
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 - Mechatronika

**Návrh a realizace systému pro
vyhodnocování míry vjemu blikání**

**Design and implementation of a system for
evaluating the degree of flicker perception**

Diplomová práce

Autor:	Bc. Pavel Štěpán
Vedoucí práce:	Ing. Jan Kraus
Konzultant:	Ing. Miroslav Novák, Ph.D.

V Liberci 25. 5. 2009

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

V úvodu této diplomové práce bych chtěl poděkovat Ing. Janu Krausovi a celé firmě KMB Systems za poskytnutí informačního a technického zázemí, odborné vedení a cenné rady.

Abstrakt

Tématem této diplomové práce je měření flikru. Prvním úkolem bylo seznámit se s metodami používanými pro měření blikání (flikru) dle příslušných norem. Z těchto metod vybrat vhodný algoritmus, nasimulovat jej v programu Matlab a ověřit jeho použitelnost a korektnost. Dalším úkolem bylo podle vybrané metody navrhnout firmware pro existující přístroj, který bude kontinuálně měřit, zaznamenávat a vyhodnocovat míry vjemu blikání. Jedním z úkolů bylo také doplnit podporu zobrazení a vyhodnocení flikru do vizualizačního programu na PC.

Ze zkoumaných metod byla vybrána metoda využívající číslicových filtrů, protože umožňuje rychlý výpočet a je možné implementovat ji do existujícího měřicího přístroje. Tento měřicí algoritmus byl nejprve navržen a nasimulován v programu MATLAB a poté implementován do měřicího přístroje.

Výsledná funkce měření blikání umožňuje rychlý výpočet, takže je možné ji snadno přidat k dalším funkcím použitého měřicího přístroje bez výrazného dopadu na prostředky mikropočítače. Do vizualizačního software byla doplněna podpora flikru a to v několika různých podobách.

Text diplomové práce je rozvržen do sedmi hlavních kapitol. První kapitola obsahuje vysvětlení pojmu flikr a uvedení do této problematiky. Další se zabývá popisem jednotlivých metod, které je možné využít pro měření blikání. Třetí kapitola blíže popisuje vybraný algoritmus a vysvětluje proč je vhodný pro tuto aplikaci. Dále je popsán použitý měřicí přístroj a jeho hardware. Po této kapitole následuje návrh a simulace pomocí programu MATLAB a implementace do jazyka ANSI-C. Předposlední kapitola obsahuje měření a výsledky vytvořené měřicí funkce. A poslední ukazuje možnosti zobrazení flikru ve vizualizačním software na PC.

Klíčová slova

Flikr, MATLAB, filtr, měření, elektrická energie

Abstract

The topic of this diploma thesis is the measurement of flicker. The first task was to get acquainted with the methods used to measurement of flicker in accordance with relevant norms. Select useful algorithm from this methods, it simulate in application Matlab and verify its usability and correctness. Next objective was design firmware from selected method, which will do continuous measurement, record and evaluation rate of flicker. One of the tasks was also supplemented support for display and evaluation of Flicker in visualization program on the PC.

From methods was selected method that uses digital filters because it allows quick calculation and it is possible to deploy to an existing meter. The measurement algorithm was first designed and simulated in MATLAB and then implemented into the meter.

The resulting measurement function allows rapid calculation of flicker, so it can be easily added to other functions of the meter without any significant impact on microcontrollers' resources. The visualization software was complemented by support to flicker in several different forms.

Text thesis is divided into seven main chapters. First chapter contains an explanation of the concept of flicker and entry into this issue. Next part describes several methods that can be used for flicker measurement. The third chapter further describes selected algorithm and show up benefits for this application. It is also described used measuring instrument and hardware. After this chapter it follows design and simulation using MATLAB and implementation in ANSI-C language. Penultimate chapter contains measurements and the results of created function. Last chapter shows the possibility of flicker in the visualization software on PC.

