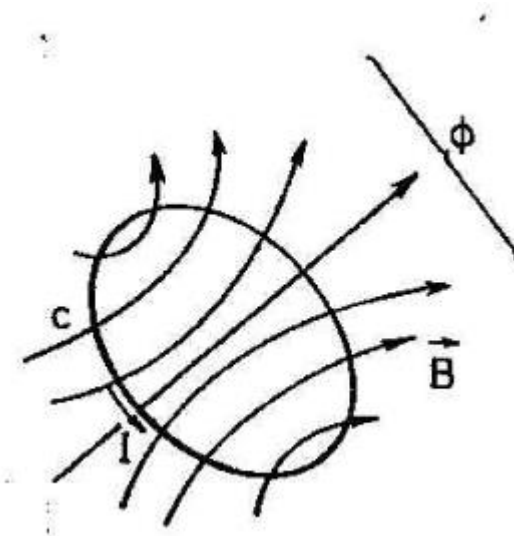
Jednou z mnoha výhod je snížení nákladů spojeného s udržováním připojovacích konektorů. Dále získáváme větší pohodlí pro nabíjení běžných elektronických zařízení a můžeme zajistit bezpečný přenos energie na aplikace, které je potřeba mít sterilní nebo hermeticky uzavřené. Díky tomu, že uchováme elektroniku zcela uzavřenou, snižujeme riziko vzniku koroze před prvky, jako jsou kyslík a voda. Poskytuje spolehlivý přenos energie na kritické systémy, které jsou ve vlhkém, znečištěném a pohyblivém prostředí. [5]

### 2.2 Vlastní indukčnost

- a) Smyčkou  $c$  z tenkého drátu prochází proud  $I$  (Obr. 2.1). Magnetické pole vzniká v okolí smyčky. Je-li magnetický tok  $\Phi$  spřažený se smyčkou  $c$ , vychází nám pak poměr vlastní indukčnosti: [3]

$$L = \left| \frac{\Phi}{I} \right| \quad [H] \quad (2.1)$$

Dle předchozího vztahu (2.1) je vlastní indukčnost smyčky tedy rovna magnetickému toku  $\Phi$  spřaženému se smyčkou, který je indukován protékajícím proudem  $I = 1\text{A}$  touto smyčkou. [3]



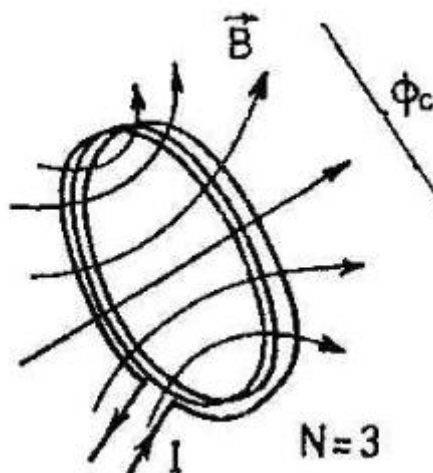
Obr. 2.1 – K definici indukčnosti smyčky [3]

Máme-li místo smyčky cívku o  $N$  závitů (Obr. 2.2), je s cívkou spřažen tzv. *cívkový tok*  $\Phi_c = N\Phi$ , kde je magnetický tok  $\Phi$  spřažený s jedním závitkem cívky. Indukčnost cívky je pak: [3]

$$L = \left| \frac{\Phi_c}{I} \right| \quad [H] \quad (2.2)$$

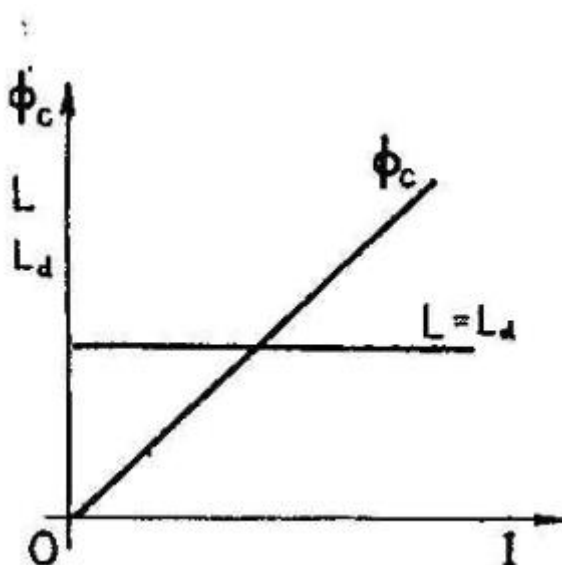
Vztah (2.2) je *statická definice* vlastní indukčnosti.

Je-li v okolí cívky prostředí *magneticky lineární* (tj.  $\mu = \text{konst.}$ ), je  $L$  konstantní (tzn. nezávisí na veličinách pole) a cívku nazýváme *lineární*. Je-li prostředí magneticky nelineární,  $\mu = \mu(H)$ , pak se její indukčnost mění v závislosti na proudu  $L = L(I)$ . Cívku pak označujeme za *nelineární*. Mezi nelineární cívky řadíme ty, které mají ve svém okolí feromagnetikum. [3]



Obr. 2.2 – K definici indukčnosti cívky [3]

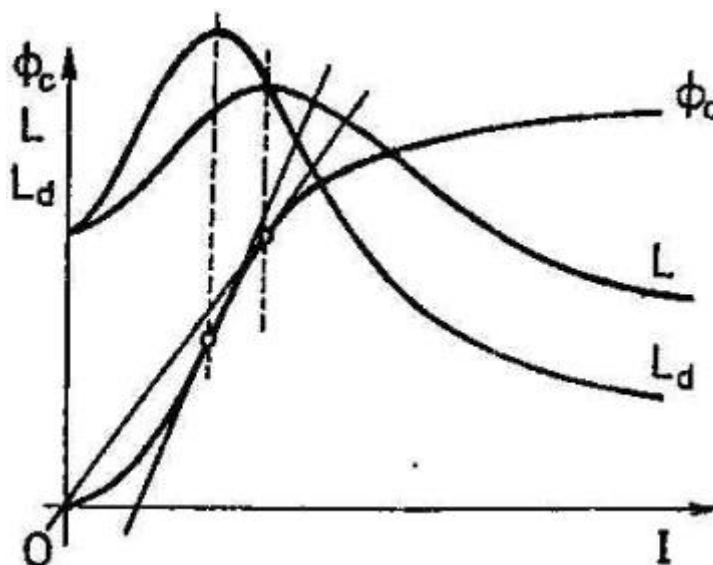
Pro nelineární cívky se železem se zpravidla neudává závislost  $L = L(I)$ , ale závislost  $\phi_c = \phi_c(I)$  – tzv. weber-ampérová charakteristka. Na Obr. 2.3 je weber-ampérová charakteristika a indukčnost lineární cívky. [3]



Obr. 2.3 – Lineární weber-ampérová charakteristika cívky [3]

Pro nelineární cívku platí Obr. 2.4, kde  $L$  dosahuje svého maxima při proudu, který je souřadnicí tečného bodu na weber-ampérové charakteristice pro tečnu vedenou z počátku souřadnic. [3]





Obr. 2.4 – Nelineární weber-ampérová charakteristika cívky [3]

- b) Mějme opět smyčku  $c$  s proudem  $I$ , který indukuje magnetický indukční tok  $\Phi$  spřažený se smyčkou  $c$  (Obr. 2.1). Vlastní indukčnost smyčky definujeme pak vztahem: [3]

$$L_d = \frac{d\phi}{dI} \quad [H] \quad (2.3)$$

Pro cívku o  $N$  závitů, z nichž každý je spřažen tokem  $\Phi$  (Obr. 2.2) je pak dán vztah:

$$L_d = \frac{d\phi_c}{dI} \quad [H] \quad (2.4)$$

Předchozí vztah (2.4) je *dynamická definice* vlastní indukčnosti.

