



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

ODOLNOST LED ZDROJŮ SVĚTLA NA KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

LED LAMPS SENSITIVITY AND IMMUNITY TO SUPPLY VOLTAGE VARIATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

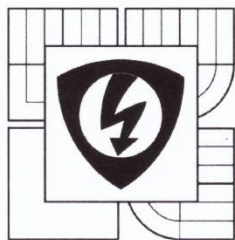
Tomáš Koletschka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Tomáš Koletschka

Ročník: 3

ID: 154769

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Odolnost LED zdrojů světla na kolísání napětí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Blikání světelných zdrojů a rušivý vjem blikání.
2. Rozbor faktorů ovlivňujících míru vjemu blikání.
3. LED světelné zdroje, drivery pro napájení z AC sítě NN, základní konstrukce.
4. Návrh a provedení zkoušek na souboru vybraných světelných zdrojů.
5. Vyhodnocení výsledků a návrh tříd odolnosti na kolísání napětí.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8. 2. 2016

Termín odevzdání: 24. 5. 2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:


doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

KOLETSCHKA, T. *Odolnost LED zdrojů světla na kolísání napětí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 69 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D..

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé Bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Drápelovi. Ph.D. za odbornou konzultaci, trpělivost, ochotu, cenné rady a pomoc s měřením. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě během studia podporovala.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....

Tomáš Koletschka



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

Odolnost LED zdrojů světla na kolísání napětí

Tomáš Koletschka

Vedoucí: doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2016

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

LED lamps sensitivity and immunity to supply voltage variations

by

Tomáš Koletschka

Supervisor: doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Brno University of Technology, 2016

Brno

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou odolnosti a citlivosti LED zdrojů světla na kolísání napětí. Výsledné kolísání napětí je ve většině případů způsobeno připojením spotřebičů ať už velkých nebo malých výkonů do elektrické sítě. Tento případný pokles se nám může projevit změnou amplitudy a/nebo fáze síťového napětí. Tuto změnu vnímá lidské oko jako bliknutí, popř. blikání světelného zdroje.

Základní eliminací tohoto problému je použití vhodné topologie zdroje pro napájení LED. Napájecí zdroj totiž svým zapojením a provozními parametry ovlivňuje výsledné chování světelného toku LED čipu. Pro zjištění chování vybraných LED světel na zvolené kolísání napětí lze použít objektivní flikrmetr, který lze nastavit do více měřících módů. Pro přibližnou detekci topologie napájecího zdroje změříme okamžitou hodnotu odebíraného vstupního síťového napětí, proudu a světelný tok.

Výsledkem těchto měření bude porovnání LED světel a to z hlediska celkového chování. Po vyhodnocení těchto výsledků bude následovat rozdělení do tříd odolnosti na kolísání napětí.

KLÍČOVÁ SLOVA: >>kolísání napětí; napájecí zdroj; LED světla; základní parametry LED čipů; flikrmetr; oko; měnič<<

ABSTRACT

This thesis discusses the immunity and sensitivity of LED lamp sources to voltage fluctuations. The resulting fluctuation is in most cases caused by connecting large or small power appliances into the grid. We may experience this eventual decline by the varying of the amplitude and/or phase of the mains voltage. This change is perceived by the human eye as blinks or flashing of the lamps.

Basic elimination of this problem is the use of a suitable topology of power supply for LED, which affects final behavior of the luminous flux of LED chip by its involvement and operational parameters. An objective flicker meter, which can be set up into multiple measuring modes, will be used to determine the behavior of the selected LED lamps on chosen voltage fluctuation. The instantaneous value of the power drawn by the input voltage, current and luminous flux is measured to approximately detect the power supply topologies.

The result of these measurements will be comparison of the LED lamps in terms of overall behavior. After evaluating these results the division into classes of immunity to voltage fluctuations will be followed.

KEY WORDS:

>> voltage fluctuations; power supply; LED lamps; basic parameters of LED chips, flickermeter; eye; inverter <<

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM TABULEK	14
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	15
UNITED INTERNATIONAL ENTERPRISES	16
1 ÚVOD	17
2 VZNIK A DOPAD RUŠIVÉHO VJEMU BLIKÁNÍ.....	18
2.1 FLUKTUACE NAPĚTÍ.....	18
2.1.1 AMPLITUDOVÁ MODULACE – PERIODICKÁ	18
2.1.2 AMPLITUDOVÁ MODULACE – SKOKOVÉ ZMĚNY	20
2.1.3 FÁZOVÁ MODULACE	20
2.1.4 PŮSOBENÍ MEZIHARMONICKÝCH SLOŽEK	20
2.1.5 ZAŘÍZENÍ ZPŮSOBUJÍCÍ KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ.....	21
2.1.6 ŘÍDÍCÍ SIGNÁLY ZPŮSOBUJÍCÍ KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ.....	22
2.2 RUŠIVÝ VJEM BLIKÁNÍ.....	22
2.2.1 PRINCIP ZRAKOVÉHO ÚSTROJÍ	22
2.2.2 LIDSKÉ OKO A JEHO SLOŽENÍ.....	23
2.2.3 SPEKTRÁLNÍ CITLIVOST OKA	24
2.2.4 ZORNÉ POLE	25
2.2.5 ADAPTACE OKA	25
2.2.6 PRINCIP ZRAKOVÉHO VJEMU A VJEMU BLIKÁNÍ	25
2.2.7 KŘIVKA STEJNÉ MÍRY VJEMU BLIKÁNÍ.....	26
2.3 FLIKRMETR	29
3 CÍLE PRÁCE	30
3.1 MOTIVACE	30
3.2 LED A JEJICH PARAMETRY	30
3.3 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ ZDROJE NAPÁJECÍ LED.....	30
3.4 SAMOTNÉ CÍLE PRÁCE	31
3.5 METODY A POSTUPY ŘEŠENÍ	31
3.5.1 MĚŘENÍ VYBRANÝCH LED ŽÁROVEK.....	31
3.5.2 ODHADNUTÍ POUŽITÉHO ZDROJE NAPÁJEJÍCÍ LED	31
4 BÍLÉ LED DIODY.....	32
4.1 PRINCIP FUNKCE	32
4.2 VLASTNÍ SVĚTELNÝ ZDROJ.....	32
4.3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY.....	32
4.3.1 SVĚTELNÝ TOK	32
4.3.2 INDEX PODÁNÍ BAREV CRI (RA)	32
4.3.3 VÝKON.....	33
4.3.4 TEPLOTA CHROMATIČNOSTI	33
4.3.5 ÚHEL VYZAŘOVÁNÍ	34

4.3.6 ŽIVOTNOST	34
4.4 SHRUTÍ.....	35
5 NAPÁJECÍ ZDROJE LED	36
5.1 TOPOLOGIE ZAPOJENÍ	36
5.2 VSTUPNÍ OBVODY	37
5.2.1 NAPĚŤOVÝ DĚLIČ.....	37
5.2.2 VYSOKOFREKVENČNÍ FILTR.....	37
5.3 MĚNIČE.....	37
5.3.1 NEIZOLOVANÉ MĚNIČE	37
5.3.2 IZOLOVANÉ MĚNIČE.....	38
6 MĚŘENÍ VYBRANÝCH LED ZDROJŮ	40
6.1 POSTUP MĚŘENÍ	40
6.1.1 MĚŘENÍ CITLIVOSTI LED SVĚTEL NA MEZIHARMONICKÉ FREKVENČNÍ SLOŽKY	41
6.1.2 MĚŘENÍ ODOLNOSTI LED SVĚTEL NA MEZIHARMONICKÉ FREKVENČNÍ SLOŽKY	41
6.1.3 MĚŘENÍ ODOLNOSTI LED SVĚTEL NA OBDÉLNÍKOVOU AM	41
6.1.4 MĚŘENÍ VSTUPNÍHO ODEBÍRANÉHO PROUDU, NAPĚTÍ A VÝSTUPNÍHO SVĚTELNÉHO TOKU ...	42
6.2 PARAMETRY LED VZORKŮ A ŽÁROVKY	42
6.2.1 LED A - OSRAM 80012 DECOSPOT.....	42
6.2.2 LED B – REASHINE.....	43
6.2.3 LED C - LITE XQ 0827	43
6.2.4 LED D - BULB LIGHT LF - A60.....	43
6.2.5 LED E – TR-0WGE-03	44
6.2.6 LED F – VOLTOLUX	44
6.2.7 LED G - ECONOMIC LIGHTING 89503.....	44
6.2.8 LED H - EMOS MK - A60S02-12WW	45
6.2.9 LED I - SOLIGHT WZ-E27K27-10W-B	45
6.2.10 LED J - PANASONIC NOSTALGIC CLEAR	45
6.2.11 LED K - VIMPEX GROUP	46
6.2.12 ŽÁROVKA PHILIPS.....	46
6.3 ZMĚŘENÉ A ZPRACOVANÉ VÝSLEDKY	46
6.3.1 LED F	46
6.3.2 LED G.....	48
6.3.3 LED J.....	49
6.3.4 LED A.....	50
6.3.5 LED B.....	51
6.3.6 LED I	53
6.3.7 LED D.....	54
6.3.8 LED E	55
6.3.9 LED C.....	57
6.3.10 LED H.....	58
6.3.11 LED K.....	60
6.3.12 ŽÁROVKA.....	62
6.4 ZHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ.....	63
6.5 ZHODNOCENÍ VŠECH VZORKŮ.....	64
6.5.1 NÁVRH TRÍD ODOLNOSTI	66
7 ZÁVĚR.....	66

7.1 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU	67
POUŽITÁ LITERATURA	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2.1 Kolísající periodické napětí</i>	18
<i>Obr. 2.2 Řez lidským okem [8]</i>	24
<i>Obr. 2.3 Mezní křivky změn napětí na rušivý vjem blikání [5]</i>	27
<i>Obr. 2.4 Křivka stejné míry vjemu blikání, pravouhlé změny napětí pro žárovku 60 W, 230 V (Evropa), 120 V (Severní Amerika), 100 V (Japonsko) [5]</i>	27
<i>Obr. 2.5 Křivka stejné míry vjemu blikání, sinusové kolísání napětí pro žárovku 60W, 230V(Evropa), 120V (Severní Amerika) [5]</i>	28
<i>Obr. 2.6 Meziharmonická napětí s kompatibilní úrovní (žárovka 60 W, 230 V) [5]</i>	28
<i>Obr. 2.7 Flikrmetr v současné době [5]</i>	29
<i>Obr. 4.1 Ukázka indexu barev CRI [10]</i>	33
<i>Obr. 4.2 Ukázka teploty chromatičnosti pro světla [11]</i>	33
<i>Obr. 4.3 Úhel vyzařování [13]</i>	34
<i>Obr. 4.4 Blokové schéma působení okolních vlivů na LED [15]</i>	35
<i>Obr. 4.5 Připojení na napájecí síť</i>	35
<i>Obr. 5.1 Topologie spínaného zdroje</i>	36
<i>Obr. 5.2 Topologie lineárního zdroje</i>	36
<i>Obr. 5.3 Napěťový dělič [12]</i>	37
<i>Obr. 5.4 Vysokofrekvenční filtr [12]</i>	37
<i>Obr. 5.5 Optimalizovaný zdroj [12]</i>	38
<i>Obr. 5.6 Snižující měnič [12]</i>	38
<i>Obr. 5.7 Blokující měnič [12]</i>	39
<i>Obr. 5.8 Polo - můstkový měnič [12]</i>	39
<i>Obr. 6.1 Schéma zapojení pro měření citlivostí a odolností</i>	40
<i>Obr. 6.2 Schéma zapojení pro měření okamžité hodnoty vstupního odebíraného proudu, napětí a výstupního světelného toku</i>	40
<i>Obr. 6.3 Osram 80012 Decospot [18]</i>	42
<i>Obr. 6.4 Reashine</i>	43
<i>Obr. 6.5 XQ-lite XQ0827 [21]</i>	43
<i>Obr. 6.6 Bulb light LF-A60</i>	43
<i>Obr. 6.7 TR-0WGE-03</i>	44
<i>Obr. 6.8 Voltolux [24]</i>	44
<i>Obr. 6.9 Economic lighting 89503 [25]</i>	44
<i>Obr. 6.10 EMOS MK-A60S02-12WW [26]</i>	45

<i>OBR. 6.11 Solight WZ-E27K27-10W-B [27]</i>	45
<i>Obr. 6.12 Panasonic Nostalgic Clear [28]</i>	45
<i>Obr. 6.13 Ilustrativní foto LED trubice [29]</i>	46
<i>Obr. 6.14 Žárovka Philips [30]</i>	46
<i>Obr. 6.15 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED F</i>	47
<i>Obr. 6.16 Graf světelného toku LED F</i>	47
<i>Obr. 6.17 Graf citlivosti LED F na mezipharmonické frekvenční složky</i>	47
<i>Obr. 6.18 Graf odolnosti LED F na mezipharmonické frekvenční složky</i>	48
<i>Obr. 6.19 Graf odolnosti LED F na obdélníkovou AM</i>	48
<i>Obr. 6.20 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED G</i>	48
<i>Obr. 6.21 Graf světelného toku LED G</i>	49
<i>Obr. 6.22 Graf citlivosti LED G na mezipharmonické frekvenční složky</i>	49
<i>Obr. 6.23 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED J</i>	49
<i>Obr. 6.24 Graf světelného toku LED J</i>	50
<i>Obr. 6.25 Graf citlivosti LED J na mezipharmonické frekvenční složky</i>	50
<i>Obr. 6.26 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED A</i>	50
<i>Obr. 6.27 Graf světelného toku LED A</i>	51
<i>Obr. 6.28 Graf citlivosti LED A na mezipharmonické frekvenční složky</i>	51
<i>Obr. 6.29 Graf odolnosti LED A na mezipharmonické frekvenční složky</i>	51
<i>Obr. 6.30 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED B</i>	52
<i>Obr. 6.31 Graf světelného toku LED B</i>	52
<i>Obr. 6.32 Graf citlivosti LED B na mezipharmonické frekvenční složky</i>	52
<i>Obr. 6.33 Graf odolnosti LED B na mezipharmonické frekvenční složky</i>	53
<i>Obr. 6.34 Graf odolnosti LED B na obdélníkovou AM</i>	53
<i>Obr. 6.35 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED I</i>	54
<i>Obr. 6.36 Graf světelného toku LED I</i>	54
<i>Obr. 6.37 Graf citlivosti LED I na mezipharmonické frekvenční složky</i>	54
<i>Obr. 6.38 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED D</i>	55
<i>Obr. 6.39 Graf světelného toku LED D</i>	55
<i>Obr. 6.40 Graf citlivosti LED D na mezipharmonické frekvenční složky</i>	55
<i>Obr. 6.41 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED E</i>	56
<i>Obr. 6.42 Graf světelného toku LED E</i>	56
<i>Obr. 6.43 Graf citlivosti LED E na mezipharmonické frekvenční složky</i>	56
<i>Obr. 6.44 Graf odolnosti LED E na mezipharmonické frekvenční složky</i>	57

<i>Obr. 6.45 Graf odolnosti LED E na obdélníkovou AM.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 6.46 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED C</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 6.47 Graf světelného toku LED C.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 6.48 Graf citlivosti LED C na mezipharmonické frekvenční složky</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 6.49 Graf odolnosti LED C na mezipharmonické frekvenční složky</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 6.50 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED H.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 6.51 Graf světelného toku LED H.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 6.52 Graf citlivosti LED H na mezipharmonické frekvenční složky</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 6.53 Graf odolnosti LED H na mezipharmonické frekvenční složky.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 6.54 Graf odolnosti LED H na obdélníkovou AM</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 6.55 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED K</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 6.56 Graf světelného toku LED K.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 6.57 Graf citlivosti LED K na mezipharmonické frekvenční složky</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 6.58 Graf odolnosti LED K na mezipharmonické frekvenční složky</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 6.59 Graf odolnosti LED K na obdélníkovou AM.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 6.60 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí žárovky</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 6.61 Graf výstupního světelného toku žárovky</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 6.62 Graf citlivostí LED na mezipharmonické frekvenční složky.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 6.63 Graf citlivostí LED na mezipharmonické frekvenční složky.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 6.64 Graf odolností LED na mezipharmonické frekvenční složky.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 6.65 Graf odolností LED na obdélníkovou AM</i>	<i>66</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 6.1 Použité měřicí přístroje.....</i>	<i>41</i>
---	-----------

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

C_1, C_2	kondenzátory	F
E_r	osvětlenost sítě	lx
f_1	základní frekvence	Hz
f_{IH}	meziharmonická frekvence	Hz
f_M	modulační frekvence	Hz
f_{RAM}	frekvence obdélníkové AM	Hz
g	poloměr zornice	mm
I_{jmen}	jmenovitý proud	mA
i_{vst}	okamžitá hodnota vstupního proudu	A
$L1, L2$	cívky	H
L	jas objektu	cd/m ²
m_{IH}	velikost meziharmonické frekvence	%
m_{RAM}	velikost obdélníkové AM	%
m_M	relativní velikost vrcholové hodnoty modulační složky	%
$R1$	odpor	Ω
t	čas	s
U	amplituda základního harmonického napětí	V
u_{vst}	okamžitá hodnota vstupního napětí	V
$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)$	relativní hloubka modulace	-
AM	amplitudová modulace	
ČSN	Česká technická norma	
EMC	Elektromagnetická kompatibilita	
GE	General Electric	
LED	light emitting diode	
NF	nízkofrekvenční	

NN	nízké napětí	
Q1, Q2	tranzistory	
TR ₁	transformátor	
UIE	United International Enterprises	
VF	vysokofrekvenční	
α_m	fázový skok v radiánech	
ϕ	světelný tok	%
ϕ_o	úhlový posun od hlavní osy pohledu	
ω_1, ω_M	úhlová frekvence základní harmonické složky, resp. modulační složky	rad/s
$\sigma.(t-t_0)$	je jednotkový skok v čase t_0	-
τ	propustnost oka	
φ	počáteční fázový úhel modulace	°

1 ÚVOD

V roce 1801 jistý Sir Humphry Davy přišel s objevem platinového proužku, který při průchodu elektrického proudu produkoval světlo. Postupem času bylo vlákno i konstrukce zdokonalena. Produkt, dnes známý pod názvem žárovka, byl zdokonalen tak, že jej bylo možné v roce 1880 uvést na trh. Ke konci 19. století začaly vznikat první elektrické sítě. První elektrickou stejnosměrnou síť vymyslel T. A. Edison. Začalo první osvětlování budov. Jelikož byly v síti zapojeny pouze žárovky, tak nedocházelo k jejich blikání. Ovšem nevýhodou těchto sítí bylo, že čím jsou vzdálenější od zdroje, tím vyšší jsou i jejich ztráty. Tato síť byla ještě v tom samém století nahrazena střídavou sítí, jejímž tvůrcem byl Nikolaj Tesla. Ten postavil na Niagarských vodopádech první elektrárnu vyrábějící střídavou elektrickou energii, která sloužila jako zdroj pro 20 mil vzdálenou fabriku v Buffalu. Zájem o elektrickou energii vzrůstal, což vedlo k její rozšíření po celé Severní Americe. Došlo k propojení zákazníků, kteří doma měli zařízení různých výkonů. Najednou začalo docházet k blikání světel. Na začátku 20. století na problematiku týkající se blikání světla svým výzkumem upozornil H. E. Ives a o něco později i Dr. Irving Langmuir. Výsledkem těchto studií bylo zjištění, že na bliknutí světelného zdroje má vliv velikost frekvence, psychologie a fyziologie člověka. Postupem času docházelo k objevům nových světelných zdrojů a tím i k výzkumům v tomto odvětví [2].

Blikání světelných zdrojů lze změřit flikrmetrem. Je to zařízení, které měří míru vjemu blikání. Z historie víme, že pro měření míry vjemu blikání, byla použita skupina pozorovatelů, z nichž 50% bliknutí vidělo a 50% bliknutí nezaregistrovalo, proto byl zaveden pojem průměrný pozorovatel. V současné době je skupina pozorovatelů nahrazena světelným senzorem a blikání vyhodnocuje speciální hardware ovládaný softwarem. Jako referenční světelný zdroj se tehdy uplatnila 60W žárovka, která se v minulosti nejvíce používala. Dnešní světelné zdroje mají oproti žárovce odlišné parametry, vlastnosti a odezvu na kolísání napětí. V poslední době je snaha ušetřit náklady na elektrickou energii, což vedlo k vývinu nových světel, jako jsou např. kompaktní zářivky nebo LED světla (historicky nejmladší). V literatuře [3] je porovnání žárovky, LED světla a kompaktní zářivky. Experimentální výsledky, ukazují, že blikání LED světla je podobné jako u kompaktních zářivek, které jsou citlivé na vysokofrekvenční meziharmonické. V současnosti je hodně výrobců, kteří se snaží na trhu prosadit se svými výrobky, což zahrnuje velké množství řešení a konstrukcí. Každý z nich se snaží na výrobku co nejvíce ušetřit, což má potom za následek nedodržení EMC, norem a výsledkem jsou potom světelné zdroje, jejichž obvody jsou náchylné na kolísání napětí, které způsobuje blikání světelných zdrojů. Konkrétně pro LED světla, které jsou stále ve vývinu, nám chybí informace ohledně použitých napájecích zdrojů, vlastnosti použitých čipů, popř. jakou mají odezvu na kolísání napětí.

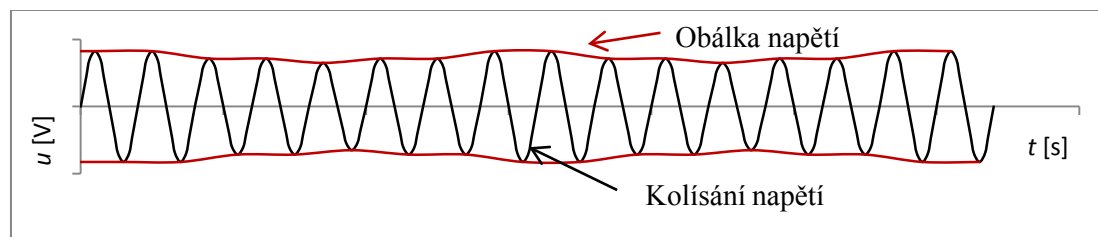
Problémem je, že zákazník si jde do obchodu koupit LED žárovku a zajímá se pouze o parametry, jako je např. příkon, jaký výkon nahrazuje tato žárovka původní světelný zdroj. Potom ji doma připojí do elektrické sítě a žárovka bliká. Buď ji vrátí anebo si ji nechá. Jak již víme samotné blikání světla má za následek nevhodné světelné mikroklima, které působí velmi nepříznivě na lidské oko a tím pádem i na celý organismus. Tento problém může vést k fyzickému či psychickému zatížení, popř. až poruchám ovlivňující činnost člověka. Což vede k zamyšlení, proč vlastně jsou tyto výrobky vpouštěny do prodeje. Bylo by vhodné se na tuto problematiku více soustředit a provést studie týkající se spolehlivosti a odolnosti LED světel na kolísání napětí [4].

2 VZNIK A DOPAD RUŠIVÉHO VJEMU BLIKÁNÍ

2.1 Fluktuace napětí

Kolísání napětí v NN elektrické síti se jmenovitým napětím 230/400 V a frekvencí 50 Hz je stanovené normou ČSN 33 0121 a ČSN 33 0120 $\pm 10\%$, což je rozsah napětí od 207-253 V. Může nám vytvořit tzv. flikr, což je změna zářivého toku světelných zdrojů ovlivňující zrakový vjem, který je nestálý. Z fyziologie lidského oka víme, že je nejvíce ovlivňováno kolísáním světla při frekvenci od 0,1-35(40)Hz. Nejvíce mu může uškodit, když v těchto mezích dosáhne nadprahové úrovně. Aspekty ovlivňující flikr jsou následující: rušení vznikající při výrobě elektrické energie v elektrárnách, přenosem a následnou distribucí elektrické energie [5],[6].

Samotné kolísání napětí (Obr. 2.1) je popsáno, jako náhodné nebo periodicky se opakující změny obálky proměnného napětí. Je způsobeno zátěží, při které je v krátkém čase odebírána různá velikost činného a jalového výkonu. Mezi tyto zátěže např. patří: obloukové pece, pohony válcových stolic, navíječky apod. Dále může být kolísání napětí ovlivněno menší zátěží: svářečky, elektrická kladiva, výtahy atd. [1].



