

Blesky „podomácku“

VÁCLAV HOUSKA
Gymnázium Špitálská

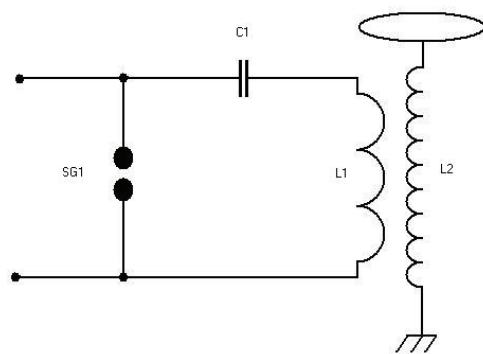
FILIP DOMINEC
Gymnázium PORG

Možností, jak studentům pokusy zpestřit hodinu fyziky, je samozřejmě mnoho. Jen málo experimentů však je skutečně fascinujících, fenomenálních, prostě takových, které by žáka dokázaly zaujmout a ukázat mu krásu fyziky. Jedním z mála takových a při tom proveditelných experimentů je Teslův transformátor. Toto zařízení na výrobu vysokého napětí lze jednoduše postavit z levných součástek. Příspěvek by tedy měl čtenáře zasvětit do základů konstrukce tohoto geniálního zařízení.

Konstrukce Teslova transformátoru

Teorie

Teslův transformátor (dále již TC-Tesla coil) je zařízení pojmenované po svém objeviteli Nikolovi Teslovi. Zhruba ve třetí čtvrtině 19. století se tento vynálezce začal zabývat vysokofrekvenčními proudy. Po několika nezdařilých pokusech vyvinul vysokofrekvenční vzduchový transformátor. Toto zařízení se skládá z primárního vinutí několika závitů tlustého drátu a ze sekundárního vinutí navinuté stovkami až několika



tisíci závitů tenkého drátu. Pokud se jedná o klasický TC je nutné ještě připojit kondenzátor a jiskřiště podle schématu. Obě cívky je nutné naladit na stejný rezonanční kmitočet. Ten u primární cívky především určuje její geometrie a kapacita kondenzátoru. U sekundární pak její geometrie a značná mezizávitová kapacita společně s kapacitou připojených předmětů (toroidní elektroda atd.)

Pokud se pak zařízení připojí ke zdroji vysokého napětí (viz dále), začne se nabíjet kondenzátor přes cívku L1. Naroste-li napětí na takovou úroveň, že přeskočí jiskra v jiskřišti, vybijí se kondenzátor tlumenými kmity charakteristického kmitočtu (rezonanční frekvence - f_1). V sekundárním vinutí se pak indukuje vysoké napětí. Kmitočet proudu dosahuje stovek kHz až několika MHz. Takové proudy již umožňují vznik skin efektu, který způsobuje, že proud teče pouze po povrchu vodiče. Z tohoto důvodu je zařízení relativně bezpečné.

Začátky

V úvodu jen zmíním, že nelze popsat výrobu TC na pár stránkách sborníku, nejlepší je informace čerpat z literatury a Internetu, na kterém je k dispozici celá řada domácích i zahraničních článků (viz literatura). Konstrukce popisuje jedno z několika možných zapojení transformátoru.

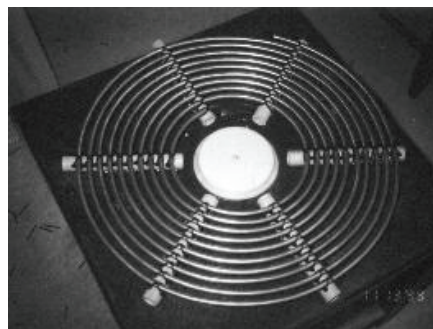
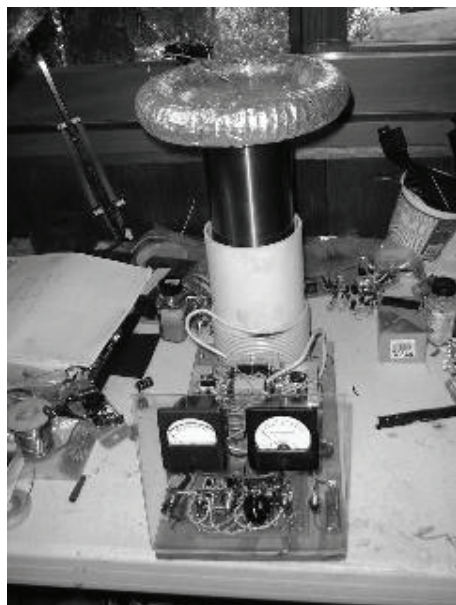
Jestliže se rozhodnete pro konstrukci TC, musíte si uvědomit několik základních věcí. Ačkoliv se jedná o vysokofrekvenční proudy (skin efekt) poměrně malých hodnot a navíc v impulsním režimu a může se tak zdát, že zařízení je neškodné, je třeba mít na paměti:

- pracujete s vysokým napětím řádově desítek tisíc až několika milionů voltů
- v primárním obvodu jsou zapojeny VN kondenzátory - jejich energie je dostatečná k usmrcení člověka
- VN zdroje pro TC nejsou vysokofrekvenční a proto také mohou zabít.