Máme-li cívku lineární (tj. její okolí je magneticky lineární ( $\mu = \text{konst.}$ )), je její weber-ampérová charakteristika  $\Phi_c = \Phi_c(I)$  přímka a  $L_d$  je zřejmě konstantní (Obr. 2.3). Pokud máme naopak cívku nelineární (tj. v jejím okolí je feromagnetikum,  $\mu = \mu(H)$ ), je její weber-ampérová charakteristika  $\Phi_c = \Phi_c(I)$  křivka  $L_d = f(I)$  (Obr. 2.4). Z definovaného vztahu (2.4) můžeme snadno vykreslit průběh  $L_d = f(I)$  (Obr. 2.4), kde  $L_d$  dosahuje svého maxima při proudu, který je na weber-ampérové charakteristice souřadnicí inflexního bodu. [3]

## 2.3 Vzájemná indukčnost vodičů

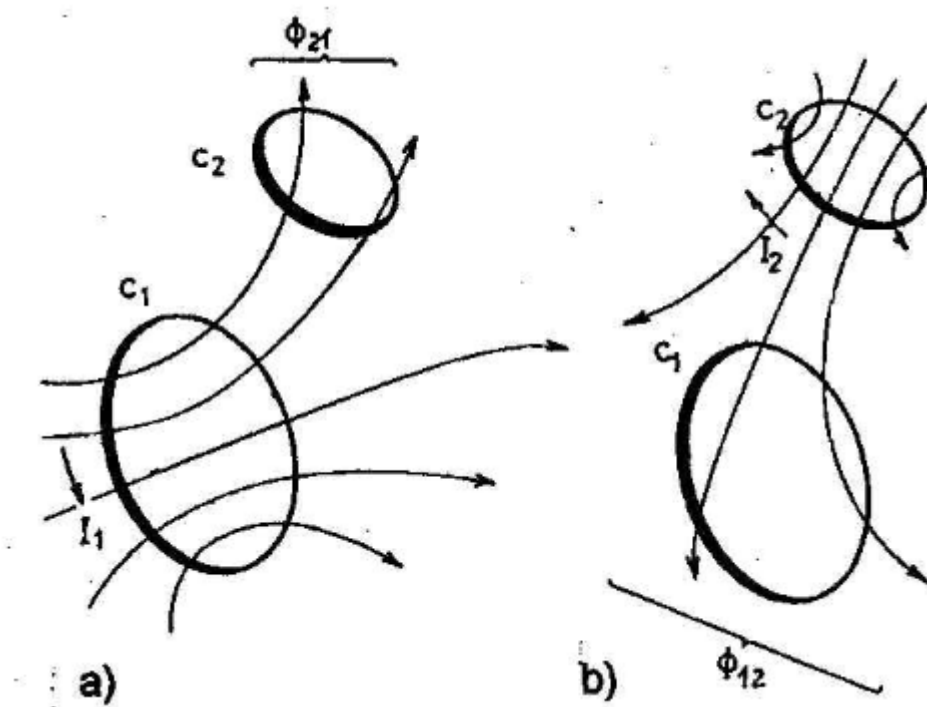
Pro názornost si představme dvě smyčky  $c_1$  a  $c_2$  z tenkého drátu.

- a) Pokud smyčkou  $c_1$  protéká proud  $I_1$ , bude v jejím okolí vznikat magnetické pole, které zasahuje i smyčku  $c_2$  (Obr. 2.5a). Bude-li se smyčkou  $c_2$  spřažen magnetický tok  $\Phi_{21}$ , pak vzájemnou indukčností nazýváme poměr: [3]

$$L_{21} = \frac{\Phi_{21}}{I_1} [H] \quad (2.5)$$

- b) Pokud smyčkou  $c_2$  protéká proud  $I_2$ , bude v jejím okolí vznikat magnetické pole a se smyčkou  $c_1$  je spřažen magnetický indukční tok  $\Phi_{12}$  (Obr. 2.5b). Vzájemnou indukčností pak nazýváme poměr: [3]

$$L_{12} = \frac{\Phi_{12}}{I_2} [H] \quad (2.6)$$



Obr. 2.5 – Definice vzájemné indukčnosti [3]

Tuto úvahu nyní zobecníme tím, že namísto smyček  $c_1$ ,  $c_2$  budeme uvažovat cívky o  $N_1$  a  $N_2$  závitů zanedbatelného průřezu. S cívkami jsou spřažené cívkové toky: [3]

$$\phi_{c21} = N_2 \cdot \phi_{21} \quad (2.7)$$

$$\phi_{c12} = N_1 \cdot \phi_{12} \quad (2.8)$$

Vzájemné indukčnosti mají pak tvar:

$$L_{21} = \frac{\phi_{c21}}{I_2} [H] \quad (2.9)$$

$$L_{21} = \frac{\phi_{c21}}{I_2} [H] \quad (2.10)$$

Předchozí dva vztahy (2.9, 2.10) jsou statickou definicí vzájemné indukčnosti dvou smyček (cívek). [3]

V magneticky lineárním prostředí (tj. v prostředí, kde  $\mu = \text{konst.}$ ) je vždy:

$$L_{21} = L_{12} \quad (2.11)$$

Vzájemnou induktivní vazbu charakterizujeme za pomoci činitele vazby, který je definován vztahem:

$$k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}}, \quad k \in \langle 0; 1 \rangle \quad (2.12)$$

Činitel vazby  $k$  můžeme rozdělit na dvě vazby dle jeho velikosti:

a) Volná vazba –  $k \sim 0.05, 0.1 \dots$

b) Těsná vazba –  $k \sim 0.9, 0.95 \dots$

Jsou-li smyčky umístěny v bezprostřední blízkosti a mají obě smyčky stejný tvar, je  $L_1 = L_2 = L_{12}$  a tedy  $k = 1$ . [3]

## 2.4 Činitel jakosti cívky

Reálná cívka se pro potřeby výpočtů pomyslně nahradí sériovým spojením ideální indukčnosti  $L_s$  a ztrátového odporu  $R_s$ . Všechny ztráty energie v cívce vyjadřuje odpor  $R_s$ , ty jsou způsobeny různými příčinami:

- Stejnoseměrného odporu vinutí
- Skinefektu (s rostoucí frekvencí se proud ve vinutí vytlačuje k jeho okrajům)
- Vyzářené energie
- Ztráty v jádře (vířivé proudy, hysterezní ztráty)

Tyto vlivy jsou ovlivněny frekvencí, teplotou, velikostí elektrického proudu. Činitel jakosti  $Q$  je definován jako poměr indukční reaktance cívky a jejímu ztrátovému odporu:

$$Q = \frac{\omega \cdot L_s}{R_s} \quad (2.13)$$

Reaktance i odporové ztráty jsou závislé na frekvenci a to tak, že v nižších frekvencích se výrazněji projevuje vliv reaktance a ve vyšších již převládají odporové ztráty. Existuje tedy jistá frekvence, kdy poměr reaktance a odporových ztrát je největší, což se hodí např. v rezonančních obvodech. Thompsonův vztah pro výpočet rezonanční frekvence:

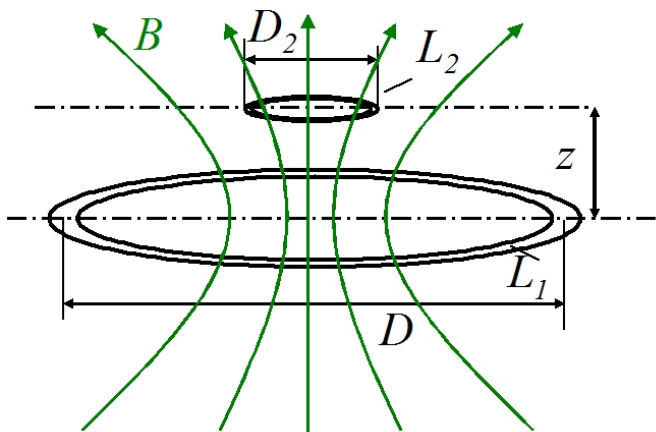
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.14)$$

[7, 8, 9]

## 2.5 Indukční nabíjení v praxi

Indukční nabíjení funguje na principu elektromagnetické indukce popsané výše. Dochází k ní tehdy, kdy je do cívky  $L_1$  (nabíjecí podložka) přiváděn střídavý elektrický proud a druhá cívka  $L_2$  (cívka např. umístěná v telefonu), je umístěna v její blízkosti. Kolem cívky  $L_1$  se vytváří permanentně se měnící elektromagnetické pole. V tomto poli se nachází i druhá cívka, která indukuje střídavý elektrický proud. Pro dané zařízení s baterií již stačí elektrický proud usměrnit. [4, 11]

Účinnost systému (Obr. 2.6) závisí na velikosti poměru cívek  $D_2/D_1$ , a také na vzdálenosti mezi dvěma cívkami ( $z$ ). Čím je nižší poměr mezi cívkami  $D_2/D_1$ , tím se také sníží jeho účinnost. To samé platí o zvětšující se vzdálenosti těchto dvou cívek. [4, 11]



Obr. 2.6 – Princip indukčního nabíjení [11]

## 2.6 Qi standard

Jestliže se bavíme o induktivním nabíjení, musíme narazit na termín  $Qi$ . Toto označení bylo zavedeno jako univerzální standard sdružením *Wireless Power Consortium (WPC)*, která byla založena v roce 2008. Původní význam „čchi“ ( $Qi$ ) přichází totiž z čínské filosofie a představuje vnitřní energii. [12]



Obr. 2.7 – Qi logo [29]

Sdružení *WPC* se podařilo vyrobít bezdrátovou nabíjecí podložku, která umožňuje nabíjet všechna zařízení, které mají na sobě označení  $Qi$ . Výhodou tohoto univerzálního standardu se nachází právě v jednotnosti. Jestliže si tedy koupíme nové zařízení, které bude mít toto logo,

znamená to, že je buď kompatibilní nebo vybavené technologií *Qi*. Samotná podložka využívá elektromagnetického pole, které odesílá energii přímo do nabíjeného zařízení. [12]