Obr. 2.1 Kolísající periodické napětí

Kolísání napětí lze také rozdělit na dvě skupiny: cyklické a necyklické. Cyklické kolísání napětí vzniká periodickým kolísáním napětí. Necyklické kolísání napětí lze popsat, jako náhodné a rychlé změny velikosti napětí. Nejdůležitější parametry, které popisují periodického kolísání napětí je velikost a frekvence kolísání obálky. U náhodné fluktuace napětí to je velikost změn a četnost v čase. Tyto parametry jsou velmi důležité pro vyhodnocení negativního důsledku kolísání napětí.

Na kolísání napětí lze pohlížet jako na jeho:

- Amplitudovou modulaci (AM) – periodické (Obr. 2.1), kvazi-periodické, rychlé a skokové změny velikosti napětí
- Fázovou modulaci (PM) - periodické, kvazi-periodické, rychlé a skokové změny fáze napětí
- Deformaci mezipharmonickými (IHD) - periodické, kvazi-periodické a přechodné frekvenční složky v napětí, jejichž frekvence nejsou celistvým násobkem základní harmonické [5]

2.1.1 Amplitudová modulace – periodická

Jedná se o ideální periodické kolísání napětí. Z hlediska elektrické sítě to je základní harmonická složka napětí s kmitočtem 50 Hz a modulační složkou. Průběh výsledného modulovaného napětí závisí na velikosti modulačního signálu. Velikost frekvence modulace nám ovlivňuje vjem blikání. Při uvažování sinusového napájecího napětí, lze amplitudovou modulaci kolísajícího periodického sinusového napětí jednoduše napsat rovnicí:

$$u(t) = U \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t + \phi) \cdot \left[1 + \left(\frac{\Delta U}{U} \right) \cdot \frac{1}{2} \sin(2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot t + \varphi) \right] \quad (2.1)$$

Kde:

U – amplituda základního harmonického napětí

f_1 – základní frekvence

$\left(\frac{\Delta U}{U} \right)$ – relativní hloubka modulace

f_m - modulační frekvence

φ – počáteční fázový úhel modulace

Velikost základního harmonického napětí, stejně jako jeho počáteční fáze není podstatná a rovnici (2.1) lze převést na následující tvar:

$$u(t) = \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot [1 + m_M \cdot \sin(\omega_M \cdot t + \varphi)] \quad (2.2)$$

Kde:

ω_1, ω_M - úhlová frekvence základní harmonické složky, resp. modulační složky

m_M – relativní velikost vrcholové hodnoty modulační složky, která se rovná $\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\Delta U}{U} \right)$

Při použití goniometrických funkcí lze vztah (2.2) dále upravit:

$$u(t) = \sin(\omega_1 t) + \frac{m_M}{2} \cdot \sin \left[(\omega_1 - \omega_m) t + \left(-\varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right] + \frac{m_M}{2} \cdot \sin \left[(\omega_1 + \omega_m) t + \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right] \quad (2.3)$$

Tato rovnice nám vyjadřuje součet tří sinusových harmonických funkcí, jedné nosné a dvou postranních frekvenčních složek posunutých na obě strany od základní nosné frekvence o rozdíl a součet nosné a modulační úhlové frekvence. Symetricky posunuté frekvenční složky vytvářející modulaci napětí mají stejnou velikost, která je rovna polovině velikosti modulace, resp. $\frac{1}{4}$ hloubky modulace a jejich počáteční fáze odpovídající počáteční fázi modulační funkce jsou v opozici.

Napětí může být periodicky amplitudově modulováno kterýmkoliv signálem. Uvedeme si jako příklad obdélníkové kolísání napětí, jehož základní vztah je:

$$u(t) = \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) \cdot \left[1 + \left(\frac{\Delta U}{U} \right) \cdot \frac{1}{2} \operatorname{sign}[\sin(2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot t + \varphi)] \right] \quad (2.4)$$

Pokud vhodně upravíme rovnici (2.3) a použijeme Fourierův rozvoj, tak nám vznikne funkce, která bude obsahovat liché harmonické v -násobku základní modulační frekvence f_M :

$$f_{IHV}^{\pm} = |f_1 \pm v \cdot f_m| \text{ kde } v = 1, 3, 5 \dots \quad (2.5)$$

Pro relativní velikost postranních spektrálních složek platí:

$$m_{IHV} = \frac{4 \cdot m_M}{\pi} \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{1}{2} \text{ kde } v = 1,3,5 \dots \quad (2.6)$$

Přičemž se velikost složek stejných frekvencí algebraicky sčítají [5].

2.1.2 Amplitudová modulace – skokové změny

Mezi tyto aperiodické změny se řadí AM, kde je nosný signál modulovaný časově osamocenou skokovou změnou. Skoková změna velikosti napětí je potom popsána relativní či procentní velikostí, která je vztažena především k nominální hodnotě napětí. Modulační signál je aperiodický a spektrum je spojitě.

Dalším typem je krátkodobá změna skokového napětí. Zajímavé u tohoto typu je, že velikost napětí před skokovou změnou a po skokové změně je stejná. Jako modulační signál je použit kladný nebo záporný obdélníkový impuls. Spektrum tohoto průběhu je opět spojitě [5].

2.1.3 Fázová modulace

Jedná se o změny fáze napětí. Jako první lze do této skupiny zařadit periodické změny fáze. Tyto periodické změny fáze nejsou v napájecích soustavách příliš obvyklým jevem. Zatímco aperiodické změny, jejichž typickým příkladem je skoková časově osamocená změna fáze, která se v napájecích sítích vyskytuje velmi často, lze popsat rovnicí:

$$u(t) = \sin \left[\omega_1 \cdot t + \frac{\alpha_m}{2} \cdot \sigma \cdot (t - t_0) \right] \quad (2.7)$$

Kde:

$\sigma \cdot (t - t_0)$ – je jednotkový skok v čase t_0

α_m – fázový skok v radiánech

Pokud je α_m kladná, tak dochází ke zkracování o daný úhel a naopak. V případě skokové změny napětí bude amplitudové spektrum obsahovat jednu diskrétní složku odpovídající nosné základní harmonické. Amplitudové spektrum bude spojitě a monotónně klesající ve spodním a horním pásu, symetricky k frekvenci nosné vlny [5].

2.1.4 Působení meziharmonických složek

Jakékoliv kolísání amplitudová modulace bez rušivých vlivů jde rozložit na součet více jak tří frekvenčních složek. Abychom byli schopni toho dosáhnout, je zapotřebí respektovat určitá pravidla. Pomocí správné kombinace, což je v tomto případě superpozice frekvenčních složek, lze opět čistě složit amplitudový signál. To však neznamená, že konečný průběh napětí nebude kolísat při rozložení nesymetrických meziharmonických frekvenčních složek superponovaných na základní harmonické napětí. Pod pojmem nesymetrické meziharmonické složky si představujeme jednotlivé meziharmonické, které netvoří páry se stejnou amplitudou a jsou symetricky rozdělené na frekvence horního a dolního postranního pásma s opačným fázovým posuvem.

Důsledkem působení meziharmonických složek je v napájecím napětí měněna jeho velikost a to už může způsobit blikání světelných zdrojů [5].

2.1.5 Zařízení způsobující kolísání napětí

V kapitole 2.1 jsme naznačili, že spotřebiče, které způsobují největší kolísání napájecího napětí v elektrické síti jsou především elektrické obloukové pece, elektrické svářečky, odporové pece, elektrické pohony s asynchronním pohonem. Tyto spotřebiče a spousta dalších vytvářejí kolísání napětí, které se v jednotlivých uzlech sčítá. Výsledné kolísající napětí se souborem parametrů zdrojů kolísání napětí je potom šířeno přes elektrickou síť do uzlu, ve kterém je například připojen světelný zdroj.

Elektrické obloukové pece

Při provozu tohoto typu zařízení dochází díky zátěži, která je vyvíjena na elektrickou síť, ke kolísání a deformaci napětí. V dnešní době není problém provozovat pece o výkonu více jak 100 MVA. Princip funkce spočívá ve změnách poloh tavicích elektrod ku tavenému materiálu, kdy dochází ke změně odebíraného proudu v elektrodách a velikosti elektrického oblouku mezi elektrodami a taveným materiálem. Dalším problémem mohou být zkrat na sekundární straně transformátoru způsobené stykem taveného materiálu a tavicích elektrod. Tudíž lze říci, že vzniklé charakteristiky jsou tvořené náhodnou změnou odběru, za jednotku času, přičemž četnost odebíraného proudu je 1-10 změn za sekundu.

Odporové pece

Dá se říci, že se jedná o nepřímé odporové ohřevy, které svými topnými články taví a tepelně zpracovávají elektricky vodivé a nevodivé materiály. Jelikož se topné články chovají jako odporová zátěž, tak lze očekávat, že odebíraný proud bude mít konstantní velikost. Fluktuace napětí může vzniknout například nevhodnou regulací teploty. Funkce tohoto zařízení lze popsat jako proces, při kterém dojde k zahřátí pece na maximální hodnotu. K tomu je zapotřebí zařízení nastavit tak, aby se po dobu rozehrívání odebíral maximální příkon ze sítě a potom se příkon snížil na udržovací hodnotu. Toho lze dosáhnout pomocí zapínání a vypínání topného zařízení, pomocí předem nastavené hystereze teploty, která musí být dostatečně naddimenzovaná, jinak bude docházet k extrémnímu odběru pulzujícího proudu. Výkony těchto zařízení se pohybují od jednotek až po stovky kVA.

Elektrické svářečky

Jsou jedním z hlavních zástupců, při kterých během provozu vzniká mnoho rušivých jevů. Zejména se jedná o odebíraný proud v krátkých časových intervalech, přičemž vzniká kolísání napětí odpovídající amplitudové modulaci s téměř pravoúhlými změnami. Čím je více svařecích zařízení připojených v síti, které nejsou synchronizované, tím je větší kolísání napětí. Výsledná charakteristika kolísání napětí je potom závislá na svařovací metodě a na principu zdroje svařovacího proudu. Svařovací metody lze rozdělit na dva základní typy: svařování obloukové a odporové.

Princip obloukového svařování je založen na kolísání velikosti proudu, které závisí na délce oblouku a může se pohybovat v rozmezí od nulové hodnoty až po stav odpovídající zkratovému proudu. Pokud použijeme automatizované svařecí přístroje, tak je tím pádem zajištěný regulovaný odběr proudu a tím i jeho kolísání. Příkon těchto svářeček se pohybuje od jednotek až po desítky kVA.

Odporové svařování pracuje na principu tavení a míšení materiálu dvou částí a to díky velmi velkému téměř konstantnímu svařovacímu proudu, který je odebírán a trvá až několik period sítě.

Amplitudová modulace napětí je pravoúhlá a při nesynchronizovaném provozu více zařízení může být až velmi výrazná.

Elektrické pohony s asynchronním motorem

Hlavní příčinu kolísání napětí lze popsat v následujících dvou skupinách. Do první skupiny lze zařadit rozběhy motorů popřípadě opakované rozběhy s vyšší četností výskytu. Pokud spustíme motor, tak dojde při jeho rozbíhání k odběru proudu, kterému říkáme záběrný proud. Tento proud je mnohonásobně vyšší než ustálený jmenovitý proud, proto způsobuje amplitudově fázovou modulaci napětí s obdélníkovým, pilovým, či kosodélníkovým průběhem modulace a dobou trvání v řádu jednotek až desítek sekund, v závislosti na velikosti pohonu, která se pohybuje od kVA do MVA. Vyvolaná změna je jednorázová a opakuje se náhodně v případě manuálního ovládání, nebo kvazi-periodicky při automatickém spouštění. Mezi tyto zařízení lze zařadit výtahy, jeřáby, tepelná čerpadla, která mohou být spuštěna až 8krát do hodiny, atd.

Druhá skupina se vyznačuje tím, že kolísání napětí je zapříčiněno nedokonalou konstrukcí a závadami při chodu motoru [5].

2.1.6 Řídící signály způsobující kolísání napětí

Tyto signály se v elektrické síti, která je hlavně určena pro přenos elektrické energie ze strany spotřeby na stranu výroby, používají pro řízení provozu. Je zřejmé, že tyto signály jsou často zdrojem meziharmonických napětí. Norma ČSN EN 61000-2-1 nám definuje čtyři základní kategorie signálů, které lze provozovat v určitých frekvenčních pásmech:

- Hromadné dálkové ovládání (HDO) – Sinusové signály v nových systémech o rozsahu 50-110Hz, ve starších 110 – 2000Hz (3000Hz). Používají se především v distribučních sítích NN, VN a VVN. Normální hodnota velikosti nosného signálu je 2-5% jmenovitého napětí, při výjimečných stavech je 9%.
- Středofrekvenční komunikace po silových vedeních – Jsou používány sinusové signály o frekvenci 3-20kHz. Preferované jsou frekvence o velikosti 6-8kHz s velikostí 2% napájecího napětí.
- Vysokofrekvenční komunikace po silových vedeních – Tyto sinusové signály o velikosti 20-148 500 kHz (500kHz) jsou používány pro technické nebo komerční účely v distribučních, průmyslových a privátních sítích NN
- Síťové značkovací systémy – Jedná se o nesinusové signály superponovaného napětí, jehož dlouhé pulsy trvají 1,5-2ms, krátké pulsy 20-50ms a pulsy trvající jednu nebo dvě půlperiody [5]

2.2 Rušivý vjem blikání

2.2.1 Princip zrakového ústrojí

Jedná se o velmi složitou biologickou soustavu, která je z hlediska anatomie velmi komplikovaná. Jedním ze základních pěti lidských smyslů je zrak, jehož prostřednictvím získáváme informace z okolí. Hlavní složkou těchto informací jsou světelné a barevné podněty. Tomuto procesu říkáme také vidění, jehož funkcí je právě příjem, výběr a zpracování informací,

teré nám z optických podnětů vytváří nervové vzruchy. Ty jsou pak vedeny zrakovým nervem do mozkového centra vidění, kde vytvářejí zrakový požitek [5],[7].

Nauka, která se zabývá těmito problémy už něco přes 40 let, se nazývá fyziologie zraku a popisuje právě funkce a projevy tohoto zrakového ústrojí. Zrakové ústrojí se skládá ze tří částí: periferní vidění, spojovací segment a centrální oblast [5].

2.2.2 Lidské oko a jeho složení

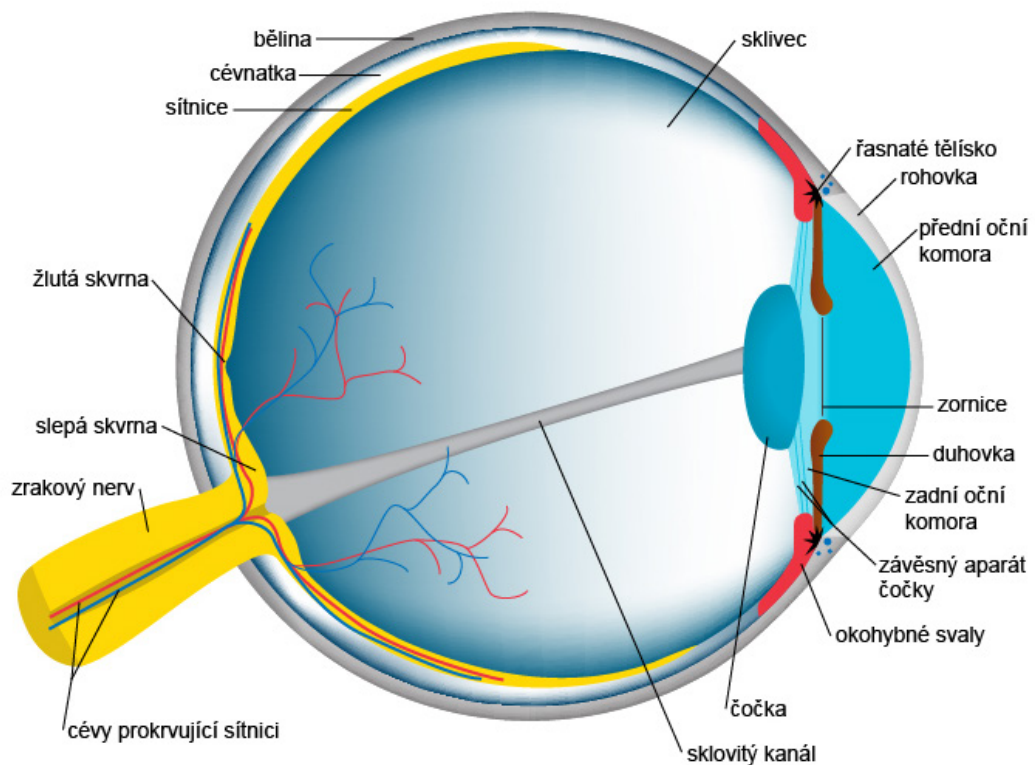
Jak jsme si již naznačili v kapitole 2.2.1, tak se jedná o smyslový orgán (Obr. 2.2), který umožňuje příjem informací z vnějšího prostředí prostřednictvím světla, přičemž se v něm informace do určité míry zpracovávají a upravují v nervové podráždění.

Oční bulva je kulového tvaru o průměru asi 24 mm a je přizpůsobena k rychlému a snadnému otáčení v očníci. K lepšímu pochopení funkce lze oko rozdělit na dva systémy.

První z nich lze pojmenovat jako optickou část. Ta vytváří na sítnici převrácený, zmenšený a neskutečný obraz, skrze rohovku, přední komoru, duhovku, zornici, čočku a sklivec. Rohovka je pevný obal bělimy, které je bílé a neprůhledné. Přední komora je vyplněná nitrooční tekutinou a je mezi duhovkou a rohovkou. Další důležitou částí je cévnatka, která přechází v duhovku a řasnaté tělísko, jehož funkcí je mít na sobě zavěšenou čočku. Princip duhovky funguje na jakési mechanické, optické cloně oka. Uprostřed se nachází zornice, která je kruhového tvaru. Pomocí její velikosti, která závisí na smrštění svalů duhovky, je upravována velikost světelného toku vstupujícího do oka. Čočka se nachází za zornicí a je to dvojvypuklé, polotuhé tělísko pružné konzistence obalené pružným pouzdem. Průběhem času lidského života roste její velikost. Sklivec lze popsat jako bezbarvou rosolovitou hmotu vyplňující vnitřní prostor oka.

Nervový systém, který nervově zásobuje zejména sítnici, což je průsvitná blána s hodně komplikovanou, ale pravidelnou oční skladbou. Člení se do jedenácti vrstev obsahující fotoreceptory (tyčinky a čípky) a spoustu dalších nervových buněk (např. gangliové buňky). V sítnici je asi 6,5 miliónů čípků soustředěných více ke středu (ke žluté skvrně) a 125 miliónů tyčinek hustěji umístěných při kraji sítnice. Dochází v ní k důmyslnému zpracování a třídění informací, které právě tyto fotoreceptory v podobě časových, prostorových, jasových i barevných rozdílů zachytávají. Centrální jamka (tzv. žlutá skvrna) je místo přímého vidění s nejvyšší rozlišovací schopností. Z receptorů obsahuje pouze čípky.

Základní funkční jednotkou je plocha sítnice kruhového tvaru (tzv. vjemové pole), odkud lze podráždit jedno vlákno zrakového nervu (tj. galiovou buňku). Součástí galiových buněk jsou cirkadiánní čidla, která zajišťují člověku spoustu biologických pochodů v těle. Mezi tyto pochody patří např. tělesná teplota, krevní tlak, tepová frekvence, ladění organismu k práci či odpočinku atd. Z tohoto důvodu víme, že ostatní čidla v lidském těle ovlivňují a jsou ovlivňována zrakovým vjemem, což má potom za následek následnou fyzickou i psychickou pohodu člověka [5],[7].



Obr. 2.2 Řez lidským okem [8]

2.2.3 Spektrální citlivost oka

Námi viděný obraz je transformován na i skrz sítňici pomocí světelných paprsků. Paprsky jsou snímány foto pigmenty umístěných na vnější části čípků a tyčinek. Vzniklé informace jsou transformovány pomocí foto receptorů na elektrochemické signály, které jsou přeneseny do dalších nervových buněk sítňice.

Víme, že fotoreceptory jsou tvořeny tyčinkami, které již nelze rozdělit do dalších skupin oproti tomu čípky mají skupiny tři, rozdělující se na červené (dlouhé), zelené (střední) a modré (krátké). Lze však poznamenat, že tyto foto pigmenty neurčují vnímání barev. Rozložení čípků a tyčinek je na sítňici náhodné, za to rovnoměrné, ovšem na žluté skvrně se tyčinky vyskytují zřídka, nebo vůbec a to samé platí i o čípkách (modrých).

Samotná spektrální citlivost oka závisí na vlnové délce dopadajícího záření a je dána absorpčním spektrem jednotlivých typů fotoreceptorů v kombinaci se spektrální propustností optického systému oka, kdy je přicházející záření filtrováno spektrální propustností rohovky, výplně přední komory, čočky a sklivce.

Protože, lidské oko není stejně citlivé na záření o různých vlnových délkách a každý člověk na světlo reaguje jinak, lze říci, že hranice viditelnosti bude u každého jiná. Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE), přijala dohodu o hodnotách spektrální citlivosti tzv. normalizovaného pozorovatele z důvodu, aby byly sjednoceny výsledky světelnotechnických výpočtů. Za denního fotopického vidění je maximální citlivost oka určena citlivostí čípků a pohybuje se okolo 555nm. Při přechodu z fotopického vidění na skotopické nám vzniká Purkyňův jev, při kterém se nám snižuje jas červených ploch a zvyšuje jas modrých ploch [5],[7].

2.2.4 Zorné pole

Je to prostor, který lze vidět bez pohybu oka a hlavy. Ovlivňuje ho struktura lebky a očí. Rozděluje se na monokulární a binokulární část. Monokulární část lze zjednodušeně popsat, jako soubor anatomických a matematických prvků popisující zorné pole jednoho oka, obsah slepých bodů a očních cév. Jelikož většina lidí má v provozu obě oči, tak se monokulární pole překryjí a vytvoří tím kombinované binokulární pole o rozsahu 120° . Velikost zorného pole, pokud vezmeme v úvahu části, které jsme si popsali, je ještě ovlivňováno těmito aspekty: anatomii obličej, jasně světla, stavem adaptace, velikostí a dobou trvání stimulu a chromatičností světla.

Pozorovatel sleduje libovolnou událost ze života, a aby ji pořádně viděl, tak natočí optickou osu očí tak, aby se obraz zobrazil na žluté skvrně. Přičemž oční svaly nastavují optické osy tak, aby na obou sítnicích splývaly v jeden obraz. Pozadí je část zorného pole pozorovaného obrazce v rozmezí $20^\circ - 60^\circ$. Zbytek se nazývá vzdálené pozadí. Na sítnici se obraz mění rychlostí cca 5 snímků za sekundu. Přičemž kompenzační mechanismy vytvářejí jejich stabilizaci [5].

2.2.5 Adaptace oka

Adaptace oka nám popisuje, jak se oko přizpůsobí různým intenzitám jasu a osvětlenosti prostoru. Oko je schopné se přizpůsobit osvětleností rovinné plochy proložené zornicí v rozmezí asi od 0,25-105 luxů, což odpovídá enormnímu rozsahu jasů 10 až 12 řádů. Oko k tomu využívá tři základní adaptace: optická, neutrální a fotochemická.

Optický adaptační proces je založen na principu změny velikosti zornice a to pomocí duhovky, která se smršťuje a roztahuje. Čím méně světla, tak se zornice rozšiřuje a naopak. U žen, dětí a bělochů jsou zornice větší, ale s přibývajícím věkem se zmenšují. Mění se i její citlivost a to asi o 1,2 řádu.

Neutrální adaptace vzniká při vysokém osvětlení sítnice, které je zachytáváno čípkami (fotopické vidění, jas je větší 10 cd.m^{-2}). Zatímco tyčinky jsou na světlo asi 1000 krát citlivější než čípky (skopické vidění, jas je menší než $0,001 \text{ cd.m}^{-2}$). V rozsahu $0,001-10 \text{ cd.m}^{-2}$ nám mezitím vznikla mezera nazývaná se mezioptické vidění, lze jej považovat za další adaptaci oka. Bez adaptace barev se také neobejdeme, protože nám zajišťuje určitou stálost vnímání barevných tónů při velkých změnách osvětlení a světla.

