

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**MĚŘENÍ FLIKRU S VYUŽITÍM VIRTUÁLNÍ
INSTRUMENTACE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ĽUBOŠ CABALA

BRNO 2010

Bibliografická citace práce:

CABALA, L. Měření flikru s využitím virtuální instrumentace. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Šlezingr.

Prohlašuji, že jsem svou **diplomovou práci (bakalářskou práci)** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Bakalářská práce

Měření flikru s využitím virtuální instrumentace

Ľuboš Cabala

Vedoucí: Ing. Jan Šlezingr

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2010

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

Bachelor's Thesis

A virtual instrument for measurement of flicker

by

Ľuboš Cabala

Supervisor: Ing. Jan Šlezingr

Brno University of Technology, 2010

Brno

ABSTRAKT

Tahle práce se zabývá kolísáním napětí, jeho příčinami, zdroji a účinky na světelné zdroje. Dále jsou uvedené možnosti omezení fluktuace napětí. V práci je také popsána konstrukce obecného UIE/EIC flikrmetru podle kterého je naprogramovaný virtuální flikrmetr v programovacím prostředí LabVIEW.

KLÍČOVÁ SLOVA: kolísání napětí, amplitudová modulace, světelné zdroje, flikr, flikrmetr

ABSTRACT

This thesis deals with the voltage fluctuation, its causes, resources and affections on light sources. Further the possibilities of the voltage fluctuations limitation are mentioned. This thesis also contains the descriptions of construction of UIE/EIC flickermeter on which bases the virtual flickermeter is programmed in the LabVIEW.

KEY WORDS: voltage fluctuation, amplitude modulation, light sources, flicker, flickermeter

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	12
SEZNAM TABULEK	13
1 ÚVOD	14
2 KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ.....	15
2.1 PŘÍČINY KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ	15
2.1.1 AMPLITUDOVÁ MODULACE	17
2.1.2 FÁZOVÁ MODULACE	19
2.2 ZDROJE KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ.....	20
2.3 OMEZENÍ KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ	21
2.3.1 DYNAMICKÉ NAPĚŤOVÉ STABILIZÁTORY	22
2.3.2 STATICKÉ KOMPENZÁTORY	22
2.3.3 KOMPENZÁTORY S PŘESYTKAMI	23
2.3.4 TYRISTORY SPÍNANÉ KONDENZÁTORY (TSC)	23
2.3.5 KOMPENZÁTOR S TYRISTORY ŘÍZENÝM REAKTOREM (TRC) A PEVNÝMI KONDENZÁTORY (FC)	23
2.3.6 ZDROJE NAPĚTÍ S MĚNIČEM S VLASTNÍ KOMUTACÍ A ZDROJE JALOVÉHO PROUDU NEBO VÝKONU.....	24
2.4 ÚČINKY KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ NA SVĚTELNÉ ZDROJE	24
2.5 VJEM RUŠIVÉHO BLIKÁNÍ.....	25
3 MĚŘENÍ FLIKRU	28
3.1 MĚŘENÍ KRÁTKODOBÉ MÍRY VJEMU FLIKRU - P_{ST}	29
3.2 MĚŘENÍ DLOUHODOBÉ MÍRY VJEMU FLIKRU - P_{LT}	30
3.3 MĚŘENÍ A STANOVENÍ FLIKRU V NAPÁJECÍ ENERGETICKÉ SÍTI.....	30
3.4 KONSTRUKCE STANDARDNÍHO UEI/EIC FLIKRMETRU	33
3.4.1 BLOK 1	33
3.4.2 BLOK 2	33
3.4.3 BLOK 3	33
3.4.4 BLOK 4	34
3.4.5 BLOK 5	34
3.5 DIGITÁLNÍ UEI/EIC FLIKRMETR V PROSTŘEDÍ LABVIEW	34
4 MĚŘENÍ NA VIRTUÁLNÍM FLIKRMETRU.....	40
4.1 ZKOUŠKY PODLE NORMY ČSN EN 61000-4-15.....	40
4.2 ZKOUŠKY SIGNÁLEM NEMAJÍCÍM VLIV NA ÚROVEŇ SIGNÁLU BLIKÁNÍ.....	42
4.3 ZKOUŠKY SIGNÁLEM MAJÍCÍM VLIV NA ÚROVEŇ SIGNÁLU BLIKÁNÍ.....	43
5 ZÁVĚR.....	45
POUŽITÁ LITERATURA	46
PŘÍLOHY	47

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Klasifikace změn napětí	16
Obr. 2-2 Jednofázový náhradní obvod napájecí sítě.....	17
Obr. 2-3 Příklad amplitudové modulace	19
Obr. 2-4 Kolísání napětí v napájecí síti během svařování [2]	21
Obr. 2-5 Klasifikace dynamických stabilizátorů napětí	22
Obr. 2-6 Schéma kompenzátoru s tyristory spínanými kondenzátory (TSC)[2]	23
Obr. 2-7 Vliv změn napětí na světelný tok žárovky	25
Obr. 2-8 Charakteristika vnímání flickru pro napěťové změny aplikované na 60 W žárovku [3]...27	
Obr. 2-9 Křivka stejné míry vjemu ($P_{st} = 1$) pro sinusové kolísání napětí žárovka 60 W 230 V [6]	27
Obr. 3-1 Spektrum napětí napájecí sítě, v grafu vpravo je potlačena složka 50 Hz [6]	28
Obr. 3-2 Postup určení míry vjemu flickru P_{st}	30
Obr. 3-3 Vliv zátěže na síť	31
Obr. 3-4 Příklad diagramu zatížení podle IEC 61000-3-3	32
Obr. 3-5 Zjednodušené funkční schéma UIE/EIC flickrmetru [6]	33
Obr. 3-6 Blokový diagram bloků 2 až 4 digitálního flickrmetru pro LabVIEW [6]	36
Obr. 4-1 Graf normalizované odezvy flickrmetru na sinusovou modulaci napětí	40
Obr. 4-2 Graf normalizované odezvy flickrmetru na obdélníkovou modulaci napětí.....	41
Obr. 4-3 Graf odezvy na pravoúhle změny napětí.....	41
Obr. 4-4 Graf odezvy na variaci základní frekvence.....	42
Obr. 4-5 graf testu linearity pro 1 změnu za minutu	43
Obr. 4-6 graf testu linearity pro 1620 změn za minutu	43

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Definice spektrálních složek</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 3-1 konstanty pro hornopropustný filtr 0,05Hz.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 3-2 konstanty pro dolnoproustný Butterworthův filtr 35Hz.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 3-3 konstanty pro váhový filtr</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 3-4 konstanty pro dolnoproustný filtr 0,53Hz.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 0-1 Normalizované odezva flikrmtru na sinusovou modulaci napětí.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 0-2 Normalizované odezva flikrmtru na obdélníkovou modulaci napětí</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 0-3 Odezva na pravoúhle změny napětí</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 0-4 Odezva na variaci základní frekvence</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 0-5 Test linearity pro 1 změnu za minutu.....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 0-6 Test linearity pro 1620 změn za minutu.....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 0-7 Odezva na 1 meziharmonickou složku</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 0-8 Odezva na 2 meziharmonické složky</i>	<i>49</i>

1 ÚVOD

Kvalita elektrické energie je soubor elektrických vlastností, které umožňují, aby elektrický systém fungoval zamýšleným způsobem bez významných ztrát napětí či výkonu. Termín je používán k popisu elektrické energie, které pohání elektrickou zátěž a k popisu schopnosti zátěže správně fungovat s dodávanou elektrickou energií. Dodávka nekvalitní elektrické energie může vést k předčasnému selhání elektrického zařízení nebo dané zařízení nebude vůbec fungovat. Existuje mnoho způsobů, ve kterých může být elektrická energie nekvalitní. [12]

Důležitými parametry napětí jsou frekvence a amplituda, které udávají základní vlastnosti napětí. Změnou jednoho nebo obou těchto parametrů se může výrazně změnit kvalita dodávané elektrické energie.

V dnešní době existuje jen málo elektrických sítí, které jsou provozovány bez problému souvisejících s kvalitou elektrické energie. Jedním z nejzávažnějších problémů v této oblasti jsou rychlé změny a kolísání napětí způsobující blikání světelných zdrojů (tzv. flickr), které vede k rušení zrakového vjemu, který má u lidí za následek velký dis-komfort, fyzickou a psychologickou únavu, co může vést k zhoršení kvality práce a v nejhorším případě až k pracovnímu úrazu. [1]

Flickr, mimo jiné je důsledkem fluktuace napětí, která vzniká rušením v procesu výroby, přenosu nebo distribuce elektrické energie. Nejčastěji je toto rušení způsobeno velkou proměnlivou zátěží (tj. zátěží, která rychle mění činný a jalový odběr elektrické energie). [2]

Pro účely měření flickru bylo provedeno vícero výzkumů, které měli za účel sestavit přístroj na měření a vyhodnocení rušivého vjemu blikání (tzv. flickrmetr). Současná konstrukce flickrmetru je popsána normou ČSN EN 61000-4-15.

V této práci byl flickrmetr vytvořen za pomoci tzv. virtuální instrumentace v prostředí LabView a bylo provedeno ověření jeho funkce pomocí postupů, popsanych ve zmíněné normě. Vytvořený přístroj najde využití při výuce v laboratoři kvality elektrické energie.

2 KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

Kolísání napětí v napájecích systémech může způsobit řadu škodlivých technických účinků, což vede k narušení výrobních procesů a značným nákladům. Avšak, blikání světelných zdrojů (tzv. flickr), způsobeno fluktuací napětí, má navíc také negativní fyziologické následky, které mají vliv na bezpečnost a produktivitu pracovníků. [8]

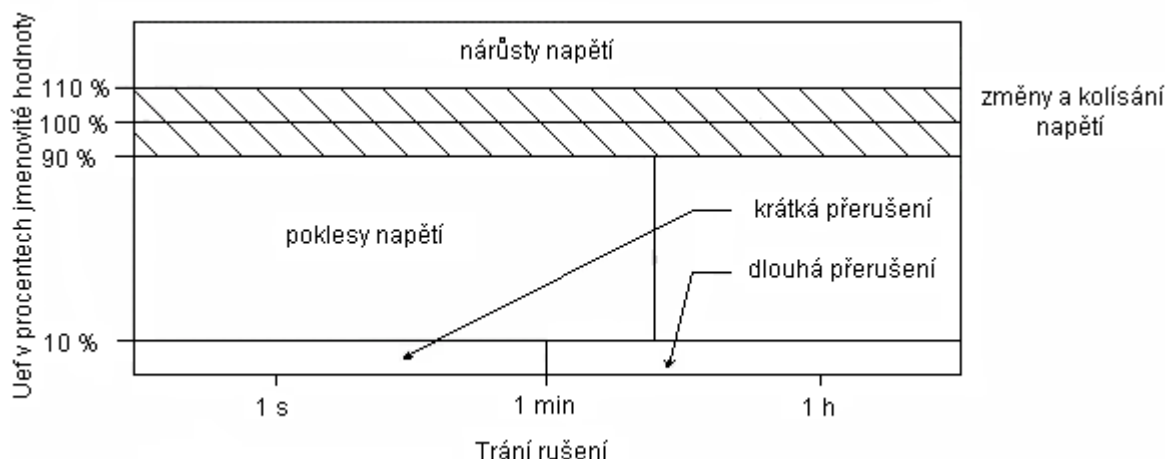
Blikání může výrazně narušit náš zrak a způsobit nepohodlí a únavu. Blikání světelných zdrojů ovlivňuje reakce mozku a proces vidění, téměř vždy je má za následek nepohodlí a zhoršení kvality práce. V některých případech může vést k pracovním úrazům, protože má vliv na ergonomii produkčního prostředí tím, že způsobí únavu operátora a sníží úroveň koncentrace pracovníků. [4]

Přímou příčinou blikání světelných zdrojů je fluktuace napětí, která je popsána jako opakující se nebo náhodné změny obálky okamžité hodnoty napětí. Kolísání (změny velikosti napětí) může být způsobeno kolísáním a změnami odběru a přerušovaným odběrem. Charakter změn velikosti napětí závisí na typu a velikosti zátěže, resp. průběhu odebíraného proudu a výkonové kapacitě napájecího systému.

2.1 Příčiny kolísání napětí

Fluktuace napětí může být rozdělena na dva základní typy: cyklické a necyklické. Cyklické fluktuace napětí jsou výsledkem periodického kolísání napětí, zatímco příčinou necyklické fluktuace jsou náhodné rychlé změny velikosti napětí. Pro popis kolísání napětí jsou podstatné dva parametry, a to velikost kolísání a frekvence kolísání obálky v případě periodického kolísání, a velikost změn a jejich četnost v čase v případě náhodných rychlých změn velikosti napětí. Oba parametry, velikost fluktuace i výskyt v čase, jsou pro hodnocení negativního důsledku fluktuace napětí velmi podstatné. [1]

Klasifikace změn efektivní hodnoty napětí je popsána na obr. 2-1 jako závislost napětí na délce trvání rušení. Šrafovaná oblast, která odpovídá změnám napětí v rozsahu $\pm 10\%$ jmenovité velikosti napětí, vyznačuje změny a kolísání napětí, které jsou uvažovány v této práci.



