

MEASUREMENT OF AN ELECTRIC ARC SPECTRA

David Šimek

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xsimek18@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Vladimír Aubrecht

E-mail: aubrecht@feec.vutbr.cz

Abstract: Article is focused on electric arc spectroscopy diagnostics related to electric low voltage apparatuses. The first attempts of spectroscopy measurements are dealt with. An example of radiation spectra of the electric arc burning between copper electrodes is presented. The problems connected with the measurements are discussed.

Keywords: Electric arc, high temperature measurement, atomic emission spectroscopy.

1. ÚVOD

Při zapínání a vypínání výkonových elektrických obvodů se zátěží vzniká mezi pohybujícími se kontakty spínacího přístroje elektrický oblouk. S tímto jevem se každodenně setkáváme v různých spínačích domácích spotřebičů, nebo i elektroinstalačním vypínači. V těchto přístrojích nastává spínání při jmenovitých proudech jednotlivých zařízení, a proto přístroje nemají speciální konstrukční řešení pro zhasnutí elektrického oblouku. Takovéto přístroje jsou opatřeny pouze kontakty z odolných materiálů, které musejí mít: dobrou mechanickou odolnost, dobrou tepelnou odolnost a zároveň dobrou elektrickou vodivost. Bohužel při řešení materiálů kontaktní dvojice musíme volit kompromis mezi těmito vlastnostmi, protože materiály s dobrou tepelnou a mechanickou odolností nejsou dobré vodiče elektřiny.

Problém nastává tehdy, když vypínáme větší než jmenovité proudy. Přístroje jmenované výše, nejsou konstrukčně uzpůsobené ke zhasnutí elektrického oblouku vzniklého při vypínání proudu většího než jmenovitého. Pokud by došlo k plnému oddálení kontaktů u těchto přístrojů a elektrický oblouk by nebyl uhašen, došlo by k destrukci zařízení. Z tohoto důvodu musejí být v každé elektroinstalaci nainstalovány jistící prvky, které nadproudy a zkraty vyhodnotí a včas odpojí poruchový obvod. Jistící prvky mají speciální konstrukci pro zhasnutí elektrického oblouku.

Pokud nedojde v jistících přístrojích k uhašení oblouku vlivem oddalování kontaktů, je hořící oblouk pomocí Lorentzovy síly přesunut z kontaktní dvojice do zhasací komory, kde dojde pomocí roštu k rozdělení oblouku na malé úseky. Tímto se sníží napětí na oblouku, zlepši se odvod tepla, rekombinace je četnější než ionizace a oblouk zhasíná.

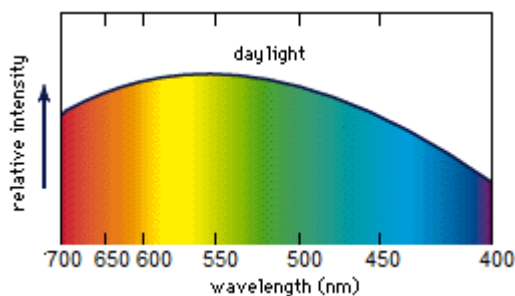
I přesto, že je elektrický oblouk rychle uhašen, dochází vlivem vysoké teploty k poškození konstrukčních materiálů přístrojů. Abychom mohli zkoumat vlivy elektrického oblouku na materiály elektrických přístrojů, potřebujeme znát jeho fyzikální vlastnosti.

2. DIAGNOSTIKA ELEKTRICKÉHO OBLOUKU

2.1. PYROMETRY A TERMO-KAMERY

Pyrometry i termo-kamery jsou založeny na principu určování teploty ze spojitého spektra záření. Ze získaného spojitého spektra, dále jen kontinua, poté proběhne výpočet teploty podle Wienova posunovacího zákona. Tento způsob využití spojitého spektra je vhodný pouze pro pevné látky, popřípadě jejich taveniny. Proto je použití pyrometrů a termo-kamer omezeno pouze na tato měření a jejich uplatnění v silnoproudé elektrotechnice je diagnostika stavu vedení, elektrických motorů a podobné aplikace. Elektrický oblouk vyzařuje atomové čárové spektrum, nebo molekulové pásové spektrum a nejčastěji jejich kombinaci. Spektrum záření je závislé na složení plynu ve výbojové

dráze a jeho fyzikálních vlastnostech. Spektrum záření elektrického oblouku se v některých plynných směsích může blížit ke kontinuu, ovšem většinou je zcela odlišné.



