

Teslův transformátor

V. Potoček

ČVUT - FJFI, Břehová 7, 115 19 Praha 1

vasek.potocek@post.cz

Abstrakt

Cílem prezentace bylo předvést jeden z velmi efektních fyzikálních pokusů, ale samozřejmě seznámit i s jeho podstatou a také stručně pohovořit o životě jeho autora.

1 Úvod

Sám Teslův transformátor je, stručně řečeno, vysokofrekvenční vzduchový transformátor napájený vysokým stejnosměrným napětím a spouštěný přerušovačem. Vzhledem k vlastnostem pole, které vytváří, jej N. Tesla považoval za perspektivní způsob bezdrátového přenosu elektrické energie na velké vzdálenosti, ale tento sen byl v rozporu s názory vlastníků elektřáren a upadl zcela v zapomnění.

Mohli bychom si nyní dovolit velmi stručně pár slov o neobvyklém životě N. Tesly, abychom trochu ozřejmili tyto historické souvislosti. Tento srbský rodák (1856 – 1943) krátce po vystudování matematiky a fyziky v Grazu odjel působit do Ameriky, kde po zbytek života pracoval a publikoval všechny své práce a patenty. Zpočátku byl zaměstnancem T. A. Edisona, ale rozešel se s ním kvůli názorům na nastávající rozvoj elektřiny (Edison se zastával stejnosměrného proudu, pro který konstruoval všechny přístroje, zatímco Tesla se snažil upozornit na výhody přenosu proudu střídavého) a odešel pracovat do výzkumné laboratoře.

Bylo krátce po publikaci Maxwellových rovnic, Tesla byl současníkem Hertze, zmíněného Edisona a Marconiho, nastával tedy velký rozmach elektřiny a magnetismu a v této době vzniklo mnoho teoretických prací a vynálezů, které dnes běžně používáme. Není tedy divu, že celá řada z nich je připisována Teslovi: namátkou alternátor a střídavý motor (s využitím jeho vlastního objevu rotujícího magnetického pole), automobilová svíčka, ladicí obvody, radar, reproduktor, první pokusy o dálkové ovládání...

Snad nejdůležitějším Teslovým vynálezem je, ač je to málo známou skutečností, rádio. Tesla na něj samozřejmě získal patent, ale v důsledku různých machinací mu byl nakonec odebrán a přepsán Marconimu. Právě na rádiových vlnách bylo ale mnoho zmíněných experimentů založeno a přímo s nimi souvisí i Teslův transformátor.

Dalším Teslovým výzkumům ale bránily vážné finanční potíže, které provázely celý jeho život. Většinou byly způsobené nedůvěrou sponzorů v cíl jeho nejpřevratnějších vynálezů, které tak nikdy nebyly uvedeny v používání. Dvakrát byly jeho pokusy kvůli dluhům zničeny a rozprodány. Jednalo se právě o Teslův transformátor.

Pro podrobnější informace o Teslově životě doporučuji Internetovou stránku [1] (Wikipedia), případně [2].



Obr. 1: Běh Teslova transformátoru

2 Popis zapojení a teorie

Schéma Teslova transformátoru je tak jednoduché, že stačí popsat jej slovně. Zdroj vysokého a zčásti usměrněného napětí je na vstupu spojen jiskřištěm a k této kombinaci je ještě paralelně připojen LC obvod, kde cívku (L) tvoří primární cívka transformátoru. Vše je vidět na obr. 2. Důvod, že celý přístroj je tak velký, jsou dimenze jednotlivých součástí. Každá musí být určena pro vysoké napětí a proudy, které obvodem protékají – tedy kondenzátorem je velká Leydenská láhev a každý spojovací vodič včetně vinutí primární cívky má průměr okolo 1 mm.

Připojený zdroj musí být měkký. Jakmile napětí mezi hroty jiskřiště (dvě kuličky na obr. 2) přesáhne hranici danou elektrickou pevností vzduchu, přeskočí jiskra, zkratuje zdroj a spojí LC obvod. Ten je tímtež napětím již nabit, a proto začne kmitat (s každou jiskrou tedy vznikne několik tlumených kmitů podstatně vyšší frekvence). Vznikne střídavý proud, který se transformuje nahoru. Výstupní napětí je tak vysoké, že můžeme pozorovat sršivý výboj na nezapojeném konci sekundární cívky.

Literatura [3] popisuje sekundární cívku dokonce jako druhý kmitavý obvod, jehož kapacita je představována parazitní kapacitou mezi závitů cívky a kapacitou jejího otevřeného konce (kulová elektroda) vůči zemi. Oba kmitavé obvody pak musí být v rezonanci, aby se přenášel co největší výkon.



Obr. 3: Mírně retušované sršení

Tezlův transformátor jsme napájeli Ruhmkorffovým induktorem (řádově 10^4 V). Zkoušeli jsme na vstup připojit i indukční elektriku nebo van de Graaffův generátor, ale tyto přístroje jsou elektrostatické a před každým výbojem v jiskřišti se příliš dlouho nabíjejí.