Obr. 2-1 Klasifikace změn napětí

Pro každé vedení je napětí na zátěži odlišné od napětí na začátku při zdroji. To je demonstrováno na jednofázovém náhradním obvodu dle obr. 2-2. Rovnice (2.1) ukazuje, jak může být rozdíl napětí ΔU odvozen z fázorového diagramu a jednoduchých geometrických pravidel.

$$\frac{E - U_0}{U_0} \approx \frac{\Delta U}{U_0} = R_S \frac{P}{U_0^2} + X_S \frac{Q}{U_0^2} \cong R_S \frac{\Delta U}{U_0} + \frac{Q}{S_{kz}} \quad (2.1)$$

Kde

E – napětí zdroje

U_0 – napětí na svorkách zátěže

I_0 – proud

R_S – odpor vedení

X_S – reaktance vedení

Z_S – impedance vedení

P – činný výkon zátěže

Q – jalový výkon zátěže

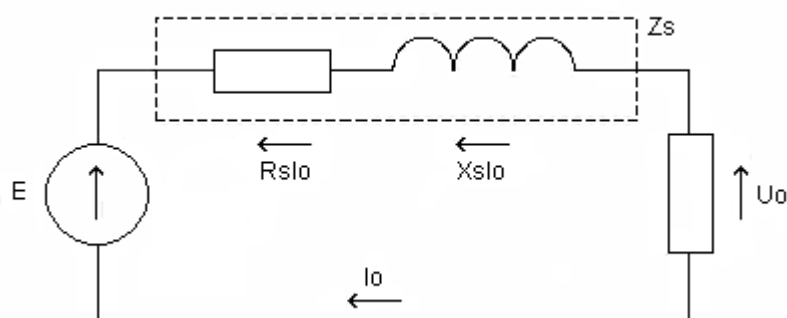
S_{kz} – zkratový výkon v místě připojení zátěže

Předpokládáme, že náhradní odpor vedení je poměrně malý ve srovnání s jeho reaktancí ($X_S > 10R_S$), což platí i v praxi pro soustavy vn a vvn. Následující rovnice definuje poměrnou hodnotu změny napětí na koncové zátěži:

$$\frac{\Delta U}{U_0} \cong \frac{Q}{S_{kz}} \quad (2.2)$$

Změna napětí ΔU se může projevit jako pokles napětí s konstantní hodnotou v dlouhém časovém intervalu, nebo jako změny napětí (pomalé či rychlé), nebo jako kolísání napětí. Kolísání napětí je definováno jako série změn efektivní hodnoty napětí nebo jako cyklické změny obálky křivky napětí. Definované charakteristiky kolísání napětí jsou:

- amplituda změn napětí (rozdíl mezi maximální a minimální efektivní nebo špičkovou hodnotou, které se objeví během rušení)
- počet napěťových změn během definované časové jednotky
- následný efekt (jako např. flickr) napěťových změn spojených s rušením [2]



Obr. 2-2 Jednofázový náhradní obvod napájecí sítě

Na kolísání napětí lze pohlížet jako na jeho:

- Amplitudovou modulaci (AM) – periodické (obr. 2-3), kvazi-periodické, rychlé a skokové změny napětí
- Fázovou modulaci (PM) – periodické, kvazi-periodické, rychlé a skokové změny fáze napětí
- Deformaci mezipřiharmonickými (IHD) – periodické, kvazi-periodické a přechodné frekvenční složky v napětí, jejichž frekvence nejsou celistvým násobkem základní harmonické

2.1.1 Amplitudová modulace

Ideální periodické kolísání velikosti napájecího napětí lze chápat jako jeho amplitudovou modulaci, kde je celkový průběh okamžité hodnoty napětí kompozicí nosného signálu a modulační složky. Pro vjem blikání je také důležitá frekvence modulačního signálu. Nejjednodušší případ amplitudové modulace napětí je jeho periodické sinusové kolísání, které lze při uvažování sinusového napájecího napětí zapsat rovnicí:

$$u(t) = U \sin(2\pi f_1 t + \Phi) \cdot \left[1 + \left(\frac{\Delta U}{U} \right) \frac{1}{2} \sin(2\pi f_M t + \varphi) \right] \quad (2.3)$$

Kde:

U – amplituda základního harmonického napětí

f_1 – základní frekvence

Φ – fázový úhel základního harmonického napětí

$\Delta U/U$ – relativní hloubka modulace

f_M – modulační frekvence

φ – počáteční fázový úhel modulace

Velikost základního harmonického napětí i velikost jeho počáteční fáze, není podstatná a rovnici (2.3) lze převést na:

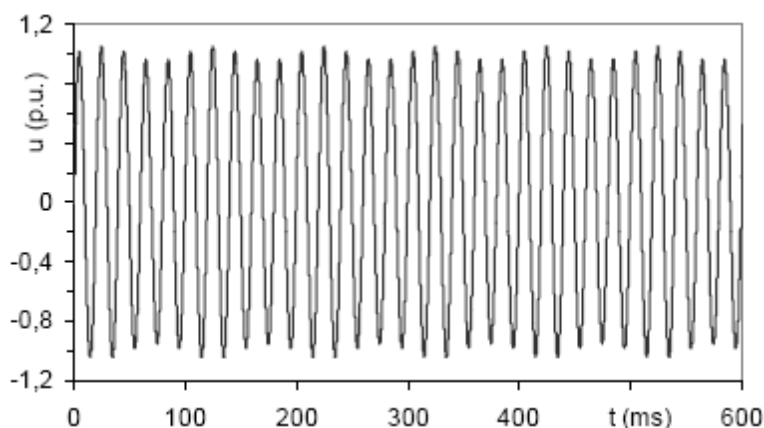
$$u(t) = \sin(\omega_1 t) \cdot [1 + m_M \sin(\omega_M t + \varphi)] \quad (2.4)$$

Kde ω_1, ω_M je úhlová frekvence základní harmonické složky, resp. modulační složky a m_M je relativní velikost vrcholové hodnoty modulační složky, která se rovná polovině velikosti relativní hloubky modulace. S využitím vztahů pro goniometrické funkce lze rovnici (2.4) převést na tvar:

$$u(t) = \sin(\omega_1 t) + \frac{m_M}{2} \cdot \sin \left[(\omega_1 - \omega_M)t + \left(-\varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right] + \frac{m_M}{2} \cdot \sin \left[(\omega_1 + \omega_M)t + \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right] \quad (2.5)$$

Výsledný vztah je součtem 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. ¼ hloubky modulace a jejich počáteční fáze odpovídající počáteční fázi modulační funkce jsou v opozici. [1]

Pokud je napětí periodicky amplitudově modulováno jakýmkoliv signálem, je možné rozložit daný signál na sumu jednotlivých frekvenčních složek, které se řídí určitými pravidly.



Obr. 2-3 Příklad amplitudové modulace

2.1.2 Fázová modulace

Fázová modulace (PM – z angl. phase modulation) je druhem modulace, u které se mění modulační signál fází nosné vlny. Spojitá fázová modulace je málo využívaná, protože vyžaduje poměrně složitý demodulátor a v určitých situacích může být problematické rozeznat správně fázový posuv. Jedním z mála širších využití této modulace je nasazení v elektronických hudebních nástrojích.

Obecně kmitočtové spektrum fázové modulace je těžko odvoditelné, ale existují dva důležité speciální případy modulačních signálů, pro které spektrální chování odvodit lze:

- Pro signály s velmi malou amplitudou se fázová modulace chová velmi podobně jako amplitudová modulace podobně jako ona vykazuje dvojnásobnou šířku pásma
- Pro sinusový signál s velkou amplitudou se fázová modulace blíží frekvenční modulaci a její šířka pásma je podle tzv. Carsonova vztahu pro PM rovna přibližně

$$2(h + 1)f_M \quad (2.6)$$

Můžeme tedy zobecnit, že každé periodické (kvazi-periodické) kolísání napětí se ve frekvenční oblasti projevuje jako skupina subharmonických nebo meziharmonických diskretních složek superponovaných na základní harmonickou složku. Meziharmonické a subharmonické jsou neceločíselným násobkem základní harmonické a mohou být definovány ve smyslu jejich spektrálních složek v kvazi-ustáleném stavu přes rozsah frekvencí. Meziharmonické můžeme dále rozdělit na meziharmonické s nízkou a vysokou frekvencí, které jsou spolu s ostatními složkami ve frekvenční oblasti definovány následovně:

Spektrální složka	Popis vztahu k frekvenční oblasti
Harmonická	$f = hf_1$, kde h je celé číslo > 0 a f_1 je základní harmonická frekvence
Stejnoseměrná	$f = 0$ Hz, (případně $f = hf_1$ kde $h = 0$)
Subharmonická	$0 < f < f_1$
Meziharmonická s nízkou frekvencí	$f_1 < f < 2f_1$
Meziharmonická s vysokou frekvencí	$f > 2f_1$ a zároveň $f \neq hf_1$, kde h je celé číslo > 2

Tab. 2-1 Definice spektrálních složek

Jinými slovy, každé periodické kolísání napětí s čistou AM či PM lze rozložit na součet třech a více frekvenčních složek. Správnou kombinací frekvenčních složek, je možné opět vytvořit čistě amplitudově nebo fázově modulovaný signál. Výsledný průběh napětí bude kolísat i v případě nesymetrických meziharmonických frekvenčních složek superponovaných na základní harmonické napětí. Nesymetrické znamená, že jednotlivé meziharmonické netvoří páry se stejnou amplitudou, symetricky rozdělené na frekvence dolního a horního postranného pásma, a s přesně definovaným fázovým posuvem.[1]

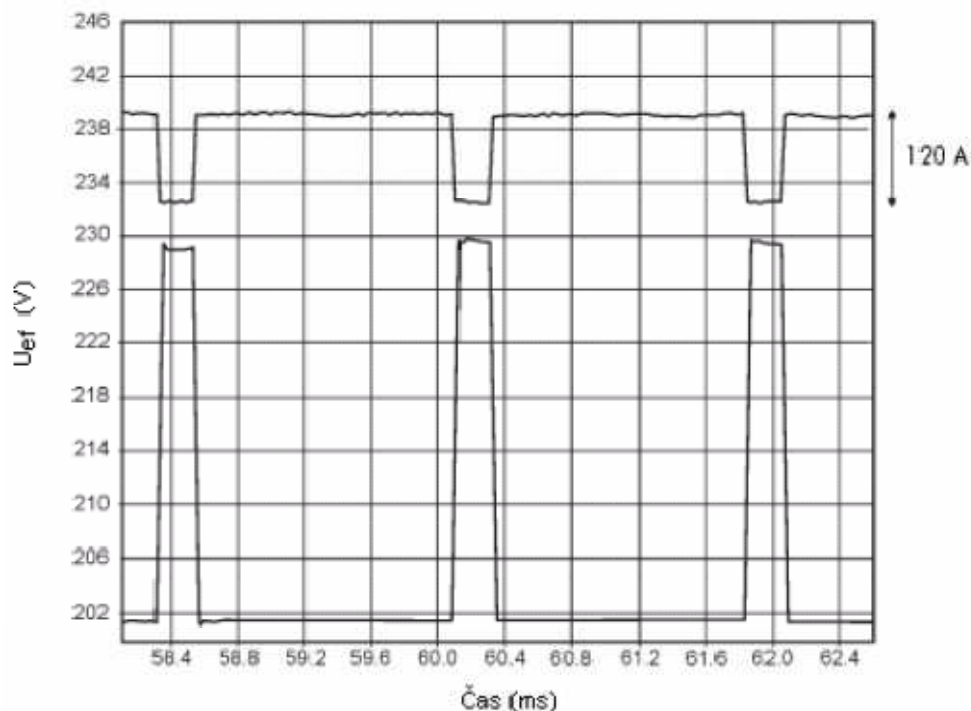
Meziharmonické složky (i vysokofrekvenční) v napájecím napětí jsou schopny měnit jeho velikost a tedy mohou způsobit blikání světelných zdrojů.

2.2 Zdroje kolísání napětí

Primární příčinou fluktuace napětí je časová změna jalového výkonu na proměnlivé zátěži. Takové zátěže jsou obloukové pece, pohony válcovacích stolic, navíječky, atp. Obecně řečeno, jsou to zátěže s velkým počtem změn výkonu.

Malé výkonové zátěže jako rozběh indukčních motorů, svářečky (obr. 2-4), ohřívače vody, regulátory výkonu, elektrické pily a kladiva, pumpy a kompresory, jeřáby a výtahy také mohou být zdroji flikru. [2]

Jinými případy jsou spínání kompenzačních kondenzátorů a přepínání transformátorových odboček, které mohou změnit induktivní složku náhradní impedance. Podobný efekt mohou mít změny v generování výkonu, např. větrné elektrárny mohou mít tento efekt. V některých případech mohou být kolísání napětí způsobena nízkofrekvenčními meziharmonickými složkami. [2, 8]



Obr. 2-4 Kolísání napětí v napájecí síti během svařování [2]

2.3 Omezení kolísání napětí

Účinky fluktuace napětí závisí hlavně na její amplitudě, která je ovlivněna vlastnostmi energetického systému, což je dáno typem zátěže a charakterem jejího provozu. Zmírňující opatření se zaměřují na omezení amplitudy kolísání napětí. Technologický proces je ovlivňován jen zřídka. Příklady těchto metod jsou následující: [2]

- obloukové pece – připojení sériového reaktoru (nebo transduktory), řádná funkce systému řízení elektrod, úprava a předhřev vsázky, atp.
- svařovna – napájení z vyhrazeného transformátoru, připojení jednofázových svářeček na různé fáze napájecí sítě pro symetrizaci zátěže mezi fázemi, připojení jednofázových svářeček na jiné fáze napájecí sítě než jsou napájeny osvětlovací soustavy
- motory s regulací otáček – použití softstartu

Jak vyplývá z rovnice (2.2) amplituda kolísání napětí může být omezena dvojím způsobem: [2]

- zvýšení zkratového výkonu (s ohledem na výkon zátěže) v bodě připojení kolísavé zátěže.