Fotochemická adaptace využívá ke své funkci fotochemický děj. Vzniká rozpadem tří pigmentů čípků a jednoho pigmentu tyčinek. Délka jejich rozpadu přitom závisí na jasu a vlnové osvětlení (světla). Citlivost a adaptace oka ze světla do tmy a naopak není stejná a přizpůsobení není okamžité [5].

2.2.6 Princip zrakového vjemu a vjemu blikání

Zrakový vjem určuje relativní hustota přijímaného záření anebo kontrast mezi sousedícími oblastmi sítnice. Pomocí jasů na povrchu sítnice lze vyjádřit úroveň osvětlení:

$$E_r = \frac{L \cdot \pi \cdot g^2 \cdot \tau \cdot \cos \phi_0}{k^2} \quad (2.8)$$

Kde:

E_r – osvětlenost sítnice

L – jas objektu

g – poloměr zornice

τ – propustnost oka

ϕ_0 – úhlový posun od hlavní osy pohledu

k – konstanta $k=15$

Lze ho také rozdělit podle několika základních parametrů týkajících objektů v prostoru:

- Jas a pozadí objektu
- Kontrast
- Světelné spektrum objektu a pozadí
- Čas trvání vjemu
- Kmitočtové charakteristiky změn
- Velikost objektu
- Umístění objektu od hlavní osy pohledu
- Pohyb v zorném poli
- Jasové nerovnosti objektu a pozadí

Výsledná viditelnost jakéhokoliv tvaru je potom funkcí uvedených parametrů, ale může být i ovlivněna pozorností, návykem a očekáváním.

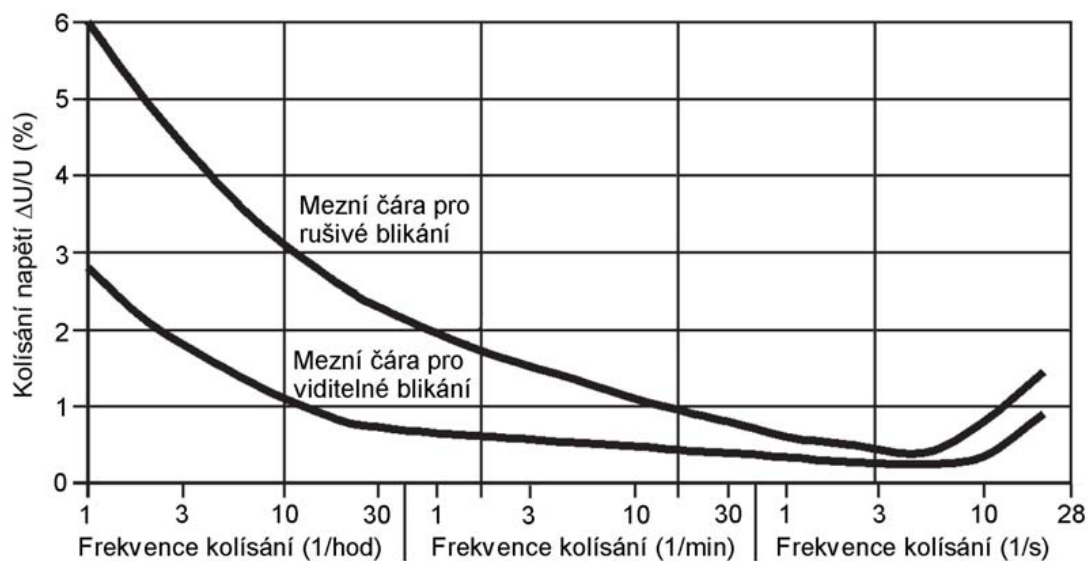
Tvar různé velikosti lze od pozadí rozlišit pomocí kontrastu jasu a barev, závisících na odrazivosti povrchů. Na detekci těchto dvou úrovní jasu se podílejí i velikosti vjemových polí a počty fotoreceptorů. Pokud je sítnice rovnoměrně osvětlena, zrakový systém nemůže poskytnout klíčovou informaci o prostředí (tvaru), ale může zpracovat a vyhodnotit nespojitosti, rozdíly jasu v zorném poli. Pokud se stane, že předmět má stejný jas jako pozadí, lze jej rozpoznat na základě barevné informace. Existuje tzv. model barevnosti, který byl vytvořen na základě odezev čípků na dlouhé a střední vlnové délky. Popisuje nám, kde se nachází oblast barevného jasového kontrastu a kde už přechází v nebarevný jasový kontrast.

Lidské oko není dokonalý mechanismus a dochází v něm ke zpoždění, které vzniká fotochemicko-elektrickým procesem. To má i své výhody, protože můžeme vidět některé jevy, jako je například blesk. Obecně se říká, že frekvenci blikání, které oko může vnímat (vidět) je od 0,1-50 Hz. Nad 50 Hz je blikání téměř nepostřehnutelné. Lidské oko je částečně citlivé na frekvence od 5-30 Hz. Kritická hranice blikání je 25, 50 Hz [5].

Ať už blikání vzniká jakýmkoliv způsobem, je zřejmé, že člověk pracující při světle přirozeném anebo umělém je rušen. Rušení je vlastně vyjádřeno reakcí jedince na podněty přijaté skrz zrakový systém, které lidský mozek označí jako nepohodlné pro organismus.

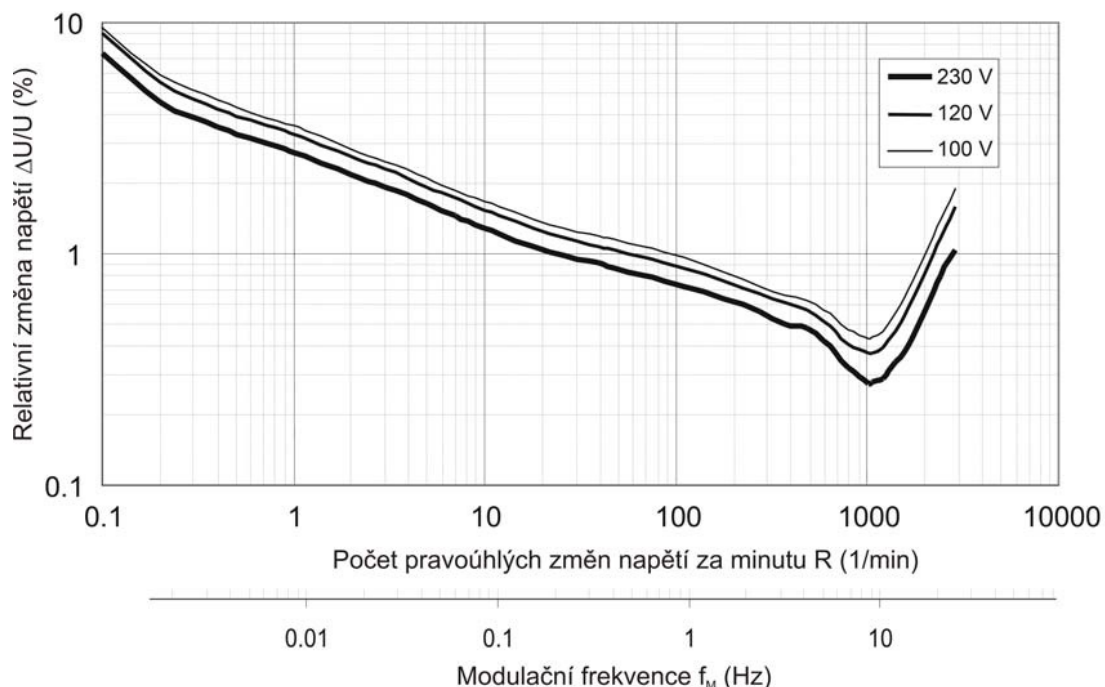
2.2.7 Křivka stejné míry vjemu blikání

Z historie víme, že první pokusy zkoumání, měření blikání žárovkového světla a vliv na zrakový vjem člověka, začal okolo roku 1920 na základě studie změn napětí v důsledku spouštění pohonů. Před rokem 1930 byl zkoumán a publikován společností GE Company rozdíl mezi prahovou úrovní pro viditelné a rušivé blikání. V roce 1959 zkoumala tyto problémy i společnost Westinghouse. Teprve až společnost Consolidated Edison přišla s mezními křivkami, které vycházejí z odezvy skupiny pozorovatelů na blikání 120V žárovkou napájenou cyklickým pulsačním napětím (Obr. 2.3). Tyto křivky jsou velice podobné křivkám vytvořené GE Company z roku 1930. Byly později zahrnuty do norem IEEE.



Obr. 2.3 Mezní křivky změny napětí na rušivý vjem blikání [5]

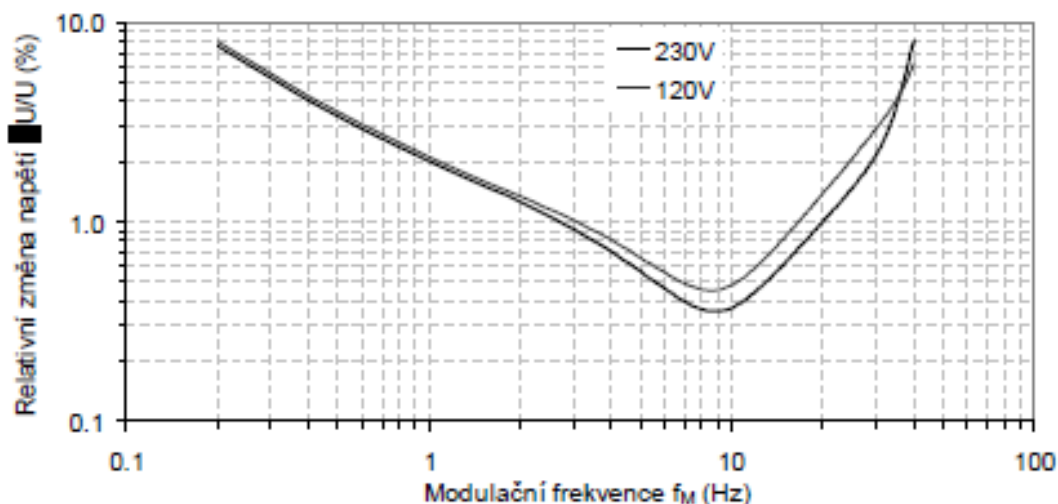
V Evropě vznikaly distribuční sítě střídavého napětí o velikosti 230V. Proto bylo okolo 70-80. let vypracováno měření pro pravoúhlé změny velikosti napětí v závislosti na jejich četnosti pro žárovku 60W, 230V způsobující rušení zrakového vjemu průměrného pozorovatele. Výsledné křivky (Obr. 2.4) jsou zapsány v normě ČSN EN 61000-2-2. Popisují výsledky laboratorních zkoušek na rozsáhlém vzorku pozorovatelů, z nichž více než 50% zaznamenalo změny napětí s parametry nad mezní křivkou, což se projevilo rušivým vjemem blikání. Dalších více než 50% nezaznamenalo pod mezní křivkou rušivé blikání.



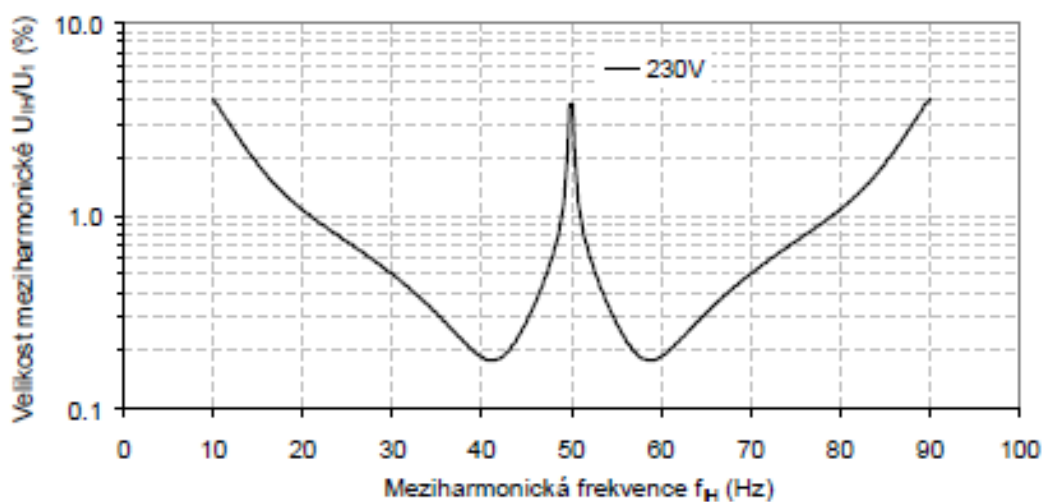
Obr. 2.4 Křivka stejné míry vjemu blikání, pravoúhlé změny napětí pro žárovku 60 W, 230 V (Evropa), 120 V (Severní Amerika), 100 V (Japonsko) [5]

Použití dvouvláknové žárovky 60W, jako referenční zdroj pro měření bylo z toho důvodu, protože byla v tehdejší době nejvíce používána.

Z mezní křivky pro pravoúhlé změny napětí, lze odvodit mezní křivku pro sinusové (Obr. 2.5) a meziharmonické napětí pro $f \leq 100$ Hz (Obr. 2.6). Tyto křivky opět vyjadřují závislosti pro 60 W žárovku 230 V a 50 Hz [5].



Obr. 2.5 Křivka stejné míry vjemu blikání, sinusové kolísání napětí pro žárovku 60W, 230V (Evropa), 120V (Severní Amerika) [5]



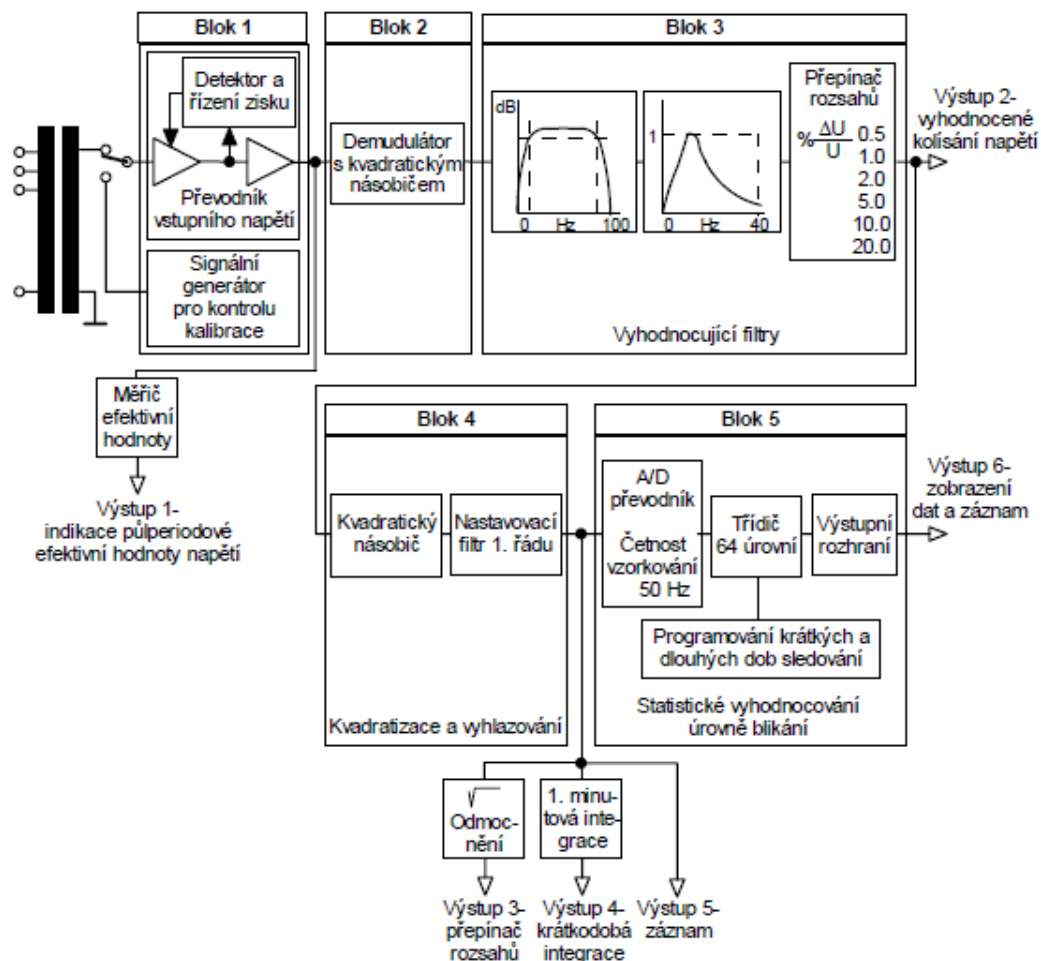
Obr. 2.6 Meziharmonická napětí s kompatibilní úrovní (žárovka 60 W, 230 V) [5]

2.3 Flikrmetr

Jedná se o měřicí zařízení, které měří blikání a vyhodnocuje odezvu, která je simulována částí napodobující zrakový systém průměrného pozorovatele. Vývin této metody začíná od prvních pokusů na začátku 20. století. Tehdy byla použita skupina pozorovatelů, kteří reagovali na různé rušivé vlivy, které byly demonstrovány na žárovce, napájenou simulovanými pulsy. Na základě rozsáhlých výzkumů byl v 80. letech 20. století vytvořen model standardizovaného měřiče flikru společností UIE. Měření bylo prováděno na referenčním zdroji světla vakuové žárovce 230 V / 60 W. Skupina pozorovatelů byla nahrazena analogovým obvodem.

Na Obr. 2.7 je vyobrazena koncepce zařízení, která je používána v současnosti. Více informací lze nalézt v normě ČSN EN 61000 – 4 - 15. Jeho složení připomíná specializovaný analyzátor amplitudově modulovaného signálu s nosnou frekvencí odpovídající základní harmonické frekvenci elektrické sítě, s následným vyhodnocením frekvenční odezvy systému světelný zdroj – oko – mozek průměrného pozorovatele. Lze jej rozdělit do 5 – ti bloků:

- blok 1 – úprava měřeného signálu
- blok 2,3,4 – modelování odezvy řetězce světelný zdroj – oko – mozek
- blok 5 – statická analýza signálu blikání v reálném čase s prezencí výsledků [5]



Obr. 2.7 Flikrmetr v současné době [5]

3 CÍLE PRÁCE

3.1 Motivace

V nedávné minulosti nebylo tolik výrobců světelných zdrojů, jako je tomu v současnosti. Jednalo se spíše o takovou hlavní skupinu světových výrobců, kteří měli dlouholeté zkušenosti s konstrukcemi tehdejších světelných zdrojů, jejichž vlastnosti a parametry byly pevně dané. Postupně docházelo k objevům nových světelných zdrojů, jako jsou např. zářivky, kompaktní zářivky. Byly také podrobeny výzkumům týkající se kolísání napětí a to za pomoci flikrmetru, který je založen na referenční 60W žárovce. Další změna velká změna přišla s elektronickými předřadníky, jež nahrazují soubor konvenčních přístrojů: tlumivka, startér, kompenzační kondenzátor. Opět došlo ke změnám chování světelných zdrojů a tím i k novým výzkumům. Mezi nejmladší světelné zdroje lze zařadit LED světelné zdroje. V současnosti je na trhu, neuvěřitelné množství výrobců, kteří mají přístup ke škále LED čipů, ke kterým musí vyrobit zdroj pro napájení. Ovšem to vedlo k ohromnému množství technických řešení zdrojů, které mají za úkol zajistit základní funkce LED čipů při co nejmenších nákladech na výrobu. Vlastnosti těchto zdrojů se mohou extrémně lišit, protože nejsou podchyceny normami a může nastat problém s EMC. Bohužel v současnosti není příliš dostupných informací o odezvě, konstrukčních řešení (posouzení a vyhodnocení hlediska blikání LED, jestli má budoucnost) těchto napájecích obvodů, což je důvod, proč se touto problematikou zabývat. V budoucnu nelze očekávat, že míra rušivých jevů se v elektrické síti bude snižovat. Právě naopak, budou přibývat elektrárny pracující s obnovitelnou energií (fotovoltaické, vodní, větrné), jejichž výkon není stálý. Dále bude nárůst spotřebičů, jejich odběr bude přerušovaný. Proto potřebujeme levné, odolné a dobré řešení napájecího zdroje pro LED nejen z ohledu blikání, ale i dalších parametrů.

3.2 LED a jejich parametry

Na trhu se v dnešní době vyskytuje obrovské množství LED čipů a diod, které jsou vyráběny různými společnostmi. Jejich výrobní procesy se v určitých částech pravděpodobně liší, což má za následek vliv na parametry a na čistotu vyráběného produktu. Většina těchto parametrů je pro nás klíčová a proto si ty nejdůležitější popíšeme (4). Ovšem je nutné uvést, že to není na samotném principu přeměny světla, ale hlavně na dobře zvoleném napájecím zdroji, protože LED čipy oproti předchozím zdrojům světla mají řádově rychlejší odezvu na změny a tím i na odolnost.

3.3 Nejpoužívanější zdroje napájecí LED

Skladba zdroje (5) je jedním z nejdůležitějších předpokladů, který určuje, jak bude reagovat na vstupní kolísání napětí, fáze atd. celý obvod, včetně připojených LED čipů a diod. Ovšem i zde záleží, na výrobcu, jaké zvolí zapojení zdroje, jak kvalitní použije součástky filtračních a řídicích obvodů.

3.4 Samotné cíle práce

Protože v současnosti je obrovské množství LED žárovek, jejichž obvody a chování jsou nám neznámé, tak je naším cílem:

- vybrat soubor LED světel, které jsou určeny pro domácnost, jako náhrada za žárovku s běžně vyskytujícími se patičkami v domácnosti E27 a GU10
- změřit jejich citlivost na mezipharmonické kolísání napětí a potom u vybraných vzorků změřit i odolnost na mezipharmonické a AM obdélníkové kolísání napětí, abychom zjistili různé vlastnosti odezvy a chování vzorků
- změřit odebíraný vstupní proud, napětí a světelný tok, výsledkem bude provedení analýzy topologií napájecích zdrojů
- závěrem bude zhodnocení výsledků, rozdělení změřených LED světel do tříd odolnosti

3.5 Metody a postupy řešení

Aby bylo možné dosáhnout výše uvedených cílů práce, je nutné si nastudovat literaturu z oblasti napájecích zdrojů a kolísání napětí. To povede k porozumění jednotlivých částí obvodů a zjištění jejich chování.

3.5.1 Měření vybraných LED žárovek

Vybereme si 11 vzorků LED žárovek od různých výrobců, s různými parametry. Budeme generovat rušení mezipharmonické a AM obdélníkové, z důvodu, že se vyskytují v elektrické síti. Tyto rušení, projevující se jako blikání budeme měřit pomocí objektivního flikrmetru. Výsledkem tohoto měření budou grafické závislosti, z nichž následně určíme skupiny, které budou pojednávat o tom, do jakého prostředí z hlediska rušení je lze použít.

3.5.2 Odhadnutí použitého zdroje napájející LED

V této části se pokusíme odhadnout, jaký byl použit zdroj napájecí LED čipy a diody. Zjistíme to díky chování obvodu a to při jeho odběru napětí a proudu ze sítě. Lze to zjistit i rozděláním LED žárovky, ale to by vedlo, k poškození obalu a následné opětovné nepoužitelnosti.

4 BÍLÉ LED DIODY

4.1 Princip funkce

Jedná se o polovodičové součástky obsahující PN přechod, který vydává optické záření (nekoherentní světlo) a to za pomoci buzení elektrického proudu. Dá se říci, že jsou nejmladší ve svém vývoji, protože byly vytvořeny jako poslední. K jejich vytvoření bylo zapotřebí vynalezení LED s modrou barvou. Bílé světlo lze tedy získat dvěma způsoby. První spočívá v míšení světla červené, zelené a modré LED. Je to velice náročná metoda na hardware a software. U druhého způsobu se využívá fosforence luminoforů. Jedním z takových luminoforů je yttrito – hlinitý granát aktivovaný cerem, který je buzen světlem modré diody, anebo třípásmový luminofor buzený zářením ultrafialové diody. Díky čistotě materiálu by měly v současnosti vyzářit více než 200 lm/W [3].

4.2 Vlastní světelný zdroj

Je to polovodičový čip o malých rozměrech. V průběhu vývoje se tyto čipy zvětšovaly, čímž vzrostl i proud a zvyšoval se světelný tok. V současnosti se blíží k výkonu několik desítek W a světelný tok dosahuje přes 1000 lm.