Parametry součástí byly následující: kapacita kondenzátoru $C = 3,20$ nF a indukčnost cívky $L = 32$ μ H, odkud vychází frekvence vlastních kmitů f_0 přibližně 500 kHz. Další důležitou charakteristikou je transformační poměr: primární cívka má 10 závitů, sekundární odhadem 1000, což by odpovídalo výstupnímu napětí 10^6 V. Tuto hodnotu však musíme brát s rezervou, protože účinnost bude velmi snížena přenosem energie v transformátoru se vzduchovým jádrem i v ostatních částech obvodu.

Parametry součástí byly následující: kapacita kondenzátoru $C = 3,20$ nF a indukčnost cívky $L = 32$ μ H, odkud vychází frekvence vlastních kmitů f_0 přibližně 500 kHz. Další důležitou charakteristikou je transformační poměr: primární cívka má 10 závitů, sekundární odhadem 1000, což by odpovídalo výstupnímu napětí 10^6 V. Tuto hodnotu však musíme brát s rezervou, protože účinnost bude velmi snížena přenosem energie v transformátoru se vzduchovým jádrem i v ostatních částech obvodu.

Při takových číslech bychom měli uvažovat o bezpečnosti práce s přístrojem. Kupodivu se však můžeme Teslova transformátoru za chodu dotýkat různými předměty i tělem a necítíme žádné nepříjemné účinky¹. Důvodů je několik, například:

- uplatňuje se známý skinefekt, tedy proud teče po tak slabé povrchové vrstvě těla, že nezasahuje nervy,
- proud je malý, sníží se nejméně tolikrát, kolikrát se zvýší při transformaci napětí,
- při odebrání většího proudu se poruší výše zmíněná rezonance a účinnost poklesne blízko k nule.



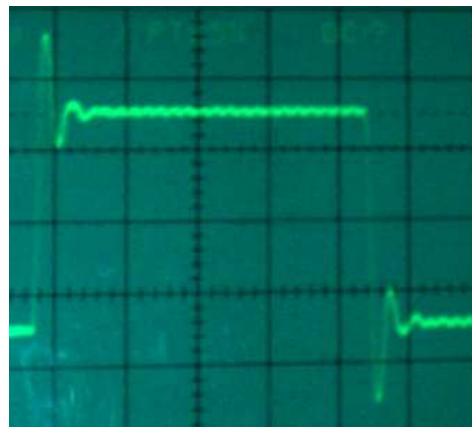
Obr. 2: Školní Teslův transformátor

¹ Při experimentech jsme slabé brnění v rukou cítili.

3 Pokusy

Připomeňme v této části pokusy, které byly předvedeny na přednášce.

Ještě během výkladu teorie jsme si předvedli kmitání LC obvodu a teoretický průběh výstupního napětí přímo na Teslově transformátoru: na jiskřiště jsme připojili místo přerušovaného zdroje obdélníkový signál o kmitočtu 2 kHz z generátoru. Toto neodpovídá situaci přímo, protože by se mělo střídat napájení se zkratem, ale pokud uvažujeme, že podstatné jsou jen změny napětí, je tato simulace v pořádku. Napětí na kondenzátoru jsme měřili osciloskopem. Výsledkem byl nad očekávání názorný obraz přesně ukazující popsanou situaci a dokonce bylo možno z osciloskopu odečíst kmitočet 560 kHz, který dobře odpovídá předpokladům. K bodu teorie o rezonanci ještě patří poznamenat, že obraz se skutečně zřetelně měnil, když jsme se dotýkali sekundární cívky.

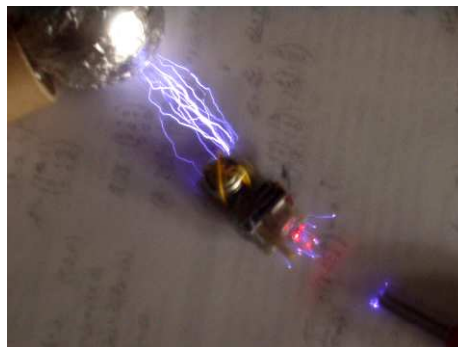


Obr. 4: Obraz z osciloskopu

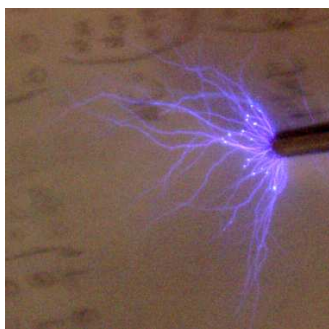
Běžné pokusy s Teslovým transformátorem pak jsou rozsvěcování různých zdrojů světla jejich přidržením v blízkosti sekundární cívky, držením ve vzduchu v druhé ruce, případně jen položením na stůl. Snad nejznámější pokus je na obr. 1, další jsou zachyceny na následujících fotografiích:



Obr. 5: Žárovka přímo spojená s cívkou



Obr. 6: *Rarita*: podařilo se rozsvítit i LED



Obr. 7: Jiskření do země

Mezi pokusy, ke kterým nemám fotografii, patří ještě zářivka a svazek klíčů (na něm vzniknou drobné jiskřičky v místě každého porušení povrchu).