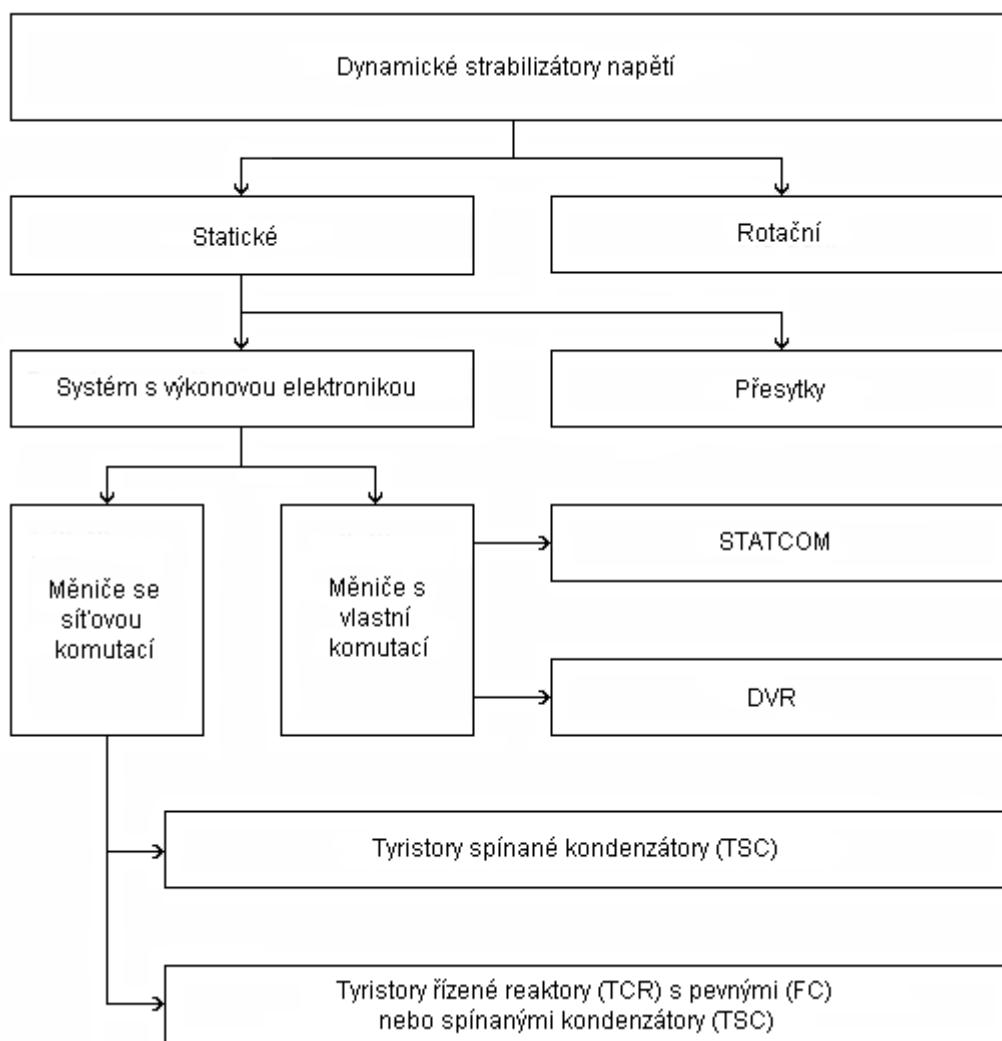
Prakticky to znamená:

- připojení zátěže na vyšší jmenovité napětí
- napájení zátěží této kategorie z vyhrazených vedení
- oddělení napájení kolísavé zátěže a stabilní zátěže z oddělených vinutí trojfázového transformátoru
- zvýšení jmenovitého výkonu transformátorů napájejících kolísavou zátěž
- připojení sériových kondenzátorů

- omezení změn jalového výkonu v napájecí síti připojením dynamických kompenzátorů nebo stabilizátorů

2.3.1 Dynamické napěťové stabilizátory

Dynamické napěťové stabilizátory jsou vhodné řešení pro odstranění nebo omezení změn napětí. Jejich účinnost je závislá na jejich jmenovitém napětí a rychlosti reakce. Obr. 2-5 popisuje klasifikaci různých řešení pro dynamické napěťové stabilizátory. Většinou to jsou trojfázové systémy s vysokým jmenovitým výkonem, které jsou navrhovány pro stabilizaci napětí v hlavním bodě distribuční sítě nebo pro specifickou skupinu zátěží ve společném napájecím bodě.



Obr. 2-5 Klasifikace dynamických stabilizátorů napětí

2.3.2 Statické kompenzátory

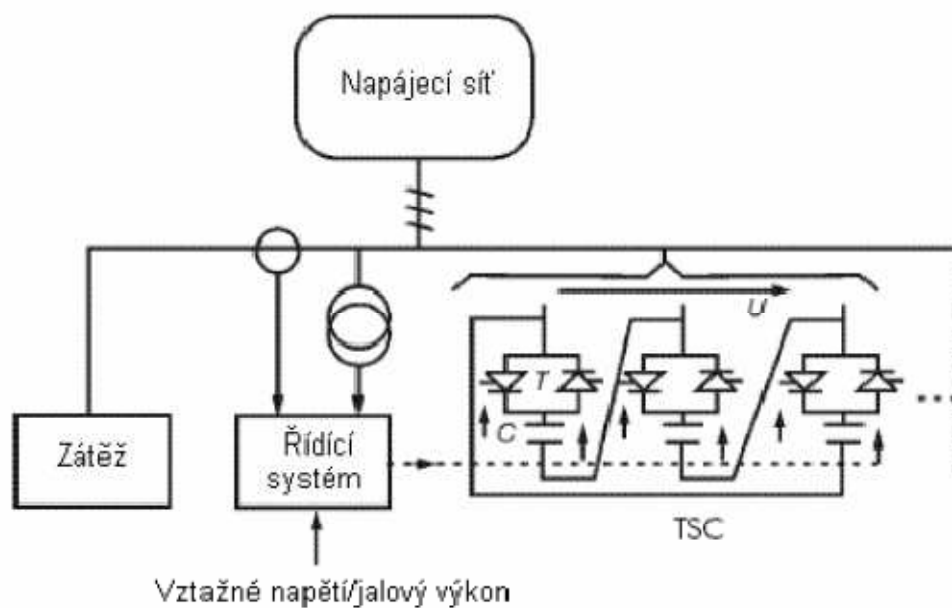
Statické kompenzátory (jiné než STATCOM) používají kapacitní a/nebo induktivní pasivní prvky, které jsou spínány, fázově řízeny nebo kombinovány s řízením sycením jádra.[8] Dodávají požadovaný stabilizační jalový proud buď v diskrétních krocích, nebo častěji plynule. Statické kompenzátory jsou považovány za nejvýhodnější řešení pro zvýšení kvality elektrické energie a to jak z technického, tak i z ekonomického hlediska.

2.3.3 Kompenzátory s přesytkami

Tato zařízení využívají sycení magnetického obvodu pro stabilizaci napětí. Dvě z těchto řešení našla široké praktické využití: reaktor s vlastním sycením (SR) a reaktor se stejnosměrným řídicím obvodem.

2.3.4 Tyristory spínané kondenzátory (TSC)

Tento typ napěťového stabilizátorů je složen ze sekcí kondenzátorových baterií, které jsou připojeny na sdružená napětí a spínány tyristorovými spínači (obr. 2-6). Hodnota ekvivalentní susceptance kompenzátoru se diskrétně mění v závislosti na počtu aktivních sekcí. Při použití vhodně velkého počtu sekcí může být dosaženo požadované hodnoty změny susceptance pro jeden krok. Přepětím a nadproudům se vyhneme počátečním přednabíjením a synchronizací spínání kondenzátorů. Doba odezvy pro symetrický provoz nepřekročí 20 ms.



Obr. 2-6 Schéma kompenzátoru s tyristory spínanými kondenzátory (TSC)[2]

2.3.5 Kompenzátor s tyristory řízeným reaktorem (TRC) a pevnými kondenzátory (FC)

Toto typ stabilizace je příkladem nepřímé kompenzace. V závislosti na požadované funkci (stabilizátor napětí nebo kompenzátor jalového výkonu), je kontrolována hodnota součtu dvou složek proudu:

- Základní harmonická proudu kondenzátorem, kondenzátor je provozován jako filtr nebo jako spínaný kondenzátor (TCR/TSC)
- Základní harmonická proudu tlumivkou, která je řízená tyristorovým spínačem

2.3.6 Zdroje napětí s měničem s vlastní komutací a zdroje jalového proudu nebo výkonu

Kompenzátor obsahuje zdroj napětí s měničem (VSC). Spínací stavy polovodičových zařízení určují charakter a hodnotu jalového výkonu (induktivní nebo kapacitní). Tyhle kompenzátory jsou srovnatelné se synchronními stroji, ale mají jednu výhodu a to, že jsou mnohem rychlejší. Nejznámější používaný kompenzátor tohoto typu je STATCOM.

STATCOM (Static Synchronous Compensator) je nová generace statických kompenzátorů, která využívají polovodičová zařízení s nucenou komutací. [2]

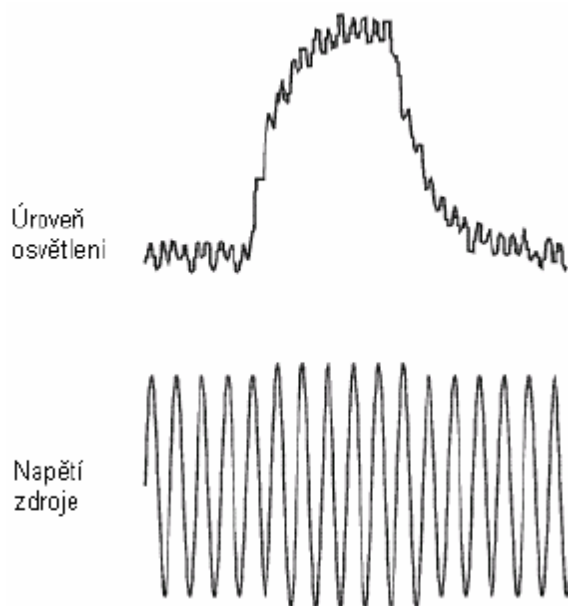
2.4 Účinky kolísání napětí na světelné zdroje

Jakékoliv změny amplitudy napájecího napětí vedou k změnám zářivého toku světelného zdroje. Tento jev je znám jako flickr, což je subjektivní vizuální dojem při nestabilním světelném toku, jehož jas nebo spektrální rozdělení se mění v čase. Přenos kolísání napájecího napětí na kolísání výstupního záření světelných zdrojů je velice komplexní problém závislý na principu funkce světelného zdroje, jeho konstrukci, dimenzování, napájení, ale i provozních podmínkách. [1] Odezva světelného zdroje na kolísání napětí může být vyjádřena jeho přenosovou funkcí, kterou je popsána změna výstupního parametru na základě změny parametru vstupního, vstupním parametrem je relativní velikost změny velikosti napětí $\Delta U/U$ a výstupním parametrem relativní velikost změny velikosti světelného toku $\Delta \Phi/\Phi$. Jejich podíl definuje zesílení přenosu:

$$G.F. = \frac{\Delta \Phi / \Phi}{\Delta U / U} \quad (2.7)$$

Každý světelný zdroj má svou vlastní přenosovou funkci, kterou lze získat vyhodnocením odezvy zdroje na periodickou amplitudovou modulaci napětí v rozsahu modulačních frekvencí (0; 50) Hz. Odezvu je přitom možné měřit, nebo i simulovat na modelu světelného zdroje.

Žárovky jsou zvláště citlivé na změny v napájecím napětí, jejich světelný tok Φ je úměrný přiloženému napětí podle vztahu $\Phi \sim U^y$, kde y se mění mezi 3,1 a 3,7. Obr. 2-7 ilustruje změny světelného toku žárovky 60 W, 230 V vlivem kolísání napětí napájecího napětí. [2] Flickr významně narušuje vidění a obecně způsobuje únavu a nepohodlí. Fyziologie tohoto jevu je komplexní. Flickr ovlivňuje proces vidění a reakce lidského mozku. Blikající světelné zdroje vytvářejí nepohodlí a zhoršení kvality práce – v některých případech mohou způsobit nehody na pracovišti.



Obr. 2-7 Vliv změn napětí na světelný tok žárovky

2.5 Vjem rušivého blikání

Zrakový systém je velmi složitá biologická soustava s komplikovanou anatomickou strukturou. Vjem rušivého blikání je dán fyziologií zraku popisující proces vidění a činnost zraku a to zejména spektrální citlivostí oka a jeho jednotlivých částí – fotoreceptorů, zorným polem a adaptačními mechanismy oka.

Je zřejmé, že osoby s rozdílnou anatomií a fyziologií oka mohou mít významně odlišný zrakový vjem stejných objektů. Zrakový vjem může být specifikován na základě parametrů objektu v prostoru. Některé z těchto parametrů jsou:

- jas objektu
- jas pozadí (adaptační jas)
- kontrast
- spektrum světla objektu a pozadí
- čas trvání vjemu
- kmitočtové charakteristiky změn
- velikost objektu
- umístění objektu od hlavní osy pohledu
- pohyb v zorném poli
- jasové nerovnoměrnosti objektu a pozadí [1]

Viditelnost jakéhokoliv objektu je funkcí všech uvedených parametrů, i dalších, například kognitivních faktorů jako je pozornost, očekávání a návyk, které mohou významně ovlivnit detekci a rozpoznávání objektů. [1]

Výzkum procesu vidění, má za sebou více než 40 let historie. Výzkum původně spočíval z testů provedených na vybraných reprezentativních skupinách jednotlivců a používali se různé zdroje světla a průběhy změn napětí. Na tomto základě, výzkumníci určili křivku zřetelnosti a závažnosti flikru. Tato křivka (obr. 2-8) současně hodnotí sinusové nebo obdélníkové kolísání napětí (osa Y) frekvence (osa X). Plocha nad křivkou definuje kolísání napětí, které produkují patrné nepříjemné blikání. Zatímco plocha pod křivkou definuje přijatelné úrovně blikání. Později byla tato křivka zavedena do EMC norem řady ČSN EN 61000 jako kompatibilní úroveň pro pravoúhlé změny napětí, a v posledních edicích normy ČSN EN 61000-2-2 je nazvána křivkou stejné míry vjemu blikání. [1]

Účast fyziologů a psychologů na těchto pokusech umožnily vývoj zdokonalených matematických modelů pro neuro-fyziologické procesy. Výsledné experimenty nabídli první příležitost k pokroku v teze podobnosti mezi citlivostí lidského oka na světelné podněty a frekvenční charakteristikou elektrického analogového signálu. Další studie vzala v úvahu nejen amplitudu změn, ale i různé úrovně přizpůsobení očí na průměrný jas.