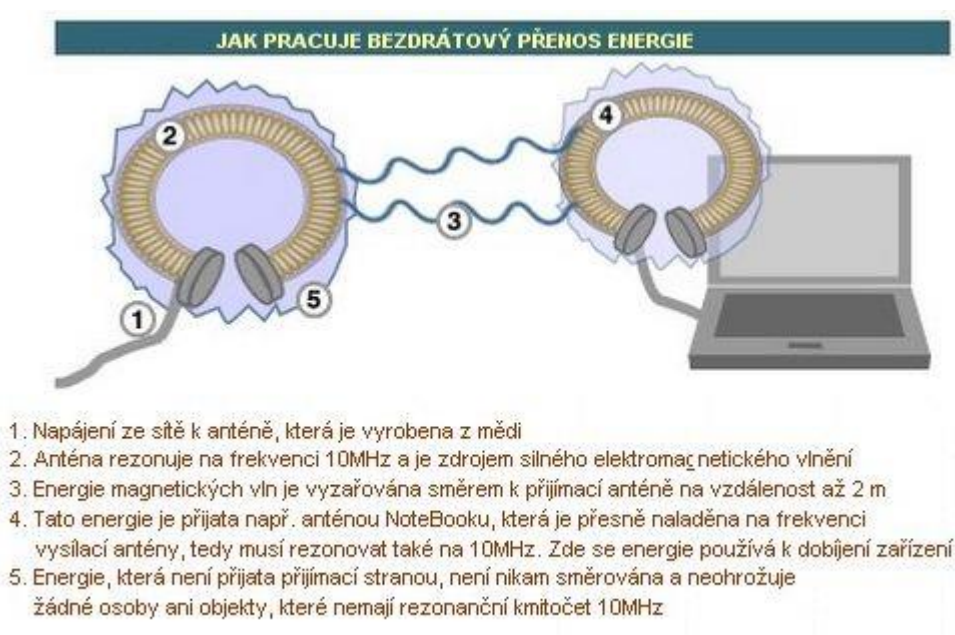
Sdružení *WPC* v dnešní době zahrnuje 203 členských organizací v 18 zemí po celém světě. Počet produktů stoupá každým dnem a v nabídce jich je více než 481. Mezi společnosti patří například výrobci mobilních telefonů (Nokia, RIM, HTC, LG, Samsung, Sony Ericsson). [13, 14]

## 2.7 WiTricity

Cílem konceptu *WiTricity* je vytvořit bezdrátový systém dobíjení pro elektrická vozidla. Toyota společně s několika firmami (IHI, MA, WiTricity) se spojily a dohodly na spolupráci při vývoji bezdrátových systémů pro nabíjení a výběr poplatků elektrických vozidel. [15]

Hlavní parametry:

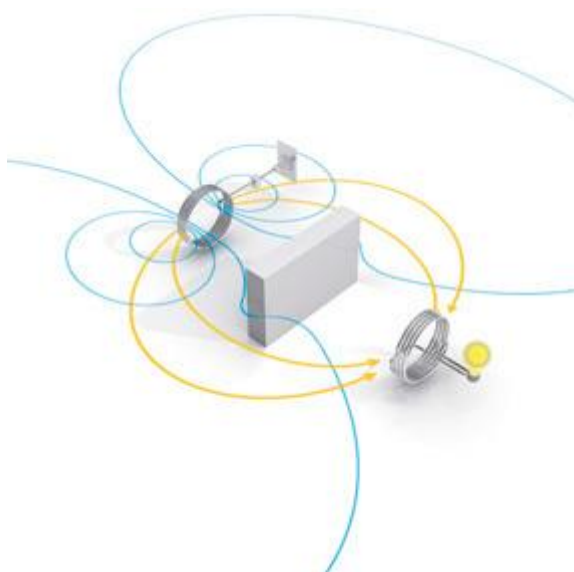
- Energetická účinnost přesahuje 90%
- Systém dodává až 3,3 kW energie
- Přenos energie při vzdálenosti 20 cm až několik metrů



Obr. 2.8 – Bezdrátový přenos energie [15]

Myšlenka konceptu chce totiž vyřešit otázku budoucnosti automobilů na elektrický pohon. Mohli bychom totiž tento druh automobilu snadno zaparkovat doma nebo v automatizované garáži ve městě a spustit nabíjení včetně poplatku sami. Nebylo by třeba hledat žádný nabíjecí kabel. [15]

Většinou běžných stavebních materiálů a vybavení (dřevo, sádkartón, plast, textil, sklo, cihly, beton aj.) může pomocí magnetického pole, které *WiTricity* technologie využívá, pronikat téměř beze ztrát. Kovové překážky dokáží blokovat magnetické pole, ale pokud je taková překážka menší, dokáže působit toto magnetické pole i okolo ní (*Obr. 2.9*). [15]



*Obr. 2.9 – Technologie WiTricity [30]*

Nejdůležitějším aspektem krom samotné účinnosti je také vliv na zdraví člověka. Bezpečnost magnetického pole dokládá široké přijetí a zajištěná bezpečnost domácnosti u magnetické indukční varné desky. Na lidské tělo totiž působí velmi silně elektrické pole. Patentovaná konstrukce *WiTricity* zajišťuje, že je téměř všechno elektrické pole absorbováno uvnitř zdroje. Tato konstrukce splňuje regulační směrnice pro úroveň elektrického a magnetického pole a také nevyzařuje žádné rádiové frekvence, které by se střetávaly s dalšími elektronickými zařízeními a vystavovaly zvířata nebo lidi riziku. [15]

Systémy *WiTricity* budou navrženy tak, aby zvládly širokou škálu stupňů výkonu (od několika mW až po kW). Díky tomu je možné technologii *WiTricity* uplatnit v různých aplikacích (napájení bezdrátové myši, elektrického vozidla). Pomocí flexibilní geometrie lze navrhovat zdroje a zařízení různých velikostí a tvarů. [15]

## 2.8 Standardizace a další vývoj

Zatímco výrobci mobilních telefonů přistoupili na indukční bezdrátové nabíjení pomocí technologie *Qi*, u výrobců automobilů jednoznačný standard dodnes vyvinutý není. Značka Volkswagen chce za tři roky představit bezdrátové nabíjení do svého elektromobilu jako příplatkovou výbavu. Stejnou možnost plánuje automobilová značka Nissan pro svůj současný model Leaf pro roky 2014/2015. [16, 17]

Ve městě Gumi v Jižní Koreji bylo vytvořeno 24 km speciálně upravené vozovky a byly vyrobeny první modely OLEV (On-line Electric Vehicles) – autobus a tramvaj. Tyto první modely využívaly 20kHz 100kW přenos energie při 85% účinnosti přenosu. Vzduchová mezera mezi vozovkou a vozem byla tvořena 20 cm. Během příštích dvou let se plánuje pořízení dalších vozidel a stane se tak Gumi nejspíše prvním městem na světě s hromadnou dopravou budoucnosti. [18, 19]



Obr. 2.10 – OLEV [18]

V Německu regionální autobusový dopravce Rhein-Neckar-Verkehr GmbH (RNV) vyzkouší indukční bezdrátové nabíjení pomocí dvou elektrobusů na lince č. 63 ve městě Mannheim. Vozidla budou vybavena indukčním dobíjecím systémem technologie Primove od společnosti Bombardier Transportation. Systém indukčního nabíjení bude využívat nabíjecí desku situovanou pod povrchem vozovky. Ta na základě indukce magnetického pole pošle energii přímo na sběrnici baterie namontované na podvozku autobusu. Nabíjecí podložky budou instalovány na zastávkách trati autobusové linky č. 63 a aktivují se pouze v případě, kdy nad nimi bude vozidlo stát. [20]



Společnost WAVE z amerického Utahu vyvinula bezdrátový dobíjecí systém, díky kterému mohou být baterie v autobusech výrazně menší. V současné době se autobus testuje kolem univerzitního kampusu. Výhodou je, že se indukčním dobíjecím systémem dají přestavět i staré městské autobusy. Dalším plusem je, že pořizovací náklady dieselových autobusů jsou sice i v USA velmi nízké, avšak provozní náklady na naftu jsou 3 dolary za galon. Mezitím co elektrická energie se ve Spojených státech prodává za 12 centů za kilowatthodinu, což se rovná zhruba 0,65 dolaru za galon. [21]

Nový standard od *Qi* je založen na elektrické rezonanci. Díky tomu mohou být nabíječky velké a nabíjet více zařízení najednou. Velkým plusem je, že nabíjený přístroj již nemusí být rovnoběžný s nabíječkou. Ty totiž v blízké budoucnosti budou vypadat jako krabice, do které si budeme moct naskládat jednotlivé přístroje, které budeme chtít zrovna nabíjet. Kompatibilita je mezi indukčním a rezonančním *Qi* zajištěna. [24]

