

Středoškolská odborná činnost

Teslův transformátor s elektronovým budičem

Martin Vítek

Karlovy Vary 2011

Středoškolská odborná činnost

12. tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

Teslův transformátor s elektronkovým budičem

Vacuum Tube Tesla Coil

Autor: Martin Vítek
Ročník studia: V5.A
Škola: První české gymnázium v Karlových Varech
Národní 25
Karlovy Vary 360 20
Karlovarský kraj
Místo vyhotovení: Karlovy Vary
Konzultant: Ing. Jan Přáda

Karlovy Vary 2011

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s pomocí konzultanta p. Ing. Jana Přády a použil jsem materiály, které jsou uvedeny v závěru práce.

V Karlových Varech dne: _____

Podpis autora: _____

Podpis konzultanta: _____

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat následujícím lidem, bez kterých by tato práce nejspíše nikdy nevznikla. Jdou to: Moje škola, můj bývalý profesor fyziky, který se uvolil dělat mi konzultanta, sháněl informace, materiál a podporoval mě. Dále ředitel mé školy, který byl tak hodný a celý projekt finančně podporoval. Převelice díky patří také mé rodině, která mi trpěla zkoušení a kompletování projektu v našem domě a snažila se mě podporovat ať materiálně nebo duševně. Jeden z velkých díky patří člověku s přezdívkou RayeR. Je to jeden z konstruktérů teslova transformátoru v České republice a pomohl mi překonat problémy, se kterými jsem si nevěděl rady.

Anotace:

Tato práce se zabývá tématem teslova transformátoru buzeného elektronkou GU-81m. Toto zapojení je odvozeno od klasického teslova transformátoru, který začátkem 20. staletí vynalez chorvatský vědec Nikola Tesla. Transformátor je tvořen dvěma vzduchovými cívkami, které jsou vázány rezonančním kmitočtem. Napětí do sekundární cívky spíná vysílací elektronka. Tesla chtěl toto zařízení využívat k přenosu dat po Zeměkouli, ale kvůli finančním potížím projekt nikdy nedokončil. U nás v České republice se tímto přístrojem zabývá mnohokrát méně lidí, než v cizině. Můj teslův transformátor má sloužit k demonstraci vysokého napětí na hodinách fyziky a jako zdroj vysokého napětí pro školní pomůcky. Např. trubice plněné plynem,

Klíčová slova: teslův transformátor, teslův generátor, teslův transformátor s elektronkovým budičem, VTTC

Obsah:

1.0 Úvod

2.0 Nikola Tesla

2.1 Životopis

3.0 Teslův transformátor

3.1 A jak to funguje?

3.2 Druhy provedení Teslova transformátoru podle druhu buzení primární cívky

3.3.1 Klasický Teslův transformátor

3.3.2 OLTC

3.3.3 SSTC

3.3.2.1 ISSTC

3.3.2.2 DRSSTC

3.3.4 VTTC

3.3 Vlastní konstrukce

3.3.1 Historie celého projektu a výběr typu Teslova transformátoru

3.3.2 Schéma VTTC

3.3.3 Sekundární cívka

3.3.4 Primární a zpětnovazební cívka

3.3.5 Elektronka

3.3.6 Zdroj 12V pro žhvení elektronky

3.3.7 Vysokonapěťový transformátor

3.3.8 Triakový regulátor

3.3.9 Vysokonapěťový usměrňovač

3.3.10 Rezonanční kondenzátor MMC

3.3.11 Ventilátory

3.3.12 Spínací obvod

3.3.13 Popis VTTC

3.4 Provoz

3.4.1 Spuštění VTTC

3.4.2 Vyzkoušené pokusy

3.3.3 Další možné pokusy a možné úpravy VTTC

4.0 Závěr

5.0 Přehled použitých zdrojů

2.0 Nikola Tesla

2.1 Životopis

Nikola Tesla se narodil v noci z 9. na 10. 7. 1856 v Rakousko-Uherském (dnes Chorvatském) městě Smiljanu. Odmaturoval na gymnázium v Carlstadtu a poté studoval polytechnickou univerzitu ve Štýrské Hradci. Vzdělání ukončil na filosofické fakultě v Praze. V roce 1880 odešel do Budapešti, kde přišel na princip točivého magnetického pole. Když v roce 1882 začal pracovat pro Kontinentální Edisonovu společnost v Paříži, byl roku 1883 na pracovní cestě ve Štrasburku, kde sestrojil svůj první indukční motor na střídavý proud.

Roku 1884 odplul do Spojených Států Amerických. Když vystoupil na molu v New Yorku, měl v kapse pouhé 4centy, pár vlastních básniček a velmi odvážný plán na sestrojení létajícího stroje. Začal si hledat zaměstnání a jako první ho napadl Thomas Alva Edison, světoznámý to vědec zabývající se stejnosměrným proudem. A to byl jejich vzájemný problém. Zatímco Edison propagoval stejnosměrný proud jako jediné možné a bezpečné řešení, tak Tesla pracoval na plánech svých strojů na střídavý proud a stále Edisona přesvědčoval o jeho výhodách. Tímto způsobem se oba vědci hádali, až Tesla od Edisona odešel.

Další postup v jeho kariéře znamenal odkoupení jeho patentů na střídavý, vícefázový systém dynam motorů a transformátorů Georgem Westinghousem v roce 1885. Westinghaus byl ředitelem Westinghausovy elektrické společnosti v Pittsburghu. Tímto okamžikem začala opravdová bitva mezi Teslou a Edisonem. Na konec vyhrály Teslovy systémy na střídavý proud.

Tímto vítězstvím získal Tesla kapitál a mohl si pořídit vlastní laboratoř. Měl konečně zázemí pro své vynálezy. Také přednášel o střídavém proudu, aby uklidnil obavy veřejnosti. Například rozsvěcel žárovku tím, že použil své tělo jako vodič střídavého proudu.

Celá Světová výstava v Chicagu byla pod rukou George Westinghouse a Nikoly Tesly osvětlena střídavým proudem, což mělo velký podíl na tom, že dostali kontrakt na stavbu první vodní elektrárny na Niagarských vodopádech. Až do roku 1896 bylo touto elektrárnou zásobováno město Buffalo.

V roce 1899 zažilo městečko Colorado Springs v Coloradu důležitou událost-do tohoto města se přestěhoval Nikola Tesla a zřídil si zde další laboratoř. Lidé ho často vidávali, jak za deště vychází ze své laboratoře a jde na nedaleký kopec, kde čekal na bouřku a blesky. Byl blesky přímo fascinován. Také kvůli nim nechal zřídit na střeše stožár s kovovou koulí na špici. V laboratoři měl voltmetr a venku na zahradě tyč zaraženou do země a u ní další voltmetr. Když mu blesky šlehaly do stožáru, tak měřil jejich napětí a také zjistil, že na tyči na zahradě je napětí ještě vyšší. Z toho vyvodil, že země se dá použít jako vodič a může rezonovat na dané frekvenci. Tímto objevil svůj největší objev-zemské stojaté vlny.

Také zde sestrojil největší Teslův transformátor a rozsvěcel s ním 200 žárovek na vzdálenost 40km, ve své podstatě dokázal v laboratoři napodobit bouřku. Jednou když experimentoval s napětí v řádech milionů voltů, tak mu najednou přestala jít elektřina. Zavolal do místní elektrárny, kde mu řekli, že jim shořely generátory. Později se pokusil vyslat výboj k severnímu pólu, kde se nacházela Admunsenova výprava a Tesla s nimi byl domluven, že mu dají vědět, kdyby se experiment podařilo. Teslovi se podařilo vyslat výboj, ale Admunsen nic neviděl. Tesla znovu vše propočítal a zjistil, že výboj dopadl na severní území Ruska a v této oblasti se později našel kráter po Tunguzském meteoritu.

Na počátku roku 1900 začal Tesla stavět na Long Islandu 55m vysokou vysílací věž, jejíž pomocí chtěl zprostředkovávat telefonní hovory, telegramy, rozhlas, obraz a mnoho dalšího po celém světě. Stavbu financoval J. Pierponto Morgan 150 000 dolary. Komplex se nikdy nedostavil. Jednak byly potíže při stavbě a Morgan odvolal svou podporu.

Poté se Tesla věnoval jenom turbínám a dalším méně ambiciózním projektům. V roce 1917 byla Teslovi udělena Edisonova medaile.

Zemřel 7. 1. 1943 ve spánku a dožil se úctyhodných 86,5 let.

