



Středoškolská technika 2016

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Bleskostroj aneb fyzikální experimenty atraktivně

Vladimír Pokorný

Purkyňovo gymnázium

Strážnice 696 62, Masarykova 379

Příspěvková organizace

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST
Obor SOČ: 12 tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

Bleskostroj

aneb

fyzikální experimenty atraktivně

Vladimír Pokorný

Strážnice 2016

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST
Obor SOČ: 12 tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

Bleskostroj

aneb

fyzikální experimenty atraktivně

lightning machine
or
physics experiments attractively

Autor: Vladimír Pokorný

Ročník studia: Septima/3.

Škola: Purkyňovo gymnázium Strážnice, příspěvková organizace
Masarykova 379
696 62 Strážnice
Okres Hodonín
Jihomoravský kraj

Autorský podíl

Teslův transformátor jsem vyrobil na začátku šk. roku 2014/2015 společně s Martinem Mičulkou. Pomáhal mně sestavit **mechanickou část** Teslova transformátoru, podílem 25%. Nabídl jsem mu spolupráci na této práci SOČ, kterou odmítl.

Níže čestně prohlašujeme, že žádná závažná skutečnost, která by byla v rozporu s pravidly soutěže SOČ, nebyla zamlčena. A že podíl na **konstrukci Teslova transformátoru** je v poměru:

75 : 25

Vladimír Pokorný : Martin Mičulka

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze literaturu uvedenou v seznamu vloženém v práci SOČ.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

Strážnice

17. února 2016

Podpis:

Poděkování

Především chci poděkovat Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy, která poskytla potřebný grant přes soutěž „MatFyz FEAT“.

Velký dík patří spolužákovi Martinovi Mičulkovi, díky němuž jsem mohl dokončit konstrukci Teslova transformátoru. Pomáhal mně s mechanickou konstrukcí Teslova transformátoru, byl ochoten se zúčastnit soutěže MatFyz FEAT a odjet se mnou a Teslovým transformátorem do Prahy.

Nebýt paní RNDr. Jany Hálkové, možná bych tuto práci nikdy nedokončil, neboť to byla právě ona, která mne popoháněla při realizaci textové části práci. Děkuji za podnětné připomínky a rady k formální části práce.

Dále chci poděkovat firmě Interiéry Buček, která zadarmo a na míru vytvořila svrchní desku na primární vinutí Teslova transformátoru.

Děkuji škole, která mně zaručila podmínky pro realizaci projektu, potřebné prostory a čas pro realizaci projektu. Nesmím opomenout ani Mgr. Lenku Macháčkovou, která mně pomáhala zvláště během experimentální části, a to přípravou jednotlivých experimentů. Dále pak Mgr. Janě Šaňkové děkuji za korekturu anotace. A spolužačce Barboře Hořákové za korekturu interpunkcí v přílohách.

Nyní by následoval ještě obsáhlý výčet lidí, kterým bych rád poděkoval, ale asi bych si na všechny nevzpomněl.

Abstrakt

Účelem této práce je vytvoření učební pomůcky do hodin fyziky. Jedná se o učební modul, který obsahuje sadu experimentů, výukové video, příručku učitele a pracovní listy pro žáky. Experiment se snaží zábavnou formou zatraktivnit hodiny fyziky, zvláště během probírání tématu „Elektřina a magnetismus“. Stavbou Teslova transformátoru jako učební pomůcky chci zvýšit zájem o fyziku v řadách studentů.

Tato učební pomůcka není jednoúčelově určena pouze pro využití ve školách, nýbrž ji lze využít i v zájmových kroužcích (radioamatéři, klub mladých debružárů, projekt EDISON a další). Všechny experimenty mohou být demonstrovány v jedné hodině, ale učitel může experimenty rozvrhnout i do delšího časového intervalu.

Při realizaci této práce jsem si byl vědom možných rizik spojených s provozem Teslova transformátoru, proto byl kladen důraz na minimalizaci možných rizik při demonstrování pokusů. Zároveň byly pokusy s ohledem na demonstrátorovu bezpečnost nasnímány na DVD nosič, pro jednodušší a bezpečnější demonstraci experimentů. Tato učební pomůcka slouží převážně k zatraktivnění hodiny i pro žáky, kteří se primárně nezabývají fyzikou. Teslův transformátor proto může ovlivnit jejich vnímání fyziky a světa kolem nás.

Klíčová slova:

Teslův transformátor; experimenty; výboj; blesk; konstrukce; učební pomůcka

Abstrakt

The objective of this work is to make a teaching aid for Physics lessons. The learning module contains a set of experiments, teaching videos, a teacher's book and worksheets for students. It tries to make Physics lessons, especially the topic of electricity and magnetism, more attractive. I want to support the interest in Physics by constructing Tesla coil as a teaching aid.

This teaching aid can be used not only at schools, but also for public purpose (radio amateurs, young physicist clubs, EDISON project, etc.). It is possible to demonstrate all the experiments during one lesson, but the module can also be separated into many lessons so that more lessons can be interesting for students.

Realizing this experiment, I was fully aware of the possible risk connected with Tesla coil. That's why I was paying attention to minimalizing the risks. For the easier and safer demonstration, the experiments have been recorded on DVD. This way of learning is designed even for pupils who are not interested in Physics very much. The Tesla Coil could affect their understanding of Physics and the whole world around us.

Keywords:

Tesla Coil, experiments, spark, flash, construction, teaching aid

Obsah

ÚVOD

.....	1
0	
1	KLASICKÝ TESLŮV TRANSFORMÁTOR (SGTC) JAKO UČEBNÍ POMŮCKA..... 11
1.1	KLASICKÝ TESLŮV TRANSFORMÁTOR SE SKLÁDÁ Z TĚCHTO KOMPONENT..... 11
1.1.1	<i>Vysokonapěťový transformátor</i> 11
1.1.2	<i>Jiskřiště</i> 11
1.1.3	<i>Vysokonapěťový kondenzátor</i> 12
1.1.4	<i>Primární cívka</i> 12
1.1.5	<i>Sekundární cívka</i> 13
1.1.6	<i>Toroid</i> 13
1.2	VÝPOČET KOMPONENT TESLOVA TRANSFORMÁTORU [3] [6] [8]..... 14
1.2.1	<i>Sekundární cívka</i> 14
1.2.2	<i>Sekundární kapacita (toroid)</i> 14
1.2.3	<i>Primární cívka</i> 14
1.2.4	<i>Kondenzátor [3]</i> 15
1.3	PRŮBĚH NAPĚTÍ SGTC [2] [4] [5] [6]..... 16
1.3.1	<i>Transformace</i> 16
1.3.2	<i>Akumulace</i> 16
1.3.3	<i>Indukce proudu v sekundární cívce</i> 16
2	MECHANICKÁ KONSTRUKCE TESLOVA TRANSFORMÁTORU. 17
2.1	ŽELEZNÁ KONSTRUKCE..... 17
2.2	UCHYCENÍ KONDENZÁTORU..... 18
2.3	PRIMÁRNÍ CÍVKA..... 19
2.4	MECHANICKÉ PŘÍKONČENÍ SEKUNDÁRNÍ CÍVKY 19
2.5	FINANČNÍ NÁROČNOST 20
3	VÝUKOVÝ MATERIÁL „BLESKOSTROJ ANEB FYZIKÁLNÍ EXPERIMENTY ATRAKTIVNĚ“..... 21
3.1	PLÁN VÝUKOVÉHO MODULU 21
3.2	PŘÍLOHY..... 22
3.3	PŘÍRUČKA UČITELE 22
3.4	PRACOVNÍ LISTY ŽÁKŮ..... 22
3.5	VIDEOZÁZNAM..... 22
3.5.1	<i>Zpracování videozáznamu</i> 23
3.6	PRÁKTIKÉ VYUŽITÍ..... 23
4	POPIS EXPERIMENTŮ..... 24
4.1	SRŠENÍ A KORONA..... 24
4.2	SRŠENÍ DO UZEMNĚNÝCH PŘEDMĚTŮ 25
4.3	ROZSVĚCENÍ ZÁŘIVEK A ÚSPORNÝCH ŽÁROVEK NA DÁLKU 25
4.4	SRŠENÍ DO ZÁŘIVKY 26
4.5	LIDSKÉ TĚLO JAKO VODIČ 26
4.6	VÝBOJE ZA SNÍŽENÉHO TLAKU 27
4.7	VÝBOJE V RŮZNÝCH PLYNECH 27