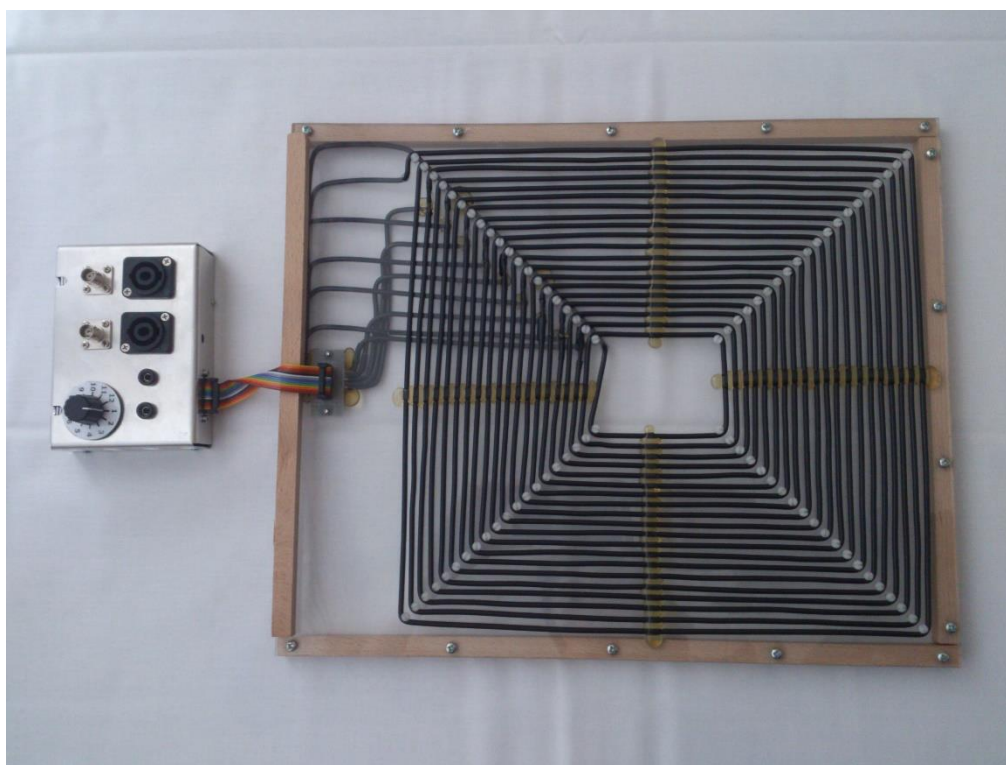


Obr. 2.11 – Nový standard od *Qi* [24]

## 3 Vlastní návrh

### 3.1 Měřicí desky

Pro vytvoření přijímací a vysílací cívky se použilo jako jejich základ šasi z PLEXI. Rozměr každé desky je 415 x 340 x 5 mm. Pro názornost a estetický efekt byly zvoleny dvě následující barvy: hnědá (vysílač) a černá (přijímač). Délka použitého vodiče na výrobu obou desek je cca 37 m. Vodič je izolovaný drát o průměru 2,5 mm<sup>2</sup>. Pomocí něho jsou namotány obdélníkové spirály. Velikost každé z nich je 320 x 305 mm. Velikost vzduchové mezery uprostřed činí 70 x 60 mm. Pro lepší manipulaci při ohýbání vodiče a k vytvoření spirály bylo vyvrtáno do PLEXI na 80 otvorů, do kterých se umístily plastové šroubky. Namotaný vodič však svou silou zdeformoval tvar desky a bylo nutné toto prohnutí vyrovnat za pomoci dřevěného rámečku (Obr. 3.1).



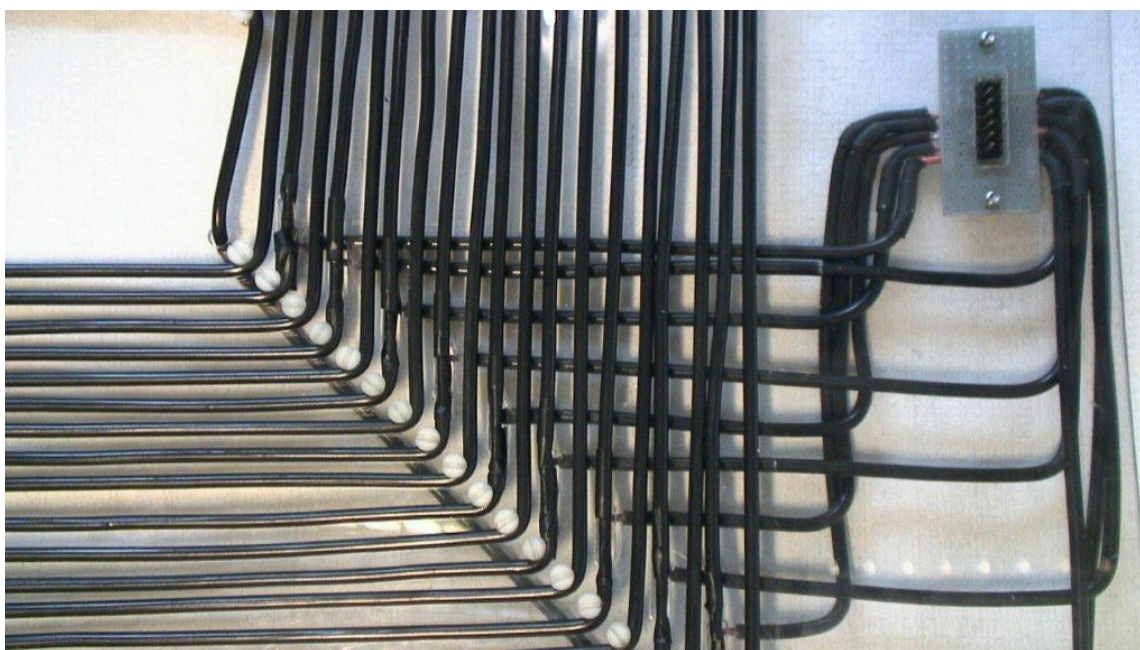
Obr. 3.1 – Měřicí deska s ovládacím zařízením

Spirála je tvořena 20 závitů, které jsou od sebe vzdáleny o 3 mm. Každý lichý závit je vyveden jako odbočka přes předem předvrtaný otvor a konce vodičů jsou připájeny na univerzální destičku plošných spojů (DPS). Ta musela být v půlce rozdělena, aby nedošlo k jejich propojení (Obr. 3.2). Na DPS je osazen spojovací hřebínek spojek (Obr. 3.3).

Pomocí tekutého lepidla se zabránilo samovolnému pohybu vodičů po ploše desky a upevnily se s ním spojovací hřebínky.



Obr. 3.2 – Detail připojených vodičů (rub)



Obr. 3.3 – Detail připojených vodičů (líc)

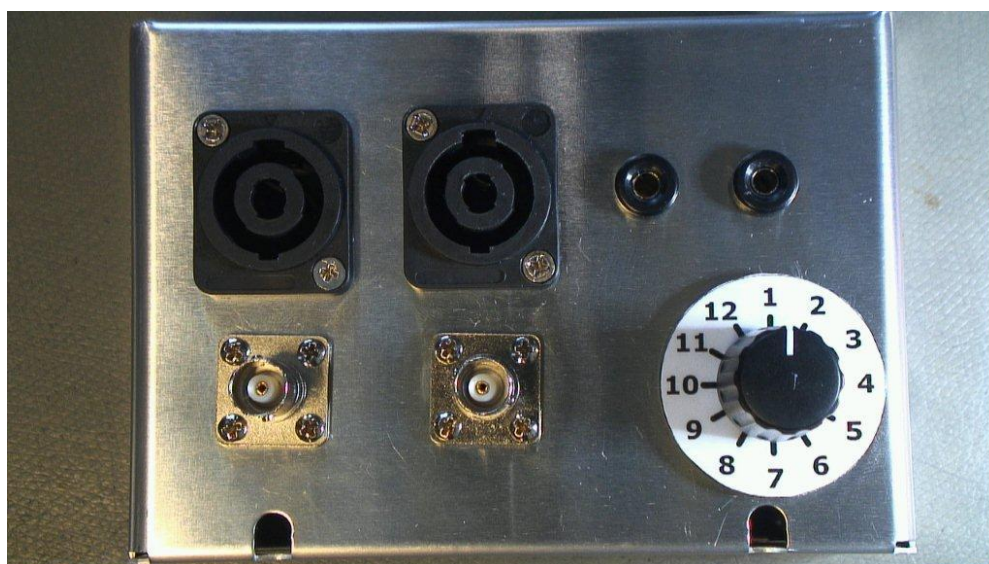
K tomu aby se zabránilo parazitní kapacitě, bylo nutné nezalomovat vodiče do pravého úhlu. Parazitní kapacita by se také projevovala, kdyby byly závit navinuty těsně u sebe, a protože PVC izolace má vysokou relativní permitivitu ( $\epsilon_r = 3,4 - 4$ ). [22]

### 3.2 Ovládací zařízení

Jak již bylo zmíněno výše, ze spirály jsou vyvedeny odbočky, které zde tvoří funkci autotransformátoru (*ATR*). K jeho ovládní se využije otočný přepínač (*Obr. 3.4*). Ten je umístěn do ovládacího zařízení, do kterého je společně umístěn vždy s dvěma konektory *BNC*, *Speakonu* a banánky (*Obr. 3.5*).