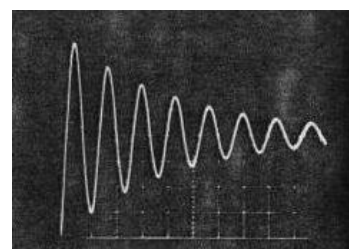
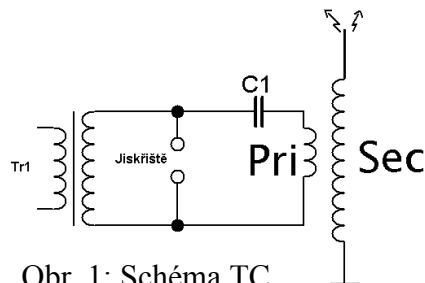
3.0 Teslův transformátor

3.1 A jak to funguje?

Teslův transformátor (dále jen TC) je vzduchový transformátor, pracující na vysoké frekvenci, generuje velmi vysoké napětí. Transformátor Tr_1 nabíjí kondenzátor C_1 vysokým napětím. Jakmile se překročí elektrická pevnost vzduchu, tak v jiskřišti přeskóčí jiskra a na okamžik připojí C_1 paralelně k primární cívce a obvod začne kmitat tlumenými kmity. Při tomto kmitání se v sekundární cívce indukuje velmi vysoké napětí. Když je toto napětí dostatečně velké, dochází k sršení výbojů do vzduchu. Po té, co v jiskřišti zanikne výboj, se celý proces opakuje.

Výhodou TC jako zdroje velmi vysokého napětí je, že toto vnitřní orgány, což znamená, že při nižších výkonech si můžeme na

výboje sáhnout a nic se nám nestane. Dále TC rozsvěcí na dálku plynem plněné trubice a žárovky.

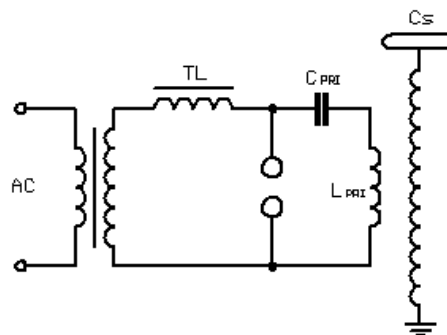


3.2 Druhy provedení Teslova transformátoru podle druhu buzení primární cívky

3.2.1 Klasický Teslův transformátor

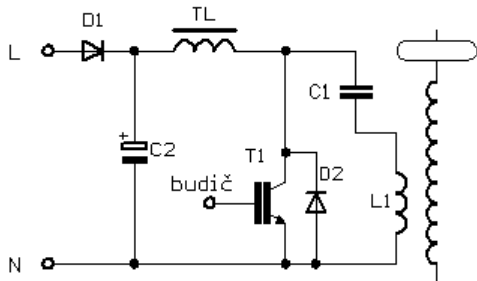
Zapojení klasického teslova transformátoru je to nejjednodušší-potřebujeme pouze vysokonapěťový transformátor, tlumivku, jiskřiště, kondenzátor, primární a sekundární cívku. Tlumivka TL určuje nabíjecí proud kondenzátoru C_{pri} a při tlumených kmitěch nepropouští vysokofrekvenční napětí zpět do vysokonapěťového

transformátoru. Jiskřiště vysokofrekvenční napětí teče po povrchu těla a nezasahuje je buď statické, nebo rotační. Statické jiskřiště se skládá např. ze dvou kuliček a jejich vzdáleností určujeme napětí, na které se nabije kondenzátor C_{pri} . Nevýhodou je, že nemůžeme kontrolovat počet přeskoků za sekundu. Rotační jiskřiště se dělí na synchronní a asynchronní. Konstrukce rotačního jiskřiště je znázorněna na obrázku 4. Výhodou rotačního jiskřiště je, že vhodným nastavením elektrod a změnou otáček asynchronního motoru lze měnit počet přeskoků za sekundu. S tímto zapojením můžeme dosáhnout výbojů délky až několik metrů. Největší klasický TC v Čechách má výboje dlouhé 2m.



3.2.2 OLTC

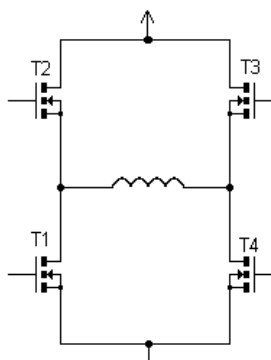
Toto zapojení je nejvíce podobné klasickému TC. Jiskřiště je zde nahrazeno vhodným polovodičovým spínačem-nečastěji IGBT tranzistorem. Jako napájení se využívá usměrněná síť. Jako primární cívka je navinut jeden závit tlustého drátu nebo několik paralelně. Přes tlumivku TL se nabije kondenzátor C1, sepne tranzistor T1 a obvod začne kmitat. V jedné půl periodě teče proud přes tranzistor T1 a v druhé přes diodu D2. Tranzistor je buzen buď generátorem volnoběžných pulzů, nebo u složitějších variant budič sám pozná konec tlumených kmitů a tranzistor uzavře.



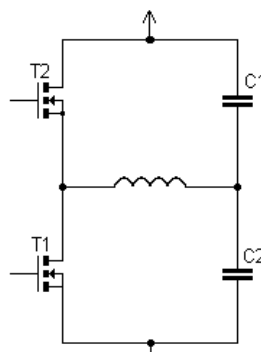
Obr. 5: Schéma OLTC

3.2.3 SSTC

Zkratka SSTC znamená Solid State Tesla Coil, neboli Teslův transformátor buzený polovodičovým budičem. Nejčastěji používaná jsou zapojení plného a polovičního můstku.



Obr. 6: Schéma SSTC – plný můstek



Obr. 7: Schéma SSTC – poloviční můstek

U plného můstku jsou tranzistory (používají se tranzistory MOSFET nebo IGBT) buzeny zdrojem obdélníkového signálu přes oddělovací transformátor GDT, který chrání budič při zkratu v koncovém stupni. Tranzistory spínají do kříže v protifázi, což znamená, že sepnou T1 a T3 a po nich T2 a T4. Čas jejich sepnutí musí být co nejkratší, jelikož se vlivem velkého středního proudu dost zahřívají a hrozí jejich zničení.

U polovičního můstku je zapojení stejné, ale tranzistory T3 a T4 v koncovém stupni jsou nahrazeny kapacitním děličem v podobě kondenzátorů C1 a C2.

K napájení se u obou variant jako zdroj používá usměrněná síť a pokud jí vyhledáme, tak získáme větší výkon. Sekundární cívka musí být vinuta silnějším drátem, kvůli velkému střednímu výkonu. Kdybychom tato dvě zapojení porovnávali, tak plný můstek má větší výkon, ale je potřeba více součástí na jeho stavbu a pokud nastane chyba v zapojení, nebo selže některá součástka, tak zničíme čtyři drahé tranzistory místo dvou.

3.2.2.1 ISSTC

ISSTC, neboli Interrupted Solid State Tesla Coil, do češtiny přeloženo teslův transformátor s přerušovaným polovodičovým buzením. Zapojení vychází ze SSTC, akorát budič koncového stupně je sestaven tak, že lze měnit poměr mezi dobou, kdy je zapnut koncový stupeň a kdy je vypnutý. Cílem je dosáhnout nízkého středního výkonu a špičkově do primární cívky dodávat vysoký výkon, což má za následek nárůst délky výbojů.

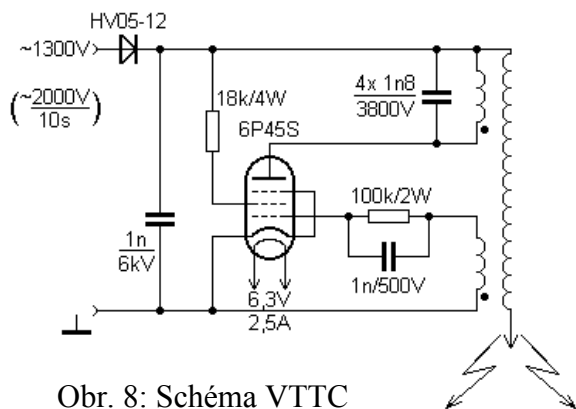
3.3.2.2 DRSSTC

Dual Resonant Solid State Tesla Coil, teslův transformátor buzený polovodičovým budičem a laděným primárním obvodem. U primární cívky je do série zapojen kondenzátor, který naladí primární obvod na frekvenci sekundární cívky. U klasického SSTC není primární obvod naladěný a ladí se frekvencí spínání koncového stupně. DRSSTC má tu výhodu, že díky naladění rezonančního obvodu můžeme dosáhnout větších výbojů i u méně výkonných zapojení.