Obrázek 1: Příklad spojitého spektra, zde konkrétně spektrum denního světla [1]

2.2. ATOMOVÁ EMISNÍ SPEKTROSKOPIE

Horký plyn ve výbojové dráze elektrického oblouku značně září. Pokud plyn obsahuje dostatečný počet volných atomů, tj. atomů, které nejsou součástí molekul, jeho spektrum záření se skládá z několika energetických špiček o velmi úzkém rozsahu vlnových délek. Těmto špičkám říkáme spektrální čáry. Pokud atom přijme vnější energii, která je dostatečná na přesun elektronu na vyšší energetickou hladinu, dochází k přestupu elektronu, tzv. excitaci. Excitovaný stav není stavem stabilním. Tedy, pokud atom není udržován ve stavu excitace, dojde k sestupu elektronu z vyšší energetické hladiny na hladinu nižší. Tímto sestupem dojde k vyzáření energie, která je rozdílem energie hladiny, ze které elektron sestupoval a energie hladiny na kterou elektron sestoupil. Toto záření lze zaznamenat pomocí spektrometru jako spektrální čáru. Ze spektra záření lze poté určit složení plynu, teplotu i jeho další fyzikální vlastnosti.

2.3. PROBLÉMY ŘEŠENÉ PŘI MĚŘENÍ SPEKTER ELEKTRICKÉHO OBLOUKU

K experimentu nám byl poskytnut laboratorní přípravek, pro generaci elektrického oblouku mezi uhlíkovými elektrodami se stabilizačním jádrem za atmosférického tlaku. Jako měřicí přístroj byl použit spektrometr Avantes ULS-3648TEC. Jako databáze dat pro identifikaci spekter byla použita veřejně dostupná databáze NIST z USA [2].

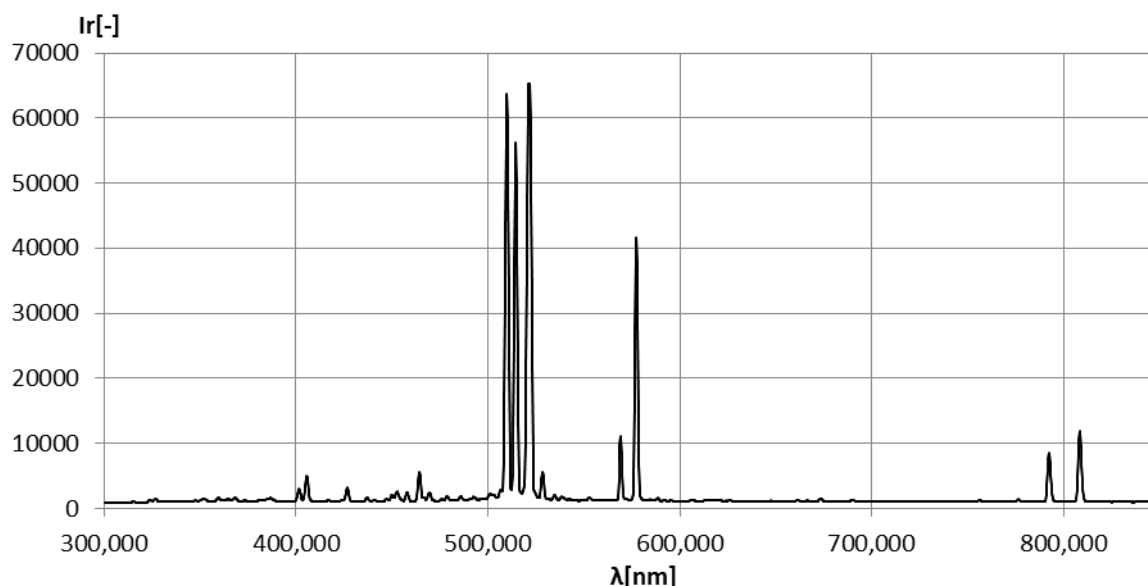
Spektroskop i notebook, k němu připojený pro zpracování dat, jsou citlivá zařízení na elektromagnetické rušení, spektroskop by jimi mohl být dokonce poškozen. Elektrické silnoproudé obvody, jakým je i laboratorní přípravek vytvářejí značné elektromagnetické pole. Proto byl obraz oblouku promítán přes čočku na vzdálené stínítko, před kterým byl upevněn vstup optického vlákna od spektrometru. Nemohlo tedy dojít ani při maximálních proudech přípravku k rušení nad přijatelnou mez.