Je nutné znát bezpečnostní pravidla a mít základní znalosti fyziky a elektroniky. Celý transformátor se dá postavit ze starých součástek, tudíž přijde velice levně.

Cívky

Samotný transformátor se skládá ze dvou souose uložených cívek. K návrhu cívek lze využít Thomsonovy vzorce (výpočet rezonanční frekvence) a následně vzorce pro indukčnost cívek. Tak je možné přibližně vypočítat počty závitů a rozměry. Obecně platí, že na primáru je několik závitů (od 5 do 20) na sekundáru stovky až tisíce. Nejlepší je



použít výpočet nebo zkušenost, pro začátečníky doporučuji shlédnout

<http://hosting.modflex.com/rayer/teslatr/teslatr.htm> nebo <http://fd.bliksoft.info/tc/tc.htm>. Na primární

vinutí je možné použít bužírkou izolovaný drát tloušťky několika milimetrů - podle velikosti zařízení, drát pro sekundární vinutí je možné vypreparovat ze starých transformátorů a cívek. Průměr drátu obvykle nepřesahuje 1 mm. Vodič vineme na nevodivou válcovou kostru, nejvhodnější jsou plastové odpadní trubky. Primární vinutí může mít tvar buď solenoidu nebo ploché spirály. Výhodou solenoidu je snadná změna indukčnosti roztažením, či zmáčknutím závitů, u TC pro vyšší napětí je však vhodnější

druhá možnost. Cívky umístíme na izolující podložku.

Kondenzátory

Pro TC je nutno použít VN kondenzátory. Jejich potřebnou kapacitu je dobré určit výpočtem, ovšem běžně se pohybuje v řádech nanofaradů. Zpravidla není možné sehnat kondenzátory potřebných parametrů, nastávají tak dvě možnosti:

1. postavit kapacitor z komerčních “malých” kondenzátorů
2. vyrobit několik vlastních kondenzátorů

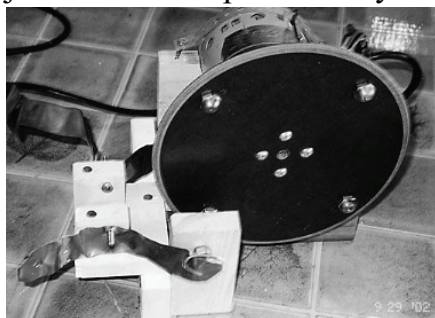
1. Jelikož kondenzátory přicházejí do styku s napětím několika kV, musí se vytvořit sériové spojení kondenzátorů pro vyšší napětí a tato spojíme paralelně. Detailnější návody jsou především na zahraničních internetových stránkách.



2. Vyrobit kondenzátor je poměrně jednoduché. Můžeme volit buď Leydenskou lahev nebo svitkový kondenzátor (ojediněle deskový). Leydenská lahev se vyrobí obalením lahve od piva alobalem a do lahve se nalije elektrolyt (roztok NaCl nebo H_2SO_4), uzavře zátkou a doplní elektrodami. Výhodou je, že sklo je výborné dielektrikum, nevýhodou malá kapacita a “neskladnost” lahví. Pro svitkový kondenzátor se jako elektrody používá alobal + přívodní vodiče, jako dielektrikum vhodná fólie. Volba fólie je stěžejní, nejlépe se osvědčil celofán (nutno vyzkoušet). Různé druhy plastů se svými vlastnostmi značně liší (např. PVC má dvakrát vyšší permitivitu a dvakrát menší elektrickou pevnost než PE!). Alobal prokládaný fólií se po nastříhání svine do válečku nebo navine na kostru. Je nutné připomenout důležitost použití vodičů s dostatečným průřezem. Tyto vodiče používáme všude, kde tečou vybíjecí proudy kondenzátoru (uzavřený obvod kondenzátor - L1 - jiskřiště), které mohou dosáhnout řádově až stovek A.