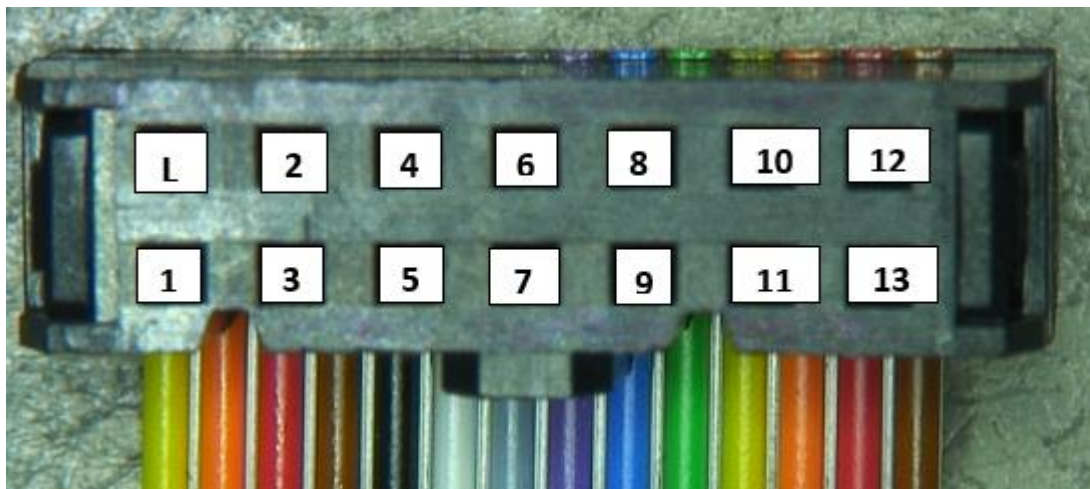
*Obr. 3.4 – Otočný přepínač před složením*



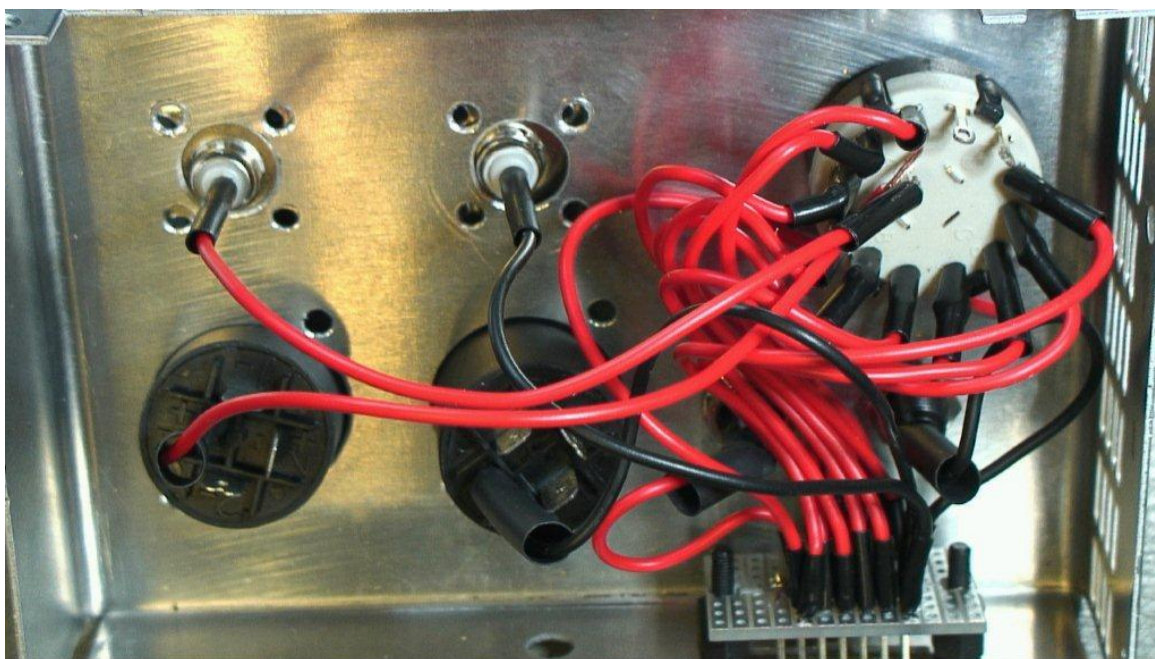
*Obr. 3.5 – Ovládací zařízení*

Na *Obr. 3.6* lze vidět plochý kabel *AWG 14* a jeho zapojení. Označení *L* představuje odbočku, která je tažena hned jako první ze středu desky a čísla 1 – 10 (11 a 12 jsou nevyužité) zde tvoří další, již přepínatelné odbočky. Dle *Obr. 3.7* si lze všimnout, že vždy jeden konektor *Speakonu* a jeden konektor *BNC* je zapojen přímo (černé vodiče), zatímco druhé konektory jsou

propojeny s otočným přepínačem (červené vodiče) pro volbu uživatele. Banánky slouží pro připojení frekvenčního kapacitoru, který je umístěn mezi první a poslední závit.



Obr. 3.6 – Kabel AWG 14 a označení pinů



Obr. 3.7 – Propojení ovládacího zařízení

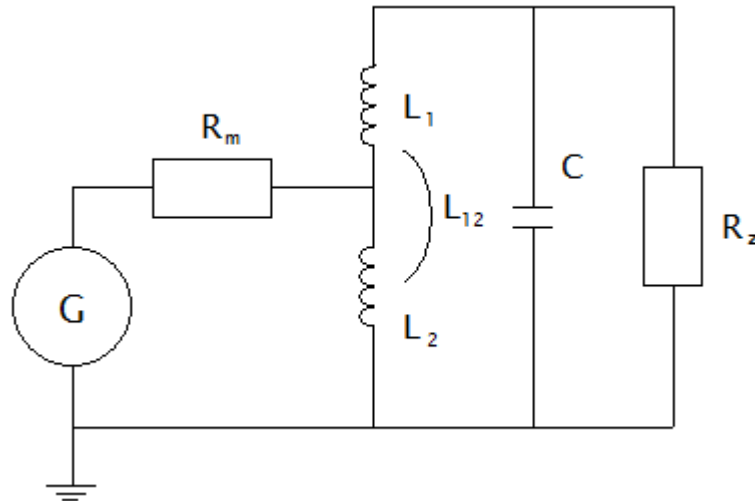
BNC konektory byly vybrány s nejnižší možnou velikostí impedance, která činí  $50 \Omega$ . K propojení zesilovače o velkém výkonu je určen typ konektoru, který se nazývá Speakon. Konektor vyvinula firma Neutrik. Speakon je 4pólový, nebo 8pólový bajonetový konektor s pojistkou. Ačkoli se jedná o vícepinový typ konektoru, používá se typicky pro propojení jediného kanálu. Speakon umožňuje přenášet daleko větší proudy a je mechanicky odolnější než jiné nebo podobné konektory. [23]

## 4 Výsledky měření

Měřicí schéma vychází z *Obr. 4.1* (reálné provedení lze vidět na *Obr. 4.3*), na kterém se pod symbolem  $G$  nachází funkční generátor, který napájí výkonový měřicí zesilovač. Veličiny vstupního a výstupního napětí, vstupního proudu a frekvence byly změřeny pomocí osciloskopu. Měřicí odpor byl o hodnotě  $R_m = 1\Omega$ . Zátěž byla tvořena odporem  $R_z = 10\Omega$ . Pro měření byla zvolena hodnota rezonančního kapacitoru  $C = 0,22F$ . Indukčnosti jednotlivých odboček byly proměřeny za pomoci digitálního  $LCR$  metru za stavu naprázdno. Všechna naměřená data jsou uvedena v *Tab. 4.1*.