Lze je rozdělit do tří skupin:

- diody o malém výkonu s proudem 1 až 2 mA
- standartní diody s proudem větší než 20 mA
- výkonové s proudem větší než 350 mA

Výsledný světelný zdroj je potom složen z vhodných optických prvků, které usměrňují světlo, kryt je vyroben z epoxidové pryskyřice a jeho barva je shodná s barvou vyzařovaného světla. Konfigurací reflektoru se úhel vyzařování v současné nabídce pohybuje od 8 – 120°. Pokud chceme zvětšit světelný tok, tak použijeme několik krystalů zapojených do série, anebo jeden krystal se zvětšenou plochou a dostatečným chlazením místa PN přechodu [3].

4.3 Základní parametry

4.3.1 Světelný tok

Popisuje světelnou energii, kterou světelný zdroj vyzáří za 1 sekundu. Jinými slovy lze říci, že se jedná o jakousi formu výkonu. Jednotkou je 1 lumen, který je definován jako světelný tok vyzářený zdrojem o svítivosti 1 kandela do prostorového úhlu 1 steradián. Velikost tohoto parametru nám ovlivňuje svítivost zdrojů [9].

4.3.2 Index podání barev CRI (RA)

Je druhým nejdůležitějším parametrem osvětlení po světelném toku světla. Jedná se o číslo, které vyjadřuje schopnost světelného zdroje redukovat barvy osvětleného objektu v porovnání s přirozeným slunečním osvětlením. Nejvyšší hodnota je 100 a nejnižší 0, vyjadřují podání barev světla.

U LED světél se hodnota CRI pohybuje mezi 65-95. Čím je větší CRI, tím je nižší svítivost a naopak.

Je doporučeno používat LED světla v obytných prostorech s CRI větší než 80 z důvodu věrohodnosti barev, ve venkovních prostorech a industriálních využitích CRI větší než 65 [10].



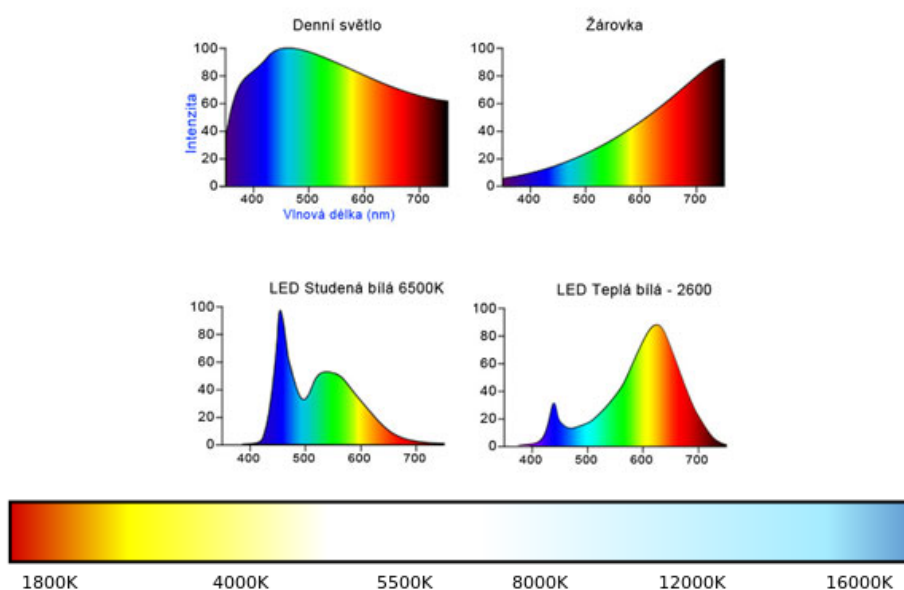
Obr. 4.1 Ukázka indexu barev CRI [10]

4.3.3 Výkon

Vyjadřuje, kolik elektrické energie spotřebuje LED světlo, nebo jeho další provedení. Jednotky jsou watt (W). Spotřeba není ani zdaleka tak velká, jak tomu bylo u ostatních světél, asi 10%. Zdaleka neplatí, že čím vyšší výkon, tím více bude LED světlo svítit. To záleží právě na světelném toku [11].

4.3.4 Teplota chromatičnosti

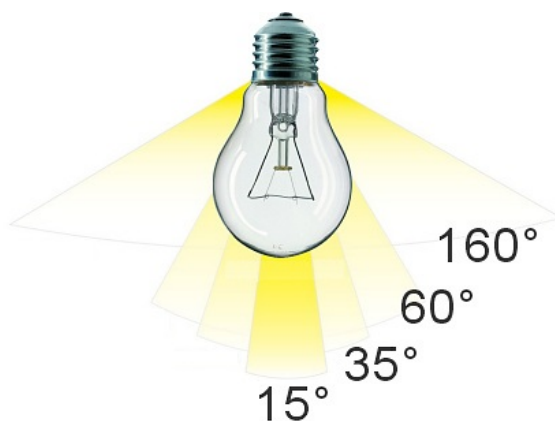
Je to barva, která je vydávána samotným světelným zdrojem. Lze ji rozdělit do tří základních kategorií: bílá studená, denní bílá, teplá bílá. Studená bílá dosahuje teploty okolo 5500 – 6500K. Přirovnáním se podobá zářivkám. Využitím se uplatňuje v pracovních, kancelářích a obchodech. Denní bílá má teplotu mezi 4000 – 4500K, blíží se nejvíce dennímu světlu, proto ji používáme v domácnostech. Teplou bílou lze přirovnat ke klasické žárovce, protože její teplota je v rozmezí 2800 – 3000K. Teplota slunce je okolo 5500 – 10000K, tudíž se jedná o studenou bílou. Nejbližší ke slunečnímu svitu má studená bílá o teplotě 5200K s CRI > 80 [11].



Obr. 4.2 Ukázka teploty chromatičnosti pro světla [11]

4.3.5 Úhel vyzařování

Je to úhel (Obr. 4.3), pod kterým je vyzařován světelný paprsek do okolí. Závisí na konstrukčním provedení LED žárovky i lustru (svítidla). Vyzařovací úhly se u LED pohybují od 15° - 360° . S rostoucí velikostí úhlu se nám zvyšuje i plocha osvětlení. Lze tedy LED svítidla rozdělit na bodové (okolo 60°), směrové (90°), s větším rozptylem (120°), velkým rozptylem (160° - 180°), téměř všesměrové (300°), všesměrové (360°) [13],[14].



Obr. 4.3 Úhel vyzařování [13]

4.3.6 Životnost

Provozní životnost (Obr. 4.4) se u LED může lišit, většinou se pohybuje v rozmezí 25000 - 50000 h. LED žárovky jsou v podstatě bezúdržbové, ovšem i zde dochází k mírnému snížení světelného toku a k občasnému selhání. Ke snížení životnosti mohou přispět faktory popsané níže.

Teplota

Vlivem vyzařování světla vzniká teplo, které může mít za následek snížení světelného toku i životnosti, což platí pro LED čipy i celé moduly. Tento vliv lze omezit, či úplně eliminovat a to za použití správně nadimenzovaného chladiče.

Mechanické vlivy

Mohou vzniknout během výroby, montáže či manipulace s LED diodou. Při použití určitých materiálů, může docházet při vysokých teplotách i k mechanickému pnutí, což může mít za následek zničení LED.

Spotřeba energie

Pokud chceme zvýšit životnost LED čipu, tak toho lze dosáhnout správně zvoleným odporem, který nám nastaví provozní proud. Pokud tento proud nastavíme na jeho maximální hodnotu, lze počítat s tím, že bude během záření vznikat více tepla a tím se sníží životnost.

Světlo

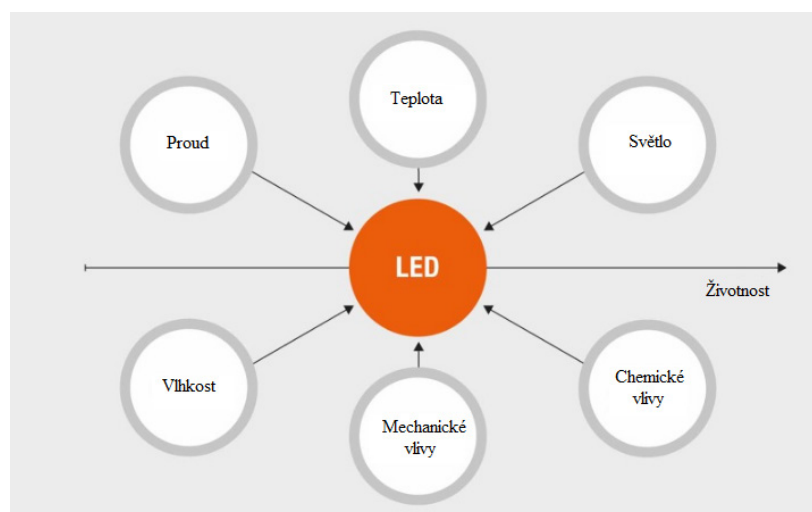
Důležitou roli zde hraje i tvar pláště. U převážné většiny plášťů dochází v prvních stovkách provozních hodin k výraznému stárnutí zabudovaného čipu a to díky vysoké intenzitě a jasů emitovaného světla.

Vlhkost

LED diody se vyznačují velkou odolností vůči vibracím, nárazům. Ovšem pokud ji její kryt dostatečně nechrání, může dojít ke zkorodování elektrod uvnitř přechodu LED a k následné nefunkčnosti.

Chemické vlivy

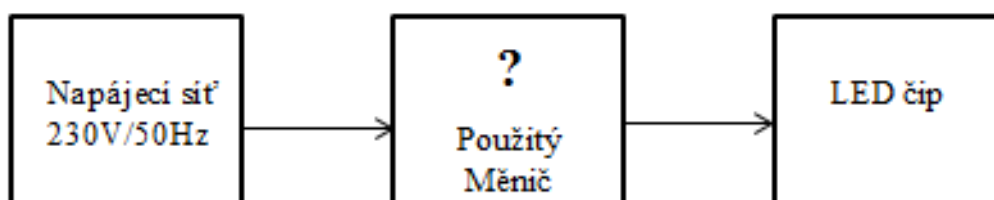
Tento druh ohrožení se může lišit dle použití prostředí. Proto je nutné zvážit, jaké svítidlo, do tohoto prostředí umístíme. Mezi další vlivy, které mají negativní vliv na provozní životnost, lze zařadit: korozivní prostředí (SO_2), pobřeží se střední koncentrací NaCl, chemický průmysl, koupaliště a bazény se středně vysokou koncentrací Cl [15].



Obr. 4.4 Blokové schéma působení okolních vlivů na LED [15]

4.4 Shrnutí

Jedná se tedy o primární zdroje světla, které mají relativně malý výkon. Pro jejich napájení je použit stejnosměrný zdroj. Velikost napětí se pohybuje v poměrně nízkých řádech, nejčastěji to je 12V. Proud je také velmi malý v řádech mA. Aby bylo možné připojení do napájecí soustavy (Obr. 4.5), která má harmonický průběh střídavého napětí o nominální hodnotě 230 V/50 Hz, je nutné použít snižující měnič, který přemění střídavou energii na stejnosměrné napětí. Jelikož je v současnosti hodně konstrukčních řešení měničů, proto těžké si vybrat ten správný a nejodolnější světelný zdroj.



Obr. 4.5 Připojení na napájecí síť

5 NAPÁJECÍ ZDROJE LED

Jinak řečeno, jsou to snižující měniče, které musí provést přeměnu střídavého napětí na stejnosměrný proud. Velikost výstupního napětí je dána počtem připojených LED čipů. Nejobvyklejší výstupní napětí je 12V, ale není to pravidlem. V současnosti je ohromné množství řešení zapojení těchto měničů. Každá topologie závisí na velkém počtu požadavků, které jsou dány normami s ohledem na bezpečnost a EMC. Řešení těchto obvodů je polovodičové. Občas bývají označovány jako drivery.

5.1 Topologie zapojení

V současnosti existuje již několik různých druhů zapojení. Z topologického hlediska je lze rozdělit na 2 základní skupiny: spínané (Obr. 5.1) a lineární (Obr. 5.2).

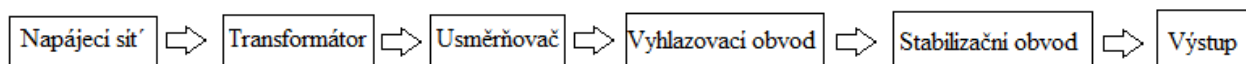
Lineární zdroje se dodnes používají a to zejména tam, kde jsou přísné požadavky na kvalitu výstupního stejnosměrného napětí. Nejvýhodnější je použití u zařízení s malým výkonem, protože obvod je jednoduchý a tím i nízká cena. Nevýhodou těchto zdrojů je, že čím vyšší jsou nároky na výkon, tím se zvedá i cena, jejich účinnost je malá (30 – 50 %) [18].

Spínané zdroje se v současné době nejvíce používají prakticky ve všech odvětvích elektroniky. Jejich rozvoj byl možný díky objevu moderních výkonových prvků. Jejich hlavním úkolem je zajistit napájení stabilním stejnosměrným napětím. V této oblasti mají velký význam spínané zdroje, řízené pomocí pulzně šířkové modulace. Jejich schopností je zajistit stabilní výstupní napětí, které je nezávislé na zatížení a kolísání síťového napětí a má nízkou hodnotu zvlnění. Mezi hlavní výhody patří vysoká energetická účinnost, která se pohybuje v rozmezí 80 – 90 %. Z hlediska konstrukce mají malé rozměry i hmotnost. Nevýhodou u pulsních zdrojů je větší zvlnění výstupního napětí, dynamické parametry. Další nevýhodou jsou vyšší nároky na jednotlivé součástky z hlediska vysoké pracovní frekvence a tím i jejich cena. Jejich odrušení je též složité [18].

Výsledná topologie je navržena tak, aby byly co nejlepší parametry. To ovšem záleží na konstruktérovi. Topologie potom může mít galvanické oddělení, může obsahovat VF a NF filtry atd.



Obr. 5.1 Topologie spínaného zdroje

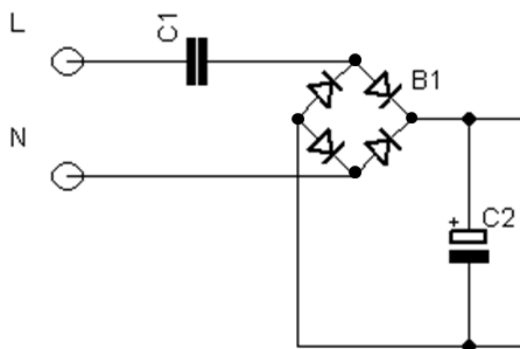


Obr. 5.2 Topologie lineárního zdroje

5.2 Vstupní obvody

5.2.1 Napěťový dělič

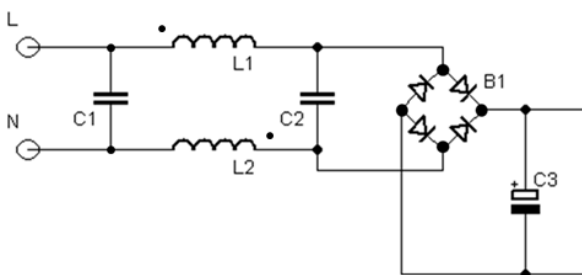
Je to usměrňovač, který pracuje do kapacitní zátěže s napěťovým děličem. Používá se pro LED o malém výstupním výkonu (Obr. 5.3).



Obr. 5.3 Napěťový dělič [12]

5.2.2 Vysokofrekvenční filtr

Tento obvod má se skládá z LC filtru (Obr. 5.4) a má za funkci odfiltrovat příchozí složky namodulované nežádoucí frekvence.



Obr. 5.4 Vysokofrekvenční filtr [12]

5.3 Měniče

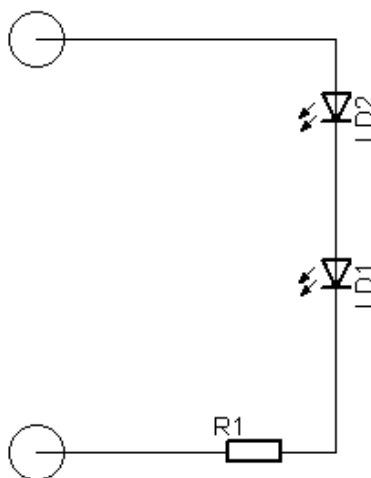
Jedná se o obvody, které řídí proces přeměny elektrické energie. Rozdělují se na dvě skupiny: izolované (galvanicky oddělený vstup a výstup) a neizolované (vstup a výstup mají společnou zem). Každý z těchto měničů má specifické vlastnosti zahrnující poměr převodu napětí v ustáleném stavu, vztah mezi vstupním a výstupním proudem, charakter zvlnění výstupního napětí a frekvenční průběh přenosové funkce činitele plnění k výstupnímu napětí.

5.3.1 Neizolované měniče

Optimalizovaný zdroj

Optimalizovaný zdroj (Obr. 5.5) se většinou používá pro napájení LED o I_{jmen} 10-35mA. Toto zapojení má zpravidla na vstupu napěťový dělič (Obr. 5.3). Zde je napěťové dělení tvořeno kapacitním děličem, který má výhodu v tom, že má minimální ztráty. Tím si výstupní napětí nastavíme na požadovanou hodnotu. Pokud bychom použili pouze usměrňovač s vyhlazovacím kondenzátorem, tak by na výstupu bylo plné usměrněné napětí. Toto zapojení je totiž zapojeno jako zdroj proudu. Z toho plyne, že musíme nastavit pracovní proud, který závisí na typu a počtu

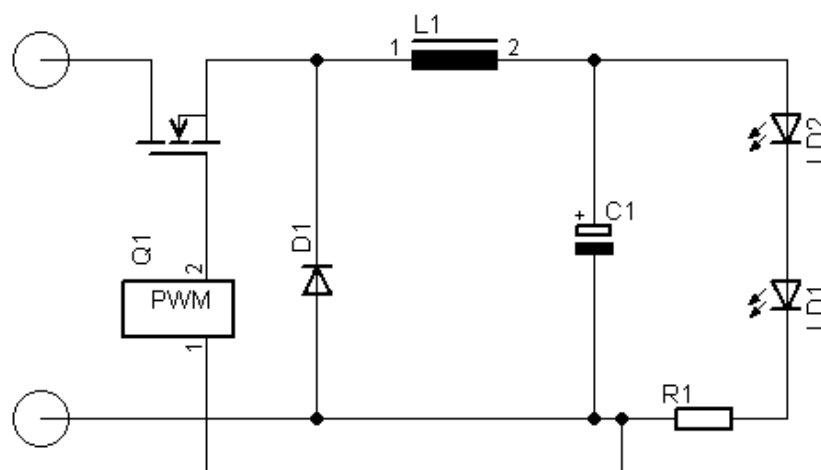
použitých LED. Pracovní proud se nastavuje na odporu R1. Z hlediska ztrát je to velmi neekonomické, protože převážnou část výkonu „protopíme“ na tomto odporu R1.



Obr. 5.5 Optimalizovaný zdroj [12]

Snižující měnič (step down converter, buck converter)

Snižující měnič (Obr. 5.6) je mezi konstruktéry velmi oblíbený, protože má pravděpodobně nejjednodušší topologii. Jeho výstupní napětí je vždy menší než vstupní. Polarita těchto napětí je vždy stejná a vstup a výstup má společnou zem. Dokáže pracovat ve dvou režimech a to s nepřerušovaným a přerušovaným proudem v cívce L1. Režim nepřerušovaného proudu se vyznačuje tím, že proud teče nepřerušovaně cívkou po celou dobu spínacího cyklu. Zatímco režim přerušovaného proudu funguje na principu snížení proudu v určité části spínacího cyklu na 0, následně proud začíná v 0 a jeho velikost se vrátí na špičkovou hodnotu. Tento proces se opakuje během každého spínacího cyklu. Kondenzátor C1 zde plní funkci výstupního filtru, který nám slouží k vyhlazení pulsů způsobených tranzistorem Q1. Používá se pro výkonové LED [16].



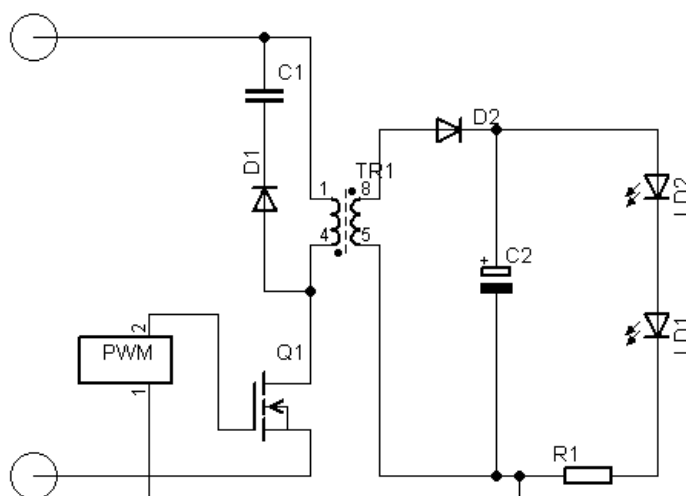
Obr. 5.6 Snížující měnič [12]

5.3.2 Izolované měniče

Blokující měnič (flyback converter)

Tento typ měniče (Obr. 5.7) využívá pro galvanické oddělení transformátor (má funkci akumulační tlumivky). Na primární straně je spínací prvek a sekundární vinutí je použito pro výstup. Velikost výstupního napětí je dána převodem transformátoru a může být vyšší i nižší než

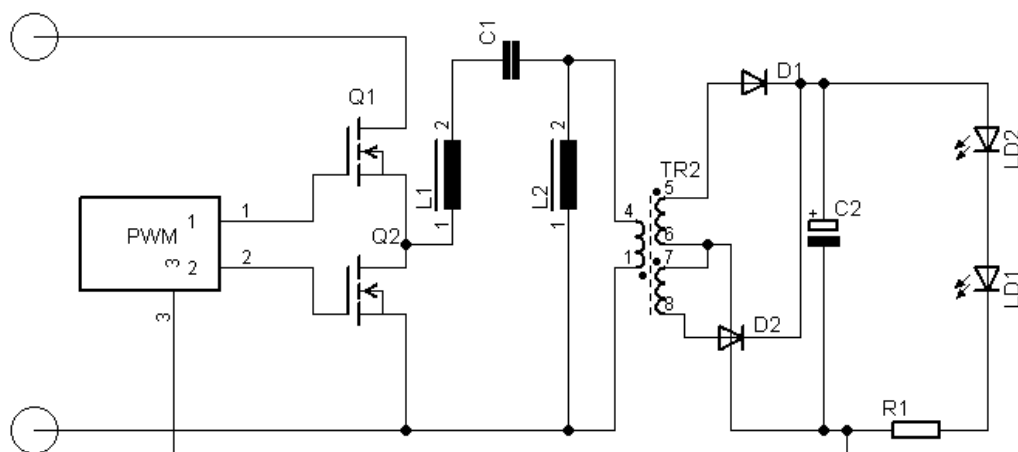
vstupní napětí. Smysly primárního a sekundárního vinutí musí být opačné, jinak se jedná o propustný měnič s transformátorem. Používá se hlavně pro napájení výkonových LED, nebo pro více LED používající 1 zdroj. Výkon tohoto zapojení se pohybuje přibližně až do 300W [17].



Obr. 5.7 Blokující měnič [12]

Polo - mostový měnič (Half - bridge converter)

Polo – mostový měnič (Obr. 5.8) vychází z konstrukce měniče push – pull. Svoji funkcí se velmi podobají. Je tvořen mostem, který vytvářejí tranzistory Q1, Q2 a cívky L1, L2. Princip funkce spočívá ve střídavém spínání tranzistorů Q1 a Q2. Na vstupu transformátoru se objeví polovina vstupního napětí kladné či záporné polarity. Následně se transformuje a dojde k usměrnění diodami D1 a D2 a vyhlazením kondenzátorem C2. Je zde zapojena zpětná vazba. Pomocí rezistoru R1, který má zde funkci jako řídicí prvek. Pokud nám zakolísá výstupní napětí, tak se změní i proud tímto rezistorem a dojde k otevření či přivření tranzistorů (schopnost vyregulovat kolísání). Používá se pro výkonové LED a pro více LED světél napájené jedním zdrojem. Výkonově se pohybuje v rozmezí od 100 – 500 W [18].

