



Středoškolská technika 2015

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

INDUKČNÍ OHŘEV

Jan Král, Pavel Brejník, Jakub Černý

**Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Kladno
Jana Palacha 1840
272 01 KLADNO**

Obsah

Úvod	2
Teorie elektromagnetické indukce	2
Teorie indukčního ohřevu	3
Teorie cívky	4
Realizace LC obvodu a jeho buzení	5
Postup nastavení realizovaného LC obvodu	6
Postup výroby realizovaného LC obvodu	7
Závěr	7
Použitá literatura	8

Úvod

Jsme členy školního kroužku elektroniky a zabýváme se různými pokusy s elektřinou, jednoho dne za námi přišel učitel s nabídkou přihlášením se do soutěže pokusy s čímkoliv.

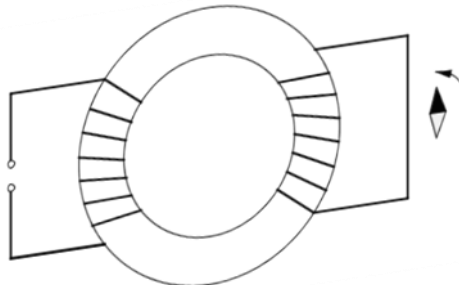
A tak jednoho z nás napadlo vyzkoušet indukční ohřev jiným způsobem, než ten který znáte z indukčních sporáků ve vaší kuchyni. A proto jsme na tomto projektu začali všichni společně pracovat.

Nejdříve uvedeme obecnou teorii o elektromagnetické indukci a její aplikaci praxi, dále popíšeme náš obvod, jeho nastavení a napíšeme postup výroby, nakonec uvedeme, co jsme na projektu získali a co se nám povedlo.

Teorie elektromagnetické indukce

Jev, při kterém ve vodiči dochází ke vzniku indukovaného elektromotorického napětí a indukovaného proudu v důsledku časové změny magnetického indukčního toku, důsledkem umístění vodiče v nestacionárním magnetickém poli.

1831 – Michael Faraday zjistil, že magnetické působení proudů je provázeno zpětným působením na proudy. Ovinul železný prsten dvěma drátěnými cívkami. Pustil-li první cívkou proud, nastal při jeho zapnutí proudový náraz v druhé cívce. Když proud přerušil, vznikl proudový náraz opačný. [1]



Obr. 1 Magnetická indukce na toroidním jádru

Cívka, umístěná přímo pod varnou plochou, je napájena vysokofrekvenčním střídavým proudem. Magnetické pole vytvořené tímto proudem se periodicky mění a indukuje proud ve vodivé pánvi.

Rozkmitáme-li kovovou strunu, která působí jako magnet, indukuje se kolem struny nestacionární magnetické pole, které mění magnetický indukční tok v cívce. Indukovaný proud v cívce mění svůj směr se stejnou frekvencí jako kmity struny a přenáší tyto kmity do zesilovače a reproduktoru.[2]

Vlastní indukce je jev vznikající v případě připojíme-li cívku do el. obvodu a začne jí procházející proud vytvářet magnetické pole. Proud při zapojení nemá hodnotu, kterou udává odpor cívky, okamžitě ale roste až na ni. Když cívku zapojíme, mění se proud (roste), tím se mění magnetická indukce cívky a magnetický indukční tok. Podle Lenzova zákona* se začne indukovat napětí, které působí proti změně, která ho vyvolala – působí proti připojenému zdroji. Když dosáhne proud hodnoty, kterou udává odpor, přestane se měnit, nemění se ani magnetický indukční tok, takže indukované el. Pole zaniká. [3]

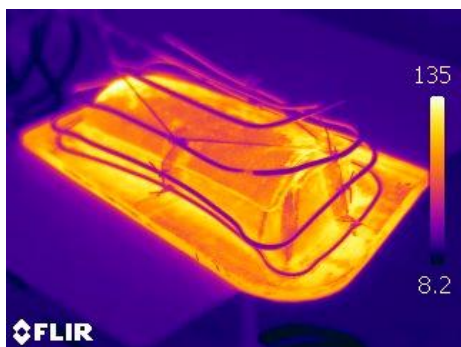
Indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, která je jeho příčinou.