odbočka	$\delta$ [mm]	$U_1$ [V]	$I_1$ [A]	$U_2$ [V]	$f$ [kHz]	$\eta$ [%]	$L$ [ $\mu$ H]	$C$ [F]
3	5	7,43	1,22	7,26	42,00	58,1	7,9	0,22
	25	7,94	1,25	7,47	44,00	56,2		
	45	7,96	1,39	7,86	46,90	55,8		
	65	7,49	1,22	7,12	48,85	55,5		
	85	7,91	1,31	7,53	50,30	54,7		
	105	7,11	1,47	7,55	52,12	54,5		
4	5	8,15	0,913	7,57	42,00	77,0	12,5	0,22
	25	8,16	0,924	7,44	44,70	73,4		
	45	7,47	1,000	7,37	48,00	72,7		
	65	8,12	0,994	7,65	50,20	72,5		
	85	7,55	1,130	7,81	52,60	71,5		
	105	7,00	1,050	6,97	54,80	66,1		
5	5	8,74	0,870	8,00	42,88	84,2	18,8	0,22
	25	7,54	0,776	6,93	46,00	82,1		
	45	9,10	0,916	8,20	50,10	80,7		
	65	7,10	0,999	7,34	53,00	76,0		
	85	9,60	0,662	6,80	54,80	72,8		
	105	11,70	0,570	6,83	55,60	69,9		
6	5	8,24	0,795	7,53	45,00	86,6	27,0	0,22
	25	8,35	0,730	7,11	50,70	82,9		
	45	9,87	0,735	7,58	55,70	79,2		
	65	11,40	0,519	6,81	57,00	78,4		
	85	14,60	0,432	6,74	57,50	72,0		
	105	14,50	0,276	5,09	57,70	64,7		

Tab. 4.1 – Výsledky měření



Obr. 4.1 – Schéma zapojení

Hodnota účinnosti je vypočtena z poměru výkonů  $P_1$  a  $P_2$ .

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \quad (W) \quad (4.1)$$

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_z} \quad (W) \quad (4.2)$$

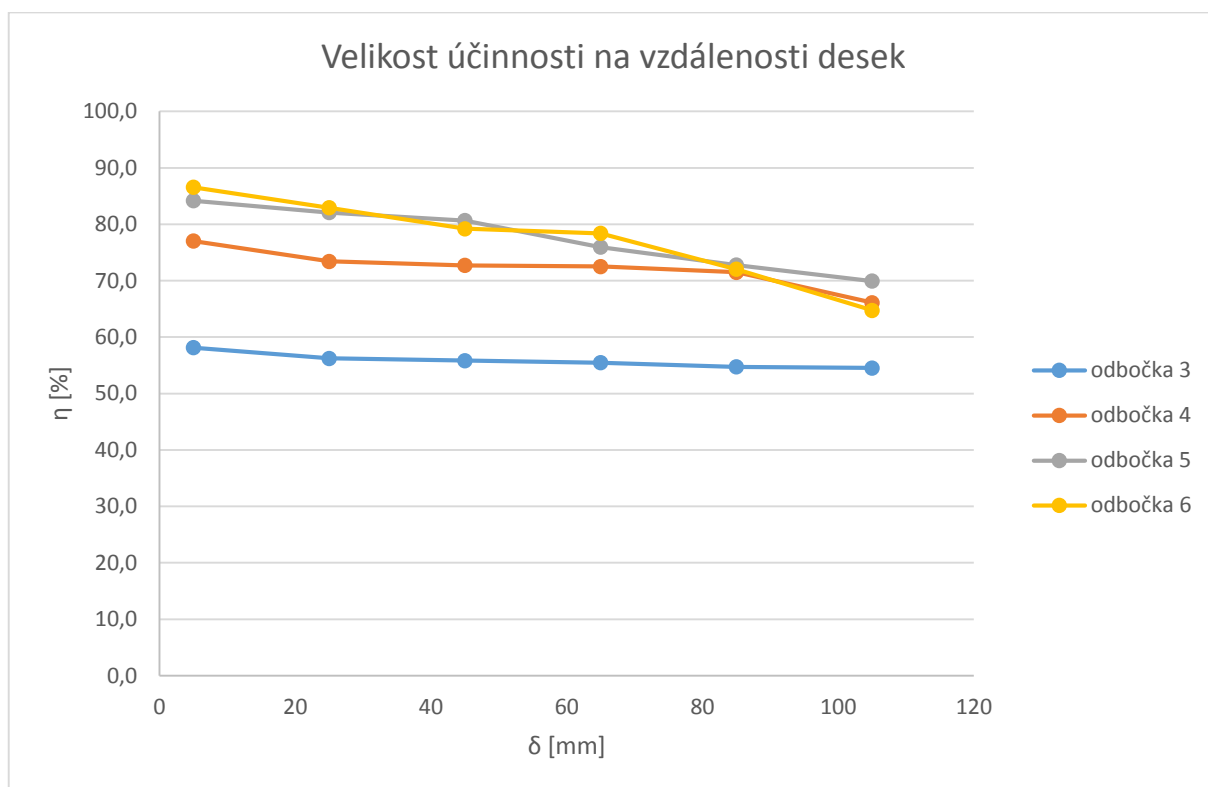
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (\%) \quad (4.3)$$

Příklad výpočtu pro 6. odbočku při vzduchové mezeře  $\delta = 5 \text{ mm}$ :

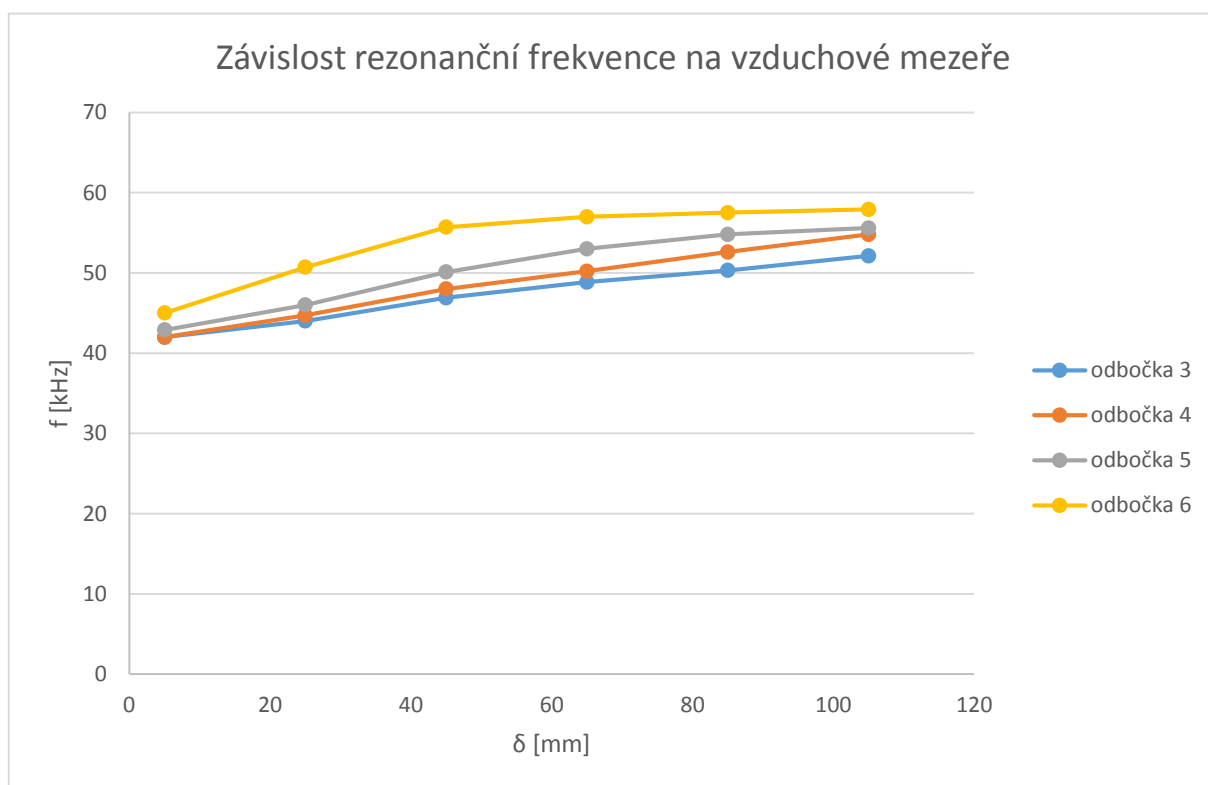
$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = 8,24 \cdot 0,795 = 6,5508 \quad (W)$$

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_z} = \frac{7,53^2}{10} = 5,67009 \quad (W)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{5,67009}{6,5508} \cdot 100 = 86,55 \quad (\%)$$



Graf 4.1 – Velikost účinnosti na vzdálenosti desek



Graf 4.2 – Závislost rezonanční frekvence na vzduchové mezeře



Přes funkční generátor se nastavovala rezonanční frekvence celého obvodu. Na osciloskopu se kontroloval stav, kdy napětí  $U_2$  na zátěži muselo být co největší při nejmenším proudu  $I_1$ , který byl ve fázi s napětím  $U_1$ . Velikost účinnosti na vzdálenosti desek lze názorně vidět na *Grafu 4.1*. Odbočka 3 dosáhla hodnoty účinnosti 58,1% při nejbližší vzdálenosti vzduchové mezery  $\delta = 5 \text{ mm}$ . Dále je vidět, že velikost účinnosti nadále klesala velmi pozvolna a držela se nad velikostí 50%. Za pozornost také stojí největší velikosti elektrického proudu  $I_1$  přesahující 1,2A. Rezonanční frekvence pro jednotlivé vzdálenosti je v rozsahu 42 – 52 kHz (*Graf 4.2*).