3.2.4 VTTC

Vacuum Tube Tesla Coil (dále jen VTTC), teslův transformátor buzený elektronkovým budičem. Používají se vysílací triody, tetrody a pentody, zapojené v zpětnovazebním režimu. Pokud nám stačí menší výkon, můžeme použít elektronky ze starých televizí. Například z pentody 6P45S a s nimi můžeme dosáhnout 8cm výboje. Z vysílacích elektronek se

v Čechách nejvíce používá ruská pentoda GU-81M. Jako anodový zdroj nejčastěji slouží vysokonapěťový transformátor z mikrovlnné trouby (dále jen MOT=Microwave Owen Transformer), nebo jiný transformátor s napětím několik kV. Vysokonapěťový transformátor je jednoduše usměrněn a není vyhlazen, nebo je vyhlazen jen malou kapacitou, aby elektronka byla v provozu jenom při kladné půlvlně napájecího napětí a snížil se její ztrátový výkon.



Obr. 8: Schéma VTTC

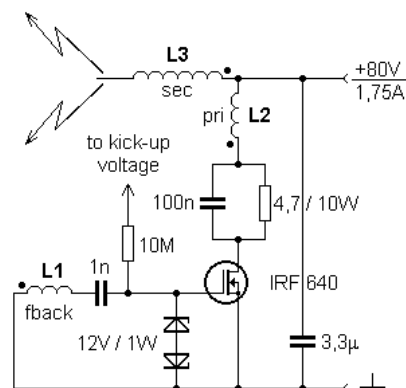
3.3 Vlastní konstrukce

3.3.1 Historie celého projektu a výběr typu Teslova transformátoru

V roce 2009 jsem se dočetl v knize Amatérské elektronické modely od J. Wojciechowského o generátoru 60 000V. Ve škole mi můj učitel fyziky řekl, že se jedná o teslův transformátor. Po dlouhém hledání na internetu jsem se rozhodl, že si postavím TC. Jako nejjednodušší varianta, se zdálo zapojení SSTC s jedním unipolárním tranzistorem, který byl buzen ze zpětnovazebního vinutí. Nakonec to dopadlo tak, že jsem zničil kolem 10 MOSFETů a výsledek nebyl žádný.

Po dalších hodinách strávených nad stránkami s touto tématikou a po několika e-mailech s lidmi, kteří se zabývají TC, mi bylo doporučeno zapojení VTTC. Nejdříve jsem si sehnal dva vysokonapěťové transformátory z mikrovlnné trouby, s kterými jsem získal dva kondenzátory 2 000V/1uF a dva ventilátory. Horší to bylo s pořízením elektronky. Na burze jsem koupil dvě PL508. S první z nich jsem docílil 2mm koróny sršící z hrotu sekundární cívky. Bohužel při zvyšování napájecího napětí uhořel katodový přívod. Druhá nebyla funkční. Naštěstí se mi od známého podařilo odkoupit elektronku PL36. S tou jsem dosáhl výbojů o délce 50mm, ale za cenu rozpálení anody do oranžova. Zkusil jsem postavit přerušovací obvod, aby na elektronce byl menší ztrátový výkon. Do hranice 1 000V obvod celkem spolehlivě fungoval, ale při vyšším napětí se prorazil tranzistor, který připojoval elektronku k napájení. S tímto zapojením jsem dosáhl 80mm výbojů.

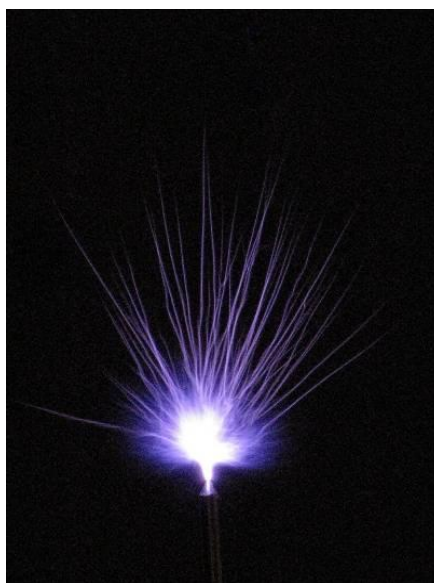
Nakonec jsem se rozhodl koupit pořádnou vysílací elektronku, a to ruskou GU-81M. Všechno fungovalo tak, jak mělo a výboje měly při 2 000V délku 150-200mm a při 4 000V 250-300mm. Nastal čas vše zabudovat do skříňky. Pan ing. Práda přišel s nápadem, vše umístit do počítačové skříňky, což se také stalo. Bohužel umístění v kovové skříni, kde bylo vše spojeno, se neukázalo jako vhodné. Proto jsem si nechal u truhláře vyrobit skříň ze dřeva. Po její úpravě a po osazení všech součástí VTTC vše funguje bez problémů.



Obr. 9: Schéma SSTC fback

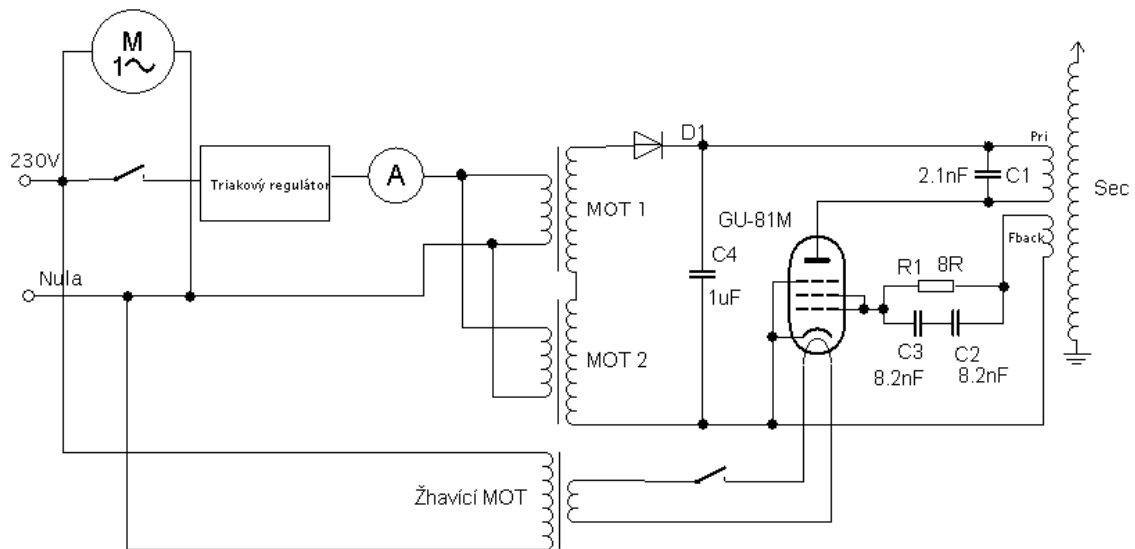


Obr. 10: Neúspěšné zapojení SSTC



Obr. 11: 80mm výboje z elektronky PL36 s přerušovačem

3.3.2 Schéma VTTC



3.3.3 Sekundární cívka

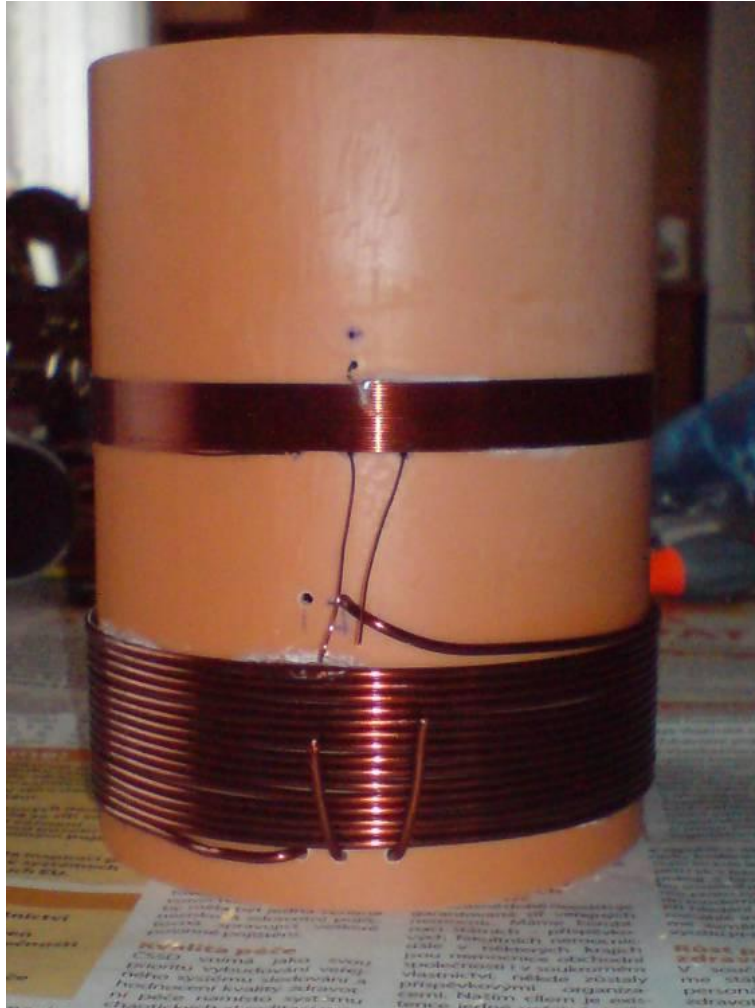
Sekundární cívku jsem navinul na vodovodní trubku $d=51\text{mm}$; $h=480\text{mm}$ smaltovaným drátem $d=0,3\text{mm}$; $l=250\text{m}$. Celkem vyšlo přibližně 1600 závitů. Cívku jsem dále 2x nalakoval izolačním lakem na osazené plošné spoje, aby se cívka nemohla rozmotat a byla odolnější proti vnějším vlivům. Na vrchol jsem nasadil víčko od aktivátoru pro vteřinová lepidla, do kterého jsem vlepil kovový hrot. Při prvních pokusech jsem měl konec sekundárního vinutí přímo připojen na tento hrot, ale při vyšších výkonech výboje z drátu, který spojuje konec sekundárního vinutí a hrot, prorazily víčko, které začalo díky vysoké teplotě hořet. Bylo nutné tento spojovací drát odizolovat.



Obr. 12: Navinutá sekundární cívka s hrotem

3.3.4 Primární a zpětnovazební cívka

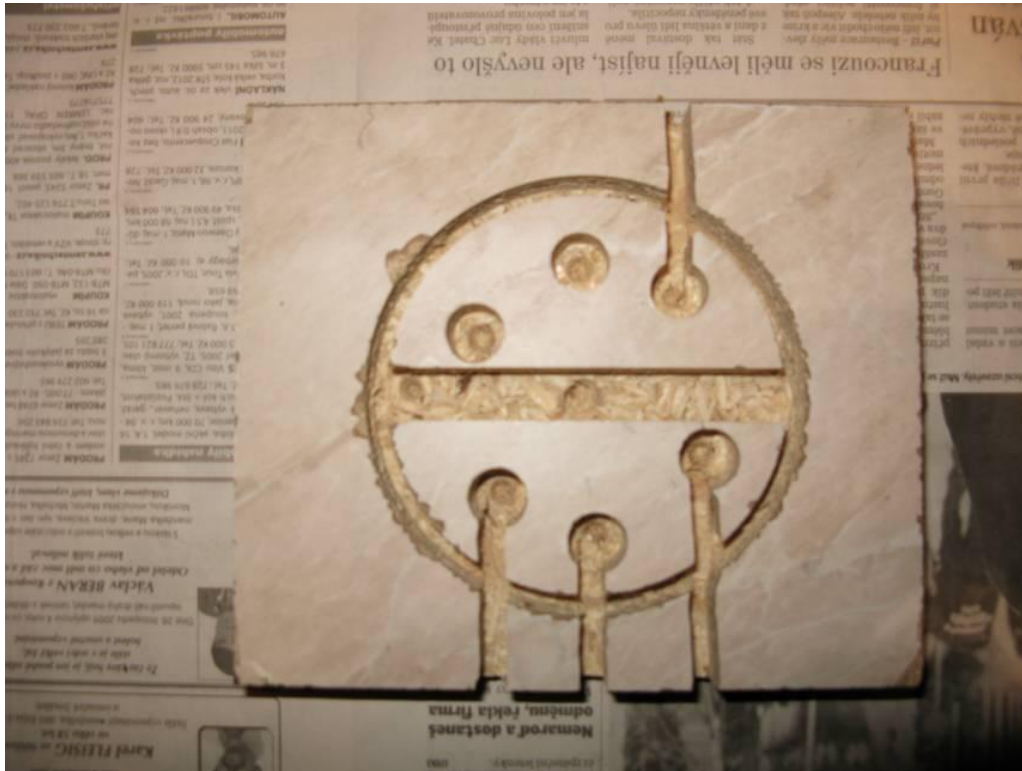
Primární a zpětnovazební cívku jsem navinul na odpadní trubku $d=100\text{mm}$; $h=150\text{mm}$. Primární vinutí je vinuto smaltovaným drátem $d=2\text{mm}$; $l=5,5\text{m}$; $N=17\text{z}$; $L=38\mu\text{H}$ a je umístěno u paty sekundární cívky. 30mm nad ním je umístěno zpětnovazební vinutí $d=0,5\text{mm}$; $l=7,8\text{m}$; $N=24\text{z}$.



Obr. 13: Primární a zpětnovazební vinutí

3.3.5 Elektronka

Elektronka je vysílací pentoda GU-81M s parametry $U_a=2\ 000\text{V}$ (do 3MHz); $I_a=500\text{mA}$; $P_a=600\text{W}$; $P_{g1}=150\text{W}$. Žhaví se 12V a 10A. Bylo nutné vyrobit patiči. Nakonec jsem se rozhodl pro kus kuchyňské linky vhodných rozměrů. Na kontakty elektronky jsou nasazené úchyty pro trubičkové pojistky a na nich přiletované vodiče s dvojí izolací. Elektronka je k patiči přichycena plechy, které jsou přitáhnuty vruty.



Obr. 14: Patice na GU-80m



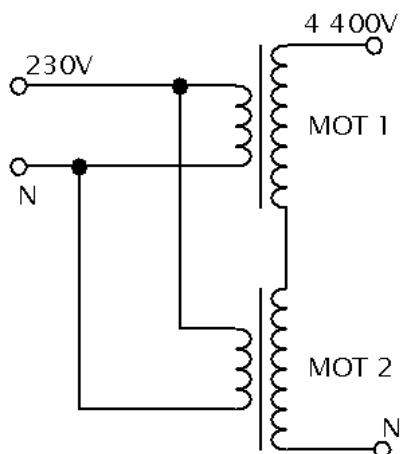
Obr. 15: Osazená GU-81m

3.3.6 Zdroj 12V pro žhvení elektronky

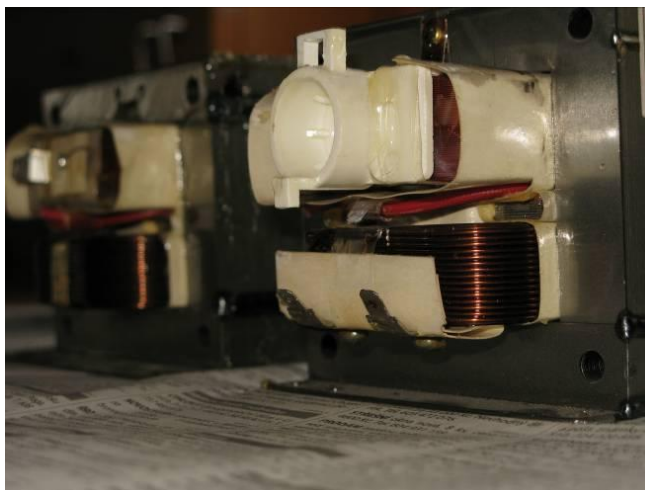
Jelikož elektronka potřebuje na nažhvení velký proud 10A a sehnat takovýto zdroj není zrovna nejlehčí a nejlevnější, tak jsem se rozhodl převinout sekundární vinutí 850W MOTu. Odstranil jsem sekundární vinutí a místo něj navinul 14 závitů měděným drátem $S=2,5\text{mm}^2$. Výstupní napětí je 11,8V a můj odhad je, že by tento transformátor byl schopen dodat i 30A.

3.3.7 Vysokonapěťový transformátor

Jako zdroj anodového napětí jsem použil transformátor z mikrovlnné trouby-MOT. Tento transformátor se na podobné účely výborně hodí. Jeho napětí je přibližně 2 200V a proud 500mA je naprosto dostačující. Mé dva MOTy jsou na primárních vinutích spojeny paralelně a sekundární vinutí jsou spojena tak, že jádra transformátorů jsou spojena a uzemněna. Tímto zapojením získáme 4 400V a proud 500mA.



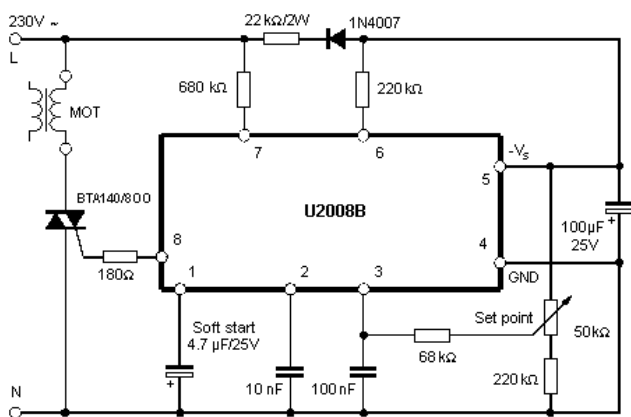
Obr. 16: Schéma zapojení MOTů



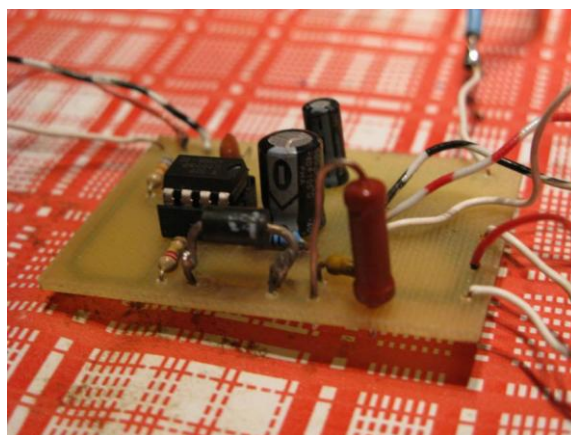
Obr. 17: Dva MOTy z mikrovlnné trouby

3.3.8 Triakový regulátor

Abych mohl jednoduše regulovat napětí na primární straně MOTů bez velkého a těžkého autotransformátoru, tak jsem si postavil triakový regulátor s integrovaným obvodem U2008B, který umožňuje soft start a triakem BTA140/800 s parametry $U=800\text{V}$; $I=25\text{A}$.



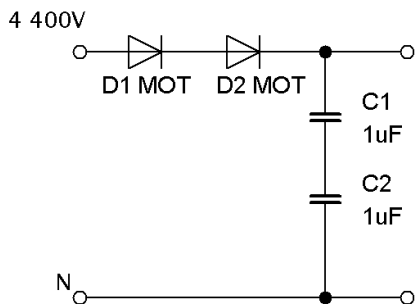
Obr. 18: Schéma triakového regulátoru



Obr. 19: Řídící část triakového regulátoru

3.3.9 Vysokonapětový usměrňovač

Ze dvou mikrovlnných trub jsem vymontoval i dvě vysokonapětové diody a dva kondenzátory. Tyto součástky vyráběné přímo pro MOTy, tedy pro naše účely ideální. Použil jsem dva kondenzátory a dvě diody do série, kvůli dvojnásobnému napájecímu napětí.



Obr. 20: Schéma vysokonapětového usměrňovače



Obr. 21: Kondenzátor



Obr. 22: Dioda

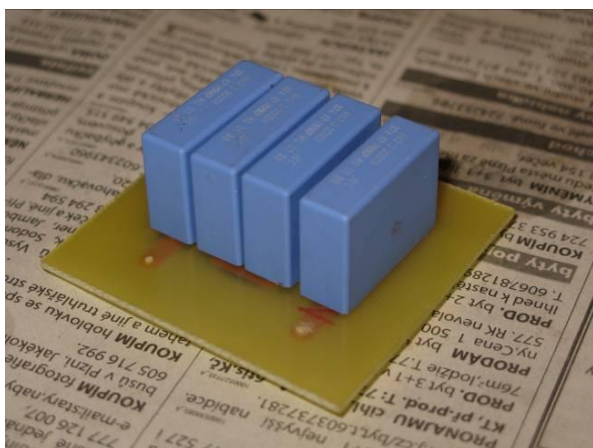
3.3.10 Rezonanční kondenzátor MMC

K primárnímu vinutí musí být připojen kondenzátor, abychom jsme ho naladili na frekvenci sekundární cívky. Kapacitu kondenzátoru jsem si vypočítal podle programů na výpočet důležitých komponent pro TC. Kapacitu jsem počítal z vypočítané frekvence 565kHz a vyšla přibližně 2nF. Přesnou kapacitu jsem vyzkoušel připojováním různých kapacit při provozu, a když byly výboje nejdelší, tak bylo naladěno do rezonance. Koupil jsem 4 impulsní kondenzátory $C=8.2\text{nF}$; $U=2\,000\text{V}$. Poskládal jsem z nich MMC (Multi Mini Capacitor). Výsledná kapacita vyšla 2,05nF a při napětí 4 000V je na každém kondenzátoru 1 000V.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{8.2} + \frac{1}{8.2} + \frac{1}{8.2} + \frac{1}{8.2}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{4}{8.2}$$

$$\underline{\underline{C = 2,05\text{nF}}}$$



Obr. 23: MMC



Obr. 24: Ochranné odpory

3.3.11 Ventilátory

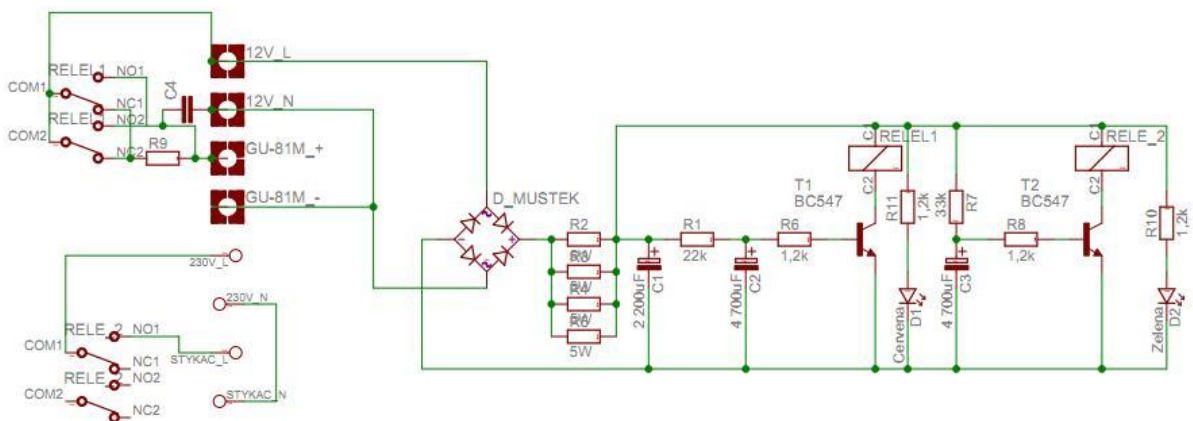
Ventilátory-jedna z velmi důležitých součástí VTTC. Bez dostatečného chlazení by VTTC nedokázalo být v provozu na plný výkon ani 30s. Dva velké ventilátory na 230V jsem vymontoval z mikrovlnných trub. Nasávají vzduch do skříně a chladí hlavně MOTy.

3.3.12 Spínací obvod

Pro bezpečné a jednoduché zapnutí VTTC jsem vymyslel spínací obvod, který bezpečně nažhaví elektroniku a teprve po řádném nažhavení sepne napájení MOTů. Nejprve se elektronika žhaví polovičním napětím po dobu 5s a poté se žhavení přepne na plných 12V. Za 10s stykač sepne napájení MOTů.

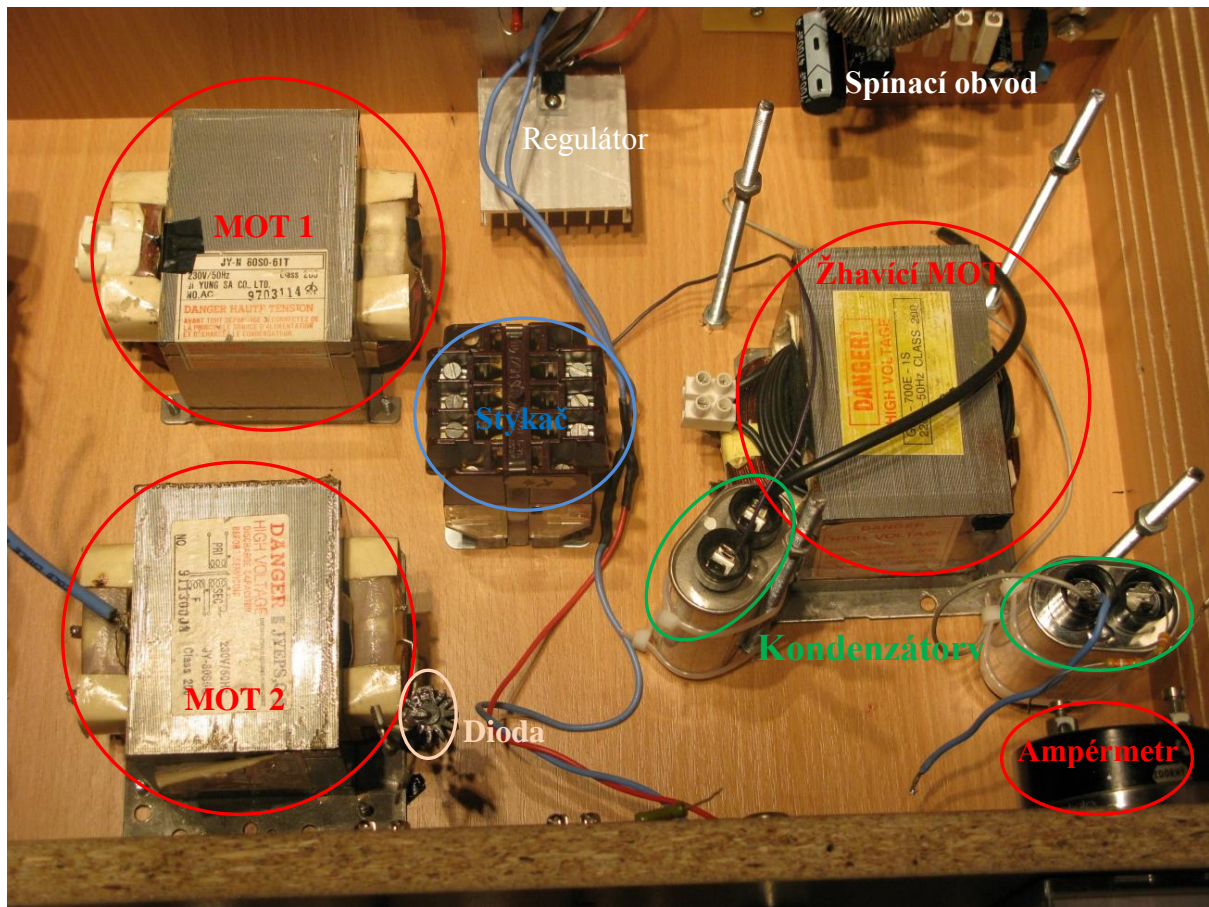


Obr. 25: Spínací obvod



Obr. 26: Schéma spínacího obvodu

3.3.13 Popis VTTC



Obr. 27: Umístění součástí VTTC ve skříni



Obr. 28: Sestavené VTTC

3.4 Provoz

3.4.1 Zapojení do provozu a provoz

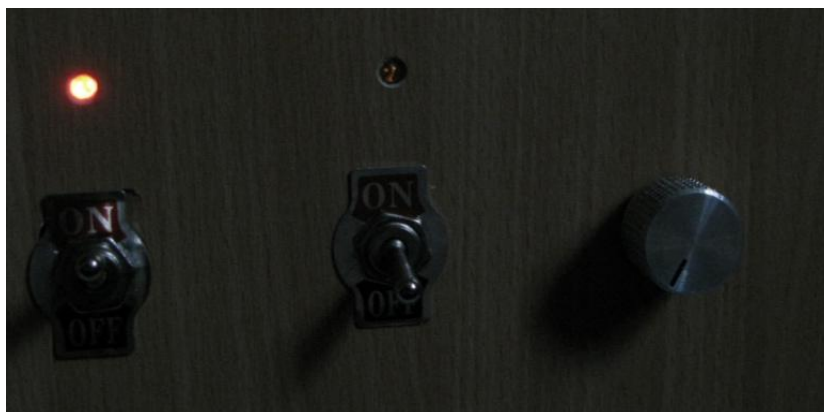
VTTC připojíme k elektrické síti (pro plný výkon jsou potřeba minimálně 25A jističe) a roztočí se ventilátory. Vypínačem 1 zapneme žhavení elektronky. Nejdříve se žhaví cca. 5s polovičním napětím, 10s plným napětím. Žhavení elektronky je indikováno červenou LED. Po rozsvícení zelené LED (a slyšitelného sepnutí stykače) můžeme vypínačem 2 zapnout přívod elektřiny k regulátoru. Je nutné, aby byl regulátor při startu nastaven na nejmenší výkon, jinak hrozí přetížení elektrické sítě. Na okamžik zasrší z hrotu na sekundární cívce výboje, což je způsobeno tím, že „nastartováním“ regulátoru trvá necelou sekundu a v tuto dobu nereguluje. Regulátorem nastavíme požadovaný výkon a můžeme předvádět pokusy s vysokým napětím.

Výkon odečítáme přes ampérmetr. Při 12A můžeme nechat VTTC v provozu 10min, přes 17A jen 1min. Do 10A neomezeně dlouho. Po vypnutí VTTC je třeba 20min chladit komponenty, jinak hrozí jejich zničení.

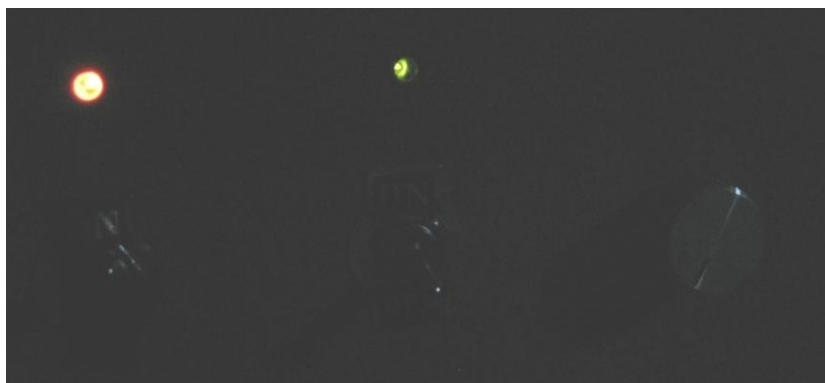
Po čtvrt hodině provozu na 14A jsem měřil teploty důležitých součástí VTTC. Primární cívka měla 85°C; sekundární 32°C; MOTy 48°C; žhavicí transformátor 65°C. Anodu elektronky podle barvy odhaduji na cca 600°C (což je ovšem provozní hodnota).



Obr. 29: Ovládací panel



Obr. 30: Červená LED indikuje nažhavení elektronky



Obr. 31: Zelená LED indikuje připojení napájecího napětí

3.4 Pokusy

3.4.1 Realizované

VTTC generuje velmi vysoké napětí, což se při určitém výkonu projevuje sršením výbojů do vzduchu. U mého VTTC jsou výboje dlouhé až 300mm. Hodnota generovaného napětí se dá vypočítat podle délky výbojů a teoretické pevnosti vzduchu. Kdybychom počítali elektrickou pevnost vzduchu 2 000V/mm, tak napětí na výstupu sekundární cívky rovná 600 000V.

V úvodu k TC jsem psal, že toto vysokofrekvenční napětí teče po povrchu těla a nemělo by ublížit. Sám jsem se dotkl výbojů a nic se mi nestalo.

Dále se kolem sekundární cívky tvoří elektromagnetické pole a 5m od ní jsem naměřil proud uzemněným mikro ampérmetrem 10 μ A. Toto pole dokáže rozsvěcet plynem plněné trubice – doutnavky, zářivky. Doutnavku i zářivku jsem rozsvítil 1m od sekundární cívky. U zářivky jsem pozoroval tmavší kroužky, způsobené magnetickým polem.

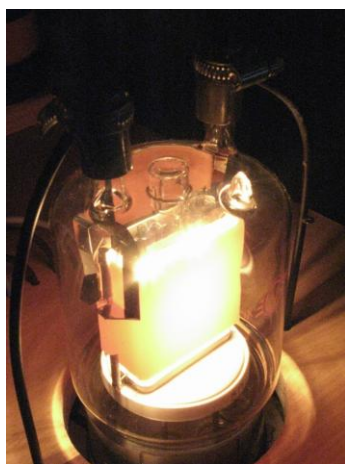
Dále si můžeme vyrobit „plazma koule“. Stačí si vzít žárovku, nedotýkat se kovových vývodů a přiblížit baňku k sekundární cívce. Z úchytů pro vlákno začne šlehat plazma.

Přiblížením k sekundární cívce můžeme přiblížit trubice plněné vzácnými plyny (u nich je dobré uzemnit zemnicí přívod).

Velmi dobrá je také ukázka elektronového stínu.



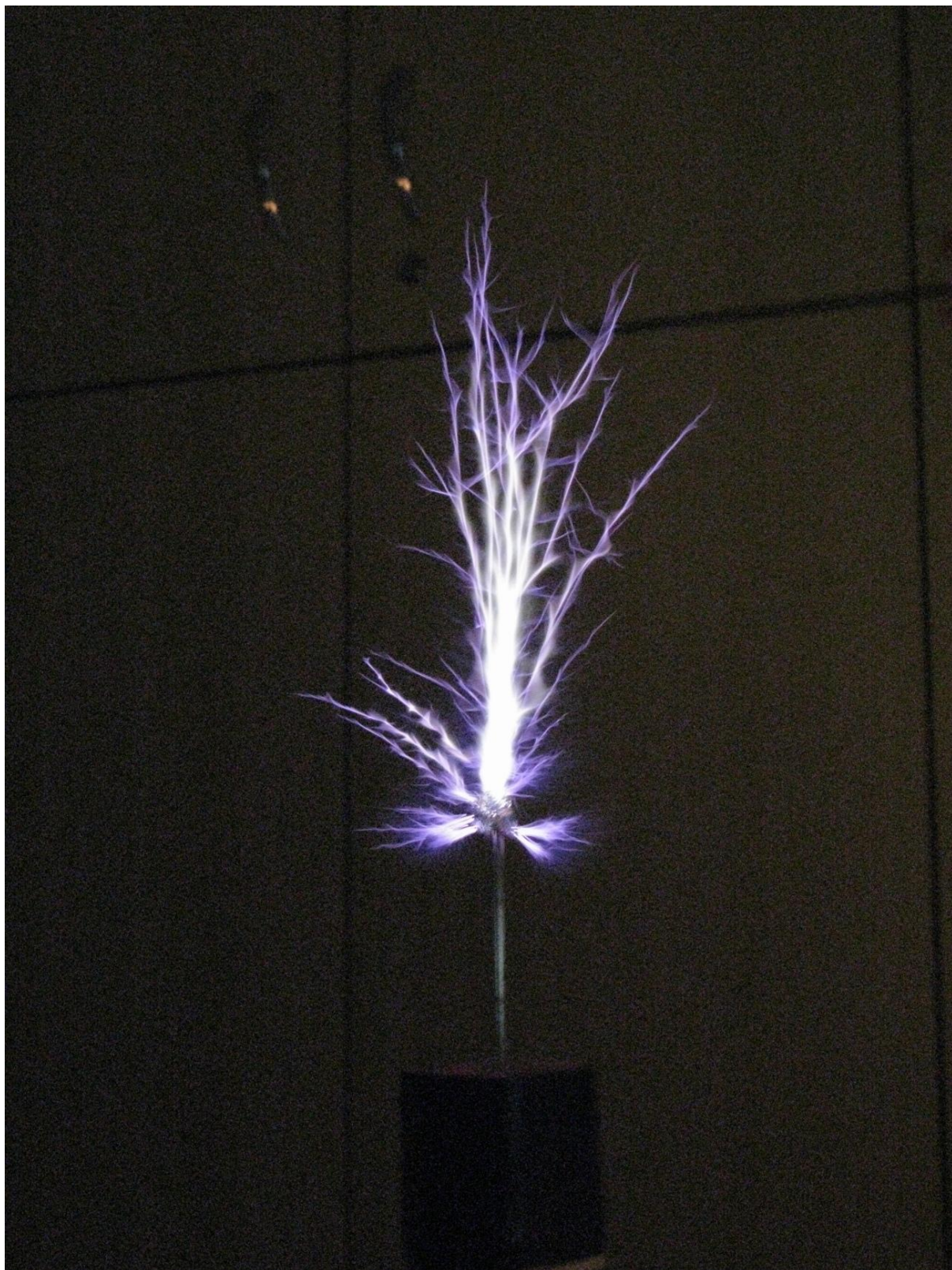
Obr.32 : GU-m81 nažhavená



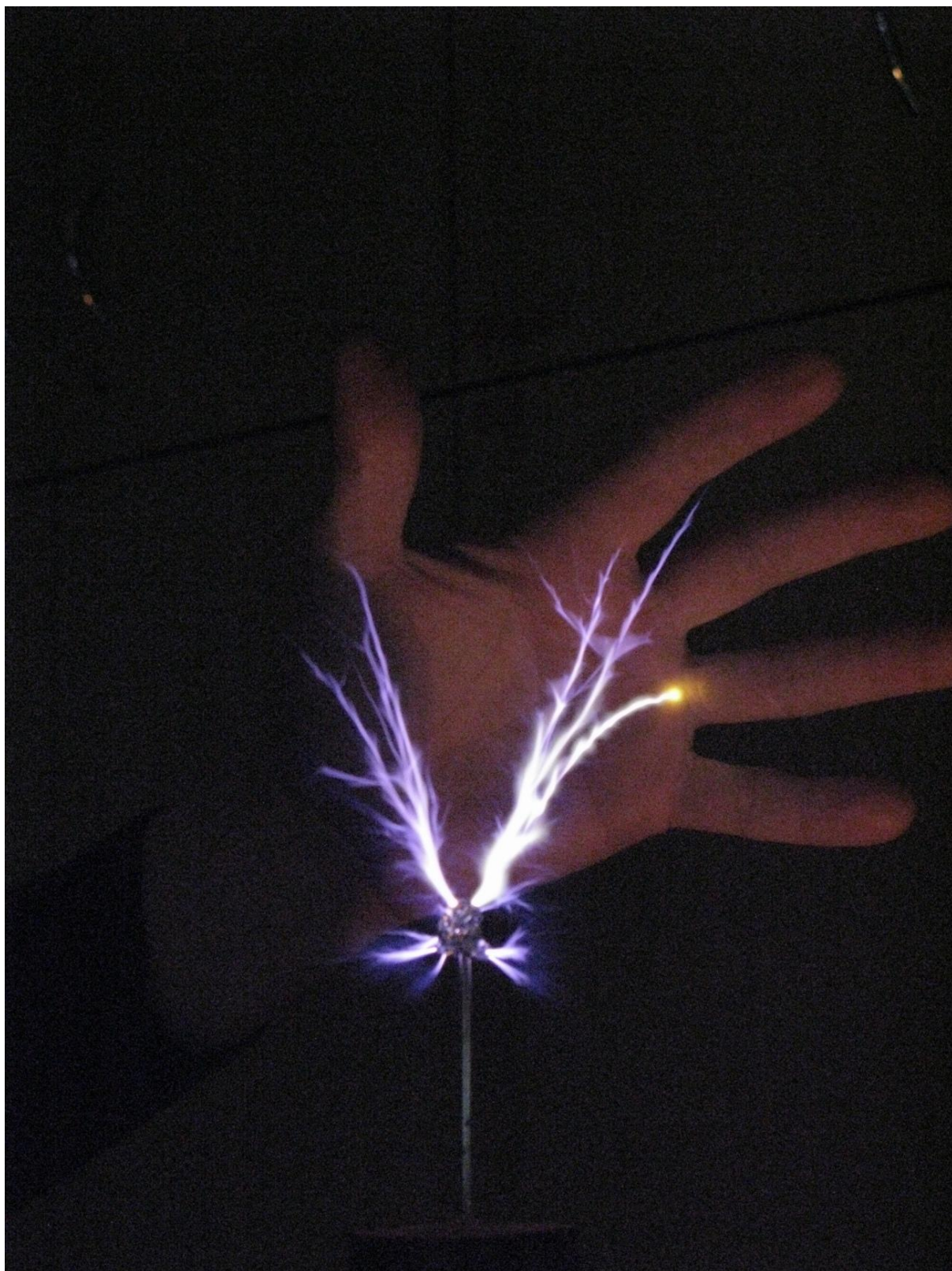
Obr. 33: V provozu



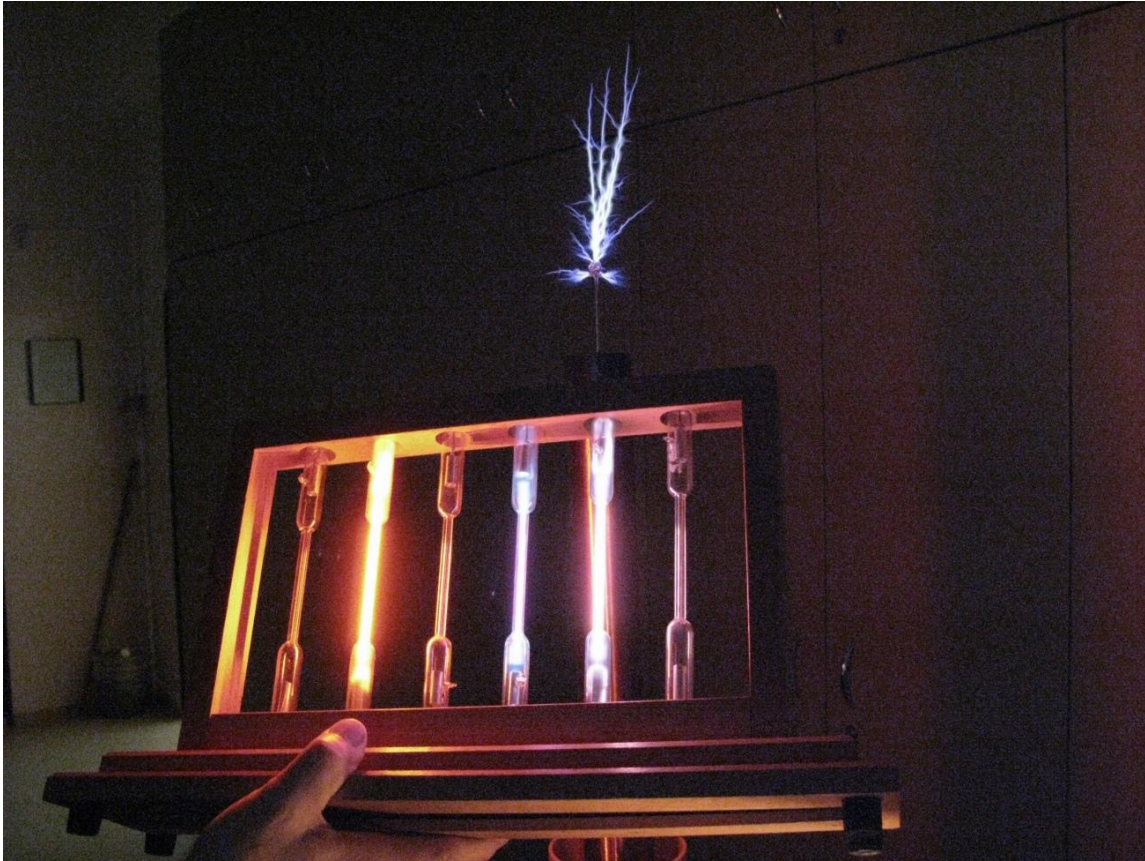
Obr. 34: Po provozu



Obr. 35: Výboje (12A)



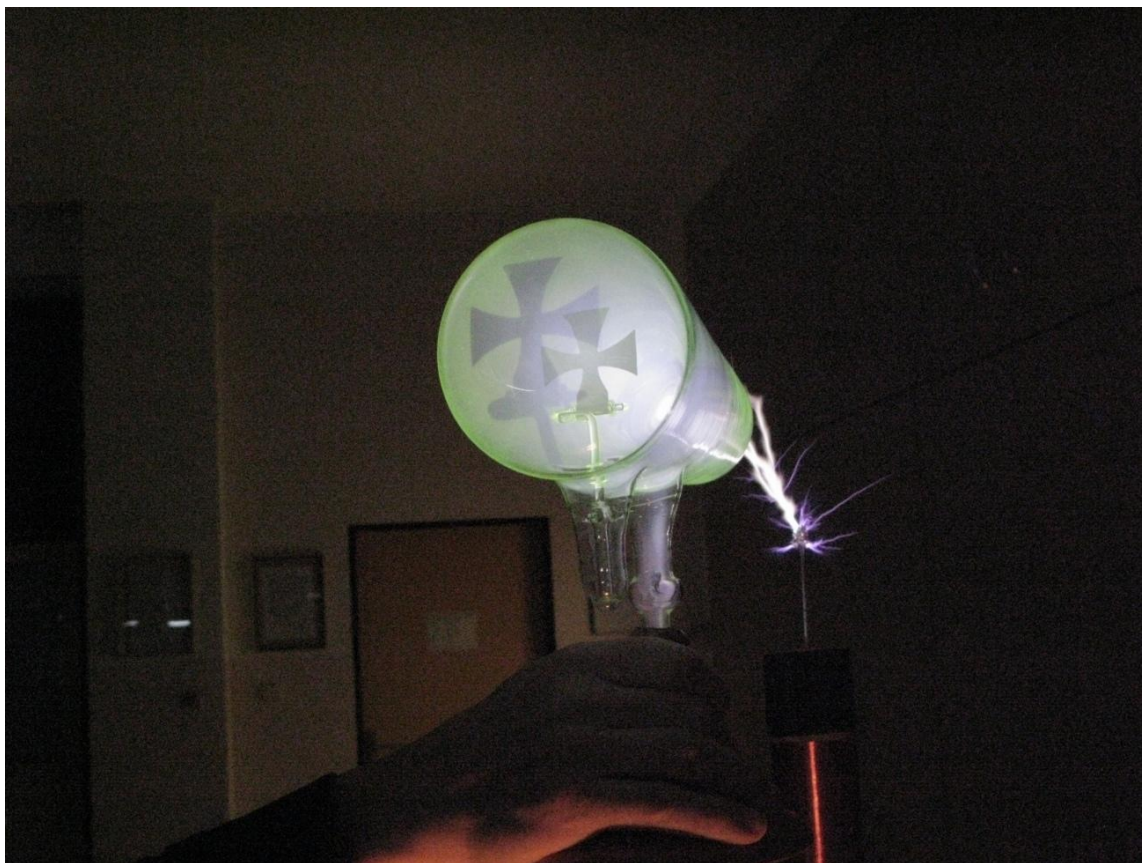
Obr. 36: Výboje do ruky



Obr. 37: Rozsvícené trubice s vzácnými plyny



Obr. 38: Rozsvícená kompaktní zářivka



Obr. 39: Vakuová trubice s Maltézským křížem



Obr. 40: Rozsvícená zářivková trubice

3.4.2 Možné

Dalším možným pokusem je iontový motor. Na vrchol sekundární cívky se s co nejmenším třením upevní rotor. Když se na rotor přivede napětí, tak nejspíše elektrony vylétávají z konců drátů a uplatňuje se zákon akce a reakce (tento mechanismus není ještě zcela vysvětlen).

Dále je možné modulovat spínání elektrony audiosignálem. Při této modulaci se mění délka výbojů podle signálu hudby, což způsobuje, že slyšíme reprodukci audiosignálu. Dále se mění i elektromagnetické pole kolem sekundární cívky. Pokud máme přijímač, který přijímá na frekvenci sekundární cívky, tak na něm můžeme poslouchat audiosignál.



Obr. 41: Iontový motor

Připojováním elektrony k napájení vhodným obvodem, dosáhneme přerušování výbojů, menšího středního výkonu, tedy většího napětí.

4.0 Závěr

Na závěr musím uznat, že práce na zprovoznění VTTC byla velmi zajímavá a velmi mi pomohla v mých znalostech elektroniky. Podařilo se sestrojít jednoduše ovladatelný zdroj vysokého napětí pro školní pokusy. Vše funguje až nad očekávání. VTTC jsme už dvakrát využili na dnech otevřených dveří na mé škole i na několika hodinách fyziky. Všemi byl přístroj hodnocen kladně.

5.0 Přehled použitých zdrojů

- [1] 100 nejslavnějších vědců; Encyclopedia Britannica
- [2] Nikola Tesla, vizionář, génius čaroděj; Marc J. Seifert
- [3] <http://rayer.ic.cz/teslar/teslar.htm>
- [4] <http://rayer.ic.cz/teslar/vttc.htm>
- [5] <http://rayer.ic.cz/teslar/sstc.htm>
- [6] <http://rayer.ic.cz/teslar/bigtc.htm>
- [7] <http://rayer.ic.cz/teslar/dirtytc.htm>
- [8] <http://elektronika.kvalitne.cz/VN/tesla/tesla.html>
- [9] <http://elektronika.kvalitne.cz/VN/tesla/TCteorie.html>
- [10] <http://elektronika.kvalitne.cz/VN/tesla/OLTCteorie.html>
- [11] <http://elektronika.kvalitne.cz/VN/tesla/VTTCteorie.html>
- [12] <http://elektronika.kvalitne.cz/VN/tesla/SSTCteorie.html>
- [13] <http://elektronika.kvalitne.cz/VN/tesla/ISSTCteorie.html>
- [14] <http://elektronika.kvalitne.cz/VN/tesla/DRSSTCteorie.html>

- [15] <http://danyk.wz.cz/vttc1.html>
- [16] http://cs.wikipedia.org/wiki/Teslův_transformátor
- [17] <http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/VTTTCIII.htm>
- [18] <http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/teslasuper.htm>
- [19] <http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/xy.htm>
- [20] <http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/indexteslaky.htm>
- [21] <http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/vttc.htm>
- [22] <http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/indexteslak2.htm>
- [23] <http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/indextesla.htm>
- [24] <http://pokusy.chytrak.cz/pokusy/indexiontovka.htm>
- [25] <http://blesky.ic.cz/vttc-charakteristika.html>
- [26] <http://xrastina.ic.cz/hv/vttc1.1/index.html>
- [27] <http://xrastina.ic.cz/hv/vttc1.2/index.html>
- [28] <http://elektrolab.wz.cz/?vysokenapeti=27>
- [29] <http://elektrolab.wz.cz/?vysokenapeti=25>
- [30] <http://elektrodilna.wz.cz/vttc.html>
- [31] http://elektrodilna.wz.cz/vttc_2.html
- [32] <http://teslacoil.ic.cz/vttc.html>
- [33] <http://sopotniceeu.emartinka.cz/default.asp?IDKategorie=8&IDClanku=8121620>