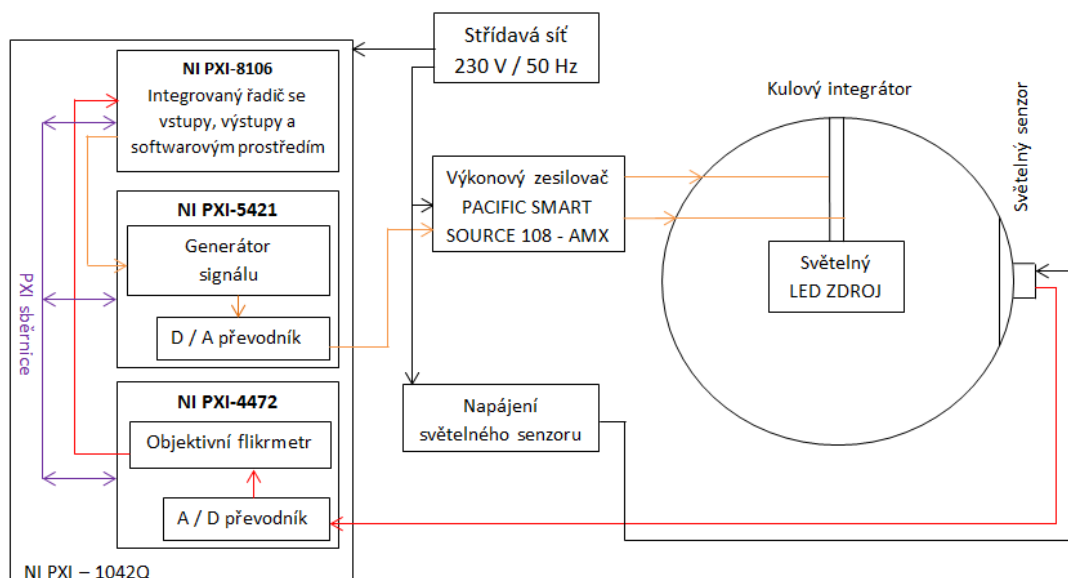


Obr. 5.8 Polo - můstkový měnič [12]

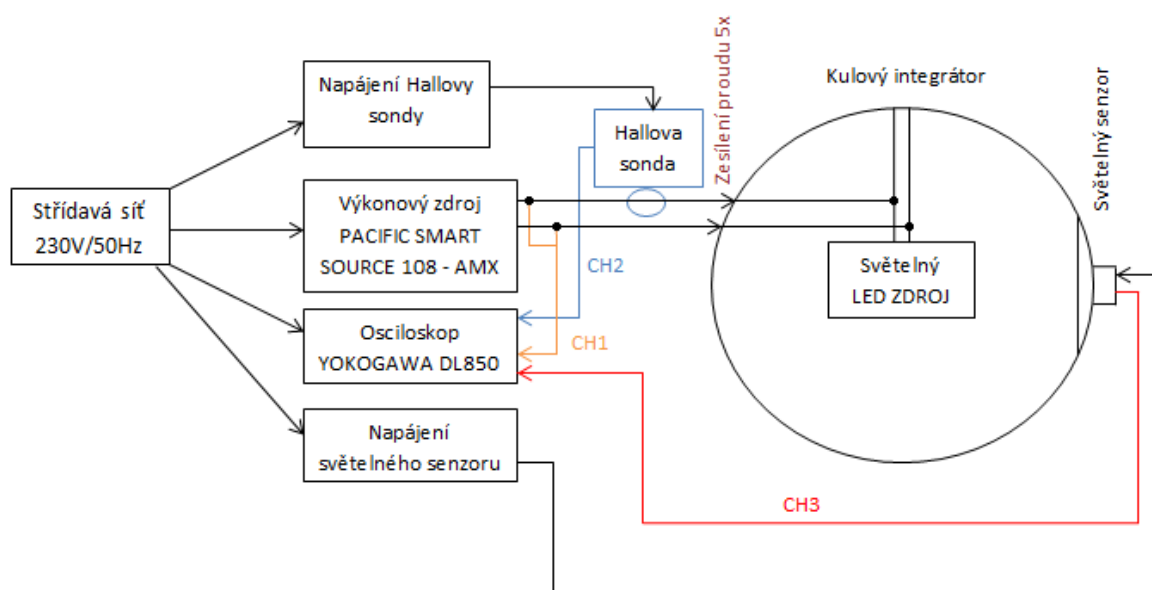
6 MĚŘENÍ VYBRANÝCH LED ZDROJŮ

6.1 Postup měření

Pro experimentální měření bylo vybráno 11 LED světél, jejichž parametry a výsledky měření si popíšeme v kapitole 6.2, 6.3, 6.4, 6.5. Měření probíhalo ve dvou fázích. V první fázi byly změřeny citlivosti, odolnosti na působení meziharmonických složek a odolnosti na obdélníkovou AM. U těchto měření se měnilo pouze nastavení programu, ale schéma zapojení (Obr. 6.1) zůstalo pro všechny stejné. V druhé fázi byla změřena okamžitá hodnota vstupního odebíraného proudu, napětí a výstupní světelný tok (Obr. 6.2). Tyto měření si ještě podrobněji popíšeme v kapitolách 6.1.1, 6.1.2, 6.1.2, 6.1.4. V Tab. 6.1 jsou vypsány použité měřicí přístroje.



Obr. 6.1 Schéma zapojení pro měření citlivosti a odolnosti



Obr. 6.2 Schéma zapojení pro měření okamžité hodnoty vstupního odebíraného proudu, napětí a výstupního světelného toku

Tab. 6.1 Použité měřicí přístroje

Označení	Výrobce	Typ	Evidenční číslo
Modifikovaný měřicí systém	National Instrument	NI PXI - 1042Q	315168
Výkonový zesilovač	Pacific smart source	108 - AMX	-
Světelný senzor	-	PIN - 555AP	1000176854
Kulový integrátor	-	-	313808
Hallova sonda	Fluke	i30s	BK 500.22
Osciloskop	Yokogawa	DL850	316318

6.1.1 Měření citlivosti LED světél na meziharmonické frekvenční složky

V této části byla měřena citlivost vybraných LED světél na meziharmonické frekvenční složky. Měření probíhalo v následujících krocích:

1. Pracoviště bylo zapojeno podle Obr. 6.1.
2. Bylo provedeno zapnutí měřících přístroje.
3. V softwarovém prostředí LabView byly spuštěny programy objektivní flikrmetr a generátor signálu.
4. Po nastavení požadovaných hodnot a umístění LED vzorku do kulového integrátoru bylo spuštěno měření. Hodnoty se automaticky ukládaly do souboru.
5. Po skončení měření, které trvalo cca 6 hodin, byl vyměněn vzorek.
6. Výsledkem měření jsou průběhy $P_{st} = f(f_{IH})$ (průběhy jsou zpracovány v kapitole 6.3)

6.1.2 Měření odolnosti LED světél na meziharmonické frekvenční složky

V tomto měření byla změřena odolnost vybraných LED světél na meziharmonické frekvenční složky. Měření probíhalo v následujících krocích:

1. Pracoviště bylo zapojeno podle Obr. 6.1.
2. Bylo provedeno zapnutí měřících přístroje.
3. V softwarovém prostředí LabView byly spuštěny programy objektivní flikrmetr a generátor signálu.
4. Po nastavení požadovaných hodnot a umístění LED vzorku do kulového integrátoru bylo spuštěno měření. Hodnoty se automaticky ukládaly do souboru.
5. Po skončení měření, které trvalo cca 2-3 dny, byl vyměněn vzorek.
6. Výsledkem měření jsou průběhy $m_{IH} = f(f_{IH})$ (průběhy jsou zpracovány v kapitole 6.3)

6.1.3 Měření odolnosti LED světél na obdélníkovou AM

V této části byla měřena odolnost vybraných LED světél na obdélníkovou AM. Měření probíhalo v následujících krocích:

1. Pracoviště bylo zapojeno podle Obr. 6.1.
2. Bylo provedeno zapnutí měřících přístroje.
3. V softwarovém prostředí LabView byly spuštěny programy objektivní flikrmetr a generátor signálu.

4. Po nastavení požadovaných hodnot a umístění LED vzorku do kulového integrátoru bylo spuštěno měření. Hodnoty se automaticky ukládaly do souboru.
5. Po skončení měření, které trvalo cca 2,5h, byl vyměněn vzorek.
6. Výsledkem měření jsou průběhy $m_{RAM} = f(f_{RAM})$ (průběhy jsou zpracovány v kapitole 6.3)

6.1.4 Měření vstupního odebíraného proudu, napětí a výstupního světelného toku

Měření vstupního odebíraného proudu, napětí a výstupního světelného toku je důležité ke zjištění konstrukce napájecího zdroje. Postup tohoto měření lze popsat následovně:

1. Pracoviště bylo zapojeno podle Obr. 6.2.
2. Bylo provedeno zapnutí měřících přístroje.
3. Následně byl nastaven osciloskop na požadovaný režim
4. LED vzorek byl umístěn do kulového integrátoru a následně změřen
5. Hodnoty byly osciloskopem uloženy na flashdisk
6. Výsledkem měření jsou průběhy $u_{vst} = f(t)$, $i_{vst} = f(t)$ a $\phi = f(t)$ (průběhy jsou zpracovány v kapitole 6.3)

6.2 Parametry LED vzorků a žárovky

V této kapitole máme 3 druhy LED světél, které se liší patičí. Patice GU10 (LED A, B, F, G) se používá pro bodová vestavná světla umístěných v podhledech, koupelnách, kuchyních a předsíních. Lze ji poznat dle specifických dvou kolíčků o průměru asi 5mm. Žárovka se nešroubuje, ale po zasunutí se pouze pootočí. Další skupinou jsou žárovky s patičí E27 (LED C, D, E, H, I, J a žárovka). Označení E27 je zkratka Edisonova závitu o průměru 27mm s výraznými hladkými hranami. Tento závit je nejběžnější a používá se u klasických žárovek, kompaktních zářivek, halogenových žárovek a LED žárovek. Do poslední skupiny lze zařadit náhradu za zářivku. Ta má na vstupu malé dva bodce cca 1,5cm, na které lze nasadit konektor se šňůrou, zakončenou zásuvkovou vidlicí [31].

6.2.1 LED A - Osram 80012 Decospot

Technické parametry [18]:

Patice	GU10
Provozní napětí	230 V / 50 Hz
Výkon	0,75 W
Světelný tok	14 lm
Barva	bílá
Úhel vyzařování	20°
Životnost	25000 h



Obr. 6.3 Osram 80012 Decospot [18]

6.2.2 LED B – Reashine

Technické parametry [20]:

Patice	GU10
Provozní napětí	85-265 V / 50 Hz
Výkon	3 * 2 W
Náhrada za	22 W
Barva	Teplá bílá
Teplota chromatičnosti	3200-3600 K
Úhel vyzařování	45°
LED čip	SMD 3528
Certifikace	CE, RoHS
Životnost	50000 h



Obr. 6.4 Reashine

6.2.3 LED C - Lite XQ 0827

Technické parametry [21]:

Patice	E27
Provozní napětí	230 V / 50 Hz
Výkon	4,2 W
Náhrada za	10 W
Světelný tok	75 lm
Barva	Teplá bílá
Teplota chromatičnosti	2700 K
Index podání barev (Ra)	70
Certifikace	RoHS
Životnost	25000 h



Obr. 6.5 XQ-lite XQ0827 [21]

6.2.4 LED D - Bulb light LF - A60

Technické parametry [22]:

Patice	E27
Provozní napětí	220 - 240 V / 50 Hz
Výkon	5 W
Náhrada za	45 W
Světelný tok	500 lm
Barva	Teplá bílá
Teplota chromatičnosti	2700 K
Index podání barev (Ra)	80
Certifikace	cUL, CE, RoHS
Úhel vyzařování	360°
LED čip	Epistar
Životnost	30000 h



Obr. 6.6 Bulb light LF-A60

6.2.5 LED E – TR-0WGE–03

Technické parametry [23]:

Patice	E27
Provozní napětí	85 - 260 V / 50 Hz
Výkon	3 W
Světelný tok	160 lm
Barva	Teplá bílá
Teplota chromatičnosti	2800 K
Úhel vyzařování	180° ± 10°



Obr. 6.7 TR-0WGE–03

6.2.6 LED F – Voltolux

Technické parametry [24]:

Patice	GU10
Provozní napětí	230 V / 50 Hz
Výkon	4 W
Náhrada za	50 W
Světelný tok	350 lm
Barva	Teplá bílá
Teplota chromatičnosti	2700 K
Úhel vyzařování	120°
Životnost	25000 h



Obr. 6.8 Voltolux [24]

6.2.7 LED G - Economic lighting 89503

Technické parametry [25]:

Patice	GU10
Provozní napětí	220 - 240 V / 50 Hz
Výkon	3 W
Světelný tok	180 lm
Barva	Teplá bílá
Teplota chromatičnosti	2700 - 3200 K
Životnost	30000 h



Obr. 6.9 Economic lighting 89503 [25]

6.2.8 LED H - Emos MK - A60S02-12WW

Technické parametry:

Patice	E27
Provozní napětí	220 - 240 V / 50 Hz
Výkon	12 W
Náhrada za	70 W
Světelný tok	980 lm
Barva	Teplá bílá
Teplota chromatičnosti	2700 K
Index podání barev (Ra)	80
Úhel vyzařování	360°
Životnost	30000 h



Obr. 6.10 EMOS MK-A60S02-12WW [26]

6.2.9 LED I - Solight WZ-E27K27-10W-B

Technické parametry [27]:

Patice	E27
Provozní napětí	220 - 240 V / 50 Hz
Výkon	10 W
Náhrada za	63 W
Světelný tok	850 lm
Barva	Teplá bílá
Teplota chromatičnosti	2700 K
Index podání barev (Ra)	80
Úhel vyzařování	270°
Životnost	25000 h



OBR. 6.11 Solight WZ-E27K27-10W-B [27]

6.2.10 LED J - Panasonic Nostalgic Clear

Technické parametry [28]:

Patice	E27
Provozní napětí	220 - 240 V / 50 Hz
Výkon	10 W
Náhrada za	60 W
Světelný tok	806 lm
Barva	Teplá bílá
Teplota chromatičnosti	2700 K
Index podání barev (Ra)	80
Úhel vyzařování	330°
Životnost	25000 h



Obr. 6.12 Panasonic Nostalgic Clear [28]

6.2.11 LED K - Vimpex group

Technické parametry:

Provozní napětí	230 V / 50 Hz
Výkon	25 W



Obr. 6.13 Ilustrativní foto LED trubice [29]

6.2.12 Žárovka Philips

Technické parametry [30]:

Patice	E27
Provozní napětí	240 V / 50 Hz
Výkon	60 W
Světelný tok	710 lm
Životnost	1000 h



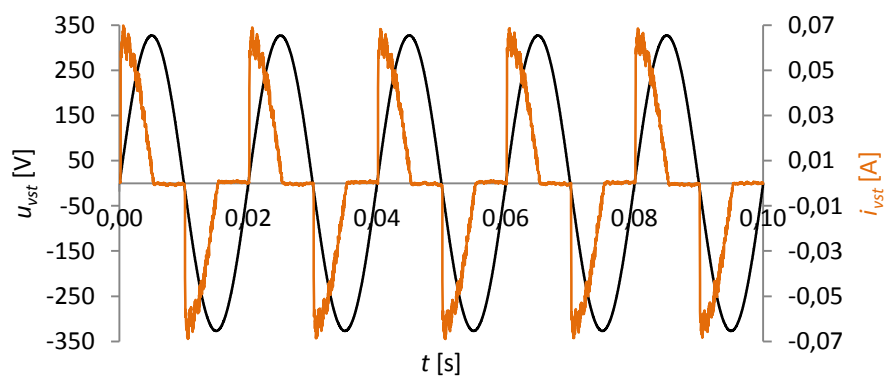
Obr. 6.14 Žárovka Philips [30]

6.3 Změřené a zpracované výsledky

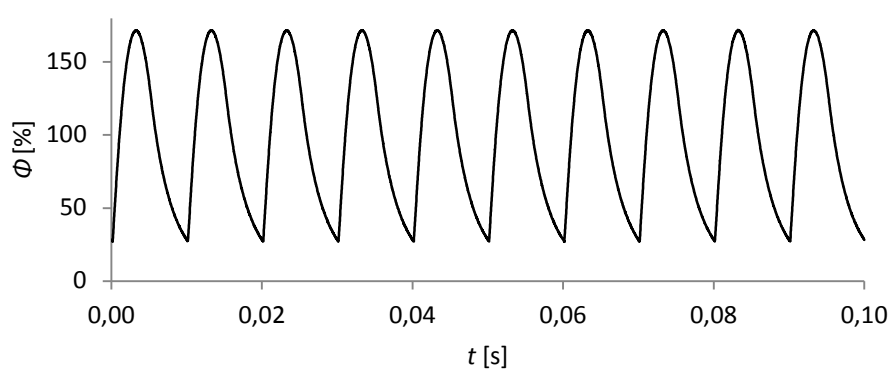
V kapitole 6.2 jsou popsány parametry LED vzorků, které budou označovány až dokonce BP takto např. LED A. Výsledky jsou seřazeny podle velikosti míry vjemu blikání P_{st} na jednotlivých vzorcích a to sestupně.

6.3.1 LED F

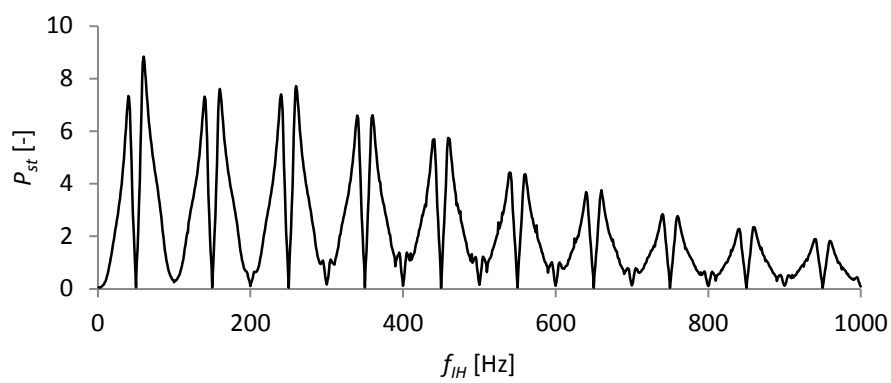
Světelný zdroj Voltolux, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.6, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.17) na mezipharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu mezipharmonické frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz, odolnosti (Obr. 6.18) na působení mezipharmonických frekvencí $m_{IH} = f(f_{IH})$ v rozsahu frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz a odolnosti (Obr. 6.19) na amplitudově modulovaný obdélníkové rušení $m_{RAM} = f(f_{RAM})$ v rozsahu $f_{RAM} = 0 - 100$ Hz. Dále byla změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.15) a světelný tok (Obr. 6.16), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



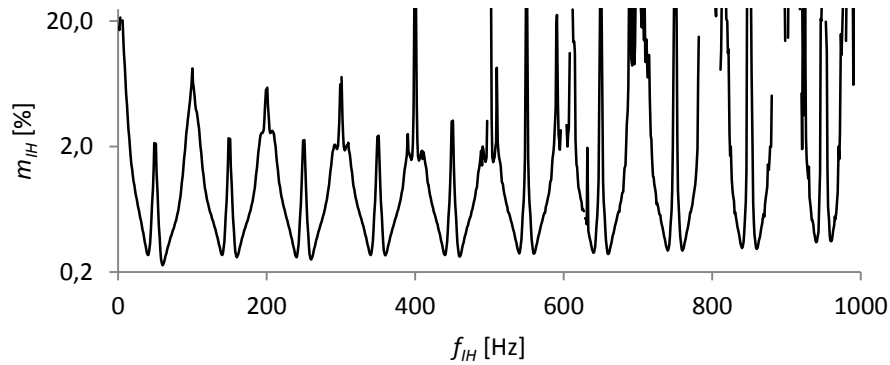
Obr. 6.15 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED F



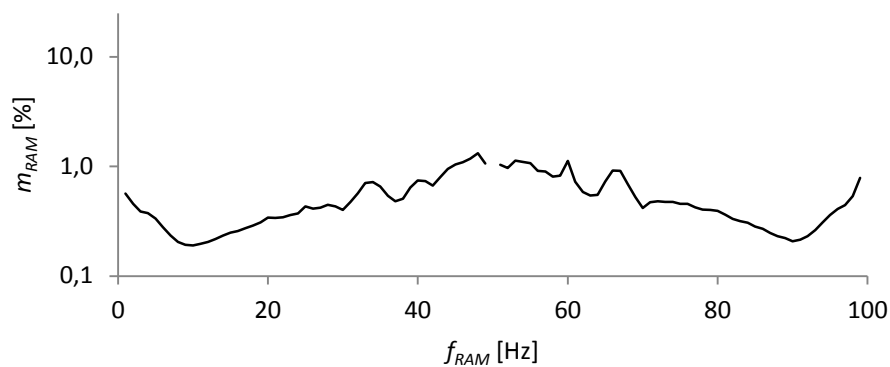
Obr. 6.16 Graf světelného toku LED F



Obr. 6.17 Graf citlivosti LED F na meziharmonické frekvenční složky



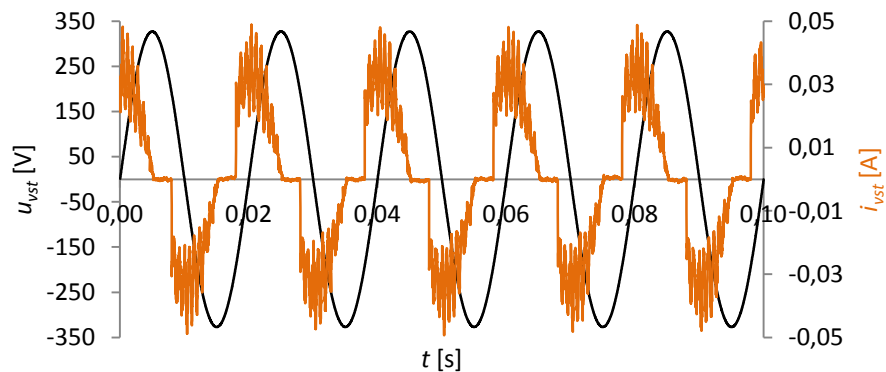
Obr. 6.18 Graf odolnosti LED F na meziharmonické frekvenční složky



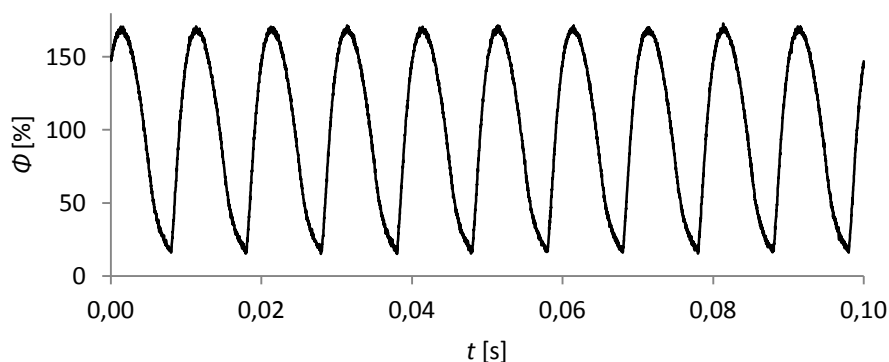
Obr. 6.19 Graf odolnosti LED F na obdélníkovou AM

6.3.2 LED G

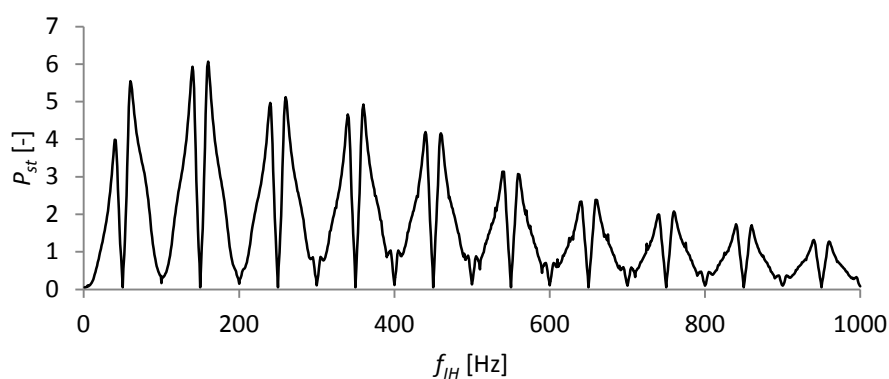
Světelný zdroj Economic lighting, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.7, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.22) na meziharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu meziharmonické frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz. Dále byla změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.20) a světelný tok (Obr. 6.21), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



