

Elektronkový Teslův transformátor

T. Peltan^{*}, F. Housa

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

^{*}tom.peltan@seznam.cz

Abstrakt

Pokusíme se sestavit funkční Teslův transformátor, seznámit se s danou problematikou jak teoretickou tak i praktickou při sestavování celého zařízení. Naším cílem je dosáhnout co nejdelších vzdušných výbojů. Budeme vycházet z poznatků, které nám Nikola Tesla zanechal, avšak je musíme inovovat do podoby elektronkou spínaného Teslova transformátoru, kterým se budeme v následujícím dokumentu zabývat.

Úvod

Hned v první řadě bychom chtěli všechny neznalce práce s vysokým napětím prahnoucí po obrovských elektrických výbojích 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 nenabádáme, a nebereme žádnou odpovědnost za škody či újmy, které s tímto zařízením způsobíte!

V tomto článku se seznámíme s konstrukcí Teslova transformátoru, o úskalích, které na nás při konstrukci čekají a řekneme si i něco málo o životě Nikoly Tesly.

1 Nikola Tesla a jeho život

Nikola Tesla se narodil 10. července 1856 srbským rodičům ve vesnici Smiljan v dnešním Chorvatsku. Po absolvování Vyššího reálného gymnázia v Karlovarci odešel studovat fyziku a matematiku na polytechnice ve Štýrském Hradci. V roce 1880 studoval jeden semestr na Univerzitě Karlově v Praze, kde se setkává s Ernstem Machem. Ovšem po ukončení tohoto semestru se vrací zpět do Grazu kde se mohl účastnit mnoha experimentů s Gramovým dynamem a díky němu přichází na myšlenku vyrobit účinnější motor. Toho dosáhne v roce 1883, kdy vyrobí první motor na střídavý proud. V roce 1884 odjíždí do Ameriky a začne pracovat 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. Tato firma především vyráběla a patentovala vylepšení pro obloukové lampy. Tesla se však chtěl věnovat strojům na střídavý proud, s čímž investoři nesouhlasili a propustili ho. V roce 1888 učinil objev, že lze vytvořit točivé magnetické pole, jestliže jsou dvě cívky, postavené do pravého úhlu, napájeny střídavým proudem s fázovým posunem 90 stupňů. To mu umožnilo postavit asynchronní motor u kterého odpadla potřeba

komutátoru, čímž byl tento motor levnější a účinnější. Roku 1891 se začal zabývat technologií rádiového přenosu a v roce 1893 jako první na světě veřejně předvedl radiokomunikační přístroj, kdy dokázal poslat signál na vzdálenost 80ti kilometrů čímž výrazně předstihl Marconioho, který vyslal první úspěšný signál v Anglii na vzdálenost 8 kilometrů. Teslovy objevy a vynálezy pokračovaly i v následujících letech: nechal si přihlásit kolem 300 patentů, mezi nejznámější patří Teslův transformátor, Teslova turbína, radio, dálkové ovládání. V 90. letech narůstaly Teslovy konflikty s Edisonem v tzv. „válce proudů“, v níž se horlivě diskutovalo o vhodnosti užití stejnosměrného nebo střídavého elektrického proudu v rozvodné síti. Zlomovým okamžikem se stala výstavba vodní elektrárny na Niagarských vodopádech. Od této chvíle se začínají ke střídavému proudu naklánět jak sponzoři tak členové vědecké rady, která ze začátku střídavý proud zavrhovala. Největším odpůrcem z rady byl lord Kelvin, který později uznává výhody střídavého proudu. Již v roce 1856 lord Kelvin předložil teorii vybíjení kondenzátoru, ale doposud nebyla vytvořena praktická aplikace tohoto důležitého poznání. Tesla proto přistoupil k vývoji indukčního přístroje na tomto principu.

Roku 1894 postavil Tesla vysílací radiostanici a konal s ní četné pokusy. Kromě toho pracoval na problému využití oscilátoru pro vícenásobnou telegrafii a telefonii a zkoumal povahu elektřiny. Vyřešil i problém bezdrátové telegrafie ve všech základních principech a prokázal možnost telekomunikace na velké vzdálenosti. Už tehdy bylo možné využít jeho poznatky průmyslově, ale Tesla měl jiné cíle - šlo mu především o přenos elektrické energie bezdrátově. Po dvou letech práce zkonstruoval loď, která se dala řídit na dálku. Pohon obstarávaly akumulátory.

V roce 1896 byla spuštěna elektrárna a první elektrizované město se stalo kanadské Buffalo. V roce 1897 zahájil Tesla přípravy ke stavbě velké radiostanice v Coloradu. V roce 1899 se Tesla přestěhoval do městečka Colorado Springs, kde si vybudoval velkou specializovanou laboratoř, ve kterém se několik měsíců zabýval pokročilými a vizionářskými výzkumy souvisejícími hlavně s bezdrátovým přenosem elektrické energie. Největším projektem v tomto směru se stává Wardenclyffská věž, bohužel končí nezdarem z důvodu nedostatku financí.

Tesla se navíc ke konci života dostal do velkých právních tahanic s Guglielmem Marconim o vynález rádia. Teslu velmi znechutilo, když Marconi dostal v roce 1909 Nobelovu cenu za fyziku pro objev rádia, ačkoli on ho objevil už několik let před ním. Po Teslovi byla v roce 1960 pojmenována jednotka magnetické indukce – Tesla. Jeho jméno nese i kráter na odvrácené straně Měsíce.

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

2 Klasický 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 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. Toto zařízení slouží k generování vysokofrekvenčního napětí, řádově desítky až stovky kHz a k generování velmi vysokého napětí, deseti tisíce až miliony 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. Moderní Teslovy transformátory pracují na identickém principu

jako klasické, ovšem pro spínání vysokého napětí je zde užito moderních technologií. Nedosahují proto ani zdaleka takových rozměrů a výkonů, kterých docílil Tesla. Používají se polovodiče, či elektronky, můžeme do ladění celého zařízení přimodulovat zvuk a pod.

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. 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 stejné, nebo aspoň velice blízké 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 rozladíme 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.

5 Zdroj vysokého napětí

V našem zapojení je použit MOT (microwave oven transformet) tedy transformátor z mikrovlnné trouby. Jeho výstupní napětí je dostatečně vysoké 2100 V a výkon řádově 800-1200 W dle daného typu mikrovlnné trouby, ze které je transformátor demontován.

Můžeme použít i jiný zdroj, ovšem musíme pamatovat na naši elektronku, podle které musíme volit maximální vstupní napětí, v našem zapojení elektronka zvládne 3500 V s anodovou ztrátou 1,6 kW, proto je v našem zapojení použit zdvojovač napětí.

Jinak použití MOTu není nutné, lze celý transformátor napájet jiným zdrojem napětí postačující našim požadavkům.

6 Primární a sekundární cívka

Každý transformátor má dvě cívky, primární a sekundární. U elektronkového transformátoru je ještě třetí, zpětnovazebné vinutí - feedback, který napájí a řídí elektronku.

Primární cívka má obvykle malý počet závitů, 5-20, kdežto sekundární cívky mívají počet závitů mnohonásobně vyšší, kolem 1000 i více. Obě cívky by měly být s pomocí jejich rezonančních kondenzátorů naladěny na stejnou rezonanční frekvenci, abychom dosáhly co nejlepších výsledků.

Dále je u sekundární cívky nutné dodržet její geometrické vlastnosti, díky kterým se také může výsledná délka výbojů ovlivnit. U klasického transformátoru je dobré dodržet poměr průměru celé cívky ku její výšce v poměru 1:4 až 1:6. Pro elektronkový je tento poměr stanoven o něco níže, tedy 1:3 až 1:4, a zároveň se zde nedoporučuje tolik závitů na sekundární cívce, cívka s nižším počtem závitů má vyšší rezonanční frekvenci, což je pro elektronku přijatelnější a dodá nám vyšší výkon celému zařízení.

7 Spínací elektronka GU-43B

V našem zapojení je použita sovětská vysílací elektronka GU-43B. tato elektronka bývaly používána ve vysílačích, protože její anodová ztráta je až 1,6 kW, což už je na vysílač opravdu slušný výkon. Napětí na anodě může být až 3500 V, takže pro buzení Teslova transformátoru naprosto ideální. Může pracovat až do 30 MHz, takže frekvence řádově MHz jsou v naprosto v pořádku a elektronka vše přežije.

Tato elektronka je tetroda, ovšem v našem zařízení jsme ji zapojili jako triodu, spojili jsme první a druhou mřížku k sobě. Jedinou nevýhodou je, že tato elektronka požaduje na nažhavení 12,6 V a zhruba 8 A, což už není málo. V našem zapojení jsme jako žhavicí transformátor použili převinutý MOT z mikrovlnné trouby.

8 Rezananční kondenzátor

Rezananční kondenzátor je velice záludná součástka, leč na první pohled naprosto triviální. Kondenzátor totiž musí mít patřičnou kapacitu, kterou zrovna potřebujeme k naladění našeho obvodu, ve většině případů taková hodnota kapacity vůbec neexistuje a proto se musíme přiklonit k nějakému jinému řešení. Dále je potřeba aby vydržel pracovat s vysokým napětím a aby byl určen k pulznímu provozu s vysokým výkonem.

Používají se různé triky, jak celý kondenzátor vyrobit dle našich představ. Můžeme jej sestavit z tabulek skla prokládané alobalem, nebo z PVC a celý kondenzátor poté stočit do obrovského svitku. Tyto kondenzátory mívají i dostatečnou kapacitu ale jejich nevýhoda je, že mají obrovský vnitřní odpor a často začínají hořet či dochází k jiné jejich destrukci, v neposlední řadě jejich velikost a váha.

Další řešením, o něco lepším, je koupit velké množství menších kondenzátorů, a pomocí jejich sério-paralelních kombinací dokážeme vyrobit kondenzátor patřičné kapacity, který odolává i VN.

Pokud ovšem stavíme elektronkový transformátor, jako tomu bylo v našem případě, nevyhovuje ani jedna možnost. Tento druh transformátoru potřebuje jen velmi malé kapacity, ovšem při obrovských pulzních výkonech, takže ani kombinací více malých kondenzátorů, i když dostaneme požadovanou kapacitu, nemáme vyhráno, protože prakticky skoro vždy celá kondenzátorová baterie shoří. Proto jsme použili jako rezonanční kondenzátor slané lahev od piva, z jedné strany obalenou alobalem, druhý pól kondenzátoru nám tvořil nasycený roztok slané vody uvnitř lahve. Docílili jsme požadované kapacity, kondenzátor neshoří, pouze při delším provozu začíná voda v lahvi vařit, ovšem o jeho vlastnostech snad ani hovořit nelze. Má extrémní vnitřní odpor a velké množství energie se ztrácí právě v této části zařízení.

Do budoucna plánujeme tento kondenzátor nahradit nějakým jiným kondenzátorem, např. z vysílače, kde se používají VN kondenzátory s dostatečně malou kapacitou a o výkonech desítky kVAr, což je pro nás žádoucí.

9 Závěr

V závěru naší práce bychom si měli připomenout, že ač máme vše teoreticky správně podle schémata, není nikdy zaručeno že zařízení bude fungovat. Často se zapomíná na věci, které v prvních fázích nevidíme, jako je špatné ladění díky mezi závitové kapacitě sekundární cívky, špatné geometrické vlastnosti a podobně. Je proto nutné experimentovat, ladit a ladit.

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>
- [7] M. Smiljanic, K. Weisner, *Nikola Tesla, muž který život zasvětil vědě*,
<http://www.velikani.cz/index2.php?zdroj=teslan>
- [8] Životopis osobností, *Nikola Tesla a jeho život*,
<http://zivotopis.osobnosti.cz/nikola-tesla.php>
- [9] John R. H. Penner, *Neobyčejný život Nikolý Tesly*, Obzor, Praha 2005 nebo na
<http://obzor.euweb.cz/Neobycejny-zivot-Nikoly-Tesly.pdf>