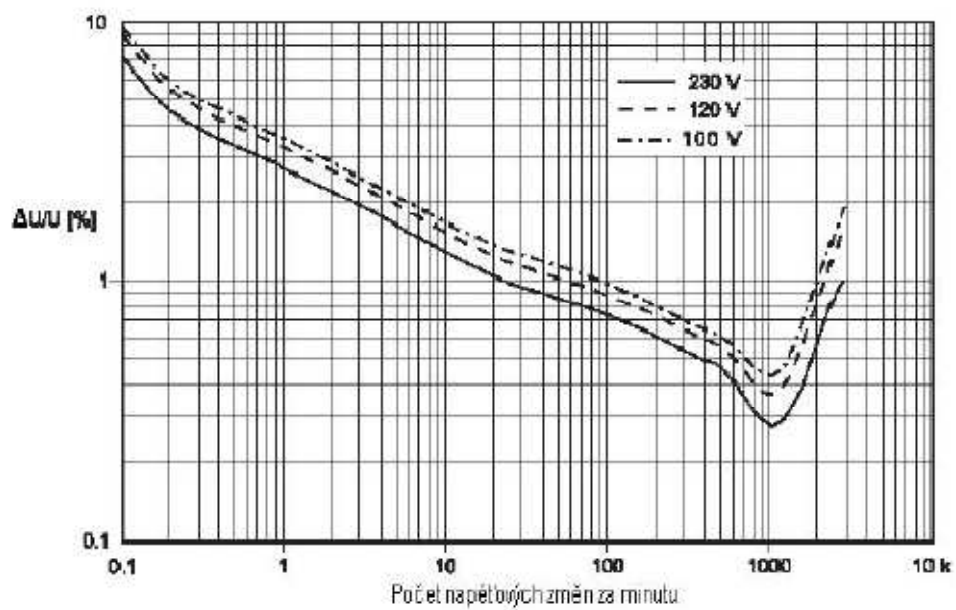
K mezní křivce pro žárovku 60 W 230 V byly postupně přidány i mezní křivky pro 60 W žárovky pro napájecí systémy 120 V 60 Hz a 100 V 50 Hz. Žárovka 60 W s dvojitě vinutým spirálovým vláknem použitá při testech, které vedli k sestrojení mezní křivky byla v té době považována za základní, nejpoužívanější a citlivý světelný zdroj, díky čemuž se stala i referenčním světelným zdrojem. [1,8]

Studie prokázala, že reakce lidského oka má charakteristický pásmový filtr mezi 0,5 Hz a 35 Hz, s maximální citlivostí na světelný tok při frekvenci kolem 8 Hz až 9 Hz. [1,8]

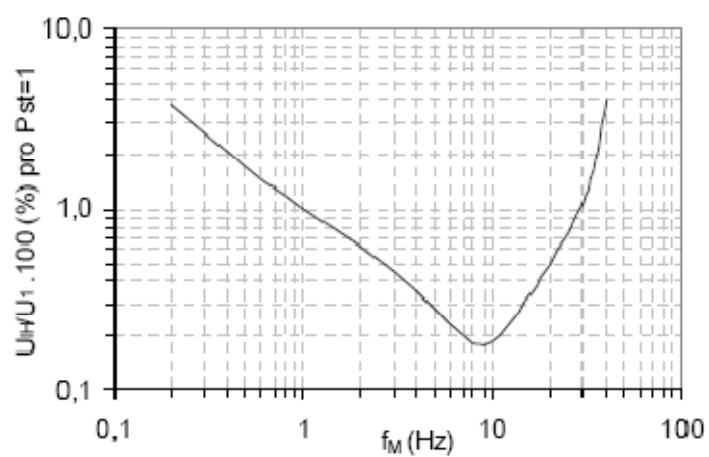
Na základě mezní křivky pro pravoúhlé změny napětí byla odvozena i mezní křivka pro sinusové změny napětí (obr.2-9) a následně v devadesátých letech i mezní křivka meziharmonických napětí v závislosti na meziharmonické frekvenci do 100 Hz, která byla do druhé edice ČSN EN 61000-2-2 zavedena jako kompatibilní úroveň pro meziharmonická napětí.

Charakteristika odezvy mozku na světelnou stimulaci má inerciální charakter s časovou konstantou 300 milisekund, což znamená, že pomalé změny světelného toku jsou mozkiem zaznamenány a rychlé změny se vyhladí (mozek je nezaznamená). Například, dvě krátké změny světelného toku, vyskytující se v intervalu do 300 milisekund, jsou vnímané jako jedna změna. Krátké změny světelného toku, po nichž následuje delší pauza, jsou více nepříjemné.

Fenomén blikání je více dominantní v periférii zorného pole, než v těch oblastech, na které je zaměřena pozornost pozorovatele. Fluktuace napětí potřebná k vzniku flikru je nezávislá na typu napájecího napětí (AC nebo DC) používané pro světelné zdroje.[1, 2, 7, 8]



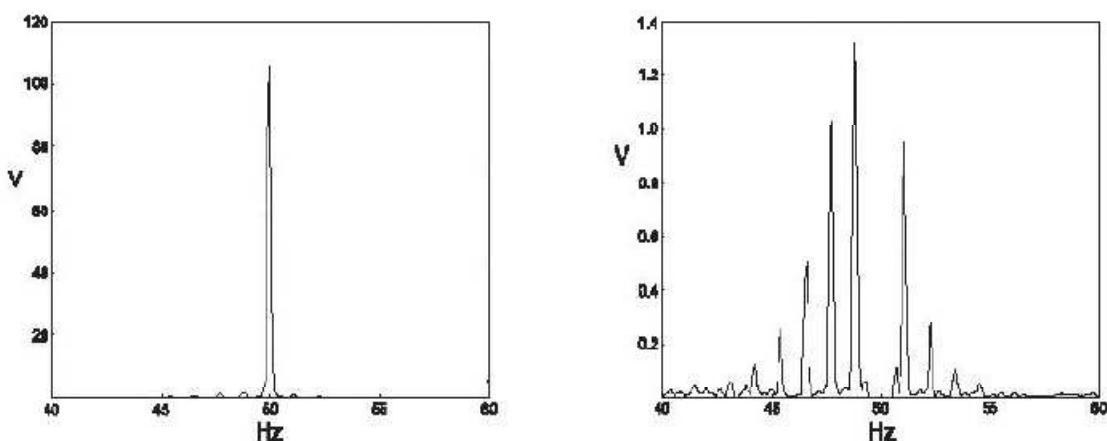
Obr. 2-8 Charakteristika vnímání flikru pro napěťové změny aplikované na 60 W žárovku [3]



Obr. 2-9 Křivka stejné míry vjemu ($P_{st} = 1$) pro sinusové kolísání napětí žárovka 60 W 230 V [6]

3 MĚŘENÍ FLIKRU

Poměrně velkým problémem v současné době je blikání světelných zdrojů, které může vyvolat psychickou únavu, vážný psychologický neklid a dokonce i patologické vlivy na lidské bytosti. Blikání světelných zdrojů je způsobeno opakujícími se malými změnami amplitudy síťového napětí. Tento jev se označuje jako flikr a je významným parametrem kvality elektrické energie. Příklad spektra síťového napětí, kde je patrný flikr, je ukázán na obrázku 3-1. Zobrazené spektrum je typickým pro napětí sítě, která napájí velký nestacionární elektrický pohon. Žárovka napájená ze stejného uzlu bude blikat s frekvencí okolo 1 Hz.



Obr. 3-1 Spektrum napětí napájecí sítě, v grafu vpravo je potlačena složka 50 Hz [6]

Flikr se dá vyjádřit dvěma parametry: P_{st} – krátkodobá míra vjemu flikru a P_{lt} – dlouhodobá míra vjemu flikru.

Od zavedení energetických sítí by znám jev blikání světelných zdrojů. Rychle rostl s nárůstem počtu zátěží a s nárůstem spotřeby elektrické energie. Kvůli tomu byly provedeny výzkumy měření a zmírňování flikru. První měřicí přístroje byly založeny pouze na sledování světelného toku. Později byl vytvořen model lidské reakce v podobě nepohodlí a nepříjemností při kolísání světelného toku. Model byl vytvořen pro wolframovou žárovku 60 W, 230 V, protože to byl tehdy nejpoužívanější světelný zdroj v Evropě. [3]

Měření kolísání napětí je vyžadováno proto, aby se určila emisní úroveň zátěže pro srovnání s mezními hodnotami danými EMC normami. Měření flikru je prováděno ze dvou důvodů. První je určení kvality napájení, tj. srovnání existující úrovně flikru v měřeném místě s doporučeními dle norem. Druhým důvodem je odhad emisních úrovní při návrhu zařízení před jejich uvedením na trh, tj. typové testy z důvodu certifikace. [11]

První zařízení pro měření flikru obsahovali typickou žárovku 60 W, 230 V, snímač světelného toku a analogový model pro simulaci lidské reakce. Výzkum z 80. let minulého století sdružil aktivity v oblasti vyhodnocování flikru do aktivit UIE a které převzala IEC. Výsledný normalizovaný modelový přístroj je plně elektronický, měří kolísání napětí a simuluje obojí, odezvu světelného zdroje a lidskou reakci.

Měření kolísání napětí je zpracováno s využitím modelu referenčního světelného zdroje, který přenáší kolísání napájecího napětí na kolísání světelného toku a modelu odezvy průměrného

pozorovatele. [1] Výstupem je časový průběh okamžité míry vjemu flikru $P_f(t)$. Flikr je více tolerovatelný pokud nastává zřídka s krátkou dobou trvání. Jeho tolerovatelnost se snižuje v případě zvyšování úrovně intenzity blikání, frekvence opakování, nebo doby trvání blikání. Následuje statistické zpracování, zahrnující uvedené hodnocení, jehož výstupem jsou dva výsledky, krátkodobá míra vjemu flikru P_{st} , měřený v desetiminutových intervalech a dlouhodobá míra vjemu flikru P_{lt} , která je průměrem hodnot P_{st} ve dvouhodinovém časovém intervalu. Normalizovaná odezva flikrmetru odpovídá invertované a normalizované křivce na obr. 1-7 pro pravoúhle kolísání napětí a invertované a normalizované křivce na obr. 1-8 pro sinusové kolísání napětí. Flikr vyvolá nepříznivý Zrakový vjem člověka, v případě že je hodnota krátkodobé míry vjemu flikru $P_{st} \geq 1$. [1, 3]

V současné době je UIE/IEC flikrmetr popsán v normě ČSN EN 61000-4-15. Popis činnosti je založen na analogové realizaci, v normě jsou zahrnuty jednotlivé bloky i metody pro verifikaci a validaci funkce flikrmetru. Flikrmetr je v zásadě specializovaný analyzátor amplitudově modulovaného signálu s nosnou frekvencí odpovídající základní harmonické frekvenci sítě, s následným vyhodnocením frekvenční odezvy systému referenční světelný zdroj – oko – mozek pozorovatele.[1]

3.1 Měření krátkodobé míry vjemu flikru - P_{st}

Blokový diagram zařízení je ukázán na obr. 3-2. Kolísání měřeného napětí je zpracováno použitím modelu světelného toku a modelu lidské reakce v závislosti na kolísání světelného toku. Jedná se o okamžité měření flikru. Různí lidé reagují odlišně na změny světelného toku, a proto je hodnota P_{st} odvozena od statistického modelu založeného na experimentech s velkou skupinou jednotlivců.

Měření míry vjemu založené na periodě pozorování $T_{st} = 10$ min je označováno P_{st} . Při určování této hodnoty je použit vzorec:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_{1s} + 0,0657P_{3s} + 0,28P_{10s} + 0,08P_{50s}} \quad (3.1)$$

Kde $P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_{10} a P_{50} jsou úrovně blikání překročené po 0,1 %; 1 %; 3 %; 10 % a 50 % doby během periody pozorování. Přípona „s“ v indexech percentilů ve vzorci naznačuje, že by se měla použít vyhlazená hodnota, která se získá použitím následujících rovnic:

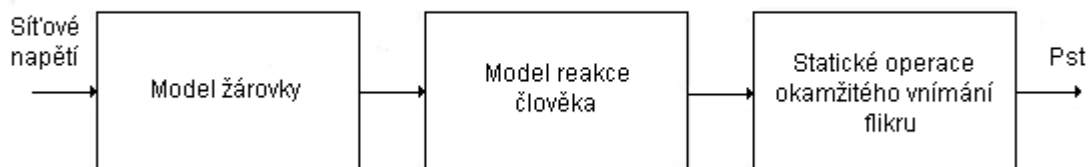
$$P_{1s} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})/3 \quad (3.2)$$

$$P_{3s} = (P_{2,2} + P_3 + P_4)/3 \quad (3.3)$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5 \quad (3.4)$$

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3 \quad (3.5)$$

Časová konstanta paměti 0,3 s v měřiči blikání zajišťuje, že $P_{0,1}$ se nemůže náhle měnit a pro tento percentil není potřeba vyhlazování.



Obr. 3-2 Postup určení míry vjemu flikru P_{st}

3.2 Měření dlouhodobé míry vjemu flikru - P_{lt}

Perioda 10 minut, na které je založeno vyhodnocování krátkodobé míry vjemu flikru, je vhodná pro určování rušení způsobených zdroji s krátkým pracovním cyklem. V případech, kdy se mají brát v úvahu kombinované účinky několika rušících zatížení pracujících náhodným způsobem (např. svářečky, motory) nebo když se mají brát v úvahu zdroje blikání s dlouhým nebo proměnným pracovním cyklem (např. obloukové pece), je nezbytné zajistit kritérium dlouhodobého určení míry vjemu blikání. [8] Za tímto účelem se z hodnot krátkodobé míry vjemu flikru P_{st} odvodí dlouhodobá míra vjemu flikru P_{lt} po dobu přiměřené periody odpovídající pracovnímu cyklu zatížení nebo periody, po kterou pozorovatel může reagovat na blikání, tj. několik hodin, přičemž se použije následující vzorec:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{sti}^3}{N}} \quad (3.6)$$

Kde P_{sti} ($i = 1, 2, 3, \dots$) jsou po sobě následující odečty krátkodobé míry vjemu flikru P_{st} .

3.3 Měření a stanovení flikru v napájecí energetické síti

Hlavní příčinou kolísání napětí jsou velké elektrické zátěže. Mechanismus vlivu zátěže na síť je názorně ukázán na obr. 3-3. Napětí v místě připojení zátěže je menší než zdrojové napětí v důsledku poklesu napětí.

$$U_{Zn} = I_{Zátěže} \cdot Z_{Zn} \quad (3.7)$$

Kde:

$I_{Zátěže}$ – proud zátěže

Z_{Zn} – impedance sítě

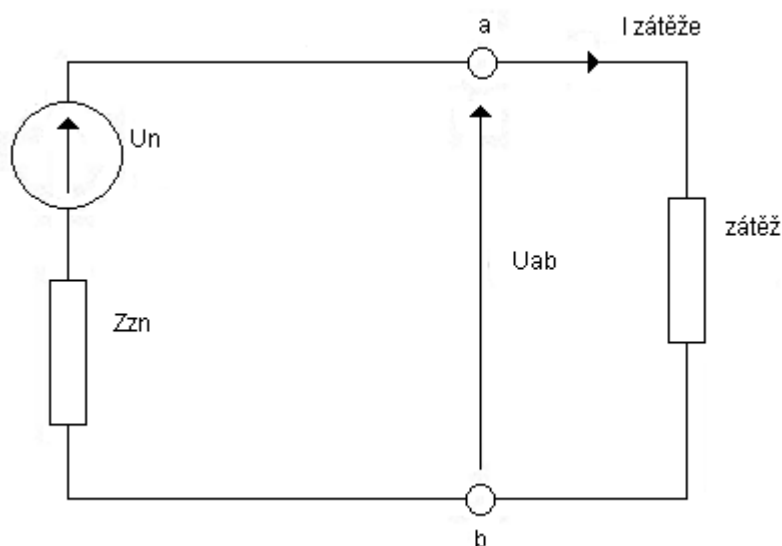
míněno z pohledu od bodů připojení zátěže (a, b)

Potom napětí v bodech (a, b) je:

$$U_{ab} = U_n - U_{zn} \quad (3.8)$$

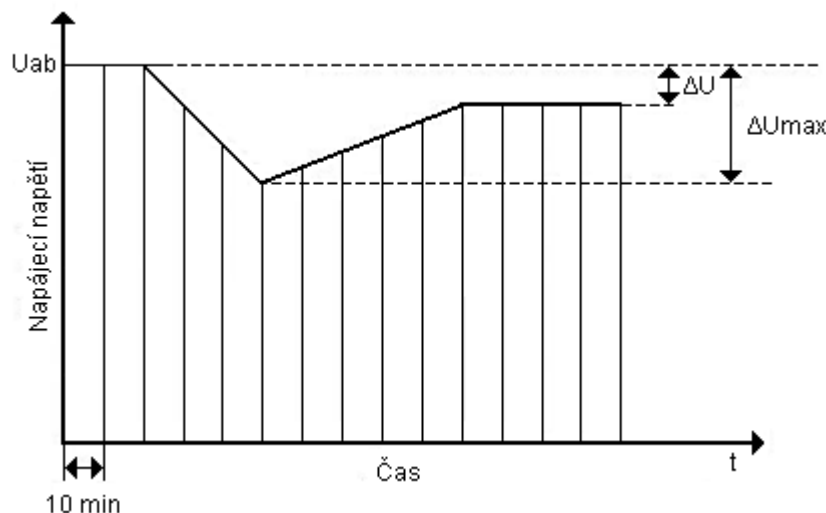
může to být vnímáno tak, že jakákoliv proudová změna, zejména v jalové složce, způsobí nežádoucí změnu v napětí U_{ab} . Ve skutečné energetické síti je tento jev mnohem složitější.

Často vzniká otázka, zda připojení zátěže k síti způsobí flikr nebo zvýšení úrovně flikru nad předepsaný limit. To závisí na parametrech energetické sítě a každé připojované zátěži, která může způsobit opačný efekt.



Obr. 3-3 Vliv zátěže na síť

Jelikož působení zátěže nemůže být měřeno před připojením, vliv musí být odhadnut. Problémy kompatibility jsou uvedeny v normě IEC 61000-3-3, ve které je stanovena referenční impedance zdroje (sítě) Z_S odpovídající $\text{Re}(Z_S) = 0,4 \, \Omega$ a $\text{Im}(Z_S) = 0,25 \, \text{W}$ při frekvenci 50 Hz. Navíc norma stanovuje metodu zlepšení odhadu s uvažováním tvaru modulace napájecího napětí, tj. výpočty předpokládají nejhorší případ obdélníkového tvaru modulace a proto budou vyžadovat úpravu pro ostatní tvary modulace. [3]



Obr. 3-4 Příklad diagramu zatížení podle IEC 61000-3-3

Obrázek 2-4 ukazuje jeden diagram podle IEC 61000-3-3, typický pro motorový pohon, ukazující jak jsou stanoveny změny napětí ΔU pro výpočet:

$$d = \frac{\Delta U}{U_{ab}} \quad (3.9)$$

Hodnoty parametrů ekvivalentního kroku závisí na t_1 , t_2 , t_3 , atd., jak to vysvětluje norma. Výpočet efektivní hodnoty napětí je prováděn v každé polovině cyklu.

Norma IEC 61000-3-3 vyžaduje, aby:

- Hodnota parametru krátkodobé míry vjemu flikru $P_{st} \leq 1,0$
- Hodnota parametru dlouhodobé míry vjemu flikru $P_{lt} \leq 0,65$
- Stacionární relativní změna napětí $d \leq 3 \%$
- Maximální relativní změna napětí $d_{max} \leq 4 \%$
- Hodnota d v průběhu změny napětí by neměla přesáhnout 3 % po dobu trvání delší než 200 ms

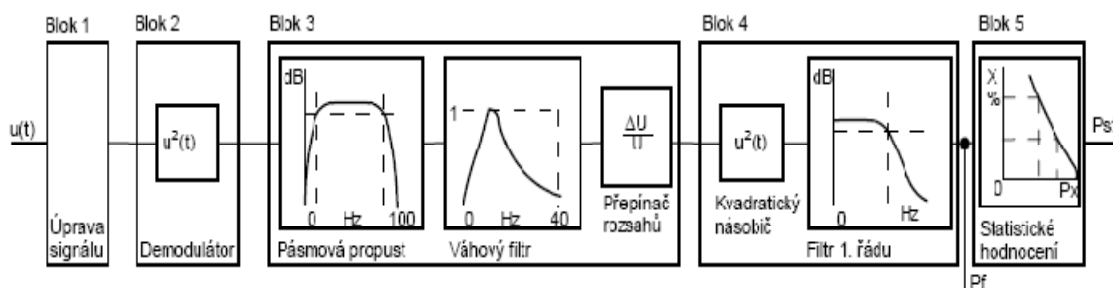
Jestliže zátěž způsobuje změny napětí U_{ab} méně často než jednou za hodinu nebo jestliže jsou změny výsledkem manuálního spínání, potom jsou přípustné hodnoty navýšeny o 33 %. Je důležité poznamenat, že za předpokladu konstantního síťového napětí, tj. bez přítomnosti ověřované zátěže, by se jednalo o energetickou síť bez kolísání napětí. [3]

Nemohou být prováděny matematické operace s výsledky měření P_{st} nebo P_{lt} .

3.4 Konstrukce standardního UEI/EIC flickrmetru

Konstrukce standardního UEI/EIC flickrmetru je popsána v normě ČSN EN 61000-4-15. Činnost přístroje je založena na analogové realizaci zahrnující jednotlivé bloky, včetně metod pro verifikaci a validaci jeho funkce. Zjednodušené blokové funkční schéma UIE/EIC flickrmetru je na obrázku 2-5. Strukturu měřiče můžeme rozdělit do třech částí:

- Úprava měřeného signálu, která je realizovaná blokem 1
- Modelování odezvy řetězce světelný zdroj – oko – mozek, prováděné v blocích 2, 3 a 4
- Statistická analýza signálu blikání v reálném čase uskutečňovaná blokem 5



Obr. 3-5 Zjednodušené funkční schéma UIE/EIC flickrmetru [6]

3.4.1 Blok 1

Tento blok obsahuje signální generátor k nastavování kalibrace přístroje (je součástí starších typů flickrmetrů). Není součástí moderních digitálních měřičů, protože u těchto přístrojů je snadné zajistit dostatečnou kalibrační stabilitu. Tímto způsobem měření blikání může být provedeno nezávisle na skutečné úrovni vstupního nosného napětí a vyjádřeno v procentech.

Odbočky na vstupním transformátoru, zařazeném před blok 1, vytvářejí vhodné rozsahy vstupního napětí, které udržují vstupní signál převodníku napětí v dovoleném rozsahu. V digitálních přístrojích může být přizpůsobení napětí provedeno násobením okamžitého vstupního napětí hodnotou 230 V dělenou skutečným vstupním napětím zprůměrovaným po dobu 60 s.

3.4.2 Blok 2

Úkolem bloku je provést kvadratizaci průběhu vstupního napětí, tím se zvýrazní modulační složka a namodeluje se chování světelného zdroje.

3.4.3 Blok 3

Tento blok je tvořen kaskádou frekvenčních filtrů a přepínačem měřících rozsahů. V blokovém schématu (obr. 3-5) jsou uvedeny dva filtry, ale jsou tři.

První je hornopropustný filtr prvního řádu navržený s útlumem 3 dB na frekvenci 0,05 Hz. Jeho účelem je eliminovat stejnosměrnou složku napětí.

Následuje Butterworthův filtr šestého řádu s útlumem 3 dB na frekvenci 35 Hz, kterého úkolem je potlačit sudé násobky základní harmonické frekvence sítě, vzniklé kvadraticizací vstupního signálu. Čímž je fakticky dokončena demodulace vstupního napětí.

Třetím filtrem v tomto bloku je váhový filtr, jehož přenosová funkce odpovídá invertované a normalizované křivce stejné míry vjemu ($P_{st} = 1$) pro sinusové změny napětí pro referenční žárovku, která je fakticky shodná z mezní křivkou pro meziharmonická napětí související s blikáním pro referenční žárovku 60 W, 230 V (obr. 1-8), která je zároveň kompatibilní úrovní pro meziharmonická napětí (ČSN EN 61000-2-2). [6] Váhový filtr emuluje odezvu systému světelný zdroj (referenční žárovka 60 W, 230 V) – oko.

3.4.4 Blok 4

Zajišťuje dvě funkce. Kvadraticizaci signálu blikání pro modelování nelineárního vnímání při přenosu blikání z oka do mozku.

A průměrování signálu modelující paměťový efekt v mozku, které je provedeno dolnoproputním filtrem prvního řádu s časovou konstantou 300 ms, tzn. s frekvencí řezu 0,53 Hz.

Výstup bloku 4 představuje okamžitou hodnotu míry vjemu blikání P_f .

3.4.5 Blok 5

Blok 5 zahrnuje mikroprocesor, který provádí analýzu úrovně blikání v reálném čase, tak aby byl umožněn přímý výpočet důležitých vyhodnocovacích parametrů.

Vhodné rozhraní dovoluje data převádět a zaznamenat. Statistická analýza provedena blokem 5 v reálném čase musí být provedena dělením amplitudy signálu úrovně blikání do vhodného počtu tříd. Signál úrovně blikání je vzorkován s konstantní četností.

Každý čas, ve kterém se příslušná hodnota vyskytne, čítač odpovídající třídy zaznamená přírůstek o jednotku. Tímto způsobem se získá frekvenční distribuční funkce vstupních hodnot. Volbou snímacího kmitočtu bude konečný výsledek na konci měřicího intervalu reprezentovat rozložení dob trvání úrovně blikání v každé třídě. Sečtením obsahů čítačů všech tříd a vyjádřením počtu v každé třídě v poměru k celku dává funkci hustoty pravděpodobnosti úrovně blikání. Z této funkce se obdrží funkce kumulativní pravděpodobnosti používaná statistické metodě čas na úroveň. [4]

Z funkce kumulativní pravděpodobnosti se vypočte krátkodobá míra vjemu blikání a po uplynutí předepsaného počtu intervalů následně dlouhodobá míra vjemu flikru. Výstupem bloku 5 je tedy posloupnost těchto dvou parametrů.

3.5 Digitální UEI/EIC flikrmetr v prostředí LabVIEW

Programovací a vývojové prostředí LabVIEW (z angl. Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench), je produktem americké firmy National Instruments (NI), která je průkopníkem a největším výrobcem v oblasti virtuální instrumentace, technické disciplíny, která zažívá veliký rozvoj v oblasti vývoje, výzkumu, školství a průmyslu.[5]

Programovací prostředí LabVIEW využívá je tzv. G-jazyk (tedy „grafický“ jazyk). LabVIEW je vhodné nejen k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizaci technologických procesů různé složitosti, ale také k programování složitých systémů, jako je třeba robot. S určitou nadsázkou lze říci, že prostředí LabVIEW nemá omezení své použitelnosti.

Hlavním cílem virtuální instrumentace je nahradit dočasně nebo i trvale prostorově, finančně a mnohdy i časově náročné využití technických prostředků virtuálním řešením za přispění programových prostředků. Toto řešení umožňuje rychlé navrhování nových aplikací i provádění změn v konfiguraci, což je u realizace skutečnými nástroji za pomoci reálných součástek často velice nákladné nebo přímo nemožné.

Uživatelské rozhraní v programu LabVIEW má podobu čelního ovládacího panelu určitého měřicího přístroje. Každý virtuální přístroj naprogramovaný v LabVIEW se skládá ze dvou sdružených oken: z uživatelského rozhraní, kterému se v LabVIEW říká čelní panel (angl. Front Panel), a z blokového diagramu (angl. Block Diagram), který je zdrojovým kódem programu.

S rozvojem digitální měřicí techniky je stále více flikrmetrů integrovaných v PQ monitorech a analyzátoch sítí plně digitálních, založených na analogové verzi UIE/EIC flikrmetru. Nicméně zatím neexistuje žádný mezinárodní standart s technickým popisem numerického flikrmetru, avšak digitalizovaný analogový flikrmetr je obecně akceptován. Proto byla provedena implementace digitálního UIE/EIC flikrmetru do prostředí LabVIEW. Blokové schéma modelu digitálního flikrmetru použitého pro simulaci odezvy je na obr. 3-6.

Vykonávání programu v LabVIEW je řízeno datovým tokem a nikoli lineárním vykonáváním řádků kódu, jak je to u textových programovacích jazyků, kde jsou jednotlivé části programu řazeny sekvenčně. Datový tok jednoznačně určuje směr provádění programu. Zpracování informace v jednotlivých uzlech blokového diagramu se provede tehdy, jsou-li na všech jeho vstupech informace potřebné k jeho provedení. Po ukončení činnosti má uzel na výstupu definované informace, které se pošlou dále. [5]

V textových programovacích jazycích se pro práci s hodnotami používají programové proměnné, které je nutno před jejich prvním použitím deklarovat (definovat jejich název a vlastnosti). Určitou obdobou proměnných v prostředí LabVIEW je datový tok reprezentovaný datovým spojením, kterým se přenos dat realizuje. Jednotlivé funkce automaticky alokují paměť pro data, když už data nejsou používána přiřazená paměť je uvolněna. Přiřazená paměť se automaticky zvětší, jsou-li přidány nová data do pole nebo řetězce. [5]

Práce s daty získanými při měření a generování fyzikálních signálů se nazývá pořizování dat – Data Acquisition (DAQ). DAQ systémy umožnily zvýšení rychlosti měření a zpracování dat. Obvodové řešení DAQ systémů rovněž umožnilo nahradit analogový způsob zpracování signálů počítačovými systémy za pomoci vhodného programového vybavení. Tím vzniká tzv. virtuální přístrojová technika. Je to kombinace technického a programového vybavení se standardizovanými průmyslovými počítačovými technologiemi umožňující vytváření uživatelsky definovaných řešení. Pro prostředí LabVIEW umožňuje sofistikovaně analyzovat, zpracovávat a zobrazovat signál a získaná data. Moderní DAQ zařízení jsou obvykle v provedení zásuvných karet pro vložení do systémového konektoru počítače nebo v provedení externího zařízení vybaveného rozhraním pro komunikaci s počítačem, jde zejména o rozhraní USB, IEEE 1394 apod. [5]

Flikrmetr v LabVIEW je realizovaný pomocí bloku DAQ Assistant, na jeho výstupu jsou hodnoty naměřené měřicí kartou, která je připojená k počítači.

Za tímto blokem následuje normalizace signálu, která je v programovém prostředí LabVIEW realizovaná funkcemi Collector a Amplitude and level measurements. Tyto funkce dělí vstupní napětí hodnotou průměrnou efektivní hodnotou za jednu minutu, tím se signál upraví pro další zpracování ve filtrech.

Po kvadratzaci je signál přiveden na vstupy tří za sebou řazených filtrů, které jsou sestaveny pomocí funkčního bloku IIR Filter do kterého jsou přivedena dvě pole hodnot konstant v menovateli a čitateli. Po další kvadratzaci vstupuje signál do posledního filtru a pak je signál zesílen konstantou 1233040.

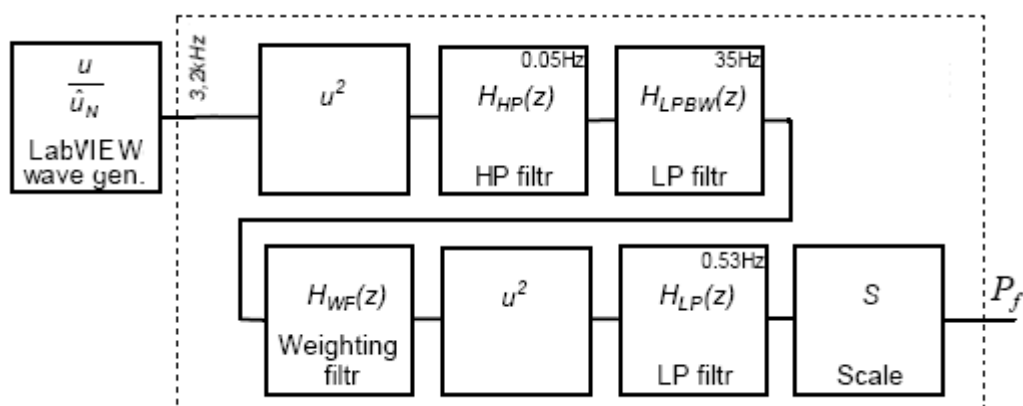
Jednoduchým zjištěním maximální špičky efektivní hodnoty signálu pomocí bloku Amplitude and level measurements získáme hodnotu okamžité míry vjemu flikru.

Následuje agregace výstupu flikrmtru pro statistické hodnocení. Toto hodnocení je provedeno pomocí programové struktury Case, která se spouští po uplynutí nastavitelného časového intervalu, ve které je matematickými operacemi zabezpečen výpočet krátkodobé míry vjemu flikru.

Virtuální přístroj obsahuje aj blok, který má za úkol zdržet činnost programu až kým neodezní přechodový jev. Ve virtuálním přístroji je také tlačítková logika s klopným obvodem, pomocí které lze nastavit délku měření krátkodobé míry vjemu flikru v rozmezí 1 až 10 minut.

Celý flikrmetr se všemi bloky je vložen v programové struktuře While loop, kterou je zabezpečen opakovaný chod programu až do stlačení tlačítka Stop.

Na čelním panelu jsou zobrazovány hodnoty okamžité míry vjemu flikru P_f , krátkodobé míry vjemu flikru P_{st} , která je vypočtena z hodnoty P_f a krátkodobé míry vjemu flikru, která je získaná statistickým hodnocením. Na grafech jsou zobrazeny průběhy amplitudové modulace signálu a hodnot P_f a P_{st} v čase. Dále jsou tady umístěny tlačítka pro spuštění a zastavení běhu programu a nastavení času měření krátkodobé míry vjemu flikru. Nachází se taky i statkové okno, které nám dává informace o stavu ve kterém se momentálně program nachází.



Obr. 3-6 Blokový diagram bloků 2 až 4 digitálního flikrmtru pro LabVIEW [6]

Funkce digitální verze musí plně odpovídat analogové. Digitální implementace znamená plnou digitalizaci všech bloků flikrmetru. Podstatnou část tvoří převedení specifikovaných s-
přenosových funkcí všech analogových filtrů Z-transformací na diskrétní filtry. Pro převod může být použita standardní Z-transformace, nebo mohou být digitální filtry specifikovány přímo na základě požadovaných parametrů. Pro všechny filtry na obrázku 2-6 byla použita bilineární Z-transformace. [7]

Signál amplitudové modulaci odpovídající rovnici (2.3) je přímo generován pomocí základních funkcí LabVIEW a vzorkovací frekvence je nastavená na hodnotu $f_s = 3,2$ kS/s. Do prvního bloku jsou vloženy prvky na přizpůsobení napětí, takže okamžité vstupní napětí je děleno skutečným vstupním napětím zprůměrovaným po dobu 1 minuty. Tímto způsobem zabezpečíme, že do bloku 2 vstupuje signál, který je nezávislý na skutečné úrovni vstupního napětí.

Po kvadratizaci je signál přiveden na hornopropustný digitální flitr prvního řádu s přenosovou funkcí získanou bilineární Z-transformací:

$$H_{HP}(z) = \frac{a \cdot (1 - z^{-1})}{1 + bz^{-1}} \quad (3.10)$$

kde $a = \frac{2\tau f_s}{1 + 2\tau f_s}$, $b = \frac{1 - 2\tau f_s}{1 + 2\tau f_s}$, f_s je vzorkovací frekvence a τ je časová konstanta filtru $\tau = 300$ ms. Vypočtené hodnoty konstant filtrů jsou uvedeny v tabulkách níže.

Následuje dolnoproputní Butterworthův digitální flitr šestého řádu se Z-přenosovou funkcí:

$$H_{LPBW}(z) = \prod_{i=1}^3 \left[\frac{a_{0i} + a_{1i}z^{-1} + a_{2i}z^{-2}}{b_{0i} + b_{1i}z^{-1} + b_{2i}z^{-2}} \right] \quad (3.11)$$

$$\text{kde} \quad a_{0i} = \frac{1}{2} a_{1i} = a_{2i} = \frac{1}{1 + g\alpha_i + g^2} \quad (3.12)$$

$$b_{0i} = 1, b_{1i} = 2a_{0i} \cdot (1 - g^2), b_{2i} = a_{0i} \cdot (1 - g\alpha_i + g^2)$$

kde $g = 1/(\tan(\pi f_{LPBW}/f_s))$, $\alpha_1 = 1,93185165$; $\alpha_2 = 1,41421356$; $\alpha_3 = 0,51763809$; f_{LPBW} je frekvence řezu $f_{LPBW} = 35$ Hz a f_s je vzorkovací frekvence.

Přenosová funkce digitálního váhového filtru v kaskádní formě je za použití bilineární Z-transformace následující:

$$H_{WF}(z) = \prod_{i=1}^2 \left[\frac{a_{0i} + a_{1i}z^{-1} + a_{2i}z^{-2}}{b_{0i} + b_{1i}z^{-1} + b_{2i}z^{-2}} \right] \quad (3.13)$$

$$\text{kde } a_{01} = 2k\omega_1 f_s, a_{11} = 0, a_{21} = -2k\omega_1 f_s, b_{01} = 4f_s^2 + 4\lambda f_s + \omega_1^2, b_{11} = 2\omega_1^2 - 8f_s^2$$

$$b_{21} = 4f_s^2 - 4\lambda f_s + \omega_1^2, a_{02} = 1 + 2\frac{f_s}{\omega_2}, a_{12} = 2, a_{22} = 1 - 2\frac{f_s}{\omega_2}$$

$$b_{02} = 1 + \frac{2f_s}{\omega_3} + \frac{2f_s}{\omega_4} + \frac{4f_s^2}{\omega_3\omega_4}, b_{12} = 2 - \frac{8f_s^2}{\omega_3\omega_4}, b_{22} = 1 - \frac{2f_s}{\omega_3} - \frac{2f_s}{\omega_4} + \frac{4f_s^2}{\omega_3\omega_4}$$

f_s je vzorkovací frekvence $\omega_1 = 2\pi 9,15494$; $\omega_2 = 2\pi 2,27979$; $\omega_3 = 2\pi 1,22535$; $\omega_4 = 2\pi 21,9$;
 $k = 1,74802$ a $\lambda = 2\pi 4,05981$

Výstup signálu blikání z váhového filtru je opět kvadratzován a poté vyhlazen dolnoproputným digitálním filtrem prvního řádu se Z-přenosovou funkcí:

$$H_{LP}(z) = \frac{a \cdot (1+z^{-1})}{1+bz^{-1}} \quad (3.14)$$

kde $a = \frac{1}{1+2\tau f_s}$, $b = \frac{1-2\tau f_s}{1+2\tau f_s}$, f_s je vzorkovací frekvence a τ je časová konstanta filtru
 $\tau = 300$ ms

Pro zadání jednotlivých filtrů do programového prostředí LabVIEW byl použit prvek s názvem „IIR Filter“, do kterého se jako první zadávají hodnoty konstant, které jsou v menovateli funkcí jednotlivých filtrů a až pak hodnoty konstant které jsou v čitateli. Při výpočtu konstant jednotlivých filtrů je důležité, aby výsledky byly co nejpřesnější, jinak filtry nebudou správně fungovat.

Výstup z bloku 4 je normalizován násobícím faktorem, který byl stanoven pro sinusovou modulaci s hloubkou 0,25 % a modulační frekvencí 8,8 Hz. Nikoliv analyticky, ale na základě odsimulované odezvy a jeho hodnota je 1233040.

a	0.999950915024241	b	-0.999901830048482
---	-------------------	---	--------------------

Tab. 3-1 konstanty pro hornopropustný filtr 0,05Hz

a01	0.00110745409161227	b01	1.0000000000000000
a11	0.00221490818322454	b11	-1.87225257611663000
a21	0.00110745409161227	b21	0.87668239248307500
a02	0.00112557232160715	b02	1.0000000000000000
a12	0.00225114464321429	b12	-1.90288310341297000
a22	0.00112557232160715	b22	0.90738539269939600
a03	0.00115961592483087	b03	1.0000000000000000
a13	0.00231923184966174	b13	-1.96043693279394000
a23	0.00115961592483087	b23	0.96507539649326000
g	862.3541039		

Tab. 3-2 konstanty pro dolnoproustný Butterworthův filtr 35Hz

a01	643519.545234505	b01	41289818.095046000
a11	0.000000000	b11	-81913382.396581600
a21	-643519.545234505	b21	40636799.508372400
a02	447.791869334	b02	39541.811788644
a12	2.000000000	b12	-77324.069766856
a22	-445.791869334	b22	37786.257978211

Tab. 3-3 konstanty pro váhový filtr

a	0.000520562207183758	b	-0.998958875585632
---	----------------------	---	--------------------

Tab. 3-4 konstanty pro dolnoproustný filtr 0,53Hz

Blok 5 představuje statistické zpracování signálu okamžité míry vjemu blikání a zahrnuje A/D převodník následovaný statistickým třídičem, který převádí průběh okamžité míry vjemu blikání na krátkodobou míru vjemu blikání P_{st} , která uvádí míru rušení zrakového vjemu průměrného pozorovatele za periodu pozorování T , která je nastavitelná a její obvyklá doba je 10 minut. Vyhodnocení P_{st} je založeno výpočtu funkce kumulativní pravděpodobnosti (CPF) za pozorovací periodu T . Statistické hodnocení je v programu LabVIEW je provedeno pomocí rovnic (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) a (3.5). Výstupem je hodnota krátkodobé míry vjemu flikru.

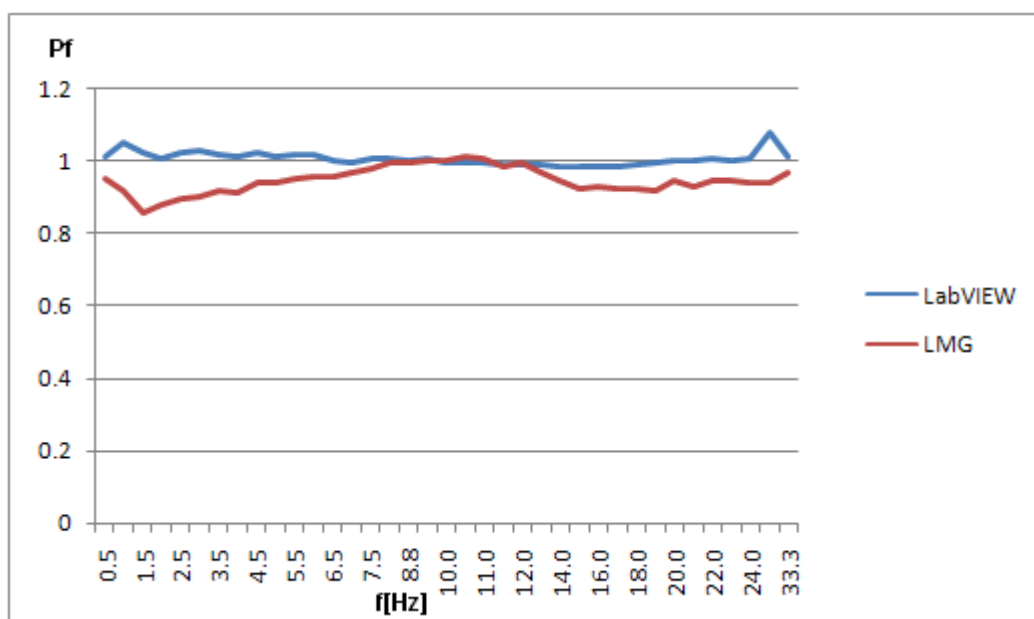
Na čelním panelu virtuálního flikrmetru nastavujeme vstupní napětí sítě, modulační frekvenci a hloubku modulace, kterou zadáváme v procentech. Na panelu jsou vidět dvě výstupy a to hodnota okamžité míry vjemu flikru a hodnota krátkodobé míry vjemu flikru. První graf zobrazuje průběh amplitudové modulace a druhý průběh hodnot okamžité míry vjemu flikru. Pokud ne nutno lze jednoduše vložit na čelní panel další průběžné hodnoty a taky grafy (např. když chceme sledovat i výstupy jednotlivých filtrů).

4 MĚŘENÍ NA VIRTUÁLNÍM FLIKRMETRU

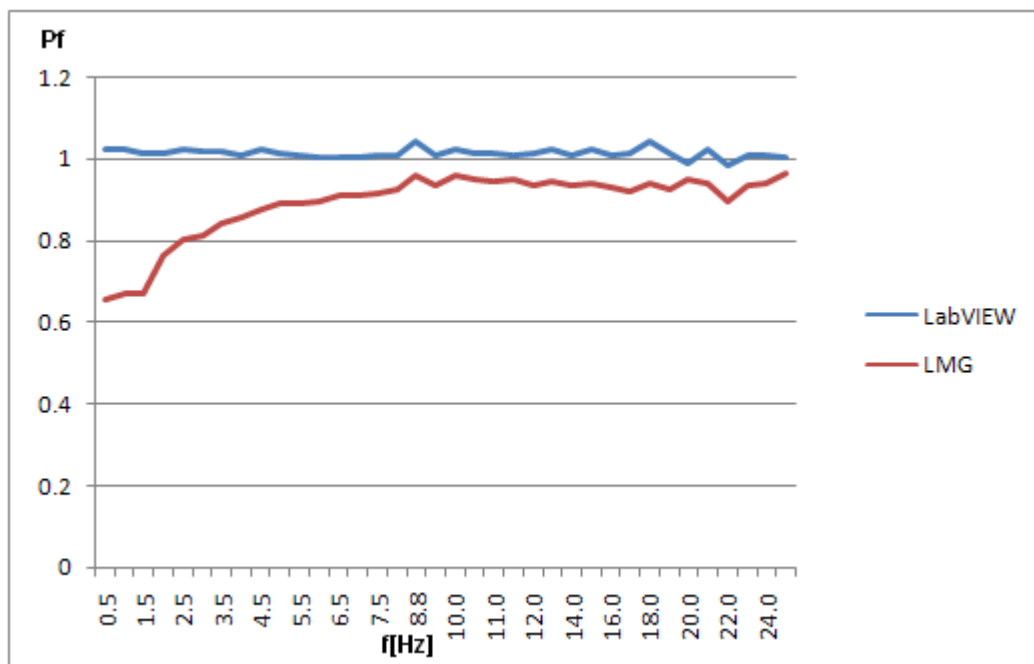
Měření byla uskutečněna na měřicí platformě NI PXI 1042Q od firmy National Instruments, jako zesilovač napětí nám posloužil přístroj AC Power Source 108AMX který vyrobila firma Pacific smart source. Do obvodu jsme zapojili Precision power meter LMG 95 od výrobce Zimmer electronic systems, který sloužil na porovnání naměřených hodnot s virtuálním flikrmetrem vytvořeným v programovém prostředí LabVIEW.

4.1 Zkoušky podle normy ČSN EN 61000-4-15

Funkčnost virtuálního přístroje byla testována na jednotkový výstup okamžité míry vjemu flikru pro dané hodnoty relativní velikosti změny napětí a modulační frekvence podle normy ČSN EN 61000-4-15. Předepsaná přesnost je dosažena jsou-li hodnoty okamžité míry vjemu flikru pro sinusové i pravoúhle modulace v rozsahu $\pm 5\%$ od jednotkového výstupu. Týchto hodnot bylo na virtuálním přístroji dosaženo jak pro odezvu na sinusovou modulaci napětí, tak i pro obdélníkovou modulaci napětí. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách a zobrazeny v grafech.

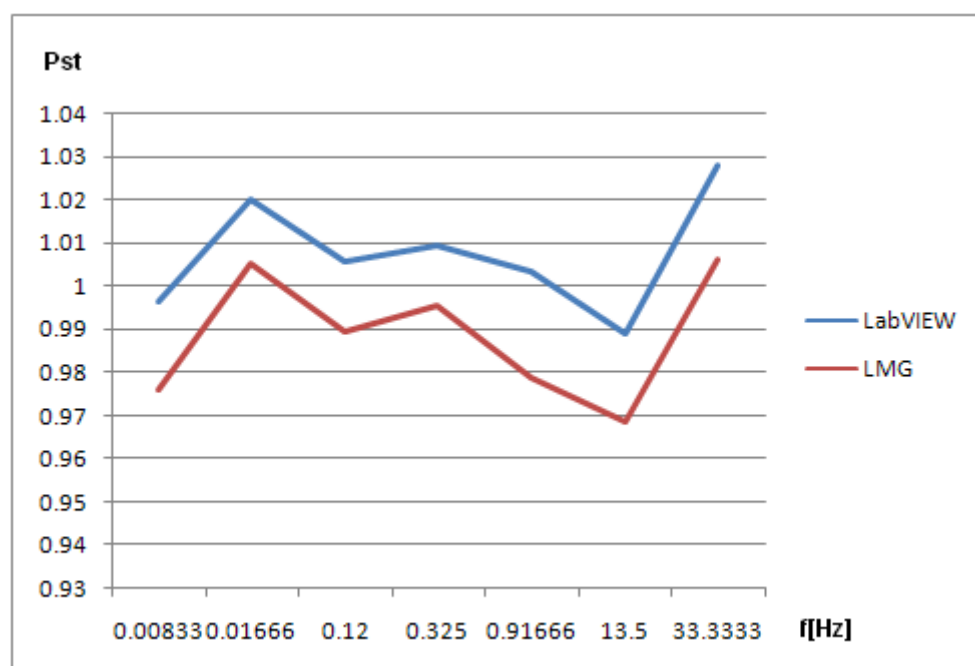


Obr. 4-1 Graf normalizované odezvy flikrmetru na sinusovou modulaci napětí



Obr. 4-2 Graf normalizované odezvy flikrmetru na obdélníkovou modulaci napětí

Test odezvy na pravoúhlé změny napětí porovnává odezvu celého měřicího řetězce flikrmetru. Testovacím signálem je jmenovité napětí modulované pravoúhlými změnami. Norma definuje pouze četnost změn za minutu. Hodnota krátkodobé míry vjemu flikru pro toto měření musí být $P_{st} = 1 \pm 5 \%$, což bylo aj dosaženo. Doba měření krátkodobé míry vjemu flikru byla nastavena na 1 minutu. Hloubka modulace je vždy polovina definované relativní velikosti změny napětí. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce a zakresleny do grafu.

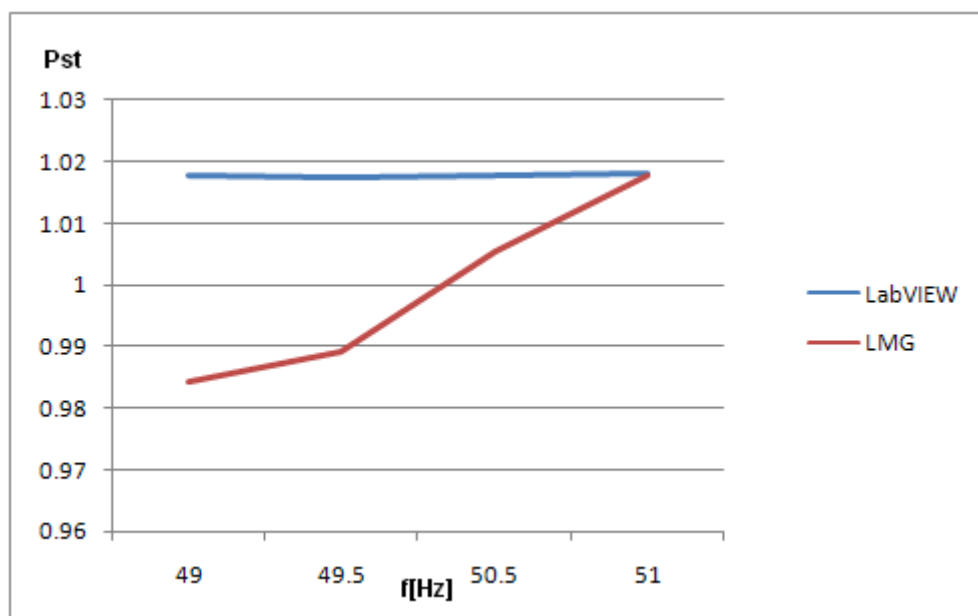


Obr. 4-3 Graf odezvy na pravoúhle změny napětí

4.2 Zkoušky signálem nemajícím vliv na úroveň signálu blikání

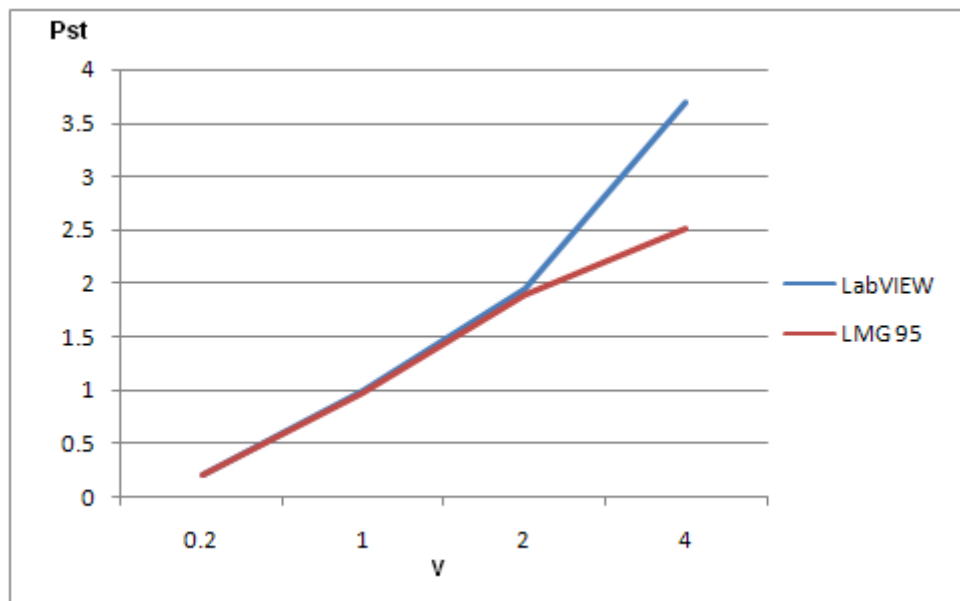
Daná kategorie zkoušek zahrnuje testy určené pro ověření vlastností při aplikaci signálů, které nesmí ovlivnit funkci flikrmetru a tedy jeho výstupní parametry musí být ve stanovené toleranci. [10]

Síťová frekvence odlišná od nominální nezpůsobuje blikání světelných zdrojů za předpokladu, že změna frekvence je pomalá. Cílem testu odezvy na variaci základní frekvence sítě je ověřit správnou funkci flikrmetru v rozsahu specifikované tolerance velikosti frekvence od její jmenovité hodnoty. Doba jednotlivé zkoušky je 1 minuta. Požadovaný výsledek zkoušky by měl být v rozmezí $P_{st} = 1 \pm 0,05$ a jak je vidět na grafu, tak těchto hodnot bylo dosaženo.