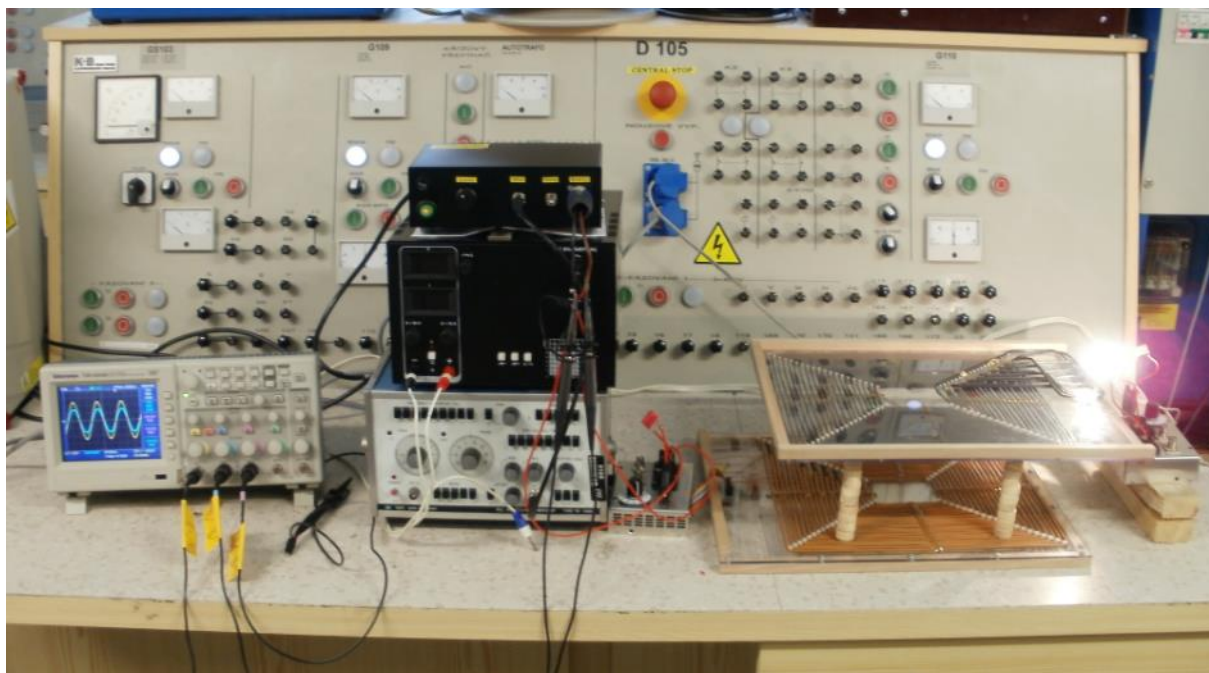
Při 4. odbočce došlo k nárůstu účinnosti dokonce o 18,9% při nejmenší vzduchové mezeře  $\delta = 5 \text{ mm}$ . Průběh se držel konstantní pro zvětšující se vzduchovou mezeru  $\delta$  až ke vzdálenosti 85 mm. Za touto vzdáleností si lze všimnout začínajícího poklesu účinnosti, která se však i při maximální měřené vzdálenosti drží nad 60%. Frekvenční rozsah je jen nepatrně větší než u 3. odbočky.

U 5. odbočky je opět účinnost vyšší (84,2 %) při minimální vzdálenosti. Z průběhu je však patrné, že velikost účinnosti pomalu klesá se zvyšující se vzdáleností a po dosažení maximální měřené vzdálenosti ( $\delta = 105 \text{ mm}$ ) si zachovává účinnost na hodnotě okolo 70%. Rezonanční frekvence přitom dosahuje rozsahu od 42,88 – 55,6 kHz.

Pro 6. odbočku lze z grafu vyzorovat nejen nejvyšší dosažené účinnosti (86,6%) při nejkratší vzdálenosti vzduchové mezery ( $\delta = 5 \text{ mm}$ ), ale také největší pokles vzhledem k narůstající vzdálenosti desek od sebe. Dokonce se propadla za odbočky 4 a 5. Rezonanční frekvence je v rozsahu 45 – 57 kHz, ale od vzdálenosti 65 mm se prakticky její hodnota nemění.

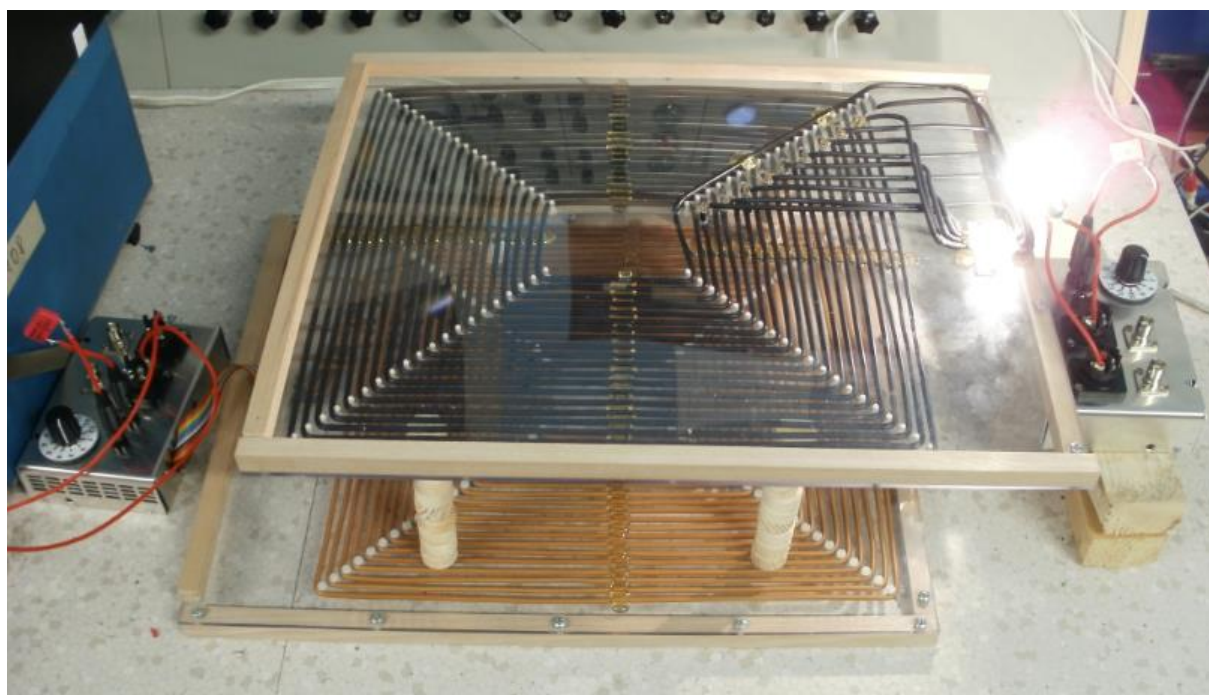


Obr. 4.2 – Detail maximální měřené vzdálenosti



Obr. 4.3 – Měřící prostředí

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, bylo vyvedeno 10 odboček pro naše vlastní měření. Přes ovládací zařízení sice můžeme přepínat na vyšší odbočky než je poslední změřená 6., avšak dochází při měření k deformaci sinusového proudu  $I_1$ . Tato deformace proudu vede k nesmyslným a zavádějícím výsledkům. Na přiložených obrázcích v této kapitole si lze všimnout připojené žárovky, která i přes vyšší odpor než měla naše měřená zátěž, svítí bez jakýchkoli problémů.



Obr. 4.4 – Pohled shora na měřené desky při maximální měřené vzdálenosti

## Závěr

Tato práce se zabývá seznámením s bezdrátovým přenosem energie. Již samotný Nikola Tesla dokázal na konci 19. století rozsvítit žárovku bez pomoci drátu. Technologie bezdrátového přenosu energie je sice stále ve vývoji, avšak princip konceptu zůstává i nadále stejný.