Obr. 6.20 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED G



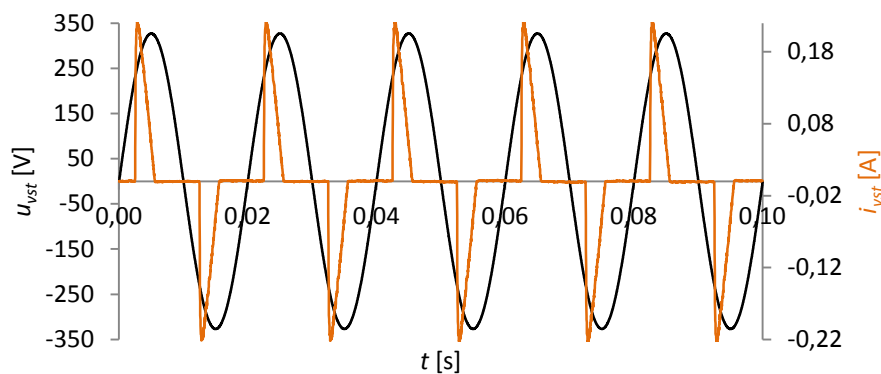
Obr. 6.21 Graf světelného toku LED G



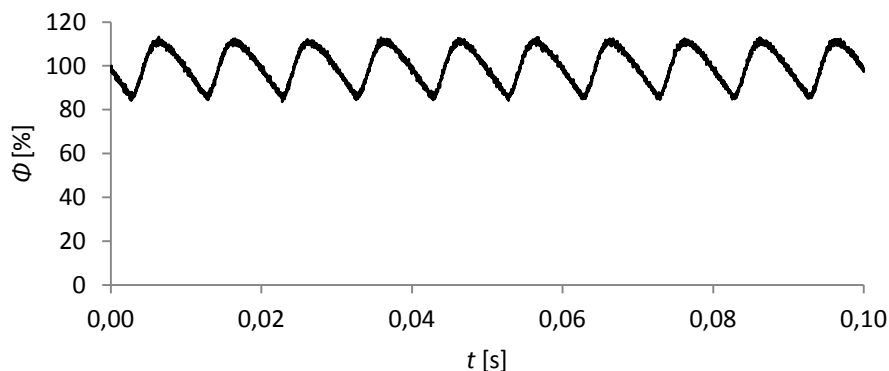
Obr. 6.22 Graf citlivosti LED G na meziharmonické frekvenční složky

6.3.3 LED J

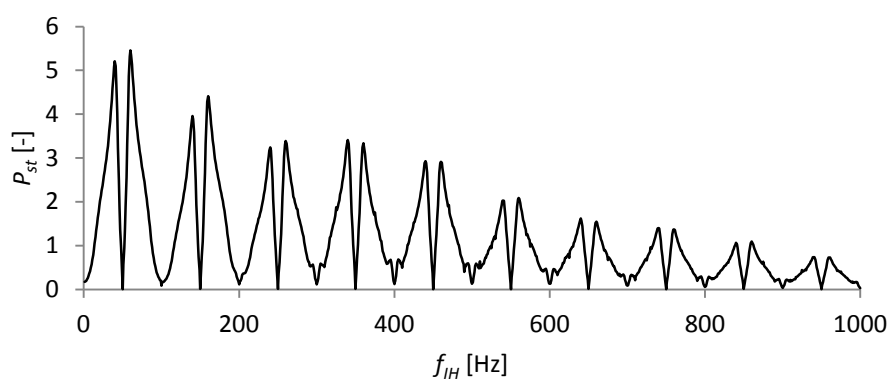
Světelný zdroj Panasonic, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.10, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.25) na meziharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu meziharmonické frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz. Dále byla změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.23) a světelný tok (Obr. 6.24), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



Obr. 6.23 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED J



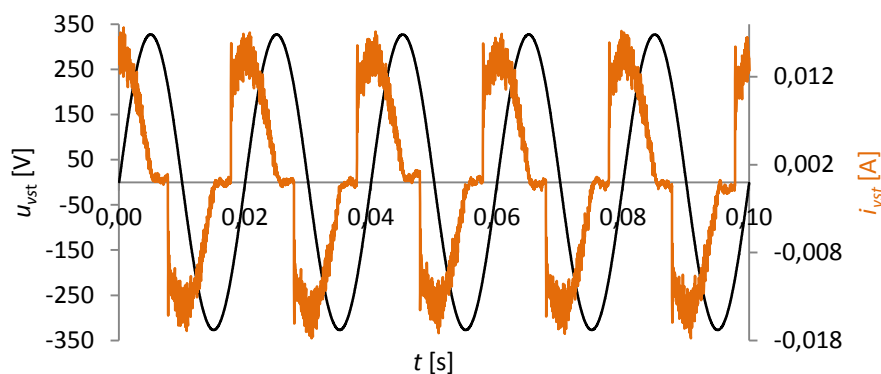
Obr. 6.24 Graf světelného toku LED J



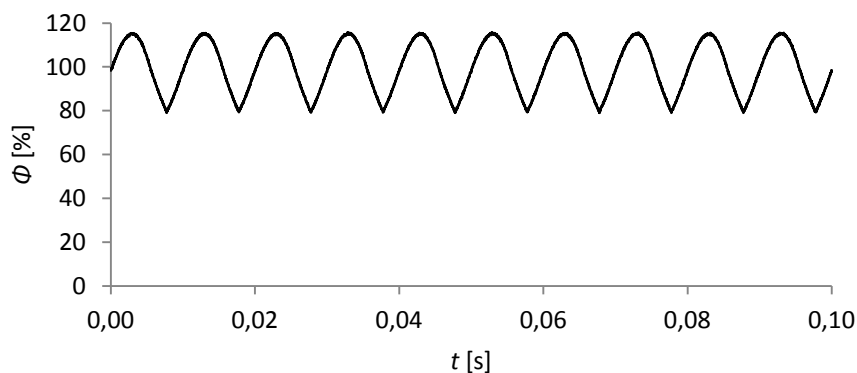
Obr. 6.25 Graf citlivosti LED J na meziharmonické frekvenční složky

6.3.4 LED A

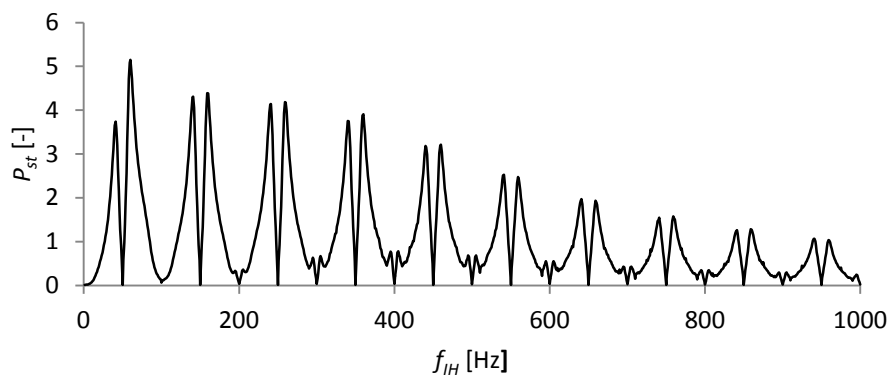
Světelný zdroj Osram, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.1, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.28) na meziharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu meziharmonické frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz a odolnosti (Obr. 6.29) na působení meziharmonických frekvencí $m_{IH} = f(f_{IH})$ v rozsahu frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz. Dále byla změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.26) a světelný tok (Obr. 6.27), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



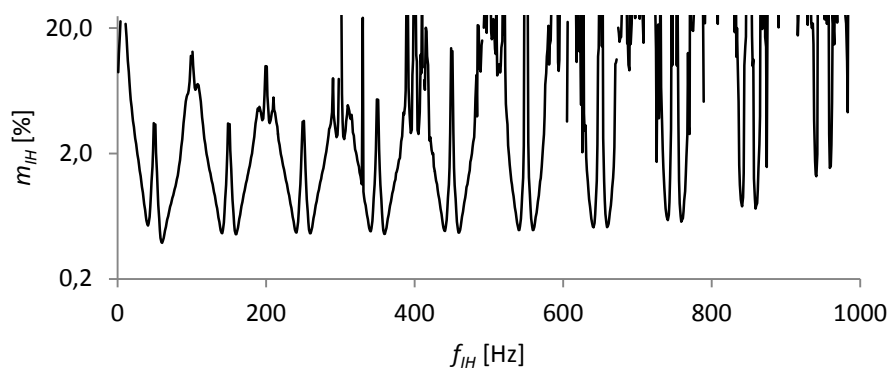
Obr. 6.26 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED A



Obr. 6.27 Graf světelného toku LED A



Obr. 6.28 Graf citlivosti LED A na meziharmonické frekvenční složky

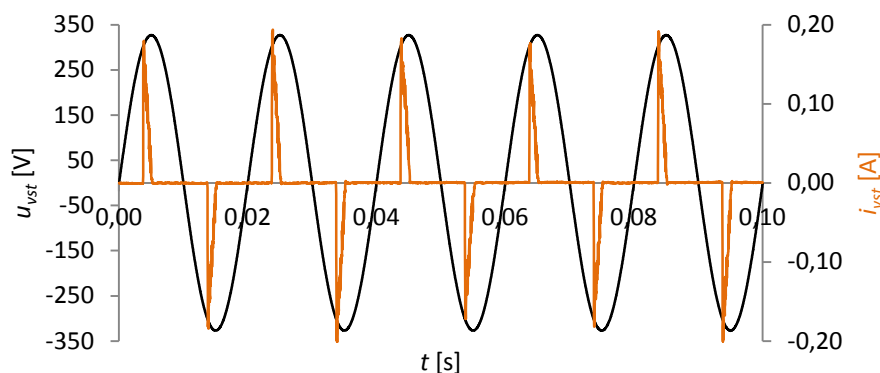


Obr. 6.29 Graf odolnosti LED A na meziharmonické frekvenční složky

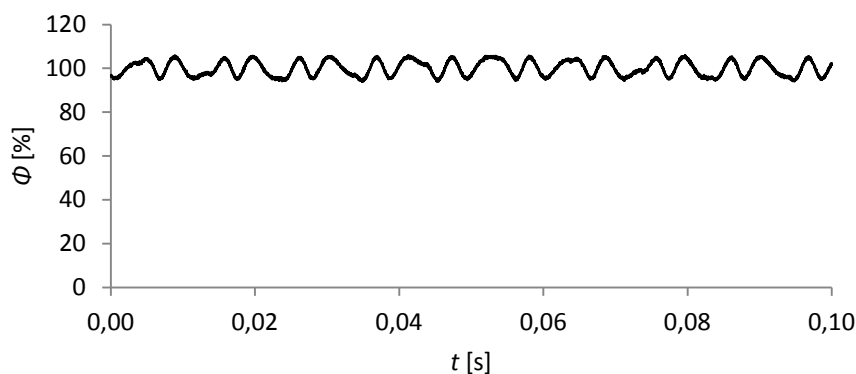
6.3.5 LED B

Světelný zdroj Reashine, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.2, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.32) na meziharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu meziharmonické

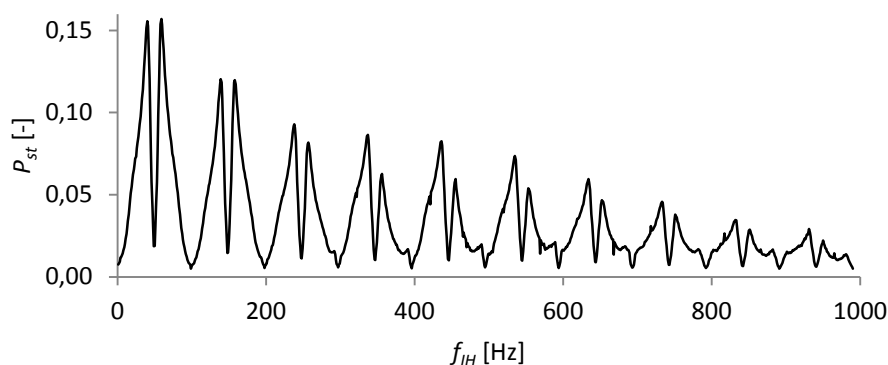
frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz, odolnosti (Obr. 6.33) na působení meziharmonických frekvencí $m_{IH} = f(f_{IH})$ v rozsahu frekvence $f_{IH} = 0 - 300$ Hz a odolnosti (Obr. 6.34) na amplitudově modulovaný obdélníkové rušení $m_{RAM} = f(f_{RAM})$ v rozsahu $f_{RAM} = 0 - 100$ Hz. Dále byla změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.30) a světelný tok (Obr. 6.31), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



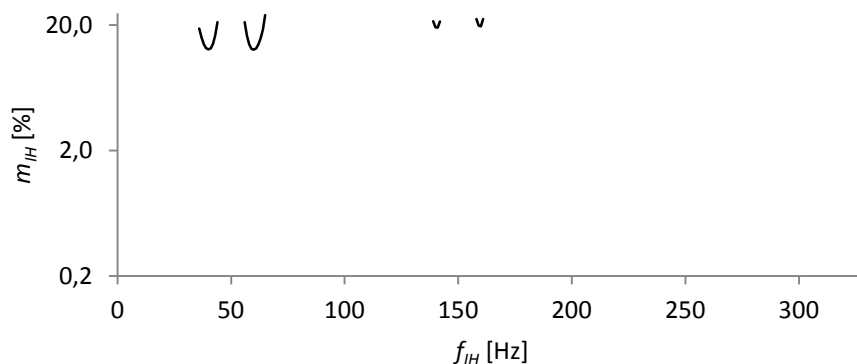
Obr. 6.30 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED B



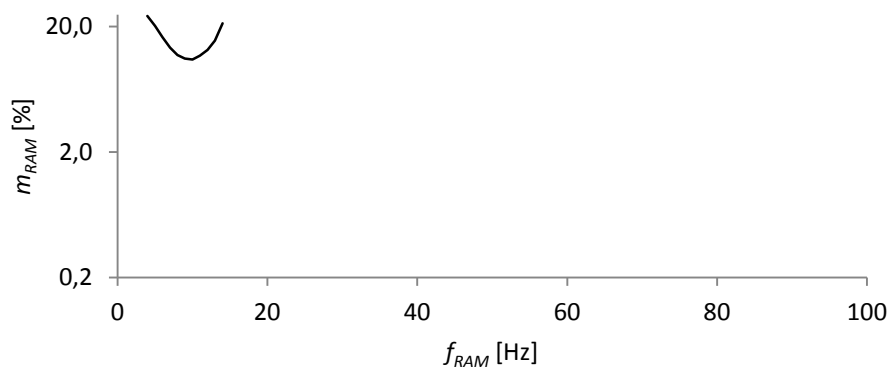
Obr. 6.31 Graf světelného toku LED B



Obr. 6.32 Graf citlivosti LED B na meziharmonické frekvenční složky



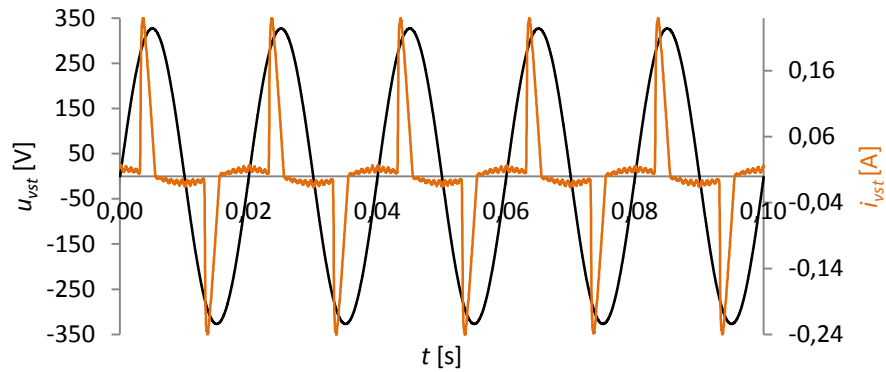
Obr. 6.33 Graf odolnosti LED B na meziharmonické frekvenční složky



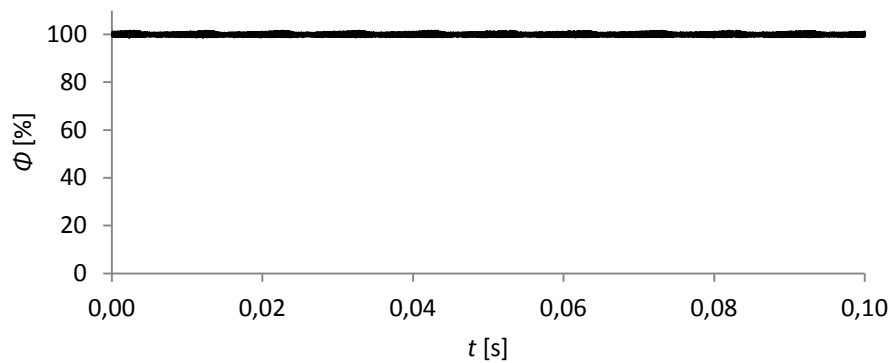
Obr. 6.34 Graf odolnosti LED B na obdélníkovou AM

6.3.6 LED I

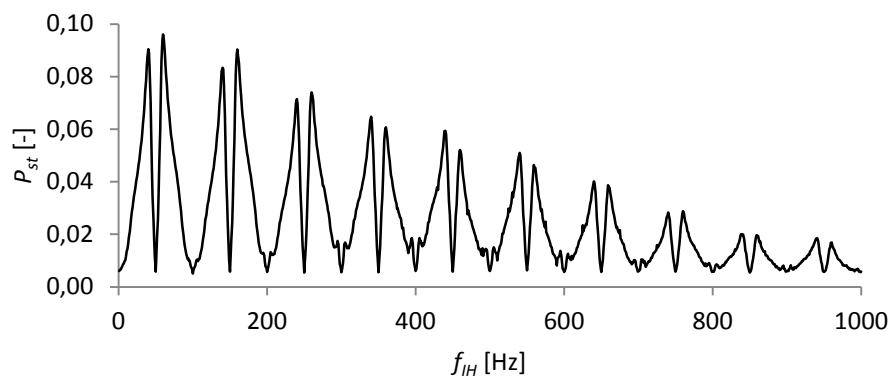
Světelný zdroj Solight, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.9, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.37) na meziharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu meziharmonické frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz. Dále byla změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.35) a světelný tok (Obr. 6.36), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



Obr. 6.35 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED I



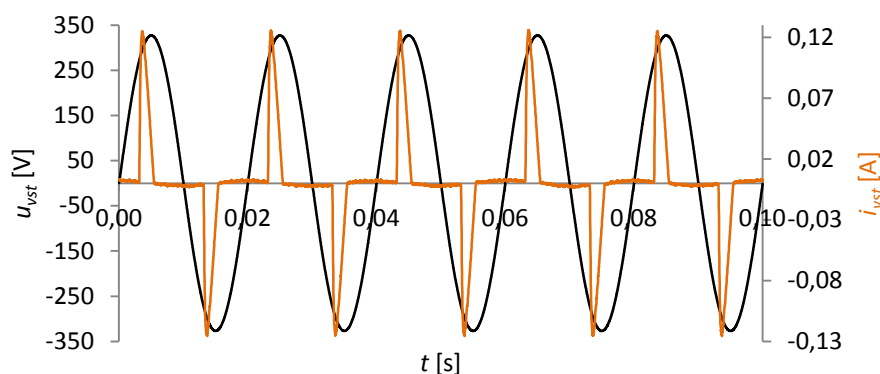
Obr. 6.36 Graf světelného toku LED I



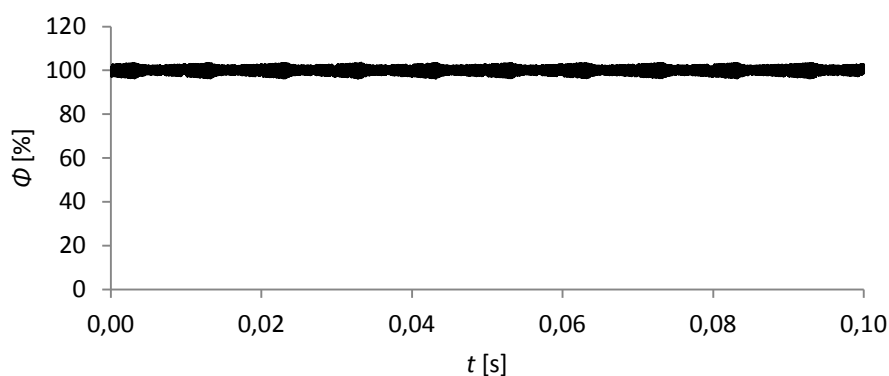
Obr. 6.37 Graf citlivosti LED I na meziharmonické frekvenční složky

6.3.7 LED D

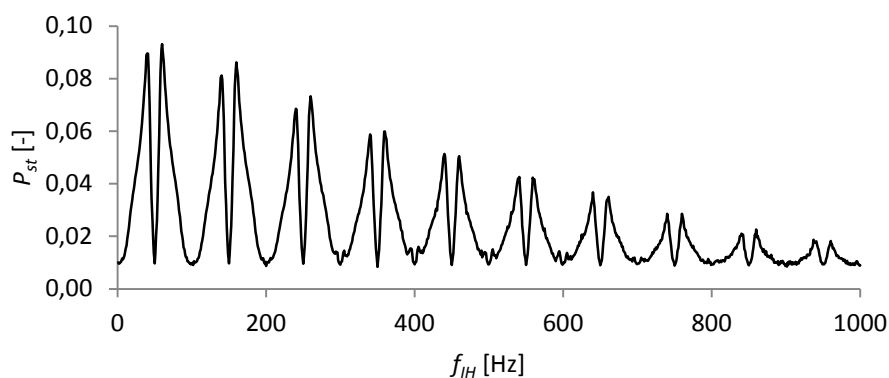
Světelný zdroj Bulb light, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.4, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.40) na meziharmonické rušení $P_{\text{st}} = f(f_{\text{IH}})$ v rozsahu meziharmonické frekvence $f_{\text{IH}} = 0 - 1000$ Hz. Dále byla změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.38) a světelný tok (Obr. 6.39), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



Obr. 6.38 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED D



Obr. 6.39 Graf světelného toku LED D

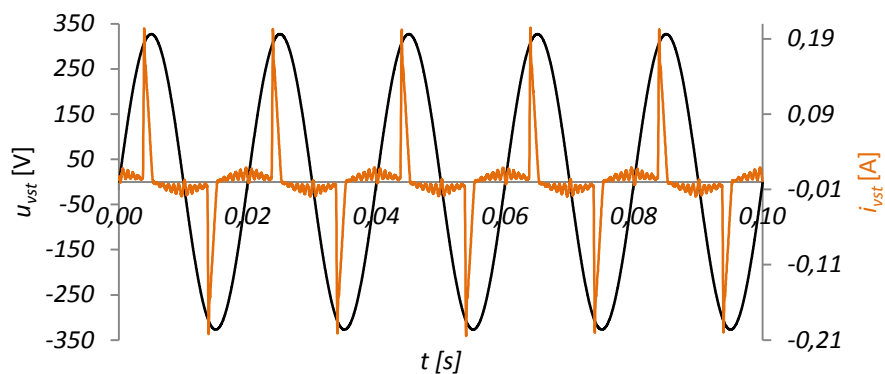


Obr. 6.40 Graf citlivosti LED D na mezipharmonické frekvenční složky

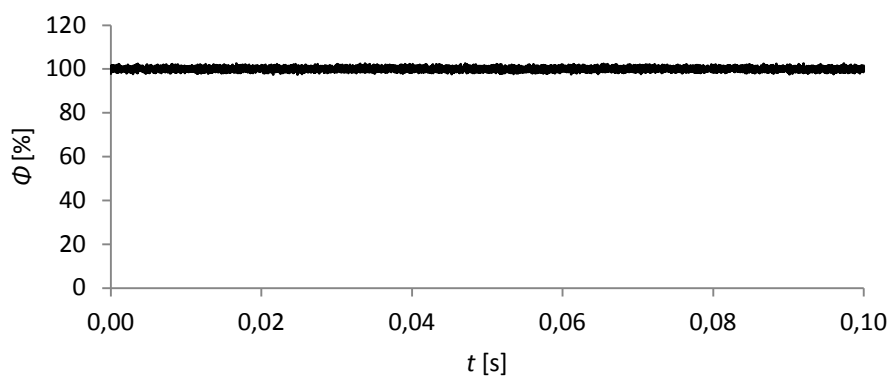
6.3.8 LED E

Světelný zdroj TR-OGE-03, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.5, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.43) na mezipharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu mezipharmonické frekvence $f_{IH} = 0 - 900$ Hz, odolnosti (Obr. 6.44) na působení mezipharmonických frekvencí $m_{IH} = f(f_{IH})$ v rozsahu frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz a odolnosti (Obr. 6.45) na amplitudově modulovaný obdélníkové rušení $m_{RAM} = f(f_{RAM})$ v rozsahu $f_{RAM} = 0 - 100$ Hz. Dále byla změřena okamžitá