Indukčnost cívky L je veličina, která charakterizuje magnetické vlastnosti cívky. Její velikost závisí na délce cívky, obsahu plochy závitů, na počtu závitů a na permeabilitě jádra

Teorie indukčního ohřevu

Indukční ohřev je elektrický ohřev využívající elektromagnetické indukce. Vložíme-li předmět z el. vodivého materiálu dovnitř cívky, jejímž vinutím protéká střídavý proud, indukují se střídavým magnetickým polem v dutině cívky ve vloženém předmětu vířivé proudy. V principu se jedná o transformátor, kde sekundárním vinutím je vsázka (závit nakrátko) a primárním vinutím je cívka, v indukčních ohřevech zvaná induktor. Vířivé proudy vložený předmět (vsázku) zahřívají. Teplo se do vsázky dopravuje střídavým magnetickým polem, tedy nikoli teplotním spádem jako u nepřímých ohřevů, a vzniká přímo v sázce. Vše ostatní v okolí může být chladné. To je velká výhoda indukčního ohřevu. [4]

Teplo ve vsázce se nevyvíjí rovnoměrně v celém průřezu. Např. při ohřevu vsázky válcového tvaru na Obr. 3 Ohřev vsázky válcového tvaru Obr. 3 je největší proudová hustota na povrchu a ke středu klesá přibližně exponenciálně. Tento jev se nazývá skinefekt.



Obr. 2 Ohřev vsázky nepravidelného tvaru



Obr. 3 Ohřev vsázky válcového tvaru

Využití indukčního ohřevu v průmyslu:

- pro tváření – pravděpodobně nejširší oblast použití, důležité je rovnoměrné prohřátí vsázky;
- pro tavení železných i neželezných kovů s nízkým i středním kmitočtem;
- pro povrchové kalení;
- pro pájení;
- pro lisování za tepla – využívá teplotní roztažnosti kovů;
- speciální technologie – svařování, plasma, vakuové tavení, udržování teploty roztaveného skla.

Využití indukčního ohřevu v domácnostech se orientuje převážně na vaření. Při tomto způsobu vaření dochází k ohřevu kovového dna hrnců elektromagnetickým vlněním. Výhodou indukčních vařičů je vysoká účinnost, bezpečnost a rychlost vaření. Nevýhodou

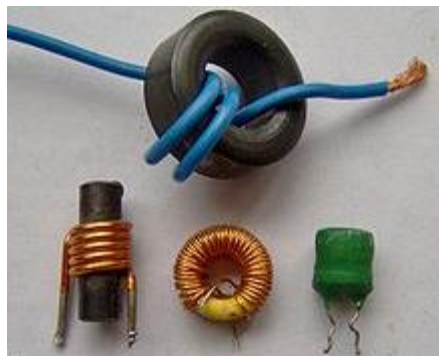
tohoto způsobu vaření je, že nelze použít nekovové nádoby vyrobeného z materiálů jako je sklo či keramika. [5]

Teorie cívky

Cívka je elektronická součástka používaná v elektrických obvodech:

- k vytvoření magnetického pole elektrického proudu, které se dále využívá k působení magnetickou silou – cívka slouží jako elektromagnet,
- k indukci elektrického proudu proměnným magnetickým polem – cívka slouží jako induktor (nositel indukčnosti).

Cívka se skládá z vodiče navinutého na izolační nosnou kostru. Vinutí může být jednovrstvé nebo vícevrstvé. V případě vícevrstevných vysokofrekvenčních cívek je třeba použít křížové vinutí, aby se omezila vlastní elektrická kapacita cívky. Navinutý vodič může být i bez kostry. Ke zvětšení magnetických vlastností se dovnitř cívky vkládá jádro z feromagnetické oceli.



Obr. 4 Graf prostupu tepla zdi z betonu

Cívku lze používat jako samostatnou součástku (elektromagnet, tlumivka, rezonanční obvody, indukční ohřev) nebo jako součást složeného elektrického zařízení (elektromagnetické relé, transformátor, reproduktor).

Cívka jako elektromagnet – využívá se magnetická síla magnetického pole kolem cívky v zařízeních jako např. elektromotor, zvonek, reproduktor, elektromagnetické relé, elektromagnetický jeřáb, vychylovací cívky crt obrazovek, měřicí přístroje.[6]



Obr. 5 Elektrotechnická značka cívky

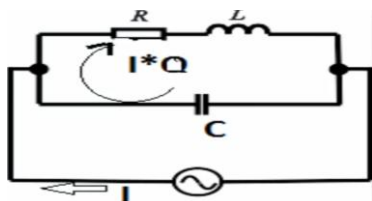
Realizace LC obvodu a jeho buzení

Vzduchová cívka vytváří vysoko frekvenční magnetické pole a v kovovém předmětu uvnitř cívky se indukují vířivé proudy, které ho ohřívají. Na výhřevu se podílí i hysterezní ztráty. S cívkou je paralelně zapojen kondenzátor. Tento LC obvod se musí budit na rezonanční frekvenci. Budící proud při dané rezonanční frekvenci je menší, než proud oscilující v LC obvodu. Poměr budícího proudu k proudu oscilujícímu je tím menší, čím je větší jakost Q LC obvodu (Obr. 6).

LC obvod se skládá ze vzduchové cívky s 12 závitů na průměru 28 mm a sady 40 foliových kondenzátorů 220 nF zapojených paralelně mezi sebou, viz Obr. 7.

Budící generátor (Obr. 7) je tvořen koncovými spínacími tranzistory MOSFET a integrovaným obvodem IR2153 se dvěma výstupy. Na těchto výstupech IO se generují obdélníkové signály, které jsou ve vzájemné proti fázi. Kmitočet je dán časovou konstantou prvků RC zapojených na vstup IO (piny 2, 3,4 IO). Rezistor R je tvořen potenciometrem 50 k Ω v sérii s 10 k Ω . Kapacita C je 470 pF. Předpokládaný kmitočet 30 kHz. Výstupní obdélníkové signály ovládají výkonové MOSFETY. Ty střídavě spínají konce sériově zapojených kondenzátorů o kapacitě 2 μ F proti virtuální zemi (pin 6 IO). Spojený střed těchto sériově zapojených kondenzátorů jde na vstup LC obvodu.

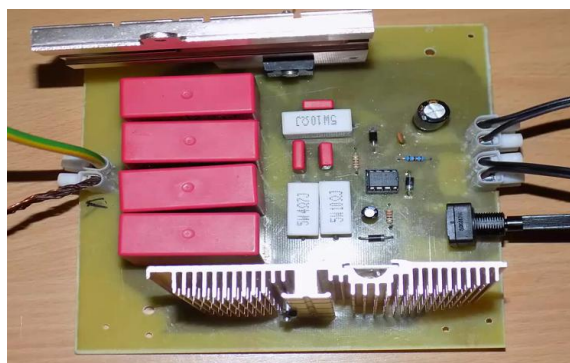
Vysoko frekvenční vzduchové tlumivky (Obr. 9) 9 závitů vysoko frekvenčním lankem na průměru 28 cm. Ta omezuje budící proud do LC obvodu při nastavování. Vysoko frekvenční lanko zmenšuje ztráty skin efektem. 3. vnějším výkonovým regulovaným zdrojem zajišťujícím celkový ohřev kovového materiálu v cívce. Sestava výkonového zdroje – oddělovací transformátor ~ 230/ ~ 230 /500 W, regulační autotransformátor, můstkový usměrňovač s filtračním kondenzátorem 330 μ F/400 V



Obr. 6 Schematické zapojení LC rezonančního obvodu



Obr. 7 LC obvod (vzduchová cívka, foliové kondenzátory).

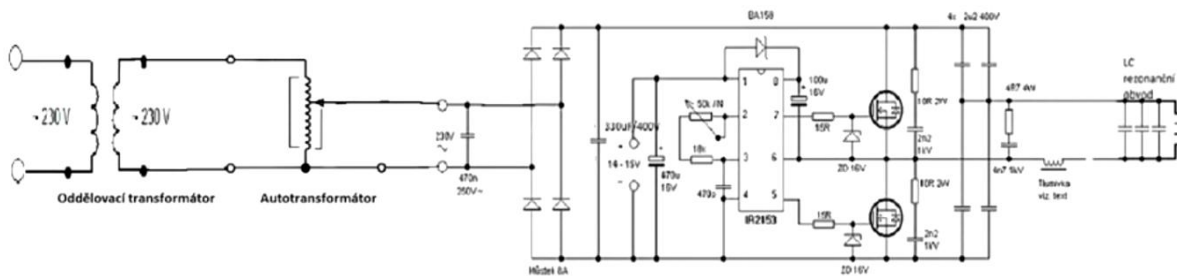


Obr. 8 Budící generátor



Obr. 9 Omezovací tlumivka

Důvod paralelního zapojení kondenzátorů je v tom, že k dosažení dostatečné kapacity při vysokém proudu a napětí je nutno tento proud, který koluje LC obvodem rovnoměrně rozložit na jednotlivé kondenzátory a tím aplikovat teoretický výpočet na praktickou realizaci, kdy jsme hodně omezeni nabídkou trhu a cenou součástek.



Obr. 10 Naše sestava indukčního ohřevu se skládá ze vzduchové cívky s 12 závitů na průměru 28 mm a 40 kusů foliových kondenzátorů 220 nF zapojených paralelně, budícího generátoru tvořeným integrovaným obvodem IR2153 a koncovými spínacími tranzistory MOSFET.

Postup nastavení realizovaného LC obvodu

1. zapojíme stejnosměrné napájení 14V na generátor s IR2153. Osciloskopem ověříme přítomnost obdélníkových pulzů na vývodech 7 a 5 IO. Musí být v proti-fázi.
2. Připojíme vnější regulovaný zdroj přes ampérmetr na ~ síť 230V. Na zdroji nastavíme cca vstupních ~ 50V. Potenciometrem 50kΩ doregulujeme minimální vstupní proud, tím nastává shoda kmitočtu generátoru s rezonančním kmitočtem LC obvodu.
3. Napětí zvýšíme na konečných ~ 100V z důvodu bezpečnosti a značnému rušení. Doladíme opět vstupní proud na minimum. Nyní do cívky vkládáme různé materiály magnetické i nemagnetické a pozorujeme výsledky ohřátí.



Obr. 11 Ukázka nastaveného LC obvodu který indukuje výkon do vsádky

Postup výroby realizovaného LC obvodu

1. Návrh a výroba tištěného spoje pro rezonanční obvod.
2. Pocínování tištěného spoje, aby byla jeho měď chráněna před korozí.
3. Osazení tištěného spoje.
4. Vytvoření cívky z Cu drátu 6mm², namotáním na železnou trubku.
5. Napájení 40 fóliových kondenzátorů paralelně k cívce přímo na její vývody.
6. Vytvoření vlastní tlumivky z 20 Cu drátků velmi malého průřezu.
7. Návrh, vytvoření a osazení tištěného spoje s můstkovým usměrňovačem a pojistkou.
8. Sestavení všech čtyř komponentů dohromady (cívka s kondenzátory, tlumivka, rezonanční obvod a usměrňovač).
9. Neúspěšný pokus o oživení indukčního ohřevu.
10. Výměna tranzistorů a operačního zesilovače.
11. Úspěšný pokus o oživení indukčního ohřevu.
12. Úspěšné rozpálení vsazeného hřebíku do ruda.

Závěr

Podářilo se nám úspěšně realizovat indukční ohřev v laboratorních podmínkách. Naše realizace je vhodná pro demonstraci tohoto jevu. Náš obvod byl kladně hodnocen na žákovské soutěži Vím proč společnosti ČEZ. [7]

Naše práce nám hodně přiblížila praktickou elektroniku, tento pokus následně celý projekt nás bavil a rádi bychom v něm dále pokračovali a dosáhli lepších a názornějších výsledků.



Obr. 12 a Obr. 13 Pracoviště experimentu (digitální multimetry, panelový zdroj stejnosměrného napětí, regulovaný zdroj vnějšího stejnosměrného napětí, dvoukanálový osciloskop HM-1505 a běžné elektrotechnické pomůcky).

Jelikož náš indukční ohřev nepracoval na 100 %, z důvodů několika drobných chyb, např.: velmi dlouhých a úzkých cest na tištěném spoji rezonančního obvodu, jsme se rozhodli:

- k vytvoření nového tištěného spoje, který nyní navrhuje náš spolužák Štěpán Malec,
- vytvoření větší cívky, aby se dala ohřívat větší tělesa a opékat špekáčky ☺,
- dalším úpravám týkajících se především vzhledu zařízení.

Poděkování

Za pomoc s vypracováním práce děkujeme vyučujícím odborných praxí **Ing. Jaroslavu Mlejnkovi** a **Bc. Jánů Hýblovi**. Za technickou a finanční podporu děkujeme společnosti **Progredior Kybernétés s.r.o.**, a projektu **Cestou přírodovědných a technických oborů napříč Středočeským krajem (CZ.1.07/1.1.00/44.0011)** a především naší škole **SPŠ a VOŠ Kladno**.

Použitá literatura

- [1] conVERTER Převody jednotek, fyzikální tabulky, životopisy fyziků a Nobelova cena: *Michael Faraday* [online]. Jiří Bureš, 2002. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/fyzici/faraday.htm>
- [2] FYZIKA 007: *Elektromagnetická indukce* [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz>.
- [3] Neoficiální internetová fakulta všeho možného: Elektromagnetická indukce [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/f16.htm>
- [4] ROBOTERM [online]. ROBOTERM spol. s r.o., 2012. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.roboterm.cz/home/co-je-indukcni-ohrev>
- [5] Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org>
- [6] SPŠE Mohelnice: Cívky [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/civky.htm>
- [7] Vím proč: *Indukční ohřev* [online]. ČEZ, a. s., 2015. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <https://www.vimproc.cz/?page=search&q=induk%C4%8Dn%C3%AD+oh%C5%99ev#?page=record&id=946>