ZÁVĚR	28
SEZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ZÁZNAMŮ	29
SEZNAM ZKRATEK	29
SEZNAM OBRÁZKŮ	30
SEZNAM PŘÍLOH	31

Úvod

Vyučující fyziky se snaží již několik let najít nové vzdělávací metody a postupy, které by zastavily klesající zájem žáků o přírodovědné předměty. Poslední dobou si i já všímám spolužáků, které fyzika nebaví a mají k ní dokonce odpor. Tento odpor je podle mého umocněn i prudce narůstajícím množstvím přírodovědných poznatků. Mnozí žáci rezignují a je pro ně jednodušší říct, že je fyzika zkrátka nebaví. V hodinách fyziky mně nejvíc chyběl jakýkoliv motivační experiment, který by žáky navnadil do studia konkrétního problému. Něco co by si mohli sami osahat, popřípadě vidět aspoň na vlastní oči.

Dlouhou dobu jsem ve své hlavě nosil touhu vytvořit Teslův transformátor (Tesla Coil-TC), který by dělal blesky. Když jsem byl mladší, líbilo se mně, že TC dokáže na dálku rozsvěcovat zářivky, obecně trubice plněné plynem. Pokaždé jsem však narazil na nedostatek finančních zdrojů, abych mohl projekt realizovat. V minulém školním roce mně byla nabídnuta soutěž pořádaná Matematicko – fyzikální fakultou Karlovy univerzity, která se jmenovala „MatFyz FEAT - fyzikální experimenty atraktivně“. V tu chvíli jsem měl jasno, pokusím se sestavit vlastní TC. Matematicko – fyzikální fakulta poskytla každému soutěžnímu týmu granty na realizaci svých projektů. Přihlásil jsem se do soutěže společně se svým spolužákem Martinem Mičulkou, který mě podporoval ve stavbě TC. Nutno podotknout, že bych bez jeho podpory nyní nemohl napsat tuto práci SOČ. Abych příběh dokončil, v soutěži MatFyz FEAT jsme se umístili na 1. místě. [1] Nesmím opomenout fakt, že jsme museli celý TC dopravit až na MFF v Praze, proto od začátku byl TC konstruován jako mobilní zařízení, které stačí přepravovat automobilem, vlakem, metrem nebo dalšími prostředky veřejné dopravy.

Po skončení soutěže jsme mohli TC přivést zpět do naší školy, kde jsme začali předvádět sadu experimentů. V tu chvíli se zrodil nápad, že bych mohl vytvořit tuto práci a natočit video s pokusy.

Při realizaci této práce byly vytvořeny pracovní listy pro žáky a pro učitele byla vytvořena příručka, která obsahuje veškeré důležité informace spjaté s TC.

1 Klasický Teslův transformátor (SGTC) jako učební pomůcka

Tato kapitola pojednává o teoretické konstrukci SGTC, jeho komponentách a vysvětluje princip činnosti klasického Teslova transformátoru.

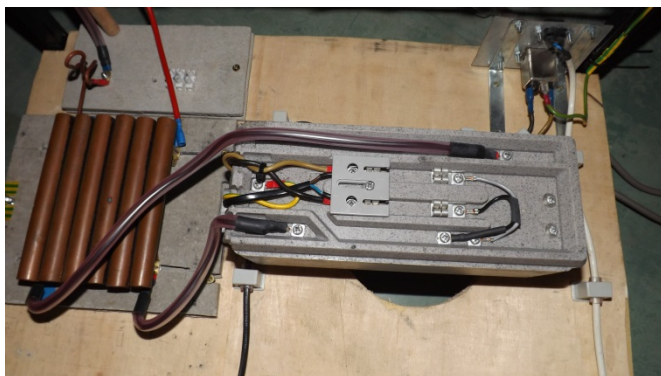
Klasický Teslův transformátor, který používá jiskřiště, je rezonanční vzduchový transformátor, který pracuje na vysoké frekvenci v řádech desítek až stovek kHz. Je složený do rezonančního LC obvodu s jiskřištěm a VN transformátorem. [2]

1.1 Klasický Teslův transformátor se skládá z těchto komponent

1.1.1 Vysokonapěťový transformátor

Transformuje napětí ze sítě (230 V) na hodnotu v řádech kV. V mém případě na hodnotu 10 kV. Podmínkou je, aby v konstrukci SGTC, byl vysokonapěťový transformátor „měkkým“ zdrojem proudu, tedy aby se VN transformátor nepoškodil při zkratu. [2] Neboť v určitou fázi cyklu je tento transformátor zkratován jiskřištěm. Nejlépe poslouží rozptylový transformátor z neonových reklam.

V konstrukci jsem použil VN transformátor firmy F.A.R.T. Jmenovité napětí je rovno 10 000 V při proudu 50 mA. Transformátor je dále doplněn o pojistku proti dotyku ruky VN výstupu. Když je odstraněn kryt, je rozpojen přívod síťového proudu, transformátor je tedy odstaven z činnosti.



Obr. 1 VN transformátor, bez ochranného krytu



Obr. 2 VN transformátor, s nasazeným krytem

1.1.2 Jiskřiště

V SGTC zastává úlohu „spínače“. Jakmile dosáhne napětí v obvodu zápalného napětí kondenzátoru, přeskóčí v jiskřišti jiskra a vznikne LC obvod. Na VN transformátor se připojuje paralelně. V jiskřišti proběhne za sekundu několik tisíc jisker. Svoji konstrukcí i způsobem užívání je jiskřiště zdrojem širokopásmového rušení. [2]

Použili jsme konstrukci statického jiskřiště. Jedná se o vůči sobě odizolované Cu trubky. Trubky jsou v vzdálenosti 2 mm. Celkový počet trubek je šest, počet není konečný, lze jej navýšit nebo zmenšit. Zároveň lze měnit mezeru mezi trubkami. Krajní trubky pak obsahují konektory pro připojení kabeláže TC.