Key words

Flicker, MATLAB, filter, measure, electric energy

Obsah

Obsah.....	7
Seznam Obrázků	8
Seznam Grafů	9
Seznam Tabulek	9
Úvod.....	10
1. Uvedení do problematiky.....	11
2. Popis metod používaných pro výpočet flikru	14
2.1. Metoda využívající číslicové filtry.....	14
2.2. Výpočet pomocí FFT	14
2.3. Metoda využívající matic	15
3. Bližší popis vybraného algoritmu	16
3.1. Popis Algoritmu využívajícího číslicové filtry	16
3.1.1. Blok 1 – Přizpůsobení napětí	17
3.1.2. Blok 2 – Kvadratický násobič	17
3.1.3. Bloky 3 a 4 – Upravující filtry, kvadratizace a vyhlazování.....	17
3.1.4. Blok 5 – Statistická analýza v reálném čase.	18
3.1.4.1. Vyhodnocení krátkodobého blikání	19
3.1.4.2. Vyhodnocení dlouhodobého blikání	19
4. Použitý Hardware	21
4.1. Vlastnosti mikropočítače.....	22
5. Vlastní realizace.....	25
5.1. Flikr v Matlabu	25
5.1.1. Návrh vlastního filtru	26
5.1.2. Příkazy použité pro výpočet flikru	27
5.1.3. Průběh výpočtů v grafech.....	28
5.1.3.1. modelování odezvy řetězce svítidlo-oko-mozek.....	28
5.1.3.2. Statistická analýza	30
5.2. Porovnání výsledků vážících filtrů.....	31
5.3. Program v ANSI – C	33
5.3.1. Vlastnosti a optimalizace kódu v ANSI-C	33
6. Měření a výsledky.....	34
6.1. Měření dle normy	34
6.2. Porovnání SMP x BK500.....	37
7. Vizualizační program na PC	38
Závěr.....	40

Seznam Obrázků

Obrázek 1.1: Vliv změn napětí na světelný tok žárovky [3].....	11
Obrázek 1.2: Kolísání napětí v napájecí síti během svařování [3].....	12
Obrázek 2.1: schéma výpočtu [6].....	14
Obrázek 2.2: frekvenční spektrum [5].....	14
Obrázek 2.3: Výstup vážícího filtru [5]	15
Obrázek 2.4: Schéma výpočtu pomocí Hadamardovi matice [7].....	15
Obrázek 3.1: Blokové schéma výpočtu pomocí číslicových filtrů.....	16
Obrázek 3.2: Úroveň blikání jako časově proměnná funkce.....	20
Obrázek 3.3: Funkce komulativní pravděpodobnosti trvání signálu v třídách 1 až 10.....	20
Obrázek 5.1: Blokové schéma flikrmetru v SIMULINKu.....	25
Obrázek 5.2: Nástroj pro návrh číslicových filtrů.....	26
Obrázek 7.1: Vizualizační software – tabulka s hodnotami flikru.....	38
Obrázek 7.2: Vizualizační software - Graf.....	39

Seznam Grafů

Graf 5.1: Vstupní signál	28
Graf 5.2: Signál po odfiltrování 50Hz.....	28
Graf 5.3: Frekvenční charakteristika vyhodnocovacího filtru	29
Graf 5.4: Výstup po vyhodnocovacím filtru	29
Graf 5.5: Výsledek před Statistickou analýzou	29
Graf 5.6: Vstup statistické analýzy.....	30
Graf 5.7: Závislost úrovně blikání-čas	30
Graf 5.8: Porovnání filtrů – pravouhlé kolísání	32
Graf 5.9: Porovnání filtrů – sinusové kolísání	32
Graf 6.1: Odezva měřiče blikání – softwarově generovaný vstup	35
Graf 6.2: Měření dle normy – Odezva měřiče blikání	36
Graf 6.3: Porovnání SMP a ELCOM	37

Seznam Tabulek

Tabulka 5.1 : Porovnání filtrů	31
Tabulka 6.1: Odezva měřiče blikání – softwarově generovaný vstup	34
Tabulka 6.2: Měření dle normy – Odezva měřiče blikání.....	35
Tabulka 6.3: Měření dle normy – Změny za minutu.....	36
Tabulka 6.4: Měření dle normy – Změny za minutu (násobky).....	37
Tabulka 6.5: Porovnání SMP a ELCOM	37

Úvod

Jednou z oblastí, jíž se zabývá měření kvality elektrické energie, je oblast kolísání amplitudy napětí. Jedním z těchto parametrů je flickr (blikání), kterým se zabývá tato diplomová práce. Flickr je subjektivní vjem blikání osvětlení člověkem a je způsoben kolísáním amplitudy napětí.