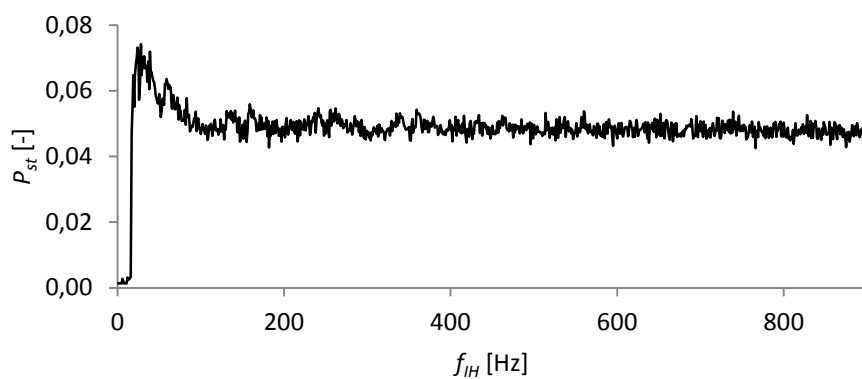
hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.41) a světelný tok (Obr. 6.42), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



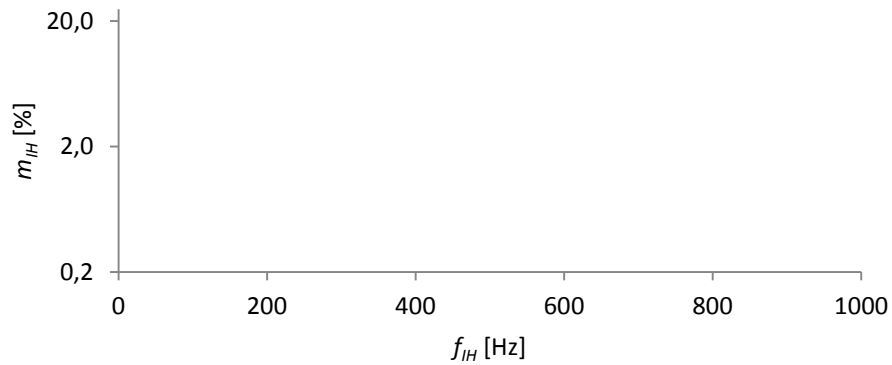
Obr. 6.41 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED E



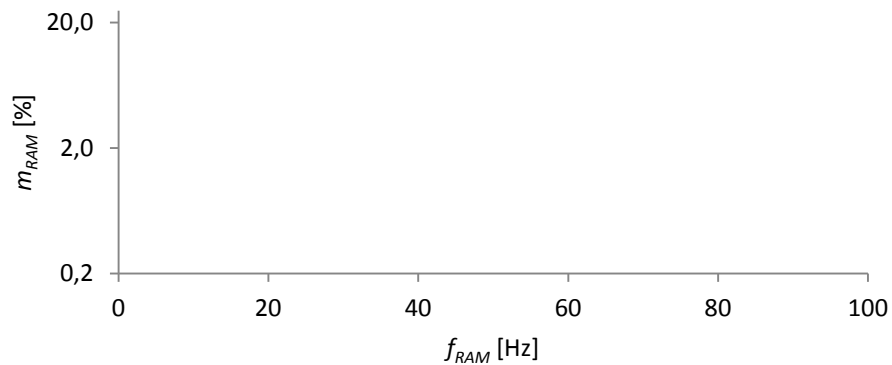
Obr. 6.42 Graf světelného toku LED E



Obr. 6.43 Graf citlivosti LED E na meziharmonické frekvenční složky



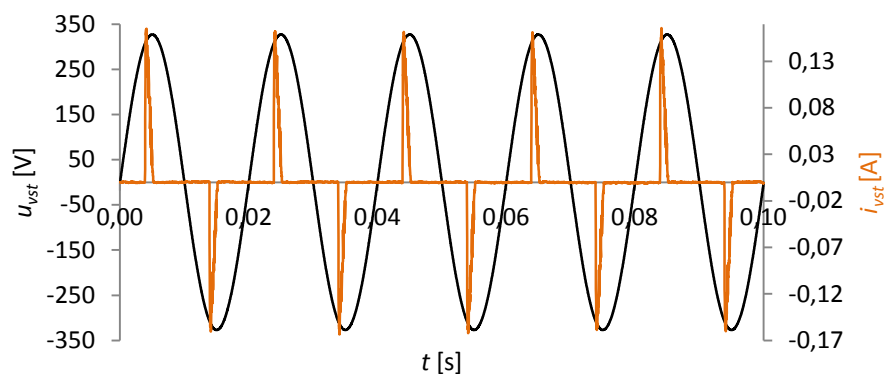
Obr. 6.44 Graf odolnosti LED E na meziharmonické frekvenční složky



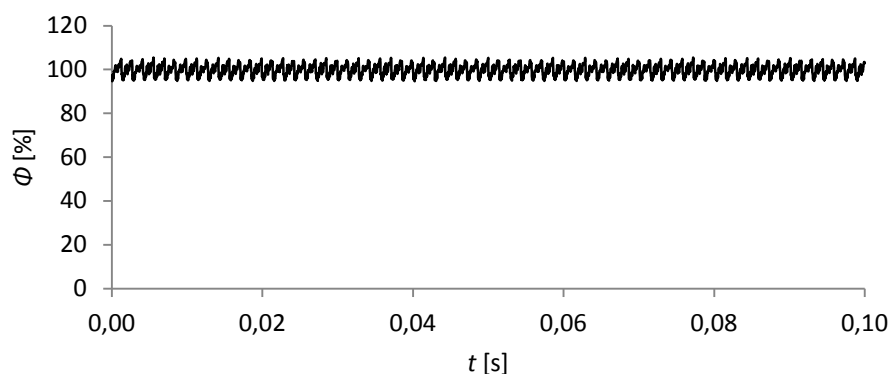
Obr. 6.45 Graf odolnosti LED E na obdélníkovou AM

6.3.9 LED C

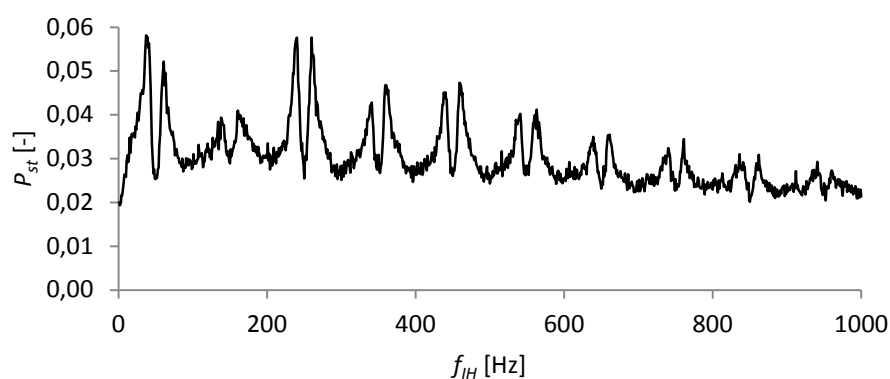
Světelný zdroj Lite XQ, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.3, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.48) na meziharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu meziharmonické frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz, odolnosti (Obr. 6.49) na působení meziharmonických frekvencí $m_{IH} = f(f_{IH})$ v rozsahu frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz. Dále byla změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.46) a světelný tok (Obr. 6.47), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



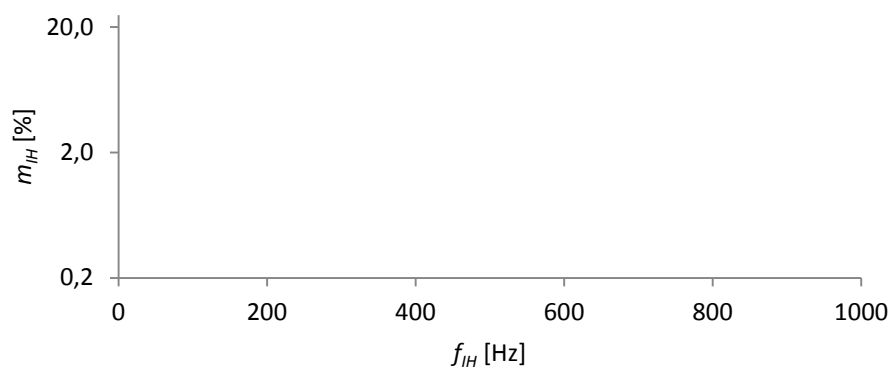
Obr. 6.46 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED C



Obr. 6.47 Graf světelného toku LED C



Obr. 6.48 Graf citlivosti LED C na meziharmonické frekvenční složky

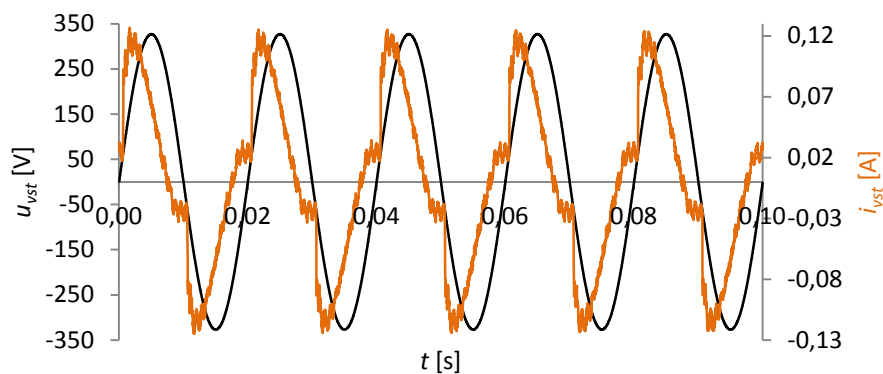


Obr. 6.49 Graf odolnosti LED C na meziharmonické frekvenční složky

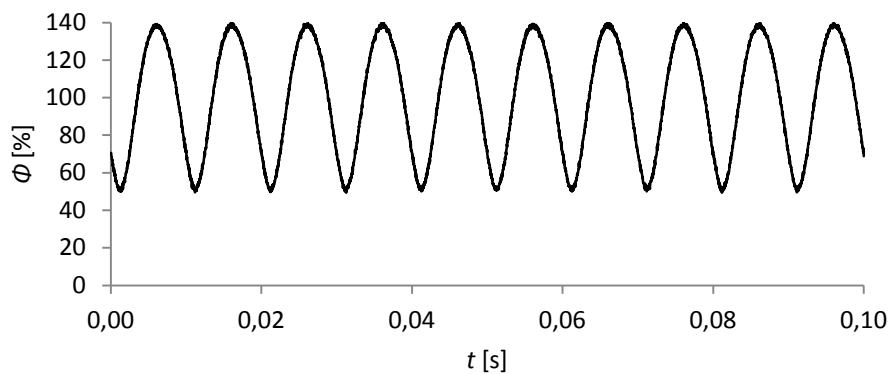
6.3.10 LED H

Světelný zdroj Emos, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.8, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.52) na meziharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu meziharmonické frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz, odolnosti (Obr. 6.53) na působení meziharmonických frekvencí $m_{IH} = f(f_{IH})$ v rozsahu frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz a odolnosti (Obr. 6.54) na amplitudově modulovaný obdélníkové rušení $m_{RAM} = f(f_{RAM})$ v rozsahu $f_{RAM} = 0 - 100$ Hz. Dále byla změřena okamžitá

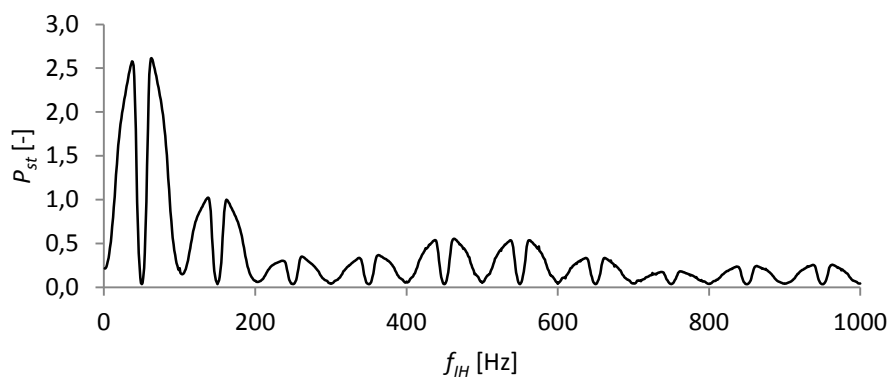
hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.50) a světelný tok (Obr. 6.51), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



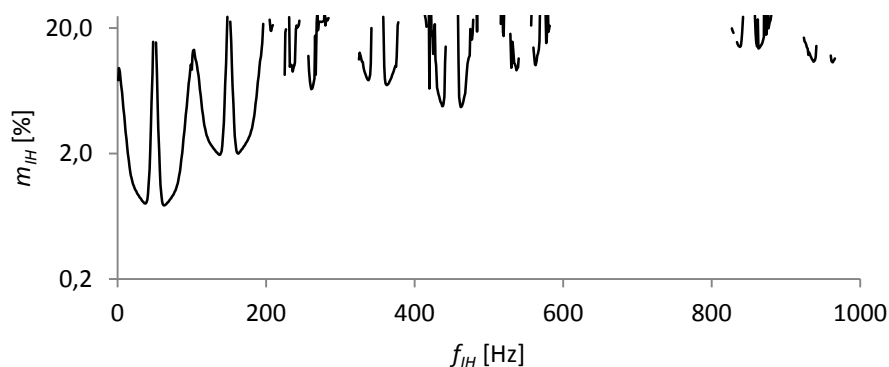
Obr. 6.50 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED H



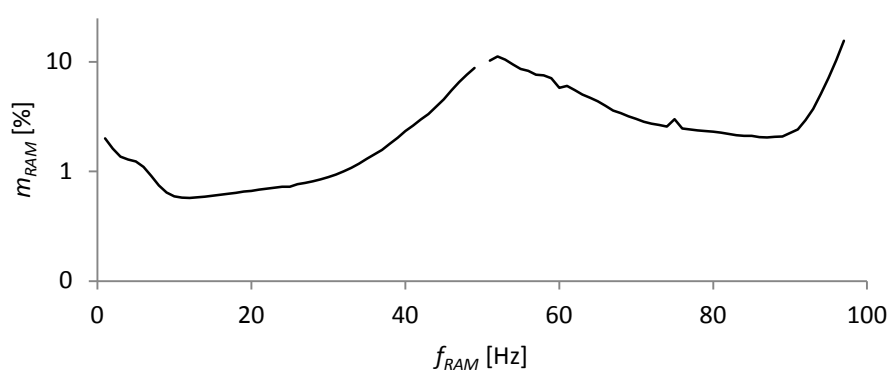
Obr. 6.51 Graf světelného toku LED H



Obr. 6.52 Graf citlivosti LED H na meziharmonické frekvenční složky



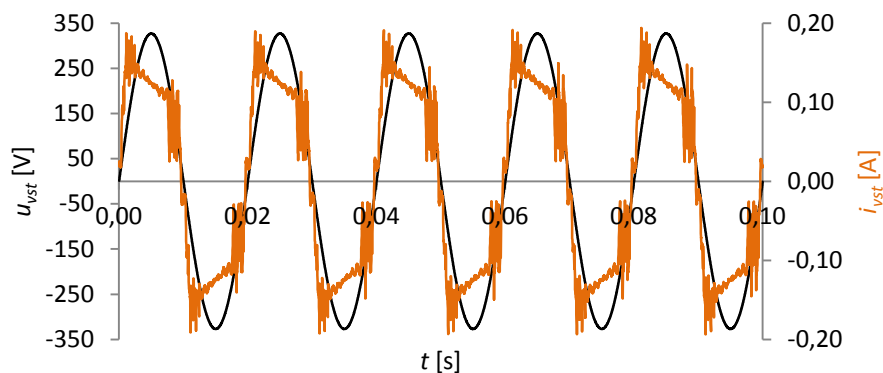
Obr. 6.53 Graf odolnosti LED H na meziharmonické frekvenční složky



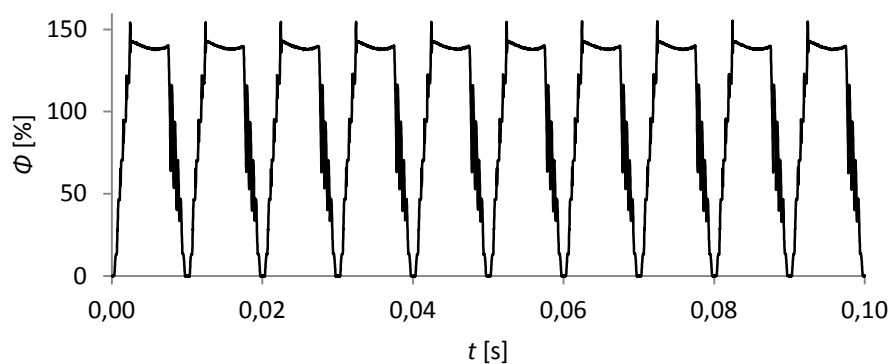
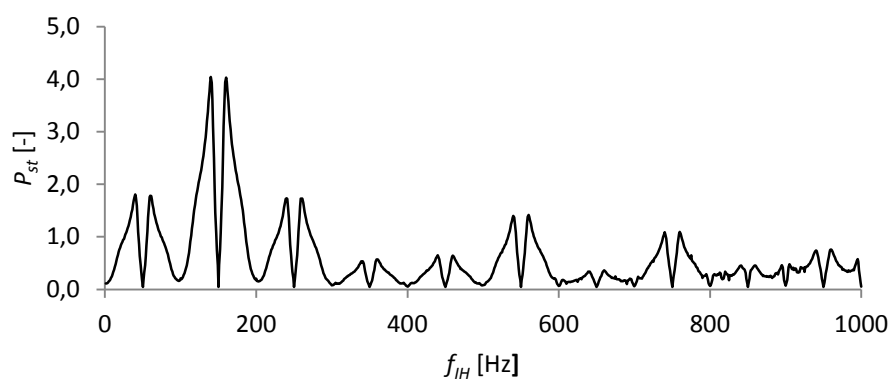
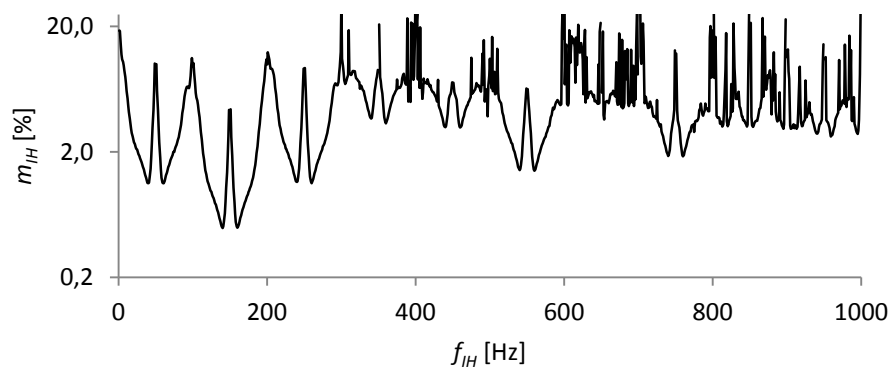
Obr. 6.54 Graf odolnosti LED H na obdélníkovou AM

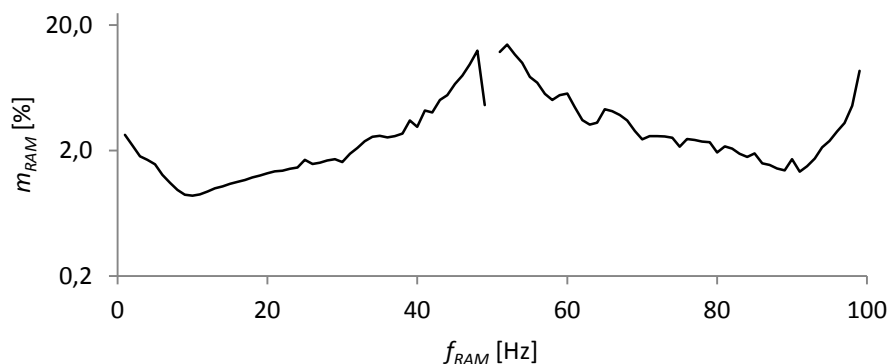
6.3.11 LED K

Světelný zdroj Emos, jehož parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.11, byl změřen z hlediska citlivosti (Obr. 6.57) na meziharmonické rušení $P_{st} = f(f_{IH})$ v rozsahu meziharmonické frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz, odolnosti (Obr. 6.58) na působení meziharmonických frekvencí $m_{IH} = f(f_{IH})$ v rozsahu frekvence $f_{IH} = 0 - 1000$ Hz a odolnosti (Obr. 6.59) na amplitudově modulovaný obdélníkové rušení $m_{RAM} = f(f_{RAM})$ v rozsahu $f_{RAM} = 0 - 100$ Hz. Dále byla změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.55) a světelný tok (Obr. 6.56), což nám pomůže přibližně zjistit použitou topologii zdroje.



Obr. 6.55 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí LED K

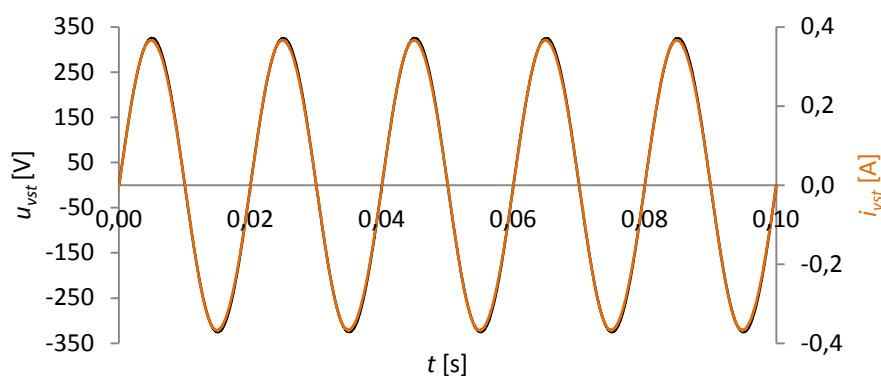
*Obr. 6.56 Graf světelného toku LED K**Obr. 6.57 Graf citlivosti LED K na meziharmonické frekvenční složky**Obr. 6.58 Graf odolnosti LED K na meziharmonické frekvenční složky*



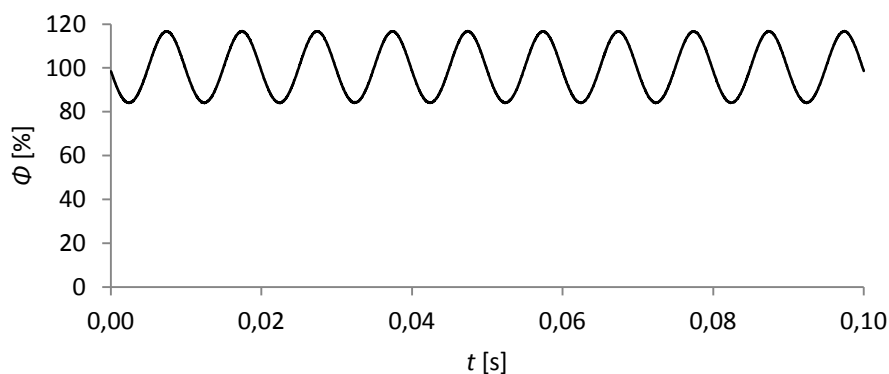
Obr. 6.59 Graf odolnosti LED K na obdélníkovou AM

6.3.12 Žárovka

Žárovka Philips, jejíž parametry jsou uvedeny v kapitole 6.2.12, byla jí změřena okamžitá hodnota odebíraného vstupního proudu, napětí (Obr. 6.60) a světelný tok (Obr. 6.61). Bude použita ke srovnání s ostatními světelnými zdroji.