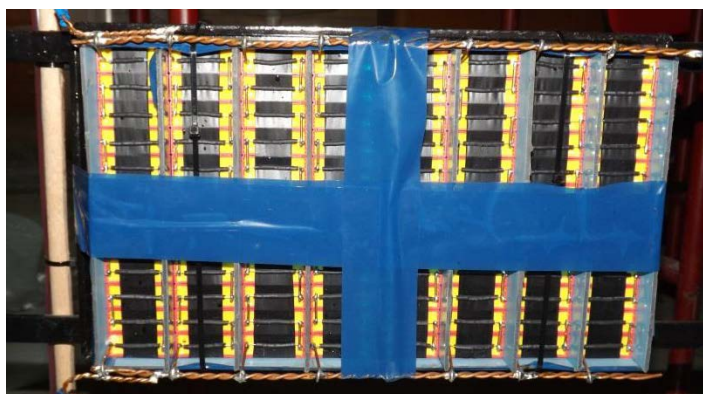


Obr. 3 Jiskřiště

1.1.3 Vysokonapět'ový kondenzátor

Prvek LC obvodu, který slouží jako akumulační jednotka, která se za určitý čas dokáže nabít na hodnotu zápalného napětí v jiskřišti (v řádech kV) a poté se v jednotkách mikrosekund dokáže vybit. Tento cyklus samozřejmě dokáže v krátkém čase opakovat. Kondenzátor musí být schopen odolat vysokému napětí střídavé impulzní charakteristiky. Proto je v celé konstrukci značně nad-dimenzován.

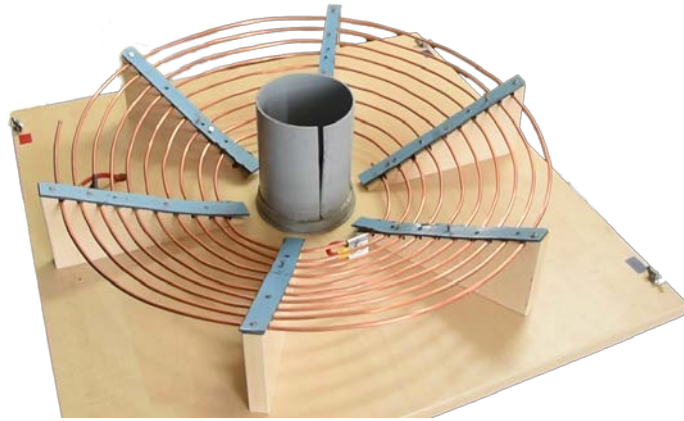
V konstrukci TC byl použit složený kondenzátor. Tzv. MMC (multi mini capacitor). Z důvodu vysoké pořizovací hodnoty jednolitého kondenzátoru. Použity byly impulzní kondenzátory značky WIMA. Konkrétní typ je FKP, svitkový polypropylenový kapacitor pro pulzní aplikace s kovo-vou folií. Celkově bylo použito 96 kondenzátorů (kapacita jednoho: 47 nF), které jsou rozděleny do 8 paralelních větví po 12 kondenzátorech. Celková kapacita takového kondenzátoru je pak 31 nF a elektrická pevnost pro střídavé napětí je přibližně 16 kV. Vypočítáno podle [3].



Obr. 4 Vysokonapět'ový kondenzátor

1.1.4 Primární cívka

Jedná se o vinutí přibližně 10-20 závitů drátu o průřezu přibližně 10 mm². Spolu s kondenzátorem vytváří LC obvod, který je zdrojem tlumených kmitů. Primární vinutí je ve vazbě se sekundárním vinutím. Je zodpovědný za přenos energie na sekundární cívku.



Obr. 5 Primární cívka

1.1.5 Sekundární cívka

Jedná se o PVC trubku, na které je navinuto 2000-3000 závitů. Poměrem počtu závitů proti primární cívce můžeme teoreticky ovlivnit velikost transformace napětí respektive, kolikrát se bude násobit napětí na primární straně.



Obr. 6 Sekundární cívka

1.1.6 Toroid

Jedná se o přídavnou kapacitu, která je vodivě spojena se sekundární cívkou. Jeho úkolem je snížit rezonanční frekvenci sekundární cívky.



Obr. 7 Toroid

1.2 Výpočet komponent Teslova transformátoru [3] [6] [8]

Níže se zabývám konkrétními výpočty jednotlivých komponent TC. Pro výpočet jsem primárně použil program pro výpočet přibližných hodnot komponent. Tento program vytvořil autor webu [6].

Webový kalkulátor pro výpočet hodnot TC se konkrétně nachází na adrese [8]. Tento program jsem použil z důvodu zrychlení a zpřesnění vývoje učební pomůcky.

1.2.1 Sekundární cívka

Nejprve jsem si musel rozmyslet, jak velký má být TC. Vzhledem k mobilitě sekundární cívka nesměla přesáhnout délku jednoho metru. Jako kompromis jsem zvolil výšku (H_s) vinutí 75 cm. Sekundární cívka je vinuta vodičem o průměru (d_v) 0,5 mm. Počet závitů je tedy o něco málo menší než:

$$N = \frac{H_s}{d_v} = \frac{0,75}{0,0005} = 1500$$

Další směrodatnou hodnotou je průměr sekundární cívky D , ten má hodnotu 11 cm. Je pravidlem, aby poměr průměru a výšky sekundárního vinutí byl mezi $\frac{1}{5}$ až $\frac{1}{10}$. [2]

Při výpočtu výsledné rezonanční frekvence musíme znát i hodnotu sekundární kapacity (toroidu), která činí $C_{\text{toroid}} = 19,6$ pF. (viz kap. 1.2.2)

Po dosazení všech hodnot dostáváme přibližnou rezonanční frekvenci sekundární cívky

$$f_0 = 158 \text{ kHz.}$$

Indukčnost je pak rovna $L_s = 33,5$ mH.

1.2.2 Sekundární kapacita (toroid)

Toroid má dva rozměry: vnější průměr (D) a průměr trubice toroidu (d), v mém případě je $D = 45$ cm a $d = 15$ cm.

Po dosazení do webového programu je kapacita toroidu $C_{\text{toroid}} = 19,6$ pF.

1.2.3 Primární cívka

K výpočtu primárního vinutí je zapotřebí vědět alespoň přibližnou hodnotu rezonanční frekvence, typ vinutí (v mém případě kuželová spirála) dále několik parametrů:

Vnější a vnitřní průměr cívky (d_1 a d_2), dále výšku vinutí a počet závitů. Ve svém TC jsem stanovil počet závitů mezi 8 – 10, výška vinutí byla nejefektivnější mezi 9 – 12 cm a průměry primárního vinutí byly pak 50 cm a 15 cm (vnější a vnitřní).

