

- [8] Šíra, M.: Metrologie a revize SI (od artefaktů ke kvantovým etalonům). Dostupné online: http://www.physics.muni.cz/kof/kavarna/redefinice_SI.pdf
- [9] Český metrologický institut: Nová definice základních jednotek SI. ČMI, Brno, 2018. Dostupné online: https://www.cmi.cz/redefinice_SI
- [10] Svoboda, E. a kol.: Fyzika pro gymnázia. Mechanika. 5. přepracované vydání, Prometheus, Praha, 2013.
- [11] Lepil, O. a kol.: Fyzika pro střední školy I. Prometheus, Praha, 2012.
- [12] Svoboda, E. a kol.: Přehled středoškolské fyziky. Dotisk 5. vydání, Prometheus, Praha, 2018.
- [13] Štoll, I.: Fyzika pro gymnázia. Fyzika mikrosvěta. Prometheus, Praha, 2002.
- [14] Lepil, O.: Fyzika pro gymnázia. Optika. 5. přepracované vydání, Prometheus, Praha, 2015.
- [15] Lepil, O., Šedivý, P.: Fyzika pro gymnázia. Elektřina a magnetismus. 7. přepracované vydání, Prometheus, Praha, 2017.
- [16] Svoboda, E., Bartuška, K.: Fyzika pro gymnázia. Molekulová fyzika a termika. 6. přepracované vydání, Prometheus, Praha, 2016.

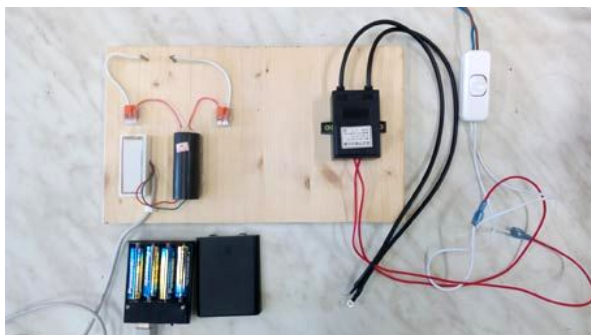
Náhrada Ruhmkorffova induktoru zdroji vysokého napětí

ČENĚK KODEJŠKA

Gymnázium, SOŠ a VOŠ, Komenského 77, Nový Bydžov

Tento článek se zabývá realizací experimentů, které pro své provedení používají Ruhmkorffův induktor. Za všechny jmenujme např. výboje v plynu, jiskrový výboj, nebo elektrostatické kyvadlo. Vzhledem k tomu, že Ruhmkorffův transformátor patří už mezi historické pomůcky, které ve fyzikálním kabinetě spíše dosluhují, oprava většinou není možná, a cena nového induktoru se pohybuje od 7 000 Kč do 12 000 Kč [1–3], zabývali jsme se možností náhrady této pomůcky levnými zdroji vysokého napětí,

kteře lze získat za několik málo dolarů či eur v mezinárodních e-shopech jako je Amazon nebo AliExpress.



Obr. 1 Zdroje vysoké napětí 400 kV a 15 kV

V následujících experimentech byly použity jako zdroje vysokého napětí DC 3V-6V to 400kV Boost Step up Power Module High Voltage Generator [4] a AC 220V High Voltage Generator Boost Step-up Power Module Module Continuous Igniter 15kV 1A-2A [5]. Pro jednoduchost je budeme označovat jako DC 400 kV a AC 15 kV.

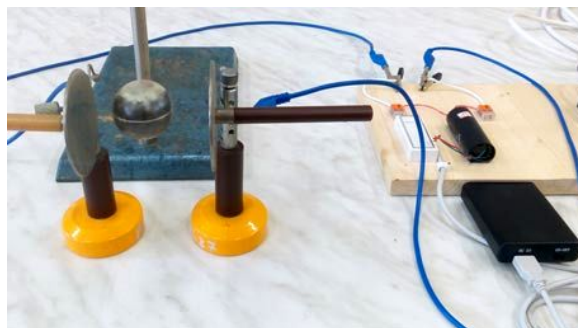
Náhradou Ruhmkorffova induktoru se zabývali různí autoři, např. v [6] je uveden popis výroby jednoduchých zdrojů vysokého napětí určených pro školní praxi. Učitel ale musí být obeznámený s konstrukcí plošných spojů a s technikou pájení. Naším cílem bylo vyzkoušet funkčnost zdrojů vysokého napětí přímo od výrobce, bez dalších úprav nebo konstrukce dodatečných elektronických obvodů. Na obr. 1 jsou oba zdroje napětí umístěny na jedné dřevěné desce, vlevo je DC 400 kV, vpravo AC 15 kV.