Ke konci přednášky jsme se ještě pokusili o zaznamenání oscilační povahy přeskakující jiskry v rotujícím zrcadle, jak se zmiňuje popis přístroje ve školní expozici. Velmi zřetelná fotografie se ale povedla až při opakování pokusu v laboratoři praktik. Uvádím ji na závěr kapitoly:



Obr. 8: Oscilace jiskry

4 Poznámky

V poslední kapitole uvedu stručně pár souvisejících zajímavostí, zmíněných na přednášce.

– Na Teslově transformátoru můžeme pozorovat různé druhy výbojů v plynu: kolem osamocené nabitě elektrody na vývodu sekundární cívky vzniká koróna (sršení, Eliášův oheň). Jedná se o nezřetelný výboj, který je vidět nejlépe proti tmavému pozadí. Při přibližování ruky nebo uzemněného nástroje se tento výboj zesiluje, až začnou přeskakovat jiskry. Na rozdíl od koróny, vyvolané přímo přítomností vysokého spádu potenciálu, nejsou v čase spojitě, ale přeskočí s každým probitím jiskřiště.

V různých zdrojích světla vzniká nejčastěji výboj doutnavý, v zářivkách jej ale nepozorujeme přímo. Zvláštní pozornost si v tomto ohledu zaslouží obrázek 5. Žárovka nám umožňuje vidět výboj ve zředěném plynu a jeho vlastnosti přes čirou skleněnou stěnu. O jeho jiné povaze se můžeme přesvědčit na rozhraní s jiskrou, vytvoříme-li jej vhodnou konstelací nástrojů. Nejen, že výboj vypadá poněkud rozmazaně a má jinou barvu, ale pohybuje se samovolně v objemu žárovky a na rozhraní se větví v hustou síť cest. Toto je přesně efekt, kterého využívají komerční přístroje „Lava lamp“ (vypadají jako dvě soustředné koule, mezi kterými běhají rudé jiskry). V každém je zabudován Teslův transformátor.

– Obrázek 6 jsem označil za raritu, čistě proto, že jsem nenašel o něčem podobném zmínky. Navíc jsem obvod s LED diodou měl s sebou náhodou a slabého světla jsme si všimli, když ležel na stole. Při přiblížení prodloužené elektrody se LED rozsvítila, i když celkem slabě v porovnání s okolními jiskrami. Pořídil jsem fotografii a až na ní jsem si všiml, že polovodič nesvítí jen na místě přechodu, ale hned v několika bodech. Zbytek fotografie je ostrý, nejedná se tedy o násobnou expozici. Principiálně je takový jev jistě možný, jedná se však dosud bohužel o nepotvrzenou informaci. Zajímavé je, že dioda i články pokusy s vysokým napětím bez poškození přežily.

– Velmi drobně můžeme připomenout využití přístroje ve filmu. V dobách černobílých snímků sloužil občas jako zdroj umělých blesků nebo oslňujících jisker, ve kterých byl zničen padouch. Dnes se používá spíše zřídka, zato i v nečekaných souvislostech – vzpomeňme na léčivé jiskření ve filmu Postřižiny.

– V neposlední řadě byly nastíněny i strhující parametry největšího transformátoru, který Tesla stavěl pro bezdrátový přenos energie, jak bylo psáno v úvodu. Na tomto přístroji šly již pozorovat jevy známé ze skutečných bouří. Produkoval blesky dlouhé až 30 metrů a hřmění, které bylo slyšet kilometry daleko. Lidem sršely ze země jiskřičky do nohou, nabitě byly i vodovodní hydranty, na jejichž potrubí Tesla zařízení uzemnil. Záměr se podařil, transformátor vyzářoval vzduchem a šířil zemí výkony řádu desítek tisíc wattů. Do vzdálenosti 40 km se podařilo takto napájet celé stovky žárovek ve vzduchu nebo zářivek spojených se zemí. Pro podrobnosti, důsledky a zánik experimentu však zájemce již odkáží opět na [1].

Poděkování

Mé díky patří ing. V. Svobodovi za drahocenný čas, důvěru, trpělivost a mnoho konstruktivních připomínek především při přípravě experimentu a panu P. Glocmanovi rovněž za čas, zájem a mnoho nových návrhů při opakování experimentu pro focení.

Reference:

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla

[2] <http://www.lucidcafe.com/library/96jul/tesla.html>

[3] Svoboda, M. a kol.: Praktikum školních pokusů I. – III., Karolinum Praha, 1993–1996