Po dosazení všech parametrů vychází indukčnost primárního vinutí $L_p = 28$ μ H a pro nás nejdůležitější údaj kapacita primárního kondenzátoru: $C_p = 35,8$ nF.

1.2.4 Kondenzátor [3]

Posledním výpočtem je výpočet kondenzátoru. Neboť by bylo velmi nákladné vyrábět profesionální kondenzátor o hodnotě 35,8 nF a dielektrické pevnosti 16 kV. Rozhodl jsem se tedy o sestavení sérioparalelního zapojení kondenzátorů, tzv. MMC.

Víme, že při sériovém spojování kondenzátorů je převrácená výsledná hodnota kondenzátoru rovna součtu převrácených hodnot. Řečí matematiky:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Dále je známo, že při paralelním zapojení se hodnoty kondenzátorů sčítají:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Pro TC jsem se rozhodl použít max. 100 kusů pulzních kondenzátorů foliového typu FKP o hodnotě 47nF a dielektrické pevnosti 2000 VDC.

Spočítal jsem, že použiji 8 paralelních větví po 12 sériově řazených kondenzátorech. Tedy celkový počet 96 kondenzátorů. Abych se co nejvíce přiblížil vypočtené hodnotě ($C_p = 35,8 \text{ nF}$).

Sériová větev má hodnotu:

$$\frac{1}{C_s} = 12 * \frac{1}{47} \text{ [nF]}$$

$$C_s = 3,92 \text{ nF}$$

Celkový počet paralelních větví je 8:

$$C = 8 * C_s \text{ [nF]}$$

$$C = 31,3 \text{ nF}$$

Dielektrická pevnost takového kondenzátoru je rovna součtu dielektrických pevností jedné sériové větve, za předpokladu, že jsou všechny větve shodné.

Pro DC proud:

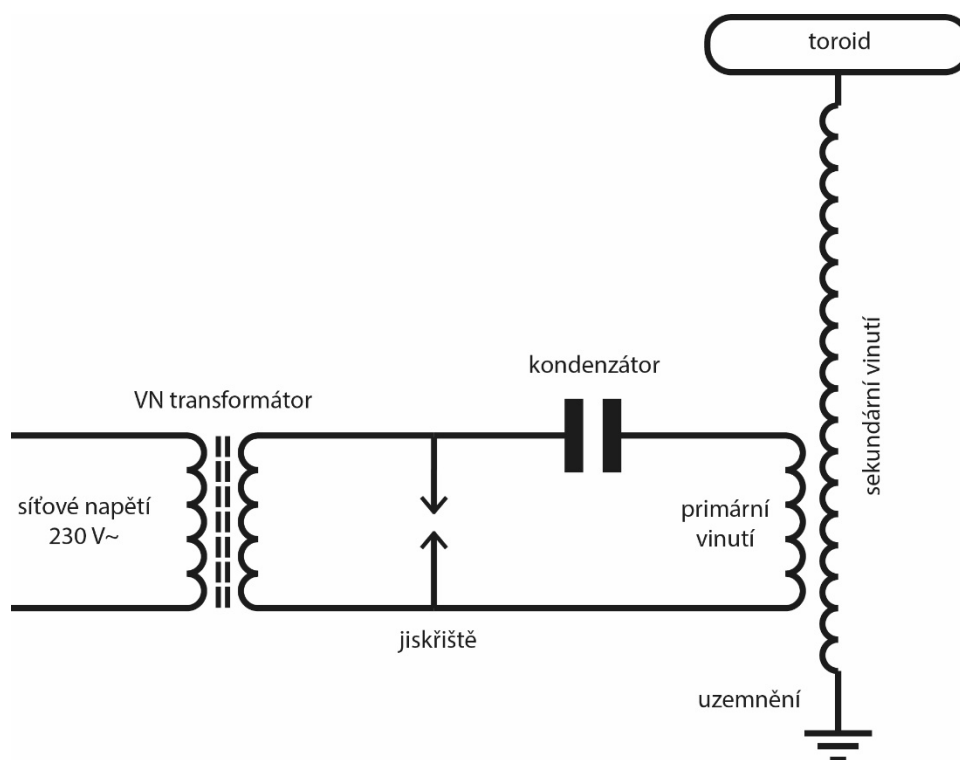
$$U_{DCmax} = 12 * 2000 \text{ V} = 24 \text{ kV}$$

Pro AC proud:

$$U_{ACmax} = \frac{12 * 2000}{\sqrt{2}} \text{ V} = 17,0 \text{ kV}$$

1.3 Průběh napětí SGTC [2] [4] [5] [6]

Celé schéma můžete vidět na Obr. 8.



Obr. 8 Schéma klasického Teslova transformátoru

1.3.1 Transformace

Klasický Teslův transformátor potřebuje ke své funkci vysoké napětí. To získá ve vysokonapětovém transformátoru. Jak jsem již zmínil, použil jsem vysokonapětový transformátor pro neonové reklamy. Jedná se o nejlepší možný typ transformátoru, který lze použít pro konstrukci TC. Lze jej totiž bezpečně zkratovat (i na delší dobu), aniž by se poškodil VN transformátor.

V první fázi máme tedy napětí transformováno na hladinu v řádech (jednotek až desítek) kV. V mém případě na primární straně kalkuluji s hodnotou napětí 10 kV.

1.3.2 Akumulace

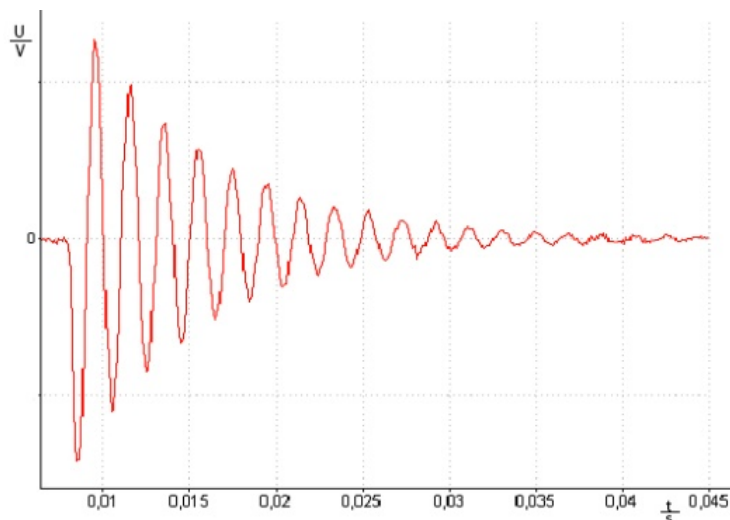
Ve druhé fázi jde proud přes zjednodušený RC obvod, kondenzátor se nabije na hodnotu napětí, která je (ideálně) velmi blízká hodnotě výstupu VN transformátoru (v našem případě cca 10 kV). Kondenzátor nelze zvolit kterýkoliv. Musí splňovat pulzní charakteristiky provozu, je na něj kladen vysoký nárok. Zde se vyplatí kondenzátor naddimenzovat.