Bylo naměřeno spektrum záření oblouku mezi uhlíkovými elektrodami. Bohužel v naměřeném spektru dominovaly molekulové pásy vyzařované vzdušným dusíkem, které by nebylo možno použít k diagnostice oblouku, díky nízké rozlišovací schopnosti spektroskopu.

Bylo tedy nutné použít elektrody známého složení, které by dobře emitovaly do výbojového prostoru atomy. Jako vhodný materiál se z tohoto hlediska jevila elektrotechnická měď. Proto byly k dalšímu měření použity elektrody z mědi o průměru 10 mm. Později se ukázalo, že měď je pro tento účel výhodně zvoleným materiálem, protože při malém proudu, při kterém ještě bylo možné oblouk udržet, docházelo pouze k minimálnímu úbytku materiálu. Tento jev přisuzujeme dobrému odvodu tepla z místa styku elektrody s obloukem díky dobré tepelné vodivosti mědi. Vyskytl se zde ovšem jiný problém, a sice že po překročení teploty tání v místě hoření oblouku došlo k takovému zhoršení elektrické vodivosti, že pata oblouku přeskočila na jiné chladnější místo. Jelikož konec elektrody tvořila plocha o průměru 10 mm, oblouk hořel velice neklidně, což bylo dáno pohybem paty oblouku.

Z tohoto důvodu byly konce elektrod opracovány do tvaru polokoulí, oblouk se tímto mírně stabilizoval a byla naměřena první spektra.

2.4. SPEKTRUM ZÁŘENÍ ZKOUMANÉHO OBLOUKU



Obrázek 2: Čárové spektrum elektrického oblouku hořícího mezi měděnými elektrodami.

Z naměřeného spektra, viz Obrázek 2, je patrné, že měď je vhodný prvek pro diagnostiku z vyzařovacího spektra v kombinaci s dostupným spektrometrem. Spektrum obsahuje totiž dostatek intenzivních spektrálních čar, které nejsou natolik blízko sebe, že by došlo k většímu překrytí jejich částí a nebylo by možno je k výpočtu použít. Z tohoto hlediska byly vyloučeny spektrální čáry na vlnových délkách 424,9 nm; 427,5 nm; 450,9 nm; 453,1 nm; 454,0 nm; 521,8 nm; 522,0 nm; 792,1 nm a 807,8 nm. Naopak vhodnými čarami pro určování klíčových fyzikálních vlastností daného plazmatu jsou spektrální čáry na vlnových délkách 402,3 nm; 406,3 nm; 448,0 nm; 458,7 nm; 465,1 nm; 470,5 nm; 510,6 nm; 515,32 nm; 529,25 nm; 570,0 nm a 578,2 nm. Všechny zmíněné spektrální čáry jsou čarami mědi.

3. ZÁVĚR

Byla nastudována problematika měření spekter záření. Bylo zprovozněno měřicí pracoviště pro diagnostiku elektrického oblouku. Výsledkem jsme získali první zkušební vyzařovací spektra elektrického oblouku hořícího mezi různými elektrodami. Během testů přípravku jsme se potýkali s různými problémy, které byly částečně vyřešeny, ale některé stále zůstávají k řešení. Dalším pokračováním těchto měření bude určování teploty elektrického oblouku. Chceme se pokusit o naměření radiálního průběhu teploty, což ovšem vyžaduje ještě lepší stabilizaci oblouku.

REFERENCE

- [1] ENCYKLOPEDIA BRITANNICA. *Encyklopedia Britannica* [online]. 1994 [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: http://www.phys.ufl.edu/~avery/course/3400/light/blackbody_color.gif
- [2] NIST Atomic Spectra Database. NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY'S. *National Institute of Standards and Technology's* [online]. 2009 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm>