

REALIZACE EXPERIMENTŮ PRO MĚŘENÍ VJEMU FLIKRU U ŽÁROVEK

Jan Hergesel <jan.hergesel@tul.cz>, Jakub Nečásek, Petr Bílek, Leoš Kukačka

Příspěvek popisuje vytvořené experimenty pro měření vjemu flikru u žárovek naprogramované v jazyce C#. Experimenty jsou prováděny na speciálním světelném boxu s využitím NI USB-3651 a Kikusui PCR2000LE. Součástí je také srovnání naměřených dat s daty získaných na LED diodách a se světelným flikrmetrem.

Klíčová slova: flikr, flikrmetr, žárovka, světlo, C#

ÚVOD

Jedním z nežádoucích jevů spojených se světelnými zdroji je jejich problikávání. Tento jev se nazývá flikr a může být způsoben kolísáním či změnou napájecího napětí, konstrukcí světelného zdroje nebo provozními podmínkami. Pro člověka je flikr při určité intenzitě velmi rušivý. Přístroj, kterým lze flikr měřit, se nazývá flikrmetr. [1]

Tato práce byla vytvořena v rámci projektu majícího za cíl aktualizovat algoritmus flikrmetru z klasických žárovek na LED diody [2]. Aby bylo možné provést srovnání citlivosti vjemu flikru, je potřeba naměřit prahy viditelnosti flikru u žárovek, které budou následně srovnány s dříve naměřenými daty z LED diod.

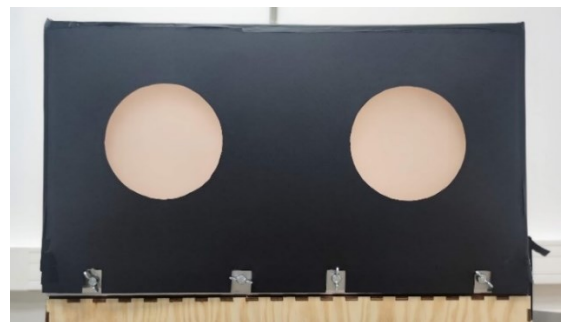
Cílem práce je připravit vhodné podmínky pro experiment a řídicí programy pro laboratorní vybavení. Experiment má zkoumat právě rušivost flikru klasických žárovek na člověka. Součástí mají být také kalibrační programy a samotná kalibrace. Výsledky naměřené na figurantech mají být vyhodnoceny a srovnány se staršími daty a standardním flikrmetrem.

METODIKA

Světelný flikrmetr měří problikávání přímo ze světelného toku. Díky tomu neexistuje závislost na druhu světelného zdroje. Zároveň v sobě ale nese řadu zjednodušení, díky kterým je většinou vhodný jen pro srovnávací účely. [3, 4]

Samotný experiment byl navržen tak, že na světelném boxu budou dva segmenty, v každém jedna žárovka. Na jednu bude přiveden sinusový průběh s vybranou úrovní modulace, zatímco na druhý stálé napětí. Figurant má v zatemněné místnosti za úkol vybrat, který segment vidí problikávat. Podle správnosti jeho odpovědi je navržena další úroveň modulace. Opakováním tohoto postupu bude nalezen práh viditelnosti flikru figuranta. K navrhování hodnot modulace byl zvolen algoritmus Quest implementovaný pro MATLAB v rámci Psychtoolboxu.

V rámci práce bylo potřeba zajistit, aby jas pozorovaných terčů odpovídal dříve provedeným experimentům, tedy 85 cd/m², spektrum žárovek bylo co nejméně ovlivněno a aby byl světelný segment co nejvíce homogenní. Za tímto účelem bylo testováno několik materiálů. Výsledná kombinace se skládá z drátěné mřížky, bílé netkané textilie a pískovaného skla. Tato kombinace pak tvoří vhodnou pozorovací plošku, jež je osvětlována žárovkou v daném segmentu.



Obrázek 1: Světelný box

Průběhy jsou do světelného boxu přiváděny pomocí dvou Kikusui PCR2000LE. Byly testovány dvě varianty, Kikusui jako zdroj a Kikusui jako zesilovač průběhů z multifunkčního zařízení NI USB-6351. Měření ukázala, že jen varianta se zesílením signálu je schopna poskytnout dostatečně jemnou modulaci, a tak byla zvolena ta. Box obsahuje také fotodiody, přes které lze s využitím NI 6351 zaznamenávat průběhy světelného toku. Dále je k němu přivedeno chlazení vzduchem, aby nedocházelo k přehřívání.

U každého pokusu je nejprve spočítána minimální délka signálu dle vybrané frekvence. Následně je napočítán celý průběh signálu s Questem doporučenou amplitudou modulace. Signál vychází z rovnice modulace jasu, definované jako

$$L(t) = L_0(1 + a_m \sin(2\pi f_m t)), \quad (1)$$

kde L_0 je střední hodnota jasu, a_m relativní modulace uváděná v procentech, f_m frekvence modulace a t čas.