V této fázi je ještě stále jiskřiště v nevodivém stavu.

1.3.3 Indukce proudu v sekundární cívce

Dochází k vyrovnání zapalovacího napětí v jiskřišti a k přeskočení jiskry v jiskřišti. Tato fáze je důležitá, neboť se energie nahromaděná v kondenzátoru přesune přes jiskřiště do primární cívkky, která začne vytvářet magnetické pole, které začne indukovat proud v sekundární cívce.

Neboť jsou obě dvě cívky v rezonanci, respektive frekvence sekundární cívky odpovídá frekvenci LC obvodu, dochází k tlumeným kmitům. Celý cyklus se opakuje s frekvencí stovek tisíc Hz. Graf závislosti napětí na čase můžete vidět na Obr. 9



Obr. 9 Tlumené kmitání

2 Mechanická konstrukce Teslova transformátoru

2.1 Železná konstrukce

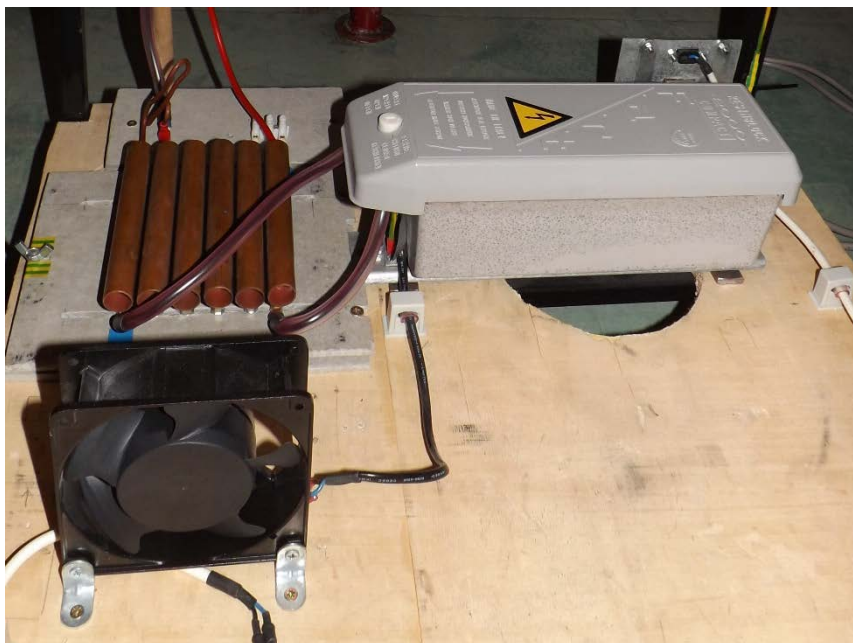
Pro Teslův transformátor byla vyrobena konstrukce z železných profilů, které zaručí pevnost celé konstrukce. Konstrukce je celá svařovaná, a tedy nepočítám s budoucím rozebíráním. Pro ocel rozhodla cena a jednoduchost celé výroby. Na rozdíl od hliníku je levnější a snadněji svařovatelná. Nevýhodou je však vyšší hmotnost celé konstrukce.

Na tuto kovovou konstrukci dále navazují kolečka, která jsou připevněna ke spodní straně trojicí šroubů, což zaručuje dostatečnou pevnost. Dále je celá konstrukce vodivě spojena s nulovým potenciálem viz Obr. 10



Obr. 10 Zemní smyčka

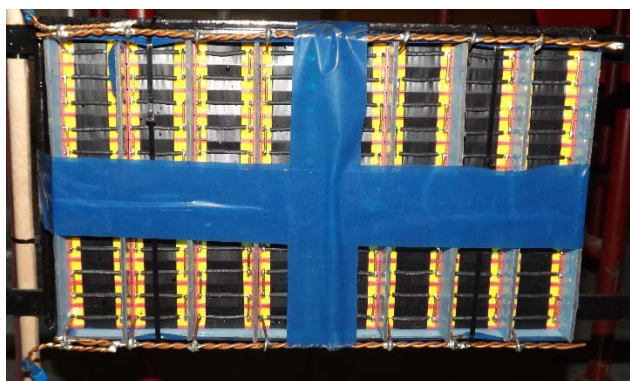
Pro upevnění součástí TC a dalších komponent (kabelů a konektorů...) byla použita dřevěná překližka, která je připevněna ke konstrukci. Na ní spočívají dvě hlavní komponenty, a to VN transformátor a jiskřiště. Dále pak kabeláž a větrák, který slouží k chlazení jiskřiště.



Obr. 11 Základní deska Teslova transformátoru

2.2 Uchycení kondenzátoru

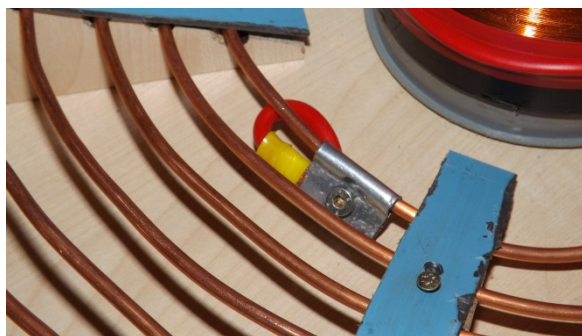
Vlastní kondenzátor je složen z 96 menších kondenzátorů a svými rozměry zabírá velkou plochu. Protože takto složený kondenzátor není dostatečně tuhý, nechal jsem zhotovit kovové pouzdro, do kterého kondenzátory bezpečně pasují. Toto pouzdro zároveň slouží jako chladič pro kondenzátory. Kondenzátor jsem ke konstrukci připevnil z vnitřní strany, tak aby zabíral minimum prostoru, ale zároveň byl schopný konektivity.



Obr. 12 Vysokonapěťový kondenzátor

2.3 Primární cívka

Vrchní strana je vyrobena z laminátové desky, která byla vyrobena přesně pro tento projekt firmou Interiéry Buček, s. r. o. Na této desce se nachází fixně umístěné primární vinutí, které je provedeno měděnou trubičkou průměru 4 mm. Trubička byla použita díky své jednoduchosti a vzhledu. Původně byl použit kroucený drát, jehož instalace byla obtížná a celkově byl nevzhledný. Neboť se na primárním vinutí vyskytuje životu nebezpečné napětí a proud, rozhodl jsem se jej zakrytovat do průhledného krytu, který zabrání nechtěnému dotyku lidského těla s živou částí elektrického obvodu.



Obr. 13 Detail připojení primární cívky

2.4 Mechanické provedení sekundární cívky

Dalším prvkem, který se nachází na horní desce, je sekundární cívka, která značně dominuje celému zařízení. Cívka je navinuta na PVC trubce průměru 13 cm. Vinutí je provedeno Cu drátem průměru 0,5 mm. Celkový počet závitů odhaduji přibližně na 2500 závitů, vinutí bylo provedeno na soustruhu. Na sekundárním vinutí respektive na trubce sekundárního vinutí je umístěna přídavná kapacita, toroid. Jedná se o hliníkový husí krk, který je vodivě spojen s výstupem sekundárního vinutí na horní straně. Plní úlohu přídavné kapacity a snižuje tak frekvenci sekundární cívky. Abychom snáze dosáhli rezonanční frekvence TC.

2.5 Finanční náročnost

V následující tabulce (Tab. 1) naleznete finanční náročnost projektu, tabulka zahrnuje pouze náklady za materiál.

Název	Cena (Kč)
VN transformátor	3.500,-
Kondenzátor	3.200,-
Sekundární vinutí	600,-
Kovová konstrukce, šrouby, matice	1.300,-
Kabeláž	700,-
Toroid	700,-
Primární vinutí	1.000,-
Konektory, pájecí očka, distanční svorky	500,-
Komponenty jiskřiště	400,-
Celkem	11.900,-

Tab. 1 Kalkulace ceny

Jak můžeme vidět, finanční náročnost tohoto projektu nepřekročila hranici 15.000 Kč. Což si myslím, že je horní hranice, pro realizaci projektu na škole. Zároveň jsem se nepřekročil rozpočet vydaný Matematicko-fyzikální fakultou, který činil 12.000 Kč.

Po krátkém hledání na internetu jsem objevil Teslův transformátor jako učební pomůcku, jejíž cena byla 28.000 Kč. [7]

3 Výukový materiál „Bleskostroj aneb fyzikální experimenty atraktivně“

3.1 Plán výukového modulu

Název modulu:	Bleskostroj aneb fyzikální experimenty atraktivně
Druh materiálu:	motivační experimenty
Druh interaktivity:	práce s informacemi, tvorba prezentace
Cílová skupina:	žák
Stupeň a typ vzdělání:	nižší a vyšší stupeň gymnázií, střední odborné školy
Věk:	12-18 let
Zařazení v RVP:	
Vzdělávací oblast:	Člověk a příroda
Obor	Fyzika
Téma:	Elektromagnetické a světelné děje (ZŠ) Elektromagnetismus (Gymnázia)

Cíl:

- Podněcovat žáky k tvořivému myšlení, logickému uvažování a řešení problémů.
- Rozvíjet u žáků schopnost spolupracovat a respektovat práci a úspěchy vlastní i druhých.
- Motivovat žáky pro studium přírodních oborů, zejména fyziky.
- Učit žáky chránit zdraví sebe i ostatních, dbát dodržování zásad bezpečnosti.

Klíčové kompetence:

kompetence k učení, kompetence k řešení problémů a kompetence komunikativní

Realizace projektu:

- a) Stavba Teslova transformátoru, jeho zprovoznění.
- b) Zajištění dohledu osoby způsobilé a obeznamené s vyhláškou 50/1978 Sb. (o odborné způsobilosti v elektrotechnice)
- c) Proškolení žáků o dodržování pravidel bezpečnosti v průběhu experimentu
- d) Vlastní realizace experimentů
- e) Prezentace žáků
- f) Hodnocení a výstup

3.2 Přílohy

Byly vytvořeny doprovodné materiály, jak pro učitele (demonstrátora), tak i pro žáky (posluchače). Byl brán zřetel na jednoduchost, srozumitelnost. Doplnkové materiály čítají příručku učitele, pracovní listy pro žáky a DVD s videozáznamy jednotlivých experimentů. Materiály na sebe přirozeně navazují, nicméně demonstrátor není povinen je využít k demonstraci pokusů.

3.3 Příručka učitele

Jedná se o samostatnou brožuru, která je určená demonstrátorovi. V této příručce se nachází jednak základní postup uvedení TC do funkčního stavu, tak i popis jednotlivých experimentů, které jsou doplněny o názorné obrázky každého experimentu.



Obr. 14 Učiteléská příručka - titulní strana

3.4 Pracovní listy žáků

Byly vytvořeny jako doplněk Teslova transformátoru. Jsou určeny nejen pro žáky, ale pro všechny, které jakkoliv Teslův transformátor zajímá a chtějí se o něj něco nového dozvědět.

3.5 Videozáznam

Pro potřeby učební pomůcky byly vytvořeny jednotlivé videozáznamy experimentů, které jsou uvedeny v příručce učitele. Záznam byl pořízen během dvou dnů ve spolupráci mých spolužáků.

Video se nachází na přiloženém DVD nosiči. Zohledňuji nebezpečnost některých experimentů, proto jsem se rozhodl z důvodu bezpečnosti demonstrátora a zbylých lidí, natočit video. Dalším aspektem je mobilita videozáznamu, učitel proto nemusí pro demonstraci zapojovat TC, stačí, aby žákům spustil videozáznam. Vyučující v dnešní době mají obecně nedostatek času pro demonstraci pokusů. Vytvořením videozáznamu se jim snažím vyjít vstříc.

3.5.1 Zpracování videozáznamu

Pro záznam jsem použil digitální zrcadlovku. Proti nežádoucímu roztřesení jsem využil stativ, který fotoaparát dokonale stabilizoval. Jako nahrávací místnost nám posloužila učebna fyziky. Jako pozadí jsem použil černou netkanou textilii.

Nahrané video jsem posléze nastříhal a opatřil audio stopou. Audio stopa je vybrána mezi nahrávkami ve verzi public domain (volně šiřitelné dílo). Video bylo posléze exportováno na DVD nosič, dále byl vytvořen i flashdisk se všemi dokumenty a videozáznamy experimentů.

3.6 Praktické využití

Teslův transformátor byl několikrát využit při výuce v naší škole. Slouží jako motivační pokus pro naše mladší spolužáky, které nejdříve dokázal motivovat pro vlastní tvorbu.

Nesmím opomenout ani na kladné ohlasy žáků, kteří si z návštěvy naší školy při dnu otevřených dveří odnášeli především zážitky z experimentů s TC.



Obr. 15 Demonstrace pokusu při dnu otevřených dveří

4 Popis experimentů

Protože by samotný TC byl nevyužitelný bez experimentů, rozhodl jsem se realizovat sadu experimentů. Tyto experimenty mají za úkol pomoci nejen žákům hravě porozumět některým fyzikálním zákonitostem, ale i učitelům, kterým mohou sloužit jako vodítko.

4.1 Sršení a korona

Experiment slouží pro otestování funkčnosti TC. Experiment zároveň slouží jako seznámení s funkčností TC, žákům, kteří experiment vidí poprvé v životě, má za úkol předvést, co umí VVN napětí.

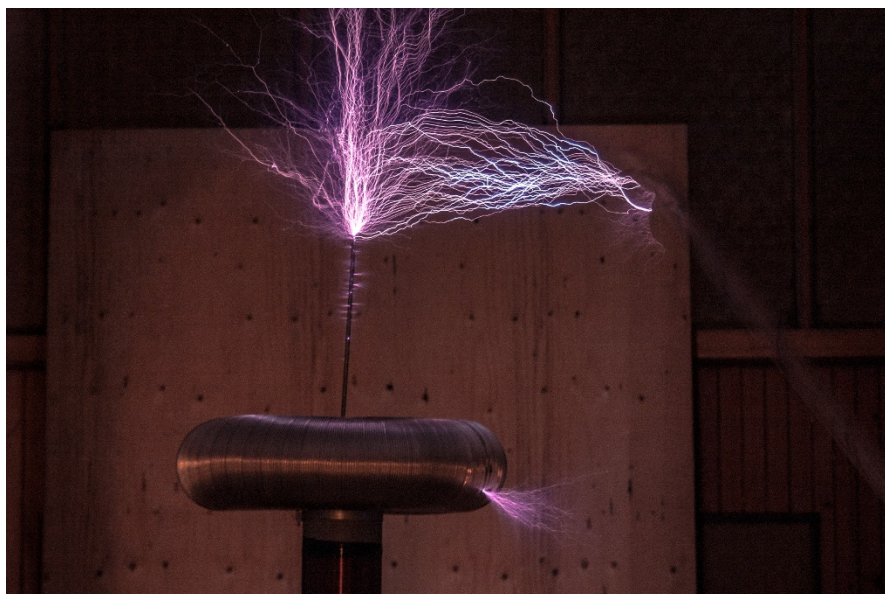
Pokus je zároveň provázen silným akustickým efektem, který může být ve špatně odhlučněné místnosti značně nepříjemný.



Obr. 16 Sršení a korona

4.2 Sršení do uzemněných předmětů

Tento pokus se snaží vizualizovat maximální „výkon“ TC, maximální elektrický potenciál TC vůči nulovému potenciálu, zemi.



Obr. 17 Sršení do uzemněných předmětů

4.3 Rozsvěcení zářivek a úsporných žárovek na dálku

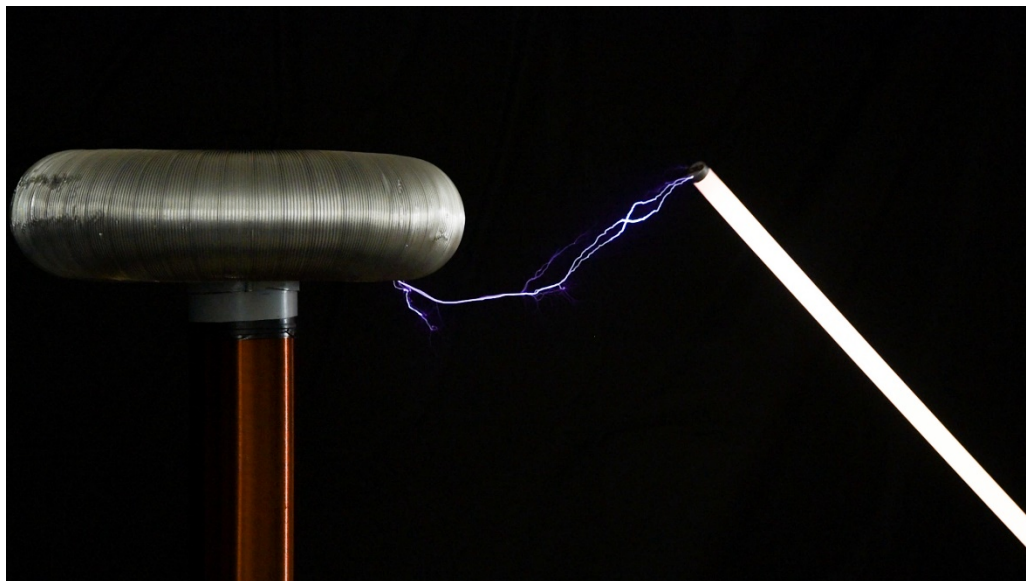
Jelikož je TC zdrojem vf VVN, dokáže na vzdálenost. Vzdálenost, na které můžeme sledovat tento jev, je nepřímo úměrná ke druhé mocnině vzdálenosti od TC (přibližně).



Obr. 18 Rozsvěcení zářivky na dálku

4.4 Sršení do zářivky

Při tomto experimentu si můžeme ověřit v praxi skin efekt, který je



Obr. 19 Jiskrový výboj do zářivky

4.5 Lidské tělo jako vodič

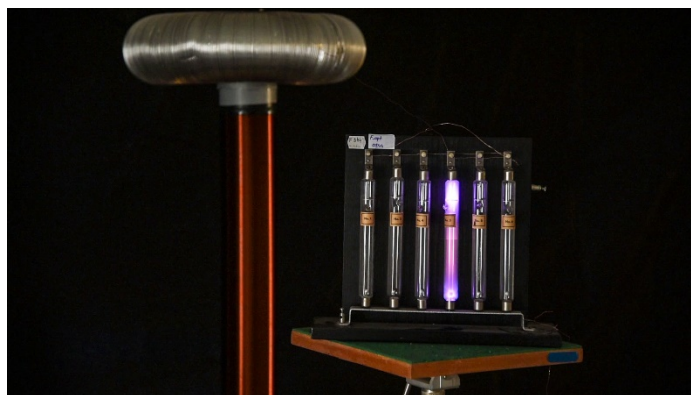
Stejně jako předchozí pokus, i zde je přímo ohrožen demonstrátor na životě. Nicméně na přiloženém DVD můžeme krásně pozorovat, že lidské tělo opravdu vede el. proud.



Obr. 20 Lidské tělo jako vodič

4.6 Výboje za sníženého tlaku

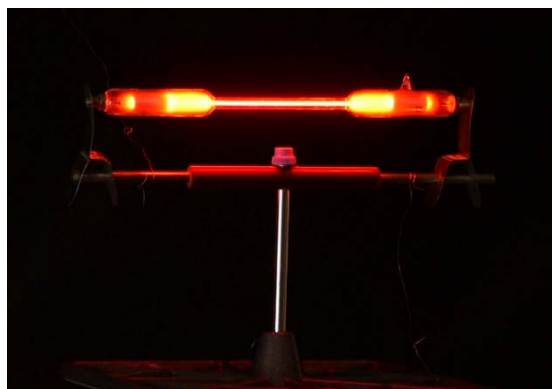
Experiment slouží pro demonstraci závislosti výboje na tlaku a ukazuje žákům, na jakém principu fungují zářivky.



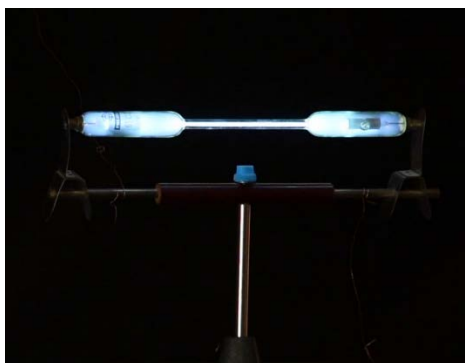
Obr. 21 Výboje za sníženého tlaku

4.7 Výboje v různých plynech

Tento pokus pouze rozšiřuje předchozí pokus.



Obr. 22 Doutnavý výboj v Neonu



Obr. 23 Doutnavý výboj v CO₂

Závěr

Fyzikální experiment je základním prostředkem fyzikálního vědeckého bádání. Ve výuce fyziky má proto demonstrační i žákovský pokus nenahraditelné postavení. Tento pokus můžeme použít ve všech fázích vyučovací hodiny. Uvedené fyzikální experimenty mohou využívat učitelé na základních i středních školách při probírání učiva fyziky, zvláště témat spojených s elektřinou a magnetismem.

Informační a komunikační technologie přinesly do výuky řadu nových možností. Jednoduché pokusy je možno dnes demonstrovat i pomocí promítání videozáznamu. Proto jsem uvedené fyzikální experimenty natočil a k práci přikládám výukové video. Využití těchto videopokusů není podle mého názoru jen módním výukovým výstřelkem, ale má mnoho pozitivních přínosů pro žáky i učitele. Na videu jsou pokusy, které není možno provádět na řadě škol z důvodů technické vybavenosti i bezpečnosti. Jednotlivé videoexperimenty určitě oživí hodiny fyziky na základních i středních školách. Umožní žákům porozumět zákonitostem fyzikálních procesů, uvědomit si užitečnost fyzikálních poznatků a jejich aplikaci v životě. Rozvíjí se dovednost soustavně pozorovat, experimentovat a vyvozovat závěry. Žák se učí zkoumat příčiny fyzikálních procesů, vysvětlovat pozorované jevy, hledat a řešit problémy spojené s realizací experimentů.

Pomůckou pro učitele jsou i pracovní listy, které obsahují některé kontrolní otázky a problémové úkoly, které je možno žákům zadat. Společně s realizací experimentů mohou doplňující úkoly rozšířit učitelův výklad, a tak podnítit žáka ke studiu přírodních věd.

Seznam bibliografických záznamů

- [1] Výbojný Matfyz FEAT. *Matfyz.cz* [online]. b.r. [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://www.matfyz.cz/clanky/157-vybojny-matfyz-feat>
- [2] *DANYK.CZ - Elektrotechnika, schémata, návody* [online]. Mělník, 2002 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://danyk.cz/>
- [3] Výroba MMC kondenzátoru. *Elektrolab* [online]. 2007-2014 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: http://elektrolab.wz.cz/?jine=vyroba_mmc
- [4] MAŠLÁŇ, Stanislav. *Elektronika: elektronika kvalitně* [online]. Brno, 2004 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://elektronika.kvalitne.cz/>
- [5] LYSENKO, Vladimír. *VN zdroje: zdroje vysokého napětí pro experimenty, pokusy a měřicí přístroje, ochranné pomůcky*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 246 s. ISBN 978-80-7300-235-0.
- [6] *Rayer* [online]. b.r. [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://rayer.g6.cz/>
- [7] Teslův transformátor. *Helago: Vybavení laboratoří* [online]. b.r. [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://www.helago-cz.cz/eshop-tesluv-transformator-140159.html>
- [8] *Rayer: Jednoduchý elektro & TC kalkulačtor ver. 2.0 v PHP* [online]. [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <http://rayer.g6.cz/php/elcalc.php>

Seznam zkratk

TC	Teslův transformátor (z angl. Tesla coil)	
SGTC	Klasický jiskřišťový Teslův transformátor (Spark Gap Tesla Coil)	
LC	Obvod s indukčností a kapacitou	
MMC	Multi Mini Capacitor (složený kondenzátor)	
VVN	Velmi vysoké napětí	
VN	Vysoké napětí	
v _f	Vysokofrekvenční	
H _s	výška vinutí sekundární cívky	[cm]
d _v	průměr vinutí sekundární cívky	[mm]
N	počet závitů	
D, d ₁	vnější průměr	[cm]
d, d ₂	vnitřní průměr	[cm]
C _{toroid}	kapacita toroidu	[pF]
L _s	Indukčnost sekundární cívky	[mH]

L_p	indukčnost primární cívky	[μH]
f_0	rezonanční frekvence LC obvodu	[kHz]
C, C_p	kapacita primárního kondenzátoru	[nF]
C_s	kapacita sériové větve kondenzátoru	[nF]
U_{DCmax}	dielektrická pevnost pro DC proud	[kV]
U_{ACmax}	dielektrická pevnost pro AC proud	[kV]
AC	střídavý proud	
DC	stejnoseměrný proud	
CO ₂	Oxid uhličitý	
DVD	Digital Versatile Disc (Digitální víceúčelový disk)	
ZŠ	Základní školy	
resp.	Respektive	
Obr. X	Obrázek číslo X	
Tab. X	Tabulka číslo X	

Seznam obrázků

Obr. 1 VN transformátor, bez ochranného krytu	11
Obr. 2 VN transformátor, s nasazeným krytem	11
Obr. 3 Jiskřiště	12
Obr. 4 Vysokonapět'ový kondenzátor	12
Obr. 5 Primární cívka.....	13
Obr. 6 Sekundární cívka.....	13
Obr. 7 Toroid.....	13
Obr. 8 Schéma klasického Teslova transformátoru	16
Obr. 9 Tlumené kmitání	17
Obr. 10 Zemnicí smyčka	17
Obr. 11 Základní deska Teslova transformátoru.....	18
Obr. 12 Vysokonapět'ový kondenzátor	18
Obr. 13 Detail připojení primární cívky.....	19
Obr. 14 Učitel'ská příručka - titulní strana.....	22
Obr. 15 Demonstrace pokusu při dnu otevřených dveří	23
Obr. 16 Sršení a koróna.....	24
Obr. 17 Sršení do uzemněných předmětů	25
Obr. 18 Rozsvěcení zářivky na dálku	25
Obr. 19 Jiskrový výboj do zářivky.....	26
Obr. 20 Lidské tělo jako vodič.....	26
Obr. 21 Výboje za sníženého tlaku	27
Obr. 22 Doutnavý výboj v Neonu	27
Obr. 23 Doutnavý výboj v CO ₂	27
Obr. 9	cit: LC - oscilátor. <i>Školní experimentální systém ISES</i> [online]. 2015 [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: http://www.ises.info/old-site/index.php?s=ela&f=lu311

Obr. 15 Majitel snímku: Purkyňovo gymnázium, příspěvková organizace

Autorem a vlastníkem zbylých snímků je autor práce, Vladimír Pokorný.

Doprovodná hudba k videu byla stažena ve verzi freeware:

HOLMES, Scott [online] http://freemusicarchive.org/music/Scott_Holmes/

Seznam tabulek

Tab. 1.....18

Seznam příloh

1. Příručka učitele
2. Pracovní listy žáků
3. DVD nosič s video záznamy experimentů