Obr. 6.60 Graf okamžité hodnoty odebíraného vstupního proudu a napětí žárovky



Obr. 6.61 Graf výstupního světelného toku žárovky

6.4 Zhodnocení jednotlivých vzorků

V kapitole 6.3.1 LED F lze usoudit z Obr. 6.15, že tento napájecí zdroj se skládá ze vstupního kapacitního děliče, což lze poznat z odebíraného vstupního proudu, které předbíhá vstupní napětí téměř o 90° a usměrňovače pracující do kapacitní zátěže. Výsledný světelný tok na Obr. 6.16 kolísá od cca 35 - 165%, což nám vypovídá o malé vyhlazovací kapacitě a dále o tom, že odebírané napětí je napětí na této kapacitě. Lze tedy říci, že obvod neobsahuje aktivní člen a na výstupu jsou řazeny LED čipy v sério – paralelní kombinaci s odporem. Tento světelný zdroj je velmi citlivý na mezipharmonické rušení (Obr. 6.17), jehož nejvyšší míra vjemu blikání dosahuje zhruba $P_{st} = 8,61$ při $f_{IH} = 59$ Hz. Odolnost tohoto zdroje na mezipharmonické rušení (Obr. 6.18) je také velmi malá. Světelný zdroj není ani dostatečně odolný vůči obdélníkové AM (Obr. 6.19). V porovnání s referenční žárovkou, jejíž kolísání světelného toku (Obr. 6.61) se pohybuje v rozmezí cca 86 – 113 %, lze říci, že je tento světelný zdroj nevyhovující a neměl by se prodávat.

LED G (kapitola 6.3.2) je shodná s LED F, jen se liší v pár drobnostech. Z Obr. 6.20 vyčteme, že kapacita kapacitního děliče je malá, což nám potvrzuje světelný tok (Obr. 6.21), který kolísá v rozsahu cca 24 – 163 % což je více než u LED F. Tento světelný zdroj je velmi citlivý na mezipharmonické rušení (Obr. 6.22), jehož nejvyšší míra vjemu blikání dosahuje zhruba $P_{st} = 5,93$ při $f_{IH} = 159$ Hz. Opět pro tento zdroj platí, že je nevyhovující a neměl by se prodávat.

LED A (kapitola 6.3.4) má na vstupu kapacitní dělič, protože zde proud předbíhá napětí téměř o 90° (Obr. 6.26). Ovšem světelný tok (Obr. 6.27), který kolísá v rozsahu cca 84 – 112 %, již tomu neodpovídá, jak tomu bylo u LED F, G. Bude zde pravděpodobně použit aktivní DC - DC měnič, který se bude snažit vyhladit výstupní napětí. To také znamená, že na vstupu je použit VF filtr (Obr. 5.4). Citlivost tohoto zdroje by měla být menší, ale není tomu tak. Tento světelný zdroj je též velmi citlivý na mezipharmonické rušení (Obr. 6.28), jehož nejvyšší míra vjemu blikání dosahuje zhruba $P_{st} = 5,08$ při $f_{IH} = 59$ Hz. V porovnání s referenční žárovkou je výsledné kolísání světelného toku menší. Ovšem z hlediska citlivosti a odolnosti také nevyhovuje.

U LED J (kapitola 6.3.3) je použit usměrňovač pracující do kapacitní zátěže (Obr. 6.23). Ze světelného toku, jehož rozsah kolísání je cca 90 – 108 % lze vyčíst, že výstupní napětí je napětí na vyhlazovacím kondenzátoru (Obr. 6.24). Tady může být použit aktivní měnič, který nemá žádnou regulaci, zpětnou vazbu, ale má pevně nastavený fixní bod. Zapojení LED je opět sério – paralelně a rezistor na nastavení pracovního proudu. Tento světelný zdroj je velmi citlivý na mezipharmonické rušení (Obr. 6.25), jehož nejvyšší míra vjemu blikání dosahuje zhruba $P_{st} = 5,31$ při $f_{IH} = 59$ Hz. V porovnání s referenční žárovkou je výsledné kolísání světelného toku menší. Ovšem z hlediska citlivosti také nevyhovuje.

LED B (kapitola 6.3.5) má na vstupu usměrňovač pracující do kapacitní zátěže. Vyhlazovací kondenzátor je velmi velký, což lze z Obr. 6.30 vyčíst díky malé šířce pulzu. Na výstupu je použit podle zvlnění světelného toku, které je 99 – 101 % (Obr. 6.31) aktivní měnič, který může být, který může být izolované nebo neizolovaný, ale má zpětnou vazbu. Tento aktivní DC – DC měnič je schopen to kolísání vyhladit. Na vstupu je také připojen VF filtr. Tento světelný zdroj není téměř citlivý na mezipharmonické rušení, jehož nejvyšší míra vjemu blikání dosahuje zhruba $P_{st} = 0,153$ při $f_{IH} = 58$ Hz. Citlivost (Obr. 6.32) tohoto světelného zdroje je oproti ostatním vzorkům mnohonásobně menší. Je také odolný na mezipharmonické rušení (Obr. 6.33) v rozsahu 0 – 36 Hz, 44 – 57 Hz, 65 – 140, 159 – 300 Hz. Dále je odolný na obdélníkovou AM (Obr. 6.34) v rozmezí 0 – 5 Hz a 14 – 100Hz. V porovnání s referenční žárovkou, zde není téměř žádné

výsledné kolísání světelného toku. Je vhodný do prostředí, kde dochází k rychlým změnám napětí.

U LED I a D (kapitola 6.2.9 a 6.2.4) se topologie shodují. Z Obr. 6.35 a Obr. 6.38 lze vyčíst, že na vstupu je usměrňovač s kapacitou, která je v obou zapojeních podobná. Zapojení obsahuje i VF filtr. Ze světelného toku (Obr. 6.36 a Obr. 6.39) vyčteme, že na výstupu je zapojen aktivní DC – DC měnič se zpětnou vazbou. Křivka světelného toku je rozdílná a to z důvodu dimenzování obvodu (LED I je lépe nadimenzovaná), zvlnění je zanedbatelné. Tyto světelné zdroje nejsou téměř citlivé na mezipharmonické (Obr. 6.37 a Obr. 6.40). Nejvyšší míra vjemu blikání u LED I dosahuje zhruba $P_{st} = 0,094$ při $f_{IH} = 59$ Hz u LED D je $P_{st} = 0,091$ při $f_{IH} = 59$ Hz. V porovnání s referenční žárovkou, zde není téměř žádné výsledné kolísání světelného toku. Jsou vhodné do prostředí, kde dochází k rychlým změnám napětí.

LED E a LED C (kapitola 6.3.8 a 6.2.3) mají na vstupu opět VF filtr a usměrňovač s extrémně velkou kapacitou (Obr. 6.41 a Obr. 6.46). Ze světelného toku (Obr. 6.42 a Obr. 6.47) vyčteme, že na výstupu je zapojen aktivní DC – DC měnič se zpětnou vazbou. Tyto světelné zdroje nejsou téměř citlivé na mezipharmonické (Obr. 6.43 a Obr. 6.48). Nejvyšší míra vjemu blikání u LED E dosahuje zhruba $P_{st} = 0,073$ při $f_{IH} = 24$ Hz a LED C je $P_{st} = 0,057$ při $f_{IH} = 37$ Hz. V porovnání s referenční žárovkou není téměř žádné výsledné kolísání světelného toku. Jsou vhodné do prostředí, kde dochází k rychlým změnám napětí. Jsou extrémně odolné na mezipharmonické frekvence (Obr. 6.44 a Obr. 6.49) a LED E i na obdélníkovou AM (Obr. 6.45). V porovnání s referenční žárovkou, zde není téměř žádné výsledné kolísání světelného toku. Je vhodný do prostředí, kde dochází k rychlým změnám napětí.

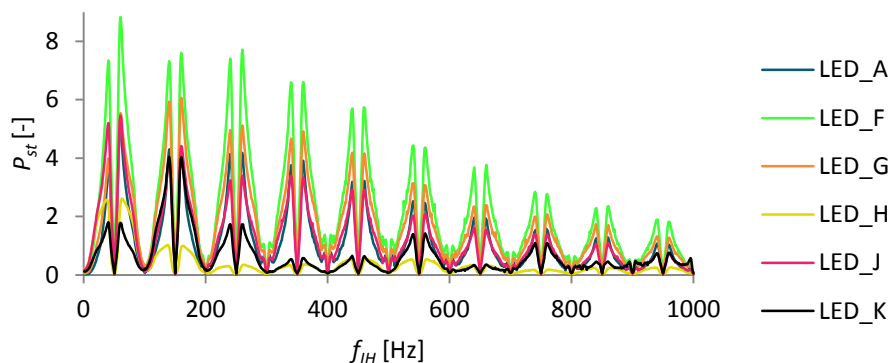
U LED H (kapitola 6.3.10) je na vstupu kapacitní dělič s usměrňovačem a vyhlazovacím filtrem, což vyčteme z Obr. 6.50. Ze světelného toku s rozsahem kolísání cca 54 – 150 % jsme zjistili (Obr. 6.51), že na výstupu může být zde použit nějaký DC – DC měnič, který je špatně řízený, anebo je bez zpětné vazby. Tento světelný zdroj je citlivý na mezipharmonické rušení (Obr. 6.52), jehož nejvyšší míra vjemu blikání dosahuje zhruba $P_{st} = 2,55$ při $f_{IH} = 60$ Hz. Je také odolný na mezipharmonické rušení (Obr. 6.53) v rozsahu 267 – 325 Hz, 577 – 827 Hz. Dále není odolný na obdélníkovou AM (Obr. 6.54). V porovnání s referenční žárovkou má větší kolísání světelného toku. Je vhodný do prostředí, kde dochází k rychlým změnám napětí. Pro tento zdroj platí, že nevyhovuje a neměl by se prodávat.

LED K (kapitola 6.3.11) má na vstupu usměrňovač, ale vyhlazovací kondenzátor je velmi malý (Obr. 6.55). Výsledkem je zvlněný světelný tok (Obr. 6.56), jehož průběh je způsobený nabíjením a vybíjením kondenzátoru téměř na 0. Potom jsou za kondenzátorem, řídicím obvodem LED bloky spínané za sebou. Tento světelný zdroj je citlivý na mezipharmonické rušení (Obr. 6.57), jehož nejvyšší míra vjemu blikání dosahuje zhruba $P_{st} = 3,93$ při $f_{IH} = 139$ Hz. Odolnost tohoto zdroje na mezipharmonické frekvence (Obr. 6.58) a obdélníkovou AM (Obr. 6.59) je malá. V porovnání s referenční žárovkou je výsledné kolísání světelného toku obrovské. Tento světelný zdroj je nevhodný k používání.

6.5 Zhodnocení všech vzorků

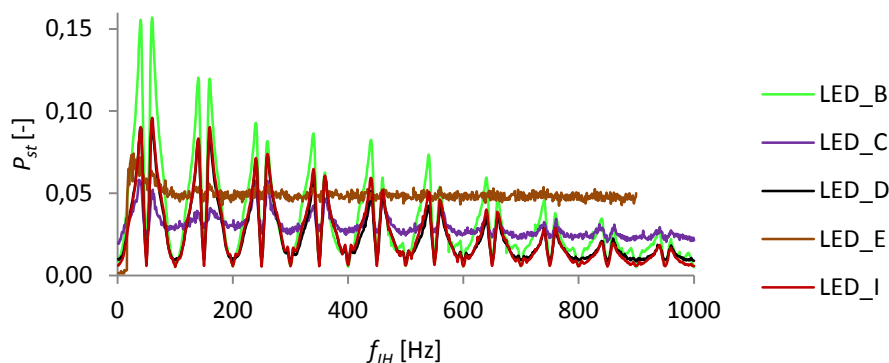
Po vyhodnocení dílčích výsledků měření jsme došli k závěru, že nejcitlivější vzorky (Obr. 6.62) na kolísání napětí jsou ty, které mají na vstupu kapacitní dělič: LED F, G, A. Následují LED J a H u nichž je velmi pravděpodobné, že na výstupu budou mít zapojený jednoduchý DC – DC měnič a na vstupu mají zapojený pouze usměrňovač s vyhlazovacím filtrem. LED K patří

mezi nejméně citlivé z této skupiny, ovšem tento vzorek je svojí topologií odlišný od ostatních a je tedy nejhorší.



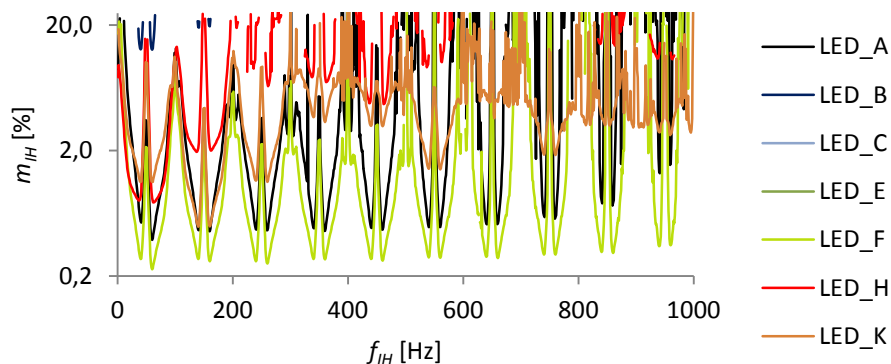
Obr. 6.62 Graf citlivostí LED na mezipharmonické frekvenční složky

V této části nemá cenu srovnávat vzorky mezi sebou, protože všechny obsahují aktivní DC – DC měnič. Rozdíly jsou akorát v jejich topologii, dimenzování, nastavení časových konstant řídicích smyček atd. Lze je seřadit následovně (Obr. 6.63) LED B, I, D, E, C.



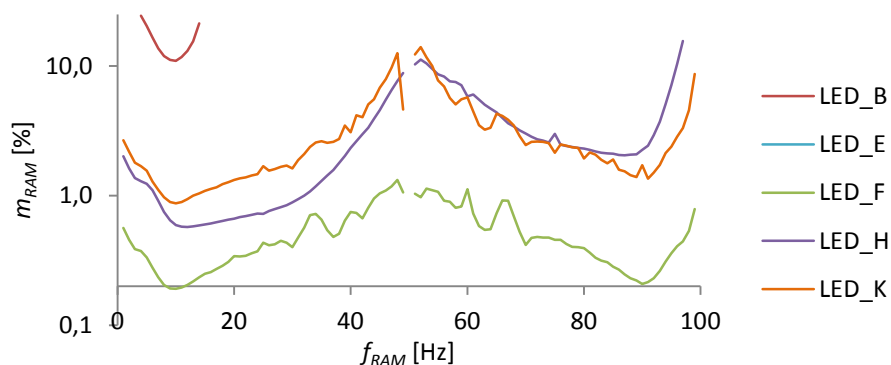
Obr. 6.63 Graf citlivostí LED na mezipharmonické frekvenční složky

Dle topologie zapojení je dána odolnost LED na mezipharmonické kolísání napětí. Mezi neodolné patří LED F, A, jejichž zapojení obsahuje kapacitní dělič. Následuje LED K, která se svým řídicím obvodem řadí mezi ty nejhorší (nestíhá přepínat mezi segmenty). LED H není dostatečně odolná oproti LED B, která se blíží k ideální odolnému zdroji. Tyto zdroje obsahují aktivní měniče, které nejsou tak dobře nastaven, jako je tomu u LED E a C. Ty jsou extrémně odolné na kolísání napětí způsobené mezipharmonickými složkami.



Obr. 6.64 Graf odolností LED na meziharmonické frekvenční složky

Na obdélníkové kolísání je extrémně odolná LED E a ještě se nabízí LED B. Ostatní vzorky LED F,H,K se snaží v určitých částech charakteristiky odolat. Opět je odolnost na tento typ kolísání dán topologií měniče.



Obr. 6.65 Graf odolností LED na obdélníkovou AM

6.5.1 Návrh tříd odolnosti

Třídy odolnosti lze navrhnout z výsledků měření použitých topologií u LED světél. Seřazení je od nejlepších po nejhorší.

Do 1. třídy lze zařadit napájecí zdroje s touthle topologií: na vstupu je VF filtr, za ním je zařazen usměrňovač s extrémně velkou kapacitou a na výstupu je DC – DC měnič se zpětnou vazbou (LED E,C).

Do 2 třídy lze zařadit napájecí zdroje, které mají na vstupu kapacitní dělič, usměrňovač s obrovskou vyhlazovací kapacitou a na výstupu je aktivní DC – DC měnič buď izolovaný, neizolovaný se zpětnou vazbou (LED B).

Do 3. třídy řadíme napájecí zdroj s kapacitním děličem, usměrňovačem, vyhlazovacím kondenzátorem a odporem pro nastavení pracovního proudu (LED F,G).

Do 4. Třídy lze zařadit napájecí zdroj s usměrňovačem a velmi malým vyhlazovacím odporem, princip tohoto zdroje spočívá v přepínání bloků LED (LED K).

7 ZÁVĚR

Vybrali jsme 11 LED světelných zdrojů, na kterých bylo provedeno měření a analýza topologií. Zjistili jsme, že se od sebe jednotlivé měniče liší parametry a zapojením. V současné době je na trhu ohromné množství topologií, které nemusejí vyhovovat normám a tím i EMC. Jelikož ne každý zákazník je znalec a informovanost ohledně parametrů, týkající se odolnosti a citlivosti na mezipharmonické rušení chybí. Záleží také, jestli do napájecí sítě v daném prostředí, nepronikají rušivé vlivy, jako je například fluktuace napětí, což může vést k blikání světelného LED zdroje. Zákazník „laik“ se zajímá spíše o parametry jako je například výkon a kolik ušetří na elektrické energii, koupí tohoto LED světla.

Nejcitlivější a nejméně odolnější jsou napájecí zdroje s kapacitním děličem na vstupu a vyhlazovacím kondenzátorem na výstupu. Důkazem tohoto úsudku jsou výsledky z analýzy LED F a G. Při použití aktivního měniče (LED A, H) na výstupu se parametry u zapojení s kapacitním měničem na vstupu zlepšují cca 1/2 oproti LED F. Ovšem lze říci, že nejlépe jsou na tom LED I, D a LED E, C. U LED I, D byla změřena citlivost, jejíž míra vjemu blikání P_{st} se pohybuje v řádech desetin až setin. To samé platí i pro LED E a C, které jsou zároveň extrémně odolné na mezipharmonické kolísání napětí, AM, PM, prostě na všechny známá rušení. Je to dáno pozitivním přístupem výrobců, kteří se snaží vyrobit levné a odolné LED světla. Popis topologií těchto měničů je v kapitole 6.4. Oproti tomu lze za nejhorší světelný zdroj považovat LED K, která je svou topologií fungující na přepínání jednotlivých segmentů LED nejnáchylnější na fluktuaci napětí v napájecí síti.

7.1 Návrh dalšího postupu

Je velmi pravděpodobné, že LED světla jsou budoucnost pro osvětlování ať už místností, hal venkovních prostor. Je to dáno hlavně jejich cenou, nízkou spotřebou, životností atd. Jelikož výzkumy jsou velmi rychlé, tak lze předpokládat, že dojde k výraznému zlepšení parametrů a to z hlediska napájecího zdroje, LED čipů a konstrukcí, ve kterých jsou umístěny.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Blikání světelných zdrojů způsobené kolísáním napětí* [online]. : 8 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/images_laboratory/MPQ1/Lab_navody/MPQ1_2010_U4.pdf
- [2] *IEEE Recommended Practice for the Analysis of Fluctuating Installations on Power Systems*. New York: IEEE, 2015, 74 s. ISBN 978-0-7381-9844-6.
- [3] *Deepdyve* [online]. [cit. 2016-5-24]. Dostupné z: <https://www.deepdyve.com/lp/institute-of-electrical-and-electronics-engineers/led-lamp-flicker-caused-by-interharmonics-5aDqjvxu0T?shortRental=true>
- [4] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [5] DRÁPELA, Jiří. *Blikání světelných zdrojů způsobené meziharmonickými složkami napětí*. 11/2008. Brno, 118 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické.
- [6] CSIRIK, Vincent. *Nové normy ČSN* [online]. 11/2003 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/nove-normy-csn-30--14298>
- [7] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.*
- [8] Fyziologie smyslů. Publi [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/151/12.html>
- [9] Svítivost, světelný tok a intenzita osvětlení. *V-TAC* [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://v-tac.cz/content/8-svitivost-svetelny-tok>
- [10] Index podání barev CRI. *Smdledzarovky* [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.smdledzarovky.cz/nas.radce/index.podani.barev>
- [11] LED technologie. *Ledme* [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: https://www.ledme.cz/textove-novinky/4_led-technologie-led-osvetleni.html
- [12] Drápela, Jiří. Panel Harmonics: 31 [cit. 2015-12-15]
- [13] Vyzařovací úhel. *Techniled* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.techniled.cz/21-vyzarovaci-uhel/>
- [14] Vyzařovací úhel. *Ledsvítí* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <https://www.ledsviti.cz/vyzarovaci-uhel/>
- [15] Provozní životnost LED světelných zdrojů. *Osram* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/novinky-a-znalosti/led-domov/technicke-informace/zakladni-prehled-led/provozni-zivotnost/index.jsp
- [16] Jak pochopit výkonové stupně propustného měniče ve spínaných napájecích zdrojích. *SOUCH* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.souch.cz/studenti.html>
- [17] Flyback converter. *Free Energy* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://free-energy.xf.cz/teorie/dc-dc/Flyback-converter.pdf>
- [18] KÖHLER, Tomáš. *Impulsní napájecí zdroj* [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: https://dspace.zcu.cz/bitstream/handle/11025/10070/DP_prace_Kohler_E11N0020K.pdf?s

- equence=1. Diplomová. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.
- [19] Osram DECOSPOT. *Amazon* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.amazon.de/Osram-80012-DECOSPOT-g%C3%A4ngigen-Sockel/dp/B000F7LZWK>
- [20] Reashine. *DHgate* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.dhgate.com/product/10pcs-lot-6w-gu10-high-power-dimmable-led/200040827.html#se1-14-1b;price|540575499>
- [21] LED Reflektorlampe. *Pollin* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.pollin.de/shop/dt/NDYwODY0OTk-/Lichttechnik_Leuchtmittel/LED_Technik/LED_Leuchtmittel/LED_Reflektorlampe_XQ_1ite_XQ0827_E27_230_V_3_6_W_75_lm.html
- [22] LED A60 S19 LED Light Bulb. *Ygzmdq en made in china* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://ygmdq.en.made-in-china.com/product/DShQowrCfKkJ/China-Standard-UL-Listed-LED-A60-S19-LED-Light-Bulb.html>
- [23] TR-0WGE-03. *Úsporné žárovky* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://usporne-zarovky.freepage.cz/zarovkya/4961>
- [24] VOLTOLUX. *Bauhaus* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.bauhaus.dk/led-spot-gu10-4-w-voltolux.html#full-description>
- [25] Economic lighting - 89503. *Introlight* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.introlight.bg/led-diodna-krushka-3w-gu10-220v-economic-lighting-89503.html>
- [26] EMOS MK-A60S02-12WW. *Euronics* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <https://www.euronics.cz/zarovka-led-emos-mk-a60s02-12ww-benz72903/p359761/#popis>
- [27] Solight LED žárovka. *Elektroprinc* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.elektroprinc.cz/dv.php?objednatzb=ano&IDzb=43784>
- [28] Panasonic Nostalgic Clear. *Aspa* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.aspa.cz/panasonic--led-e27-nostalgic-clear-10w-806lm-2700k-tepla-bila-25h-xtra-wide-ldahv10l27cgep--z106092>
- [29] LED trubice. *Elproshop* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.elproshop.cz/trubice-zarivkova-svetla>
- [30] PHILIPS. *Expert* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://www.expert.cz/philips-e27-60w-classictone-a55-cira/>
- [31] Závity a patice. *Bydlení* [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://bydleni.idnes.cz/zavity-a-patice-vite-kam-co-nasroubovat-fcc-/uspory-energii.aspx?c=A090907_120015_uspory-energii_web