

Měření rezonanční frekvence Teslova transformátoru zrcátkovou metodou

T. Peltan

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1.

tom.peltan@seznam.cz

Abstrakt

Pokusíme se u již námi sestaveného a funkčního Teslova transformátoru určit jeho rezonanční frekvenci pomocí experimentální metody tzv. zrcátkovou metodou. Pokusíme se nastínit celý průběh pokusu, jeho úskalí a vlastně i celou naši teoretickou vizi. Naším cílem je alespoň přibližně určit rezonanční frekvenci daného transformátoru. Vycházíme z dobové fotografie, kterou jsme si prohlédli a konzultovali s panem Ing. Vojtěchem Svobodou, CSc., a ze které je zřejmé, že naše původní cíle, změřit rezonanční frekvenci transformátoru, jsou reálné.

Úvod

Hned v první řadě bychom chtěl všechny neznalce práce s vysokým napětím prahnoucí po obrovských elektrických výbojích a dalších pokusech s nimi varovat, protože Teslův transformátor je extrémně nebezpečné zařízení. Může způsobit škody na majetku či újmy na zdraví konstruktéra. V celém zařízení se pracuje s vysokým napětím o vysokých výkonech, které může v případě neopatrnosti způsobit smrt! Celé zařízení při provozu vyzařuje do okolí elektromagnetické záření, které ruší veškerou rádiovou komunikaci a proto tento přístroj provozovat po delší dobu je trestné! Tímto článkem nikoho k jeho stavbě nenabádám, a neberu tedy žádnou odpovědnost za škody či újmy, které s tímto zařízením způsobíte!

V tomto článku se seznámíme s principem a konstrukcí naší měřicí zrcátkové metody, která by nám měla alespoň přibližně určit rezonanční frekvenci našeho Teslova transformátoru. Dále si zopakujeme princip jeho funkce a připomeneme si i něco málo o Nikolovi Teslovi.

1 Nikola Tesla a jeho život

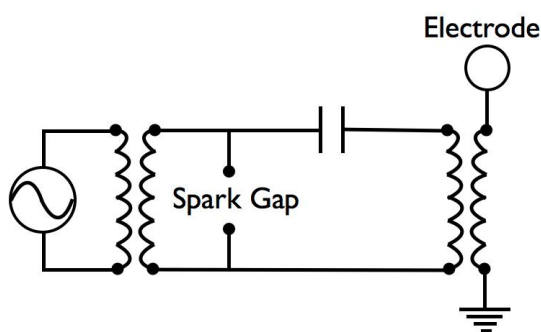
Nikola Tesla se narodil 10. července 1856 ve vesnici Smiljan, tedy v dnešním Chorvatsku. Po studiích se začal naplno věnovat fyzice a matematice. V roce 1884 odjíždí z Chorvatska do Ameriky, kde si najde práci ve společnosti Edison Machine Works. Ovšem po neshodách s Edisonem, který prosazuje stejnosměrný proud se s Edisonem rozejde a v roce 1886 zakládá vlastní firmu Tesla Electric Light & Manufacturing. Tím se Tesla stává jedním z nejúspěšnějších elektrotechnických vynálezců v USA. V roce 1899 se Tesla přestěhoval do městečka Colorado Springs, kde si vybudoval velkou specializovanou laboratoř, ve které se několik měsíců zabýval pokročilými a vizionářskými výzkumy souvisejícími hlavně s bezdrátovým přenosem elektrické energie, tedy na výzkumu a propracování Teslova transformátoru.

Tesla umírá v roce 1943 na okraji společnosti v bídě a zapomnění.

2 Teslův transformátor

Tento transformátor vymyslel Nikola Tesla, jako projekt bezdrátového přenosu energie po celém světě bez nutnosti elektrických rozvodů a vedení. Klasický jiskřišťový Teslův transformátor je vzduchový transformátor, který pracuje s vlastní rezonanční frekvencí, bez jakéhokoliv elektromagnetického jádra. Tento transformátor má obvykle 2 pracovní cívky, primární a sekundární, dále v tomto zapojení najdeme zdroj vysokého napětí, rezonanční kondenzátor a jiskřiště. Celé zapojení klasického Teslova transformátoru je na schématu (Obrázek 1.). Toto zařízení slouží ke generování vysokofrekvenčního napětí, řádově desítky až stovky kHz a ke generování velmi vysokého napětí, desítky tisíc až milionů voltů. Dnešní využití je už jen jako učební pomůcka v různých kabinetech fyziky nebo ve výzkumných ústavech, kde je třeba velmi vysoké napětí.

Teslovy transformátory dnes můžeme rozdělit do dvou kategorií. Kategorie klasické (tak jak je navrhl Tesla) a moderní. Mezi ty moderní Teslovi transformátory patří i náš zkoumaný tedy elektronkový Teslův transformátor - VTTC.



Obrázek 1.: Schéma klasického Teslova transformátoru

3 Princip funkce

Zdroj vysokého napětí nám nabíjí rezonanční kondenzátor. Nabíjení trvá tak dlouho, dokud se na kondenzátoru nenabije dostatečné napětí, které prorazí izolační vrstvičku vzduchu v jiskřišti mezi jeho elektrodami. Když dojde k průrazu tedy přeskočce výboje v jiskřišti, kondenzátor plně nabitý se nám vybije do primární cívky, která začne kmitat na určité rezonanční frekvenci celého primárního obvodu. Při přeskočce výboje v jiskřišti tečou obloukem desítky až stovky ampér, proto se jiskřiště extrémně zahřívá. Je nutné jej chladit nebo použít rotační jiskřiště, to jest na otáčivé nevodivé kolo přidělat kontakty, které rotují mezi elektrodami. Docílíme tak lepšího chlazení celého jiskřiště, rychlejšího spínání celého obvodu a větší účinnosti.

Poté, co se kondenzátor zcela vybije, zhasíná v jiskřišti výboj, a celý děj se opakuje, tedy vysokonapěťový zdroj opět začne kondenzátor nabíjet atd. Toto probíhá řádově tisíce krát za sekundu, záleží na naladění celého zařízení.

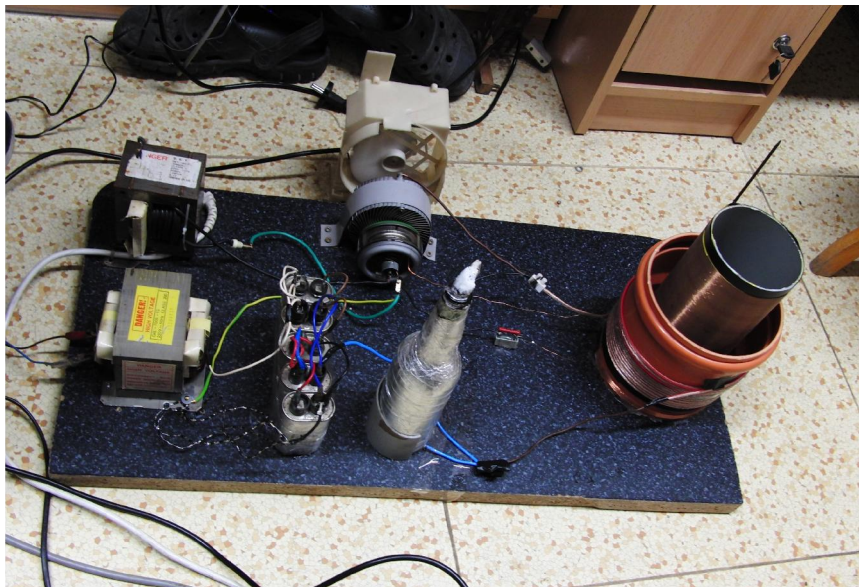
Když nám primární cívka rezonuje na dané frekvenci, a máme-li sekundární cívku naladěnou na stejnou, nebo aspoň velice blízkou frekvenci, začíná se nám na sekundární cívce indukovat velmi vysoké napětí o stejné frekvenci, se kterou by měla rezonovat i primární cívka. V praxi víme, že naprosto přesné naladění obou cívek není žádoucí, i když to tak z teorie vyplývá.

Vysokonapěťové výboje ve formě koróny a jiskření z neuzemněného konce sekundární cívky mají totiž vlastní kapacitu a celé zařízení se samo rozladí, proto v praxi záměrně sekundár rozladujeme o 3-5%.

Ladění celého obvodu provádíme dle následujícího vzorce :
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

4 Elektronkový Teslův transformátor VTTC

Jedná se o transformátor, který pracuje na stejném principu jako klasický transformátor, avšak toto zapojení je modernizované, celý obvod řídí elektronka (Vacuum tube Tesla coil). Elektronka nahrazuje už zmíněné jiskřiště, jinak celý obvod zůstává nezměněn. Přibývá zde pouze třetí vinutí, tzv. zpětnovazebné vinutí pro elektronku (feedback) a RC článek, který nám omezuje napětí, které nám vstupuje na mřížky elektronky. Elektronky můžeme použít prakticky jakékoliv, kromě diod, ty nelze řídit a nemají spínací funkci. V praxi platí, že by elektronka měla zvládat vysoké napětí (napětí, které chceme mít na primární straně), měla by mít dostatečný výkon, a musí být schopná pracovat v úrovni rychlosti spínání, na které celý obvod ladíme. Naše zařízení je na Obrázku 2.



Obrázek 2.: Elektronkový Teslův transformátor

5 Optické rozmítání obrazu

Tato optická metoda je založena na principu zákona dopadu a odrazu. Jakékoliv světelné paprsky, které dopadnou na povrch, který je schopný je odrazit je odrazí právě pod takovým úhlem, jako je jejich úhel dopadu na daný povrch vzhledem ke kolmici na povrch. Optické rozmítání obrazu dále také využívá pohybu stínítka nebo pohybu zobrazovacího mechanismu tedy zrcátka či soustavy speciálních zrcátek. Díky pohybu jsme schopni pro naše oko statické děje rozprostřít do prostoru a můžeme tak odhalit, že pro nás statické děje statické vlastně nejsou. Umožňuje nám tak pozorovat zkoumané jevy lépe než při tzv. přímém pozorování.

Při vhodném uspořádání celé aparatury můžeme i díky této metodě docílit tzv. optické páky, což je zvětšení či zmenšení rozmítaného jevu. Máme tedy při vhodném uspořádání prakticky neomezené možnosti.

V našem experimentu jsme využili rotačního zrcátka a statického zdroje světla, tedy v našem případě světla, které vzniká při výbojích z Teslova transformátoru. Rotační zrcátka jsme vyrobili tak, že jsme spojili 4 zrcátka do tvaru čtverce při pohledu z půdorysu a do středu jeho úhlopříček jsme vložili osu, kolem které se nám celá soustava zrcátek otáčela.

6 Průběh a sestavení našeho experimentu

Celé zařízení jsme vyzkoušeli, jestli správně funguje a zda-li je schopno být v provozu na dostatečně dlouhou dobu. Vše bylo v pořádku a tak jsme do náhodné vzdálenosti postavili rotační zrcátko, které nám mělo rozmítat po stěně světlo a jeho charakter vzniklé z výboje. Na stěnu jsme připevnili bílé plátno a celou místnost dokonale zatemnili. První problém nastal v momentě, kdy odražené světlo ze zrcátka bylo slabší než světlo, které přišlo přímo od výboje na plátno. Bylo tedy nutné toto nadbytečné a námi nechtěné světlo odstínit. Sestavili jsme velice improvizovanou stínící kopuli na celý Teslův transformátor a nechali jen štěrbinu na průchod světla k zrcátku (Obrázek 3.). Avšak ani zde po dlouhém snažení, focení stínítka tedy plátna, natáčení i pozorování nebylo nic zřetelné. Použili jsme tedy fotoaparát, který má velice krátkou dobu expozice a je velice citlivý na světlo.

Avšak ani za pomoci pana Svobody a ostatních jeho studentů jsme nedosáhli pro nás v tu chvíli žádných výsledků. Začali jsme se tedy ubírat jiným směrem, nefotit obraz vzniklý na stínítku, ale fotit přímo proti zrcátku. Zde už byl postup velice znatelný. Podařilo se nám natočit i vyfotit mnoho fotografií, které ukazovaly, že opravdu vidíme rozmítaný výboj v čase, tedy měli bychom být schopni poznat jeho rezonanční frekvenci.

Problém ovšem nastal, když jsme zkusili natočit přímo výboje bez použití odrážecího zrcátka. Toto video nás svedlo na špatnou cestu a pohled na danou problematiku. Video odhalilo nepravidelné vznikání a zanikání celého výboje, viděli jsme tedy fotografie, kde výboj pohasínal, kde vůbec nebyl, ale také fotografie, kde výboj vznikal a v jeho maximu. Tato skutečnost nás tak šokovala, že jsme se přestali zabývat rozmítaným obrazem a začali jsme zkoumat fotografie, které byly použity bez rotačního zrcátka.



Obrázek 3.: Zastínění přebytečného světla a rotační zrcátko

7 Špatná úvaha a pohled na experiment

Začali jsem tedy zkoumat charakter výbojů, které byly focené přímo (Obrázek 4.). Pokud jsme fotografie převrátili o 90° bylo vidět, jak výboje připomínají křivku tlumených kmitů. A zde vznikla ona špatná úvaha. Začali jsme zkoumat tuto křivku, její délku a rychlost s jakou vzniká, snažili jsme se přijít na koeficient tlumení, nebo na cokoli co by nás přivedlo o kousek dále k objasnění hodnoty rezonanční frekvence. Vše bylo ale neúspěšné. Po dlouhém zkoumání jsme naznali, že touto metodou nelze určit rezonanční frekvenci Teslova transformátoru.

Takto končila i naše prezentace, avšak když jsme se podívali na celou věc znovu od začátku a bez předsudků s odstupem času, přišli jsme na to, že tento pohled na problematiku byl naprosto špatný. Ano, výboje jsou sice časově nespojité, ale to je správně. Teslův transformátor je zařízení pracující na dané rezonanční frekvenci, ale je to impulzní zařízení, tedy po nabití kondenzátorů se kondenzátory přes jiskřiště, v našem případě přes elektronku, vybijí do primární cívky a ta začne kmitat na dané rezonanční frekvenci. Tento děj přetrvává tak dlouho, dokud je v kondenzátoru ještě energie na kmitání celého obvodu a pak se celý děj i s nabíjením kondenzátoru opakuje. Naše pozornost tedy tímto faktem, který jsme si uvědomili až pozdě, byla strhnuta na pozorování opakování nabíjení a vybíjení, nikoliv na frekvenci kmitání.



Obrázek 4.: Výboj vyfotografovaný bez zrcátka a přímo

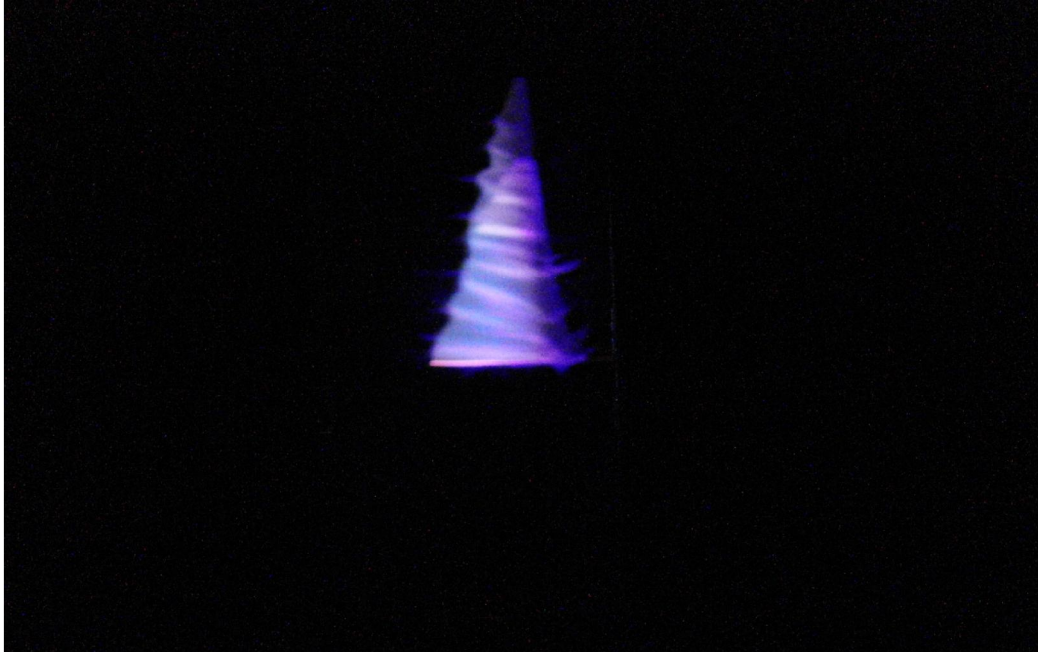
8 Závěr

V závěru naší práce tedy učiním něco, co patří o něco výše do bodu 6. Po důkladném a nezaujatém prozkoumání našich fotografií, které jsme pořídili při pohledu proti zrcátku jsme zjistili, že co jsme hledali jsme pravděpodobně našli. Na fotografiích jsme viděli rozmítaný výboj, který připomínal mlhovinu, která měla světlejší a tmavší pruhy, tedy místa s větší světelnou intenzitou a místa s menší intenzitou (Obrázek 5.). Viděli jsme to, co jsme vidět chtěli, protože světlejší místa znamenají maxima a tmavší místa minima.

Tedy v tuto chvíli jsme měli materiál, ve kterém je vše ukryto.

Toto zjištění bylo ovšem učiněno až po prezentování naší práce, a proto jsme se tím i z časových důvodů dále nezabývali, což je škoda.

V naprostém závěru jsme ovšem nedokázali určit rezonanční frekvenci našeho transformátoru, protože jsme se během našeho výzkumu vydali špatnou cestou.



Obrázek 5.: Rozmítaný výboj focený přímo proti zrcátku. Můžeme vidět světlejší a tmavší místa výboje.

9 Poděkování

Chtěl bych tímto velice poděkovat panu Ing. Vojtěchovi Svobodovi, CSc. za jeho čas, trpělivost, ochotu a podporu během celého mého zkoumání v neposlední řadě také za poskytnutí měřících prostředků a prostor na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské v Praze na ČVUT.

10 Reference

- [1] V. Lysenko, *VN zdroje - zdroje vysokého napětí*, BEN - technická literatura, Praha 2008
- [2] Danyk, *VTTC II. s RE025XA*, <http://danyk.cz/vttc2.html>
- [3] M. Adámek, *Teslův transformátor*, <http://www.adasoft.cz/tesla/index.html>
- [4] Rayer , *Teslův transformátor, VTTC*, <http://rayer.g6.cz/teslatr/teslatr.htm>
- [5] Silvestr Figalla, *VTTC II., VTTC III.*, , <http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/xy.htm> ,
<http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/VTTCIII.htm>
- [6] Russian tubes, *Generator and modulator tubes*,
<http://www.russiantubes.com/tubes.php?r=8>