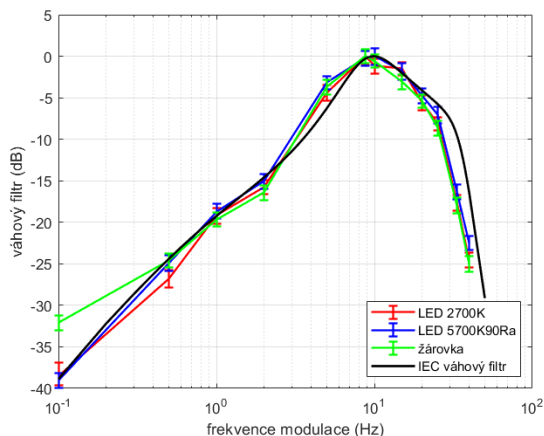
Aby bylo možné docílit řízení experimentu podle hodnot samotného světelného toku, bylo potřeba zajistit, aby jeho

modulace byla co nejlíže sinusovému průběhu. To se v rámci programu řeší několika způsoby, které signál po napočítání ještě modifikují. Prvním je korekce gainfactorem, tedy podílem mezi reálnou a cílenou modulací u jednotlivých frekvencí. Tyto podíly byly naměřeny pro každou žárovku zvlášť. Pro zbylé případy je použita speciální transformace získaná regresí dat z měření. Výsledný signál je nakonec po částech posílán do NI 6351. U každého pokusu je pomocí diskrétní Fourierovy transformace ze signálu naměřeného fotodiodou vypočtena reálně dosažená modulace, která se od žádané hodnoty může lišit až o jednotky procent. Ta je pak v algoritmu využívána namísto cílené.

VÝSLEDKY A DISKUZE

V rámci práce byl vytvořen řídicí program v jazyce C#. Zvolené testované frekvence se během experimentu náhodně střídají a po 50 pokusech je vždy provedena dvouminutová pauza. To zajišťuje, aby se minimalizoval vliv únavy očí figuranta na výsledky. Na konci experimentu jsou všechny hodnoty z pokusů i odpovědi figuranta uloženy do souboru.

Pro vyhodnocení dat naměřených na 32 figurantech byl připraven skript v prostředí MATLAB, který výsledky od figurantů srovnává se standardním světelným flikrmetrem a s identickým experimentem využívajícím LED diody.



Obrázek 2: Srovnání s LED diodami a IEC váhovým filtrem

Z grafu (Obrázek 2) je patrné, že tvar křivky vytvořené z prahů viditelnosti flikru se u žárovek liší od starších dat naměřených s využitím LED diod. Velký rozdíl lze pozorovat u nízkých frekvencí, konkrétně u 0,1 a 0,5 Hz. Z výsledků lze usuzovat, že mozek vnímá flikr výrazně lépe u žárovek než u LED diod, na druhou stranu, takto vysoké modulace nejsou realistické v běžném provozu. Dále je však v porovnání s LED s vysokou teplotou chromatičnosti vidět významný rozdíl i u všech ostatních frekvencí menších než 40 Hz.

ZÁVĚR

Výsledkem práce je experiment pro měření vjemu flikru u žárovek na speciálně vytvořeném světelném boxu. Data

naměřená na figurantech byla srovnána s daty z LED diod a se světelným flikrmetrem. Z výsledků bylo zjištěno, že u měřených frekvencí menších než 1 Hz je znatelný rozdíl mezi vjemem flikru žárovek v porovnání s LED diodami. Člověk u žárovek vnímá problikávání o nižší intenzitě. U LED s vysokou teplotou chromatičnosti byl pak nezezen rozdíl i u ostatních frekvencí menších než 40 Hz. Objev rozšiřuje důvody, proč je využití LED diod výhodnější oproti žárovkám.

V rámci práce byl největší problém v nalezení dvou stejných žárovek. I přes stejné parametry od výrobce se jednotlivé žárovky často lišily ve výkonu či teplotě chromatičnosti. Podařilo se ale najít vhodnou kombinaci žárovek a materiálů takovou, že výsledek splňuje očekávání.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2023. Velké poděkování za podporu patří projektu Weave č. 22-10074K (GACR) a ME 5391 (DFG) „New Algorithms for the Evaluation of Flicker in the Context of Modern Electricity Grids“. Chtěl bych dále poděkovat panu Ing. Leoši Kukačkovi, Ph.D. za možnost pracovat na této práci, za jeho vedení, cenné rady a možnosti konzultace. Velmi pak děkuji všem figurantům, kteří byli ochotni se měření zúčastnit a bez kterých by celá práce nebyla uskutečnitelná.

REFERENCE

- [1] DRÁPELA, Jiří. *Blikání světelných zdrojů způsobené mezharmónickými složkami napětí* [online]. 2009. ISBN 978-80-214-4007-4. Dostupné z: https://www.vut.cz/vutium/spisy?action=ukazka&id=1314&publikace_id=14208
- [2] KUKAČKA, Leoš, Jan HERGESEL, Jakub NEČÁSEK, Petr BÍLEK, Michal VIK, Jan MEYER, Robert STIEGLER a Jiří DRÁPELA. Comparison of Procedures for Measuring the Temporal Contrast Sensitivity Function. In: *2023 IEEE Sustainable Smart Lighting World Conference & Expo (LS18)* [online]. 2023, s. 1–6 [vid. 2023-08-21]. ISBN 979-8-3503-4699-2. Dostupné z: doi:10.1109/LS1858153.2023.10170649
- [3] DRÁPELA, Jiri a Jan SLEZINGR. A Light-flickermeter– Part I: Design. In: *Proceedings of the 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2010, EPE 2010*. 2010.
- [4] *Equipment for general lighting purposes--EMC immunity requirements. Part 1, An objective voltage fluctuation immunity test method*. Edition 1.0. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2015. ISBN 978-2-8322-2649-0.