Experimenty s vysokonapěťovým transformátorem 3 V–6 V/400 kV

Zdroj DC 400 kV je napájen vstupním stejnosměrným napětím 3 V až 6 V (červený a zelený vodič), vstupní proud je dle výrobce 2 A–5 A, jak ale bylo ověřeno, lze bez problému použít čtyři tužkové alkalické baterie o jmenovitém napětí jednoho článku 1,5 V. My jsme je umístili do speciálního pouzdra s USB výstupem, ze kterého jsme pomocí upraveného USB kabelu (ponecháním pouze černého a červeného napájecího kabelu) napájeli induktor.

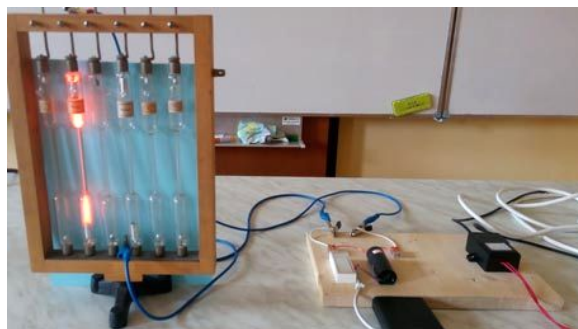
Výstupní napětí 400 kV (dvojice světle červených vodičů) má pulzní charakter a dle výrobce nesmí být zdroj sepnutý déle než 60 s. K tomu účelu byl obvod doplněn zvonkovým tlačítkem. Jiskrový výboj mezi výstupními kontakty přeskočí při maximální vzdálenosti hrotů 10 mm–20 mm.

Tento zdroj napětí můžeme použít např. pro demonstraci práce, kterou konají elektrické síly v homogenním elektrickém poli mezi dvěma rovnoběžnými deskami. Známý experiment s elektrostatickým kyvadlem je na obr. 2.

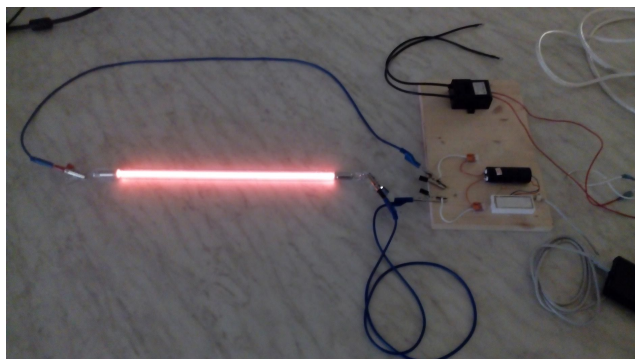


Obr. 2 Elektrostatické kyvadlo se zdrojem DC 400 kV

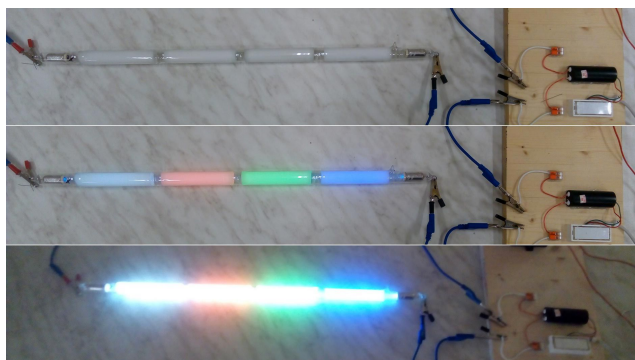
Plně dostačující je tento zdroj také pro experimenty s výboji v různých plynech (obr. 3), k pokusu s neonovou reklamní zářivkou (obr. 4), nebo při ukázce různých luminoforů pokrývajících vnitřek trubice (obr. 5). V horní třetině obr. 5 je trubice bez napětí, fotografie uprostřed zobrazuje trubici připojenou ke zdroji DC 400 kV v běžném osvětlení, dolní část fotografie je pořízena při sníženém osvětlení, kdy více vyniknou barvy.



Obr. 3 Výboje v různých plynech se zdrojem DC 400 kV



Obr. 4 Neonová zářivka se zdrojem DC 400 kV

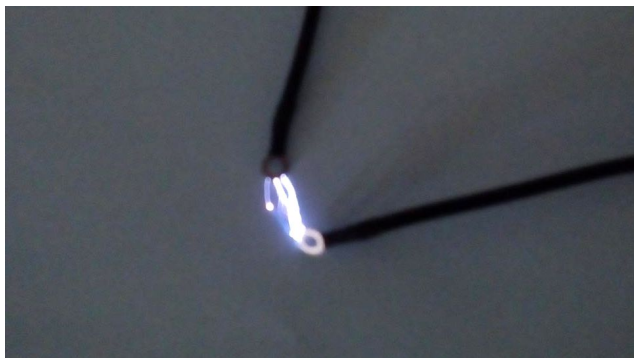


Obr. 5 Trubice s různými luminofory napájená zdrojem DC 400 kV

Experimenty s vysokonapěťovým generátorem AC 220 V/15 kV

K některým experimentům byl výkon zdroje DC 400 kV nedostatečný, a proto jsme vyzkoušeli i zdroj AC 15 kV, který je napájen střídavým napětím 240 V. Vstupní proud výrobce udává 1 A–2 A, délka napájecích červených vodičů je cca 20 cm, výstupní černé vysokonapěťové vodiče mají délku přibližně 30 cm, přičemž napětí je polarizováno, lze tedy stanovit kladný a záporný pól. Tuto vlastnost jsme ale netestovali, protože v následujících dvou experimentech ji nebylo nutné použít.

Prvním experimentem je ukázka jiskrového výboje o délce 1,5 cm–2 cm, který je na obr. 6.



Obr. 6 Jiskrový výboj se zdrojem AC 15 kV

Druhým experimentem je výboj v plynu za sníženého tlaku, který nelze z důvodu malého výkonu realizovat s předešlým zdrojem DC 400 kV. Výbojové trubice s různým tlakem plynu poskytovaly podobný obraz, jako s využitím Ruhmkorffova induktoru (obr. 7).



Obr. 7 Výboje za sníženého tlaku se zdrojem AC 15 kV

Bohužel, ani s jedním z výše uvedených zdrojů nelze realizovat takové klasické experimenty, jako je demonstrace elektrického pole kolem nabitě koule, která se provádí pomocí třásní umístěných v jednom bodě na povrchu izolované kovové kuličky, nebo demonstrace Coulombova zákona, kdy pozorujeme přitahování či odpuzování nabitých ping-pongových míčků. V těchto případech musíme použít osvědčený Wimshurstův třecí induktor nebo Van de Graaffův generátor.

Závěr

V této práci jsme se zabývali náhradou Ruhmkorffova induktoru v některých pokusech z elektrostatiky, nebo demonstračních experimentech s výboji v plynech.

Použité zdroje vysokého napětí DC 3V-6V to 400kV Boost Step up Power Module High Voltage Generator a AC 220V High Voltage Generator Boost Step-up Power Module Continuous Igniter 15kV 1A-2A se osvědčily zejména u výbojů, některé klasické experimenty s těmito zdroji ale realizovat nelze. Důvodem je pravděpodobně malý výkon zdrojů a malá intenzita elektrického pole obou zdrojů.

Výhodou použitých vysokonapěťových zdrojů je zejména jejich nízká cena nepřevyšující 200 Kč, rychlost zapojení a absence pohyblivých částí, které v případě kladívka Ruhmkorffova transformátoru způsobují občas problémy s funkčností induktoru.

Literatura

- [1] Ruhmkorffova indukční cívka, [online], dostupné z <https://www.heлаго-cz.cz/eshop-5207-ruhmkorffova-indukcni-civka-148020.html>
- [2] Induktor Ruhmkorffa, [online], dostupné z: <https://www.sklep.fpnnysa.com.pl/induktor-ruhmkorffa-induction-coil-Funkeninduktor>
- [3] Ruhmkorffův induktor, [online], dostupné z <https://www.skolni-pomucky.eu/hlavni-oddeleni/vsechny-kategorie/ucebni-pomucky/fyzika/elektrina-a-mag/ostatni/ruhmkorffuv-induktor-%2803-053-1-442%29.html>
- [4] Yosoo High Voltage Transformer DC 3v-6v to 400kV Boost Step-up Power Module High-voltage Generator, [online], dostupné z <https://www.amazon.com/Yosoo-Voltage-Transformer-High-voltage-Generator/dp/B01C2IVE6Q/>
- [5] AC 220V High Voltage Generator Boost Step-up Power Module Module Continuous Igniter 15kV 1A-2A, [online], dostupné z <https://www.amazon.com/Voltage-Generator-Step-up-Continuous-Igniter/dp/B07FXFRQXJ/>
- [6] Šlégr, J.: Jednoduché zdroje vysokého napětí pro školní praxi. VNUF 18, Hradec Králové, 2013.