Jiskřiště

Jak vyplývá z teorie, jiskřiště opakovaně připojuje nabitý kondenzátor k cívce a skrz něj se kondenzátor vybíjí. Rozlišujeme dva základní typy jiskřišť - statické a rotační. Statické jiskřiště tvoří dvě elektrody, mezi nimiž srší výboj. V praxi se používají rozličně upevněné šrouby. Toto konstrukční provedení je však vhodné pouze do výkonu cívky jen pár

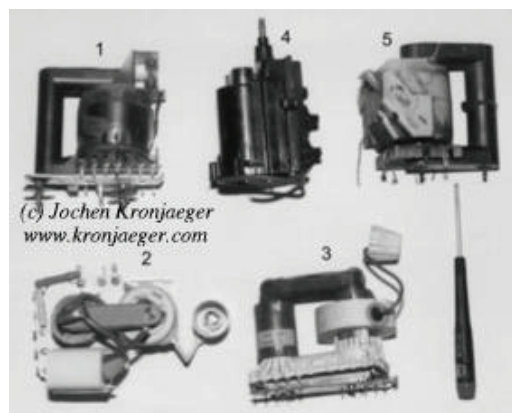


desítek VA. Pro větší výkony je vhodné použít hliníkové trubky rovnoběžně vedle sebe. Je možno umístit i několik trubek a na krajní připojit vývody. V ideálním případě se statická jiskřiště pro větší výkony chladí ventilátory. Pro skutečně výkonné TC (stovky až tisíce VA) je nutné použít rotační jiskřiště. To se skládá z kotouče, na němž jsou připevněny elektrody opět například šrouby. Celý kotouč rotuje,

poháněn elektromotorem, mezi stacionárními elektrodami. Elektrody se nestačí zahřívat a jsou chlazeny otáčením kotouče. Tak lze poměrně účinně spínat velmi velké výkony. Vzdálenost elektrod bývá obvykle několik milimetrů (čím méně, tím lépe, ovšem pozor na tažení el. oblouku), u rotačních jiskřišť i hluboko pod 1 mm.

Vysokonapěťový zdroj

Klasický TC je nutné napájet zdrojem vysokého napětí. Tou nejjednodušší, ale nejdražší možností je použít komerční zdroje. Nejvhodnější a tak i nejpoužívanější jsou rozptylová trať na síťové frekvenci pro neonové reklamy. Obvykle poskytují proud 30-200 mA při napětí kolem 10 kV. Další možností je použít transformátory z mikrovláknových trub. Ty poskytují poměrně nízké napětí asi 2-5 kV (ale při proudu několika stovek mA!), ovšem při vhodné úpravě (různá sériová/paralelní spojení) je lze výhodně použít. Nejlevnější je si zdroj postavit. Zde je však nezbytné zdůraznit důsledné dodržování bezpečnostních pravidel a bez základních zkušeností se do stavby raději nepouštět. Pro vlastní zdroj se nabízí celá řada možností. Může se využít zapalovací cívka z auta



(<http://hosting.modflex.com/rayer/teslatr/induktr.htm>), cívek z televizí a monitorů atd. Nejvhodnější je ale použít složitý, leč výhodný vysokofrekvenční transformátor. Ten se skládá z transformátoru na feritovém jádře (mnohem menší průřez jádra), střídače a budiče. Budič je obvod generující vysokofrekvenční obdélníkový signál. Signál vstupuje do střídače. Střídač se skládá z výkonových MOSFET tranzistorů, které obvykle spínají poloviční napětí sítě 155 V ($U_{max} \approx 310$ V). Tento proud se pak vede přímo do VF trať. Výstup z transformátoru se již pouze usměrní vysokonapěťovými diodami.

Torus

Pro regulaci rezonanční frekvence se dá k sekundární cívce připojit toroidní elektroda, která svou kapacitou sníží rezonanční kmitočet sekundární cívky. Tak můžeme dosáhnout o málo většího výkonu TC. Je možné ji vyrobit například z polystyrenových kruhů na věnce. Tato ideálně tvarovaná předloha se pak oblepí alobalem. Větší toroid lze vyrobit stočením aluflexu (hliníkový “husí krk”).

Propojení

Nakonec se všechny součásti propojí. Nesmí se zapomínat na vedení proudu z kondenzátorů a jiskřiště tlustými vodiči, u větších TC může vybíjecí proud dosahovat až stovek A! Proud ze zdroje se může vést tenkými vodiči (proud je max. stovky mA). Nezapomínáme také na dostatečnou izolaci přístupných částí obvodu.

Závěr

Pro bližší prostudování problematiky doporučujeme uvedenou literaturu.

Příspěvek by měl sloužit jako stručný úvod k dalšímu studiu konstrukce Teslova transformátoru a doufáme, že tomu tak i skutečně bude. Na závěr přejeme všem budoucím konstruktérům úspěšný vývoj jejich TC a co nejdříve výboje!
A BEZPEČNOST PŘEDEVŠÍM!

Literatura

- [1] <http://hot-streamer.com/>
- [2] <http://hosting.modflex.com/rayer/>
- [3] <http://fd.bliksoft.info/tc/tc.htm>

Obrázky jsou převzaty z uvedených internetových stránek.