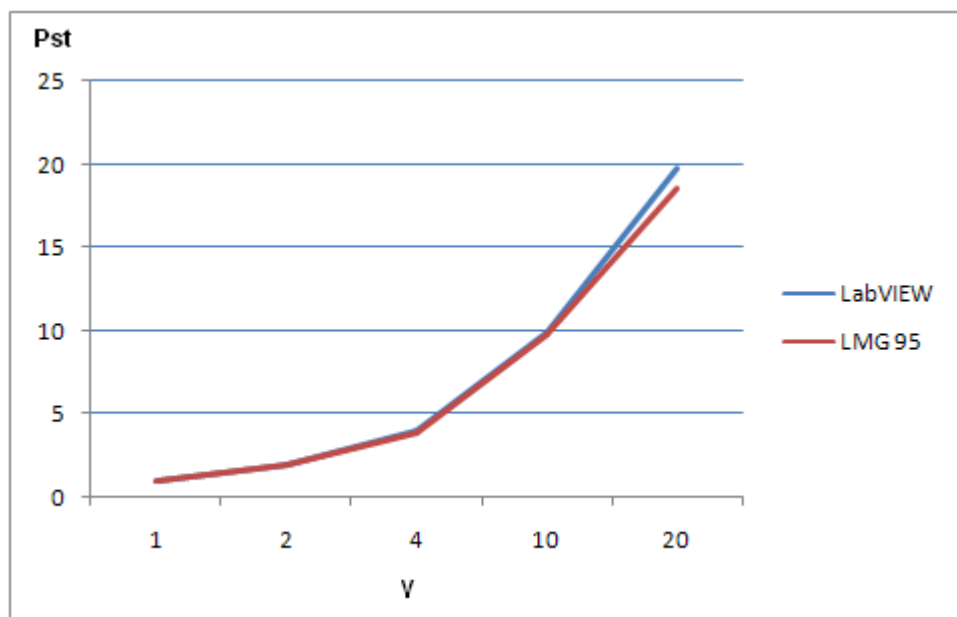


Obr. 4-4 Graf odezvy na variaci základní frekvence

Test linearity slouží na ověření linearity jednotlivých bloků a rozlišení třídiče úrovně flikrmetru. Úroveň kolísání napětí se může měnit ve velkém rozsahu. Flikrmetr musí mít odezvu v celém tomto rozsahu kolísání napětí. Touto zkouškou se testuje linearita celého systému, která předpokládá lineární závislost P_{st} na velikosti kolísání napětí. Testovacím signálem je harmonické jmenovité napětí amplitudově modulováno obdélníkovým periodickým průběhem. Předepsané parametry modulace jsou modulační frekvence 0,008333 Hz (1 změna za minutu) s odpovídající referenční hloubkou modulace pro dosažení $P_{st} = 1$ násobenou postupně koeficientem z množiny $\gamma = 0,2; 1,0; 2,0$ a $4,0$, a modulační frekvence 13,5 Hz (1620 změn za minutu) s odpovídající referenční hloubkou modulace pro dosažení $P_{st} = 1$ násobenou postupně koeficientem z množiny $\gamma = 1,0; 2,0; 4,0; 10,0$ a $20,0$. Požadované hodnoty testu by měli být v rozmezí $P_{st} = (1 \pm 0,05) \cdot \gamma \pm 0,1$. Těchto hodnot bylo dosaženo a jsou zakresleny v grafech.



Obr. 4-5 graf testu linearity pro 1 změnu za minutu



Obr. 4-6 graf testu linearity pro 1620 změn za minutu

4.3 Zkoušky signálem majícím vliv na úroveň signálu blikání

Rušivé blikání světelných zdrojů způsobují kromě ustálené amplitudové modulace napětí z principu i další rušivé jevy. [10] Flikrmetr musí mít danou odezvu na všechny jevy, které mohou způsobit vjem rušivého blikání. Tyto jevy jsou kolísání napětí způsobené interakcí nízkofrekvenční meziharmonické složky se základní harmonickou vlnu napětí, nebo vysokofrekvenční meziharmonické s nejbližší harmonickou/meziharmonickou složkou napětí jejichž rozdílový kmitočet je menší než 50 Hz.

Test normalizované odezvy na jednu nízkofrekvenční meziharmonickou superponovanou na základní vlnu napětí je určen pro ověření odezvy přenosových funkcí bloků 1 až 4 flikrmtru na nízkofrekvenční meziharmonickou složku. Požadované hodnoty jsou $P_f = 1 \pm 0,05$. Virtuální flikrmtr nedosáhl danou přesnost.

Pokud jsou v napájecím napětí 2 frekvenční složky, jejich rozdílová frekvence je nižší než 50 Hz, mohou i tyto můžou svou interferencí způsobit rušivé blikání světelného zdroje. Na tento typ signálu musí mít flikrmtr odpovídající odezvu. Testovací signál je tvořen základní harmonickou složkou se superponovanou dvojicí frekvenčních složek se stejnou amplitudou, které jsou frekvenčně posunuty o 10 Hz. Požadovaný výsledek zkoušky je $P_f = 1 \pm 0,05$. Této hodnoty taky nebylo dosaženo, protože přístroj není programován na vstupní signál, který je modulován meziharmonickými složkami.

Z měření jsme zjistili, že námi navržený flikrmtr prošel všechny testy až na zkoušky signálem majícím vliv na úroveň signálu blikání. Těmito testy neprošel, protože byl programován pouze na čistě amplitudově modulovaný vstupní signál.

5 ZÁVĚR

V této práci je popsán princip sestavení virtuálního flickrmtru v programovacím prostředí LabVIEW, který odpovídá normě ČSN EN 61000-4-15. Daný přístroj je schopen měřit nepříznivý vliv blikání světelných zdrojů.

V této práci byly vytvořeny bloky filtrů, jejichž odezva odpovídá požadavkům normy a blok statistického třídiče. Tyto bloky byly zasazeny do programové smyčky, která byla dodána vedoucím práce.

Na vytvořeném flickrmtru jsme dělali zkoušky signálem nemajícím vliv na úroveň signálu blikání: test odezvy na variaci základní frekvence sítě a test linearity, v těchto testech byla odezva přístroje na vstupní signál v požadovaných mezích.

V zkouškách majících vliv na úroveň signálu blikání (odezva na jednu meziharmonickou a na dvě meziharmonické) nebyl výstup přístroj shodný s hodnotami uvedenými v normě. Tato odchylka se dá vysvětlit tím, že přístroj byl navržen, aby měřil flickr, který je způsobený amplitudovou modulací vstupního signálu a tyto testy předpokládají, že vstupní signál způsobující rušivé blikání světelných zdrojů je modulován meziharmonickými složkami.

Při zkouškách, kterými jsme ověřili funkčnost vytvořeného flickrmtru bylo zjištěno, že námi vytvořený přístroj je přesnější jako referenční flickrmetr LMG 95.

Daný virtuální přístroj se může využívat k měření v laboratorních úlohách nebo ho můžeme využít i v praxi k měření rušivého blikání světelných zdrojů, které je způsobeno amplitudovou modulací signálu.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DRÁPELA, Jíří . *Blikání světelných zdrojů způsobené mezipharmonickými složkami napětí*. Brno : VUTIUM, 2009. 34 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické.
- [2] HANZELKA, Zbigniew; BIEN, Andrzej. Kvalita elektrické energie : Poruchy napětí - flickr. *Leonardo power quality initiative*. 2006, 19 s.
- [3] HANZELKA, Zbigniew; BIEN, Andrzej. Kvalita elektrické energie : Poruchy napětí – měření flickru. *Leonardo power quality initiative*. 2005, 11 s.
- [4] ČSN EN 61000-4-15. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Zkušební a měřicí technika - Měřič blikání - Specifikace funkce a dimenzování. Praha : Český normalizační institut, 1999. 25 s.
- [5] VLACH, Jaroslav; HLAVLÍČEK, Josef; VLACH, Martin. *Začínáme s LabVIEW*. Praha : BEN - Technická literatura, 2008. 248 s.
- [6] DRÁPELA, Jíří . Konstrukce flickrmetru s odezvou na mezipharmonické nad 100 Hz. *Konference ČK CIRED*. 2007, 18 s.
- [7] DRÁPELA, Jíří ; PLCH, Jíří. Souhrnný pohled na zpětné rušivé vlivy os na napájecí síť - Část 2. *Světlo* [online]. 2002, 4, [cit. 2010-05-12]. Dostupný z WWW: <http://odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23017>.
- [8] DEDAN, John. Flicker: Causes, Symptoms and Cures. *EC&M* [online]. 2007, 1, [cit. 2010-05-12]. Dostupný z WWW: <http://ecmweb.com/lighting/electric_flicker_causes_symptoms/>.
- [9] MCKIM, James. The UIE Flickermeter Demystified . *Compliance Engineering* [online]. 1999, 6, Dostupný z WWW: <<http://www.cemag.com/archive/1999/mayjune/McKim.html>>.
- [10] DRÁPELA, Jíří; ŠLEZINGR, Jan. Revize standardu UIE/IEC měřiče blikání. *Konference ČK CIRED*. 2009, s. 17
- [11] VACULÍKOVÁ, Polina, a kol. *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů*. Praha : Grada Publishing, 1998. 493 s.
- [12] DUGAN, Roger; MCGRANAGHAN, Mark; SANTOSO, Surya. *Electrical power systems quality*. McGraw-Hill, 2003. 215 s.

PŘÍLOHY

sinusové kolísání							
		Pf				Pf	
f_M [Hz]	$\Delta U/U$ [%]	LabVIEW	LMG 95	f_M [Hz]	$\Delta U/U$ [%]	LabVIEW	LMG 95
0.5	2.340	1.01194	0.94825	10.5	0.270	0.99347	1.01215
1.0	1.432	1.04808	0.91461	11.0	0.282	0.99176	1.00904
1.5	1.080	1.02271	0.85473	11.5	0.296	0.98752	0.98648
2.0	0.882	1.00604	0.87741	12.0	0.312	0.98613	0.99485
2.5	0.754	1.02227	0.89521	13.0	0.348	0.98651	0.96658
3.0	0.654	1.02772	0.90073	14.0	0.388	0.98274	0.94598
3.5	0.568	1.01442	0.91475	15.0	0.432	0.98143	0.92085
4.0	0.500	1.01206	0.91049	16.0	0.480	0.98411	0.93018
4.5	0.446	1.02085	0.93665	17.0	0.530	0.98424	0.92064
5.0	0.398	1.00909	0.93851	18.0	0.548	0.98815	0.92294
5.5	0.360	1.01512	0.95066	19.0	0.640	0.99133	0.91762
6.0	0.328	1.01654	0.95354	20.0	0.700	0.99871	0.94685
6.5	0.300	0.99623	0.95687	21.0	0.760	0.99698	0.92737
7.0	0.280	0.99514	0.96932	22.0	0.824	1.00334	0.94728
7.5	0.266	1.00426	0.97658	23.0	0.890	1.00084	0.94485
8.0	0.256	1.00212	0.99275	24.0	0.962	1.00642	0.93746
8.8	0.250	1.00049	0.99387	25.0	1.042	1.07984	0.94081
9.5	0.254	1.00243	1.00152	33.3	2.130	1.00863	0.96685
10.0	0.260	0.990708	1.00328				

Tab. 0-1 Normalizované odezva flikrmtru na sinusovou modulaci napětí

pravoúhlé kolísání							
		Pf				Pf	
f_M [Hz]	$\Delta U/U$ [%]	LabVIEW	LMG 95	f_M [Hz]	$\Delta U/U$ [%]	LabVIEW	LMG 95
0.5	2.340	1.02007	0.65648	10.0	0.270	1.02288	0.96014
1.0	1.432	1.01974	0.67074	10.5	0.282	1.01301	0.95012
1.5	1.080	1.01322	0.67149	11.0	0.296	1.01328	0.94526
2.0	0.882	1.01416	0.76234	11.5	0.312	1.00948	0.95248
2.5	0.754	1.02093	0.80113	12.0	0.348	1.01083	0.93784
3.0	0.654	1.01922	0.81327	13.0	0.388	1.02377	0.94527
3.5	0.568	1.01559	0.84092	14.0	0.432	1.00908	0.93785
4.0	0.500	1.00526	0.85524	15.0	0.480	1.02343	0.94086
4.5	0.446	1.02216	0.87905	16.0	0.530	1.00536	0.92894
5.0	0.398	1.01115	0.89252	17.0	0.548	1.01451	0.91864
5.5	0.360	1.00599	0.89247	18.0	0.640	1.04044	0.94257
6.0	0.328	1.00492	0.89425	19.0	0.700	1.01359	0.92554
6.5	0.300	1.00034	0.91002	20.0	0.760	0.986154	0.94782
7.0	0.280	1.00064	0.91076	21.0	0.824	1.02315	0.94268
7.5	0.266	1.00549	0.91542	22.0	0.890	0.983502	0.89425
8.0	0.256	1.00794	0.92684	23.0	0.962	1.00803	0.93546
8.8	0.250	1.04101	0.95921	24.0	1.042	1.00976	0.94257
9.5	0.254	1.00962	0.93574	33.3	2.130	1.00149	0.96488

Tab. 0-2 Normalizované odezva flikrmetru na obdélníkovou modulaci napětí

				P_{st}	
četnost změn za minutu	f_M [Hz]	$\Delta U/U$ [%]	m_M [%]	LabVIEW	LMG 95
1	0.00833	2.724	1.362	0.9964	0.97605
2	0.01666	2.211	1.105	1.0201	1.00531
7	0.12000	1.459	0.730	1.0058	0.98954
39	0.32500	0.906	0.453	1.0093	0.99531
110	0.91666	0.725	0.363	1.0034	0.97866
1620	13.50000	0.402	0.201	0.9889	0.96842
4000	33.33333	2.400	1.200	1.0281	1.00627

Tab. 0-3 Odezva na pravoúhle změny napětí

f_i [Hz]	P_{st}	
	LabVIEW	LMG 95
49	1.0178	0.98434
49.5	1.0174	0.98919
50.5	1.0176	1.00521
51	1.0182	1.01764

Tab. 0-4 Odezva na variaci základní frekvence

1 změna za minutu			
		P_{st}	
násobitel γ	$m_M[\%]$	LabVIEW	LMG 95
0.2	0.2724	0.2031	0.19725
1	1.362	0.9943	0.97376
2	2.724	1.9475	1.89156
4	5.448	3.6872	2.51189

Tab. 0-5 Test linearity pro 1 změnu za minutu

1620 změn za minutu			
		P_{st}	
násobitel γ	$m_M[\%]$	LabVIEW	LMG 95
1	0.201	0.9885	0.96877
2	0.402	1.9763	1.94806
4	0.804	3.9528	3.8922
10	2.01	9.8757	9.73471
20	4.02	19.734	18.5824

Tab. 0-6 Test linearity pro 1620 změn za minutu

odezva na 1 mezipharmonickou			
		P_{st}	
$f[\text{Hz}]$	$m_{IH}[\%]$	LabVIEW	LMG 95
20	0.765	0.7212	0.69797
40	0.130	0.7089	0.71625
60	0.130	0.709	0.71913
80	0.765	0.7209	0.69789

Tab. 0-7 Odezva na 1 mezipharmonickou složku

odezva na 2 mezipharmonické				
			P_{st}	
$f1[\text{Hz}]$	$f2[\text{Hz}]$	$m_{IH}[\%]$	LabVIEW	LMG 95
150	160	3.612	0.689	0.70405
250	260	3.612	0.6725	0.71306
350	360	3.612	0.634	0.70743
550	560	3.612	0.5533	0.70746
650	660	3.612	0.5114	0.71353

Tab. 0-8 Odezva na 2 mezipharmonické složky