Flickr je třeba měřit proto, že již při kolísání napětí jen o několik desetin procenta může způsobit nepříjemné změny ve světelném záření světelných zdrojů a negativně tak působit na lidský organizmus. Protože je lidské oko velice citlivé na flickr, musí být změny napětí udrženy na velmi úzkých mezích. V napájecích sítích je blikání způsobováno velkými změnami odebíraných výkonů jak činných tak jalových. Vyskytuje se v sítích napájecích obloukové pece, svářecí automaty atd.

Prvním úkolem této diplomové práce bylo seznámit se s metodami používanými pro měření blikání (flickru) dle příslušných norem. Z těchto metod vybrat vhodný algoritmus, nasimulovat jej v programu Matlab a ověřit jeho použitelnost a korektnost. Dalším úkolem bylo podle vybrané metody navrhnout firmware pro existující přístroj, který bude kontinuálně měřit, zaznamenávat a vyhodnocovat míry vjemu blikání. Jedním z úkolů bylo také doplnit podporu zobrazení a vyhodnocení flickru do vizualizačního programu na PC.

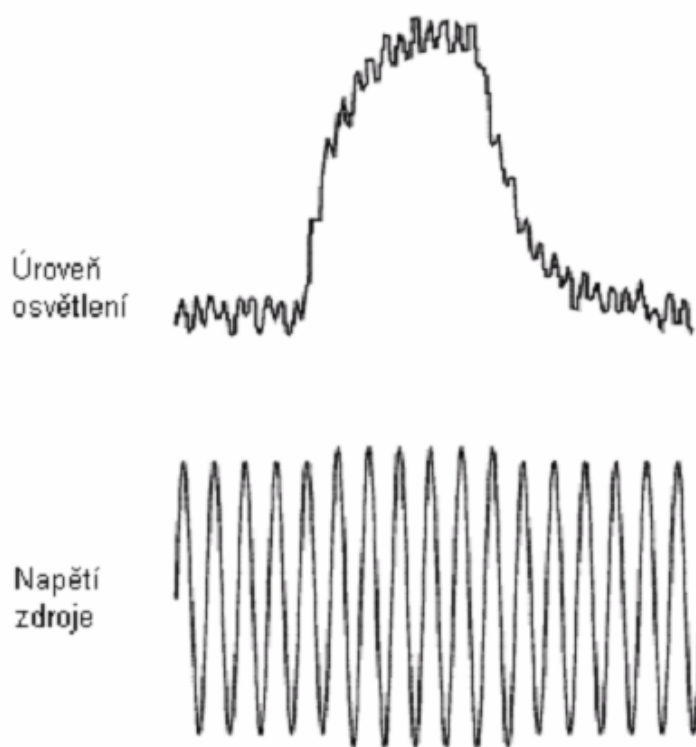
Tento měřicí přístroj využívá 32.bitový mikropočítač STR912 architektury ARM, který běží na frekvenci 96MHz. Tento mikropočítač se programuje v programovacím jazyce ANSI-C pomocí vývojového prostředí společnosti IAR SYSTEMS nazvaném „Embedded Workbench 4.0 Evaluation“.

Text diplomové práce je rozvržen do sedmi hlavních kapitol. První kapitola obsahuje vysvětlení pojmu flickr a uvedení do této problematiky. Další se zabývá popisem jednotlivých metod, které je možné využít pro měřič blikání. Třetí kapitola blíže popisuje vybraný algoritmus a vysvětluje proč je vhodný pro tuto aplikaci. Dále je popsán použitý měřicí přístroj a jeho hardware. Po této kapitole následuje návrh a simulace pomocí programu MATLAB a implementace do jazyka ANSI-C. Předposlední kapitola obsahuje měření a výsledky vytvořené měřicí funkce. A poslední ukazuje možnosti zobrazení flickru ve vizualizačním software na PC.

1. Uvedení do problematiky

Jednou z oblastí, jíž se zabývá měření kvality elektrické energie, je oblast kolísání amplitudy napětí. Jedním z parametrů, udávajících kolísání napětí, je flickr. Flickr udává kolísání amplitudy napětí s nízkou frekvencí kolísání, a to od 0,5 do zhruba 35Hz. Toto kolísání napětí způsobuje změny světelného toku u zdrojů světla a je nepříjemné pro lidské oko a má vliv na psychiku lidí. Obrázek 1.1 ilustruje změny světelného toku žárovky 60 W, 230 V vlivem kolísání napětí napájecího napětí. Flickr, pocházející z anglického slova „flicker“, v překladu znamená blikání, kmitání... a je to subjektivní vjem blikání osvětlení člověkem vlivem kolísání amplitudy napětí.

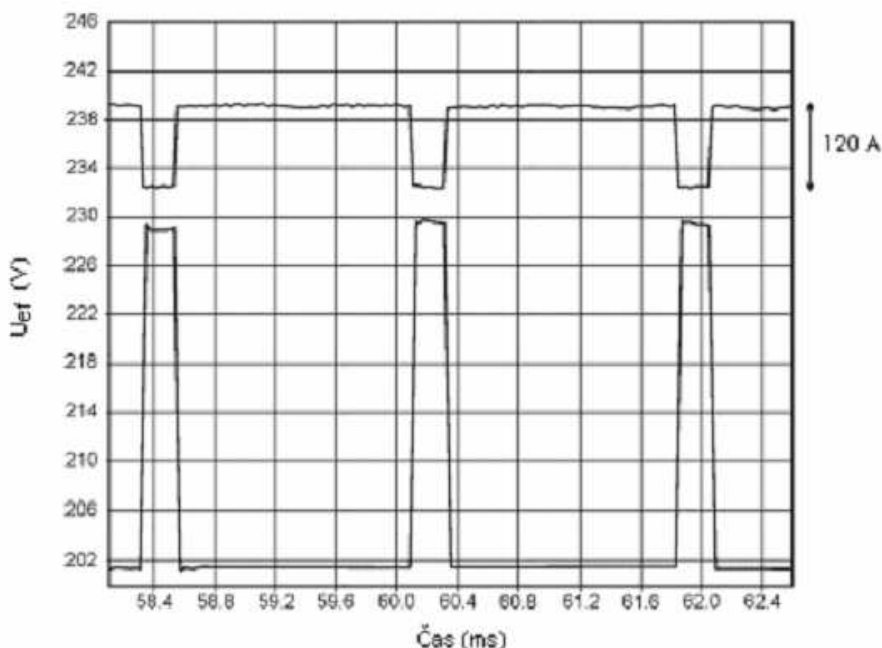
Flickr udává dva základní parametry pro hodnocení kolísání napětí: krátkodobou míru vjemu flickru- P_{st} a dlouhodobou míru vjemu flickru- P_{lt} . Krátkodobá míra vjemu flickru je vyhodnocována s periodou pozorování v řádu minut (podle normy 1,5,10 nebo 15 minut). Zatímco dlouhodobá má periodu pozorování v celistvých násobcích periody krátkodobé a je v řádu hodin až týden. Je vyhodnocována z řady krátkodobých vyhodnocení P_{st} za příslušný interval.



Obrázek 1.1: Vliv změn napětí na světelný tok žárovky [3]

Výzkum procesu vizuálního vnímání má historii dlouhou přes třicet let. V počátcích se skládal z testů prováděných na vybrané skupině osob s použitím různých světelných zdrojů a různých průběhů změn napětí. Tímto způsobem byly stanoveny křivky vnímavosti a závažnost flikru. Tyto křivky prezentují závislost hodnot sinusového a pravoúhlého kolísání napětí na frekvenci. Následovně byl vytvořen model lidské reakce (únavy) na změny světelného toku, což vedlo k návrhu prvních přístrojů pro měření závažnosti flikru u světelných zdrojů. Tyto přístroje obsahovaly normální žárovku (60 W, 230 V), senzor světelného toku a analogový model (s využitím operačních zesilovačů) pro simulaci lidské reakce. Později byl přijat normalizovaný model přístroje pro stanovení závažnosti flikru. Je to zcela elektronický přístroj, který modeluje chování světelného zdroje s wolframovým vláknem a lidskou odezvou.

V napájecích sítích je blikání způsobováno změnami odebíraných výkonů jak činných tak jalových. Příčinou těchto změn mohou být výkonové zátěže jako např. rozběh indukčních motorů, svářečky (Obrázek 1.2), ohřívače vody, regulátory výkonu, elektrické pily a kladiva, pumpy a kompresory, jeřáby, výtahy atp.



Obrázek 1.2: Kolísání napětí v napájecí síti během svařování [3]

Flikr je třeba měřit proto, že již při kolísání napětí jen o několik desetin procenta, může způsobit nepříjemné změny ve světelném záření světelných zdrojů a negativně tak působit na lidský organizmus. Měření flikru je prováděno ze dvou důvodů. První důvod 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 důvodů certifikace.

Protože je lidské oko velice citlivé na flickr, musí být změny napětí udrženy na velmi úzkých mezích. Přípustné limity flickru jsou dány normou. Obvykle jsou způsoby omezení zaměřeny na možnosti omezení amplitudy kolísání napětí, přičemž technologický proces je omezen zřídka. Příklady těchto metod jsou následující[3]:

- obloukové pece – připojení sériového reaktoru (nebo transduktory), řádná funkce systému řízení elektrod, úprava a předehřev vsázky, atd.
- 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

Amplituda kolísání napětí může být omezena dvojitým způsobem:

- zvýšení zkratového výkonu (s ohledem na výkon zátěže) v bodě připojení kolísavé zátěže.
- omezení změn jalového výkonu v napájecí síti připojením dynamických kompenzátorů nebo stabilizátorů

2. Popis metod používaných pro výpočet flikru

2.1. Metoda využívající číslicové filtry

Tato metoda vychází z normy ČSN EN 61000-4-15, která uvádí výpočet pomocí analogových filtrů a bude blíže popsána v kapitole 3.

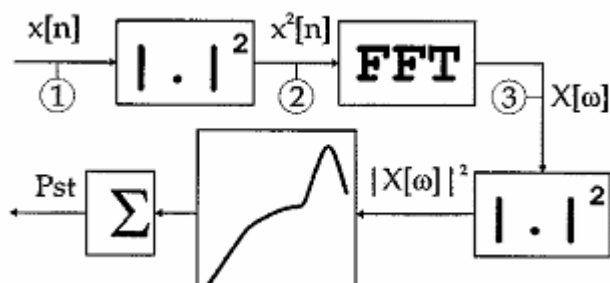
2.2. Výpočet pomocí FFT

Tato metoda využívá pro určení míry flikru FFT a je popsána následujícím schématem (Obrázek 2.1). Kvadratizovaný vstupní signál je pomocí FFT převeden do frekvenční oblasti, takto získané frekvenční spektrum (Obrázek 2.2) je dále filtrováno vážícím filtrem (Obrázek 2.3) a z jeho výsledku je určena míra vjemu blikání. Míra vjemu blikání je určena vzorcem:

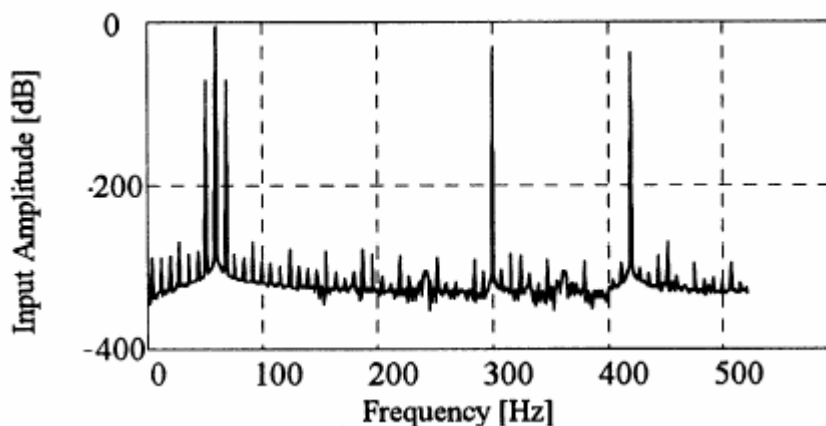
$$\text{Rovnice 2.1: } P_{st}^2 = \sum_{i=1}^n |X(f_i)|^2 \cdot |W(f_i)|$$

kde $X(f_i)$ je amplituda příslušející k frekvenci f_i frekvenčního spektra a $W(f_i)$ je vážící koeficient příslušné frekvence podle vážící křivky.

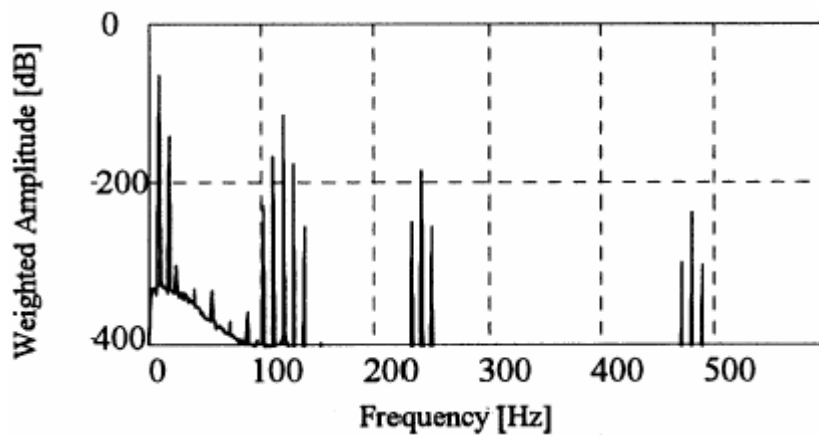
Výhodou tohoto řešení je, že není třeba dlouhého měření pro výpočet P_{st} .



Obrázek 2.1: schéma výpočtu [6]



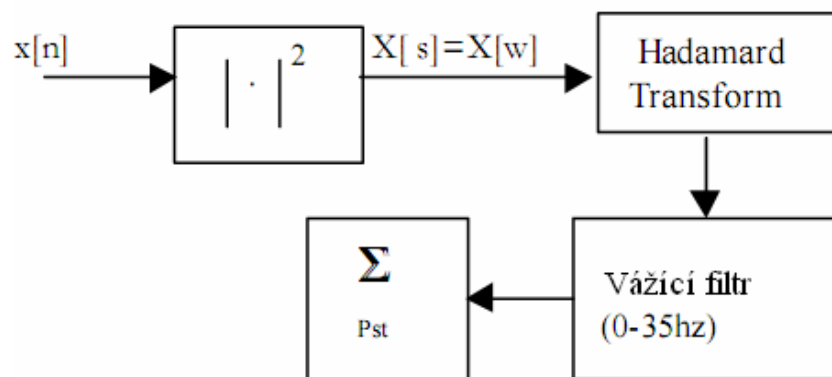
Obrázek 2.2: frekvenční spektrum [5]



Obrázek 2.3: Výstup vážícího filtru [5]

2.3. Metoda využívající matic

V této metodě je nahrazeno FFT pomocí Hadamardovi matice (viz. Rovnice 2.2) a je popsána následujícím schématem (Obrázek 2.4).



Obrázek 2.4: Schéma výpočtu pomocí Hadamardovi matice [7]

Rovnice 2.2 : příklad Hadamard-ovi matice

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