Se systémem bezdrátového přenosu energie se můžeme setkat ve dvou podobách. První z nich je indukční vazba, která disponuje nevýhodou, kdy obě cívky musí být v těsné blízkosti. Technologie *Qi* se stala světovým standardem v oblasti bezdrátového nabíjení mobilů. Nově přichází s novým standardem, který je založený na druhém principu, rezonance. Tím se déle zabývá společnost *WiTricity*. Vysílač a přijímač energie jsou dva magnetické oscilátory, mezi kterými lze přenášet větší energii na vzdálenost i několika metrů. Automobilka Toyota proto investovala do této společnosti, protože chce nabídnout uživatelsky příjemnější řešení než dobíjení elektromobilů ze zásuvek. Podobně plánují zahrnout automobilky Volkswagen a Nissan bezdrátové nabíjení jako příplatkový doplněk. Nissan dokonce vyvíjí speciálního parkovacího asistenta, který řidiči pomůže přesně zaparkovat elektromobil nad zařízení pro bezdrátové nabíjení. [17] Dále jsou v experimentálním vývoji elektrobuses a tramvaje, které by se nabíjeli na zastávkách či křižovatkách.

Výhoda bezdrátového přenosu energie je zbavení se připojovacího kabelu a tím snížit náklady spojené s udržováním připojovacích konektorů. Získáme větší pohodlí pro nabíjení běžných elektronických zařízení a ještě můžeme zajistit bezpečný přenos pro kritické případy, jako jsou např. vlhká prostředí.

Pro nejlepší funkci bezdrátového indukčního nabíjení je třeba držet činitel vazby  $k$  co nejbližší hodnoty 1. Druhým neméně důležitým parametrem je činitel jakosti cívky  $Q$ . Je potřeba navrhnout rezonanční obvod s co nejvyšším  $Q$ , aby byla zajištěná dobrá vazba i na větší vzdálenosti. Toho by se dosáhlo maximalizací indukčnosti, vyšším kmitočtem a minimalizací činného odporu. V praxi však působí další vlivy, jako jsou ztráty v dielektriku rezonančních kondenzátorů, ztráty v izolaci použitého vodiče a nebo parazitní kapacita závitů.

Mnou vyrobené jednoduché zařízení pro bezdrátový přenos energie disponovalo účinností až 86,6%, při 6. odbočce, která však účinnost ztrácela rychleji při zvyšující se vzduchové

mezeře  $\delta$  mezi cívkami. Daleko lépe fungovalo zařízení při odbočce č. 5, při kterém byla maximální dosažená účinnost 84,2% a její průběh klesal pozvolněji a při maximální měřené vzdálenosti vzduchové mezery ( $\delta = 105 \text{ mm}$ ) byla účinnost 69,9%. Rezonanční frekvence byla v rozsahu 42,88 – 55,60 kHz. Pro vyšší odbočky než č. 6 byl proud  $I_1$ , namísto sinusového průběhu, deformován. Zvýšení účinnosti by se dalo v tomto případě zajistit, kdyby nebyl pro připojení mezi ovládacím zařízením a měřicí deskou použitý kabel AWG 14, který zvyšuje odpor  $R_s$ . Dále by se dala polepit plocha PLEXI malými feritovými kroužky, avšak cena tohoto zařízení by stoupla příliš vysoko.

Vzhledem k velikostem desek bych si dovedl představit jejich využití v budoucnu např. v podvozku motokár, kde by druhá cívka byla buď na parkovacím stanovišti, nebo v lepším případě zabudovaná do závodní dráhy.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MAYER, Daniel. *Pohledy do minulosti elektrotechniky*. 1. vyd. České Budějovice: KOPP, 1999. 390 s. ISBN 80-7232-092-0.
- [2] MAYER, Daniel. *Stručné dějiny oborů: Elektrotechnika*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2001. 37 s. ISBN 80-7183-234-0.
- [3] MAYER, Daniel. *Teorie elektromagnetického pole*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. 355 s. ISBN 80-7082-826-9.
- [4] SASUR, Ryan. *WIRELESS ENERGY TRANSFER* [online]. San Luis Obispo, 2011 [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1136&context=eesp>. Senior Project. California Polytechnic State University.
- [5] Wireless Power Transmission • Inductive Electricity • PowerbyProxi. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://powerbyproxi.com/wireless-power/>
- [6] Bezdrátové nabíjení mobilů a tabletů (vědecké okénko) - Mobilizujeme.cz. [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://mobilizujeme.cz/clanky/bezdratove-nabijeni-mobilu-a-tabletu-vedecke-okenko/>
- [7] Rezonanční obvody. [online]. [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt016.htm>
- [8] Frik's web. [online]. [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: [http://www.frik.cz/elektro/components/inductor\\_cs.php](http://www.frik.cz/elektro/components/inductor_cs.php)
- [9] Měření Q cívek. [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://mujweb.cz/pjenicek/radio/merq.htm>
- [10] **VÝZNAMNÍ VĚDCI** | Nikola Tesla | Naturopatická poradna Praha. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.medicnatur.cz/medicnatur/30-b-VYZNAMNI-VEDCI-b/32-Nikola-Tesla>
- [11] Jak funguje bezdrátové nabíjení (nejen) u Lumií - 2. kapitola – MobilMania.cz. [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.cz/clanky/jak-funguje-bezdratove-nabijeni-nejen-u-lumii/jak-funguje-bezdratove-nabijeni-vyrobt-si-doma/sc-3-a-1321953-ch-1057149/default.aspx>
- [12] Qi [vyslovováno chí] – Maxell Air Range. [online]. [cit. 2014-03-14]. Dostupné z: <http://www.maxellair.eu/cs/qi-vyslovovano-chi/>
- [13] Qi – bezdrátové nabíjení se stane standardem. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.cnews.cz/qi-bezdratove-nabijeni-se-stane-standardem>
- [14] *Wireless Power Consortium – creating a standard for wireless charging* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.wirelesspowerconsortium.com>

- [15] WiTricity: bezdrátové nabíjení elektromobilů - ElektrickéVozy.cz. [online]. [cit. 2014-01-19]. Dostupné z: <http://elektrickevozy.cz/clanky/witricity-bezdratove-nabijeni-elektromobilu-pokracovani/>
- [16] Volkswagen zavede bezdrátové dobíjení aut během tří let | Hybrid.cz. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/volkswagen-zavede-bezdratove-dobijeni-aut-behem-tri-let>
- [17] VIDEO: Nissan Leaf umí automaticky parkovat pro bezdrátové dobíjení | Hybrid.cz. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/video-nissan-leaf-umi-automaticky-parkovat-pro-bezdratove-dobijeni>
- [18] V Koreji jezdí elektrické autobusy s bezdrátovým napájením – Živě.cz. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/bleskovky/v-koreji-jezdi-elektricke-autobusy-s-bezdratovym-napajenim/sc-4-a-170039/default.aspx>
- [19] Rychlovlaky s bezdrátovou technologií přenosu energie? V Jižní Koreji! | Hybrid.cz. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/rychlovlaky-s-bezdratovou-technologie-prenosu-energie-v-jizni-koreji>
- [20] V Německu budou testovat revoluční bezdrátové nabíjení elektrobusů | Hybrid.cz. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/v-nemecku-budou-testovat-revolucni-bezdratove-nabijeni-elektrobusu>
- [21] V Utahu vyvíjejí bezdrátově dobíjený elektrobus | Hybrid.cz. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/v-utahu-vyvijeji-bezdratove-dobijeny-elektrobus>
- [22] Konstanty a hodnoty důležitých veličin. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/konstanty.html>
- [23] Speakon – Wikipedie. [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Speakon>
- [24] Qi: bezdrátové nabíjení postupuje na vyšší level – MobilMania.cz. [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.cz/clanky/qi-bezdratove-nabijeni-postupuje-na-vyssi-level/sc-3-a-1326288/default.aspx>

*Použité obrázky:*

- [25] André-Marie Ampère – Wikipedie. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/André-Marie\\_Ampère#mediaviewer/Soubor:Ampere1.jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/André-Marie_Ampère#mediaviewer/Soubor:Ampere1.jpg)
- [26] Michael Faraday – Wikipedie. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Michael\\_Faraday#mediaviewer/Soubor:Michael\\_Faraday\\_-\\_Project\\_Gutenberg\\_eText\\_13103.jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday#mediaviewer/Soubor:Michael_Faraday_-_Project_Gutenberg_eText_13103.jpg)

- [27] James Clerk Maxwell – Wikipedie. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/James\\_Clerk\\_Maxwell#mediaviewer/Soubor:James-clerk-maxwell\\_1.jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell#mediaviewer/Soubor:James-clerk-maxwell_1.jpg)
- [28] Heinrich Rudolf Hertz – Wikipedie. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Heinrich\\_Rudolf\\_Hertz#mediaviewer/Soubor:Heinrich\\_Rudolf\\_Hertz.jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Rudolf_Hertz#mediaviewer/Soubor:Heinrich_Rudolf_Hertz.jpg)
- [29] Qi. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://i.pcworld.fr/1287485-qi-logo.jpg>
- [30] WiTricity Corp. — Basics of WiTricity Technology. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.witricity.com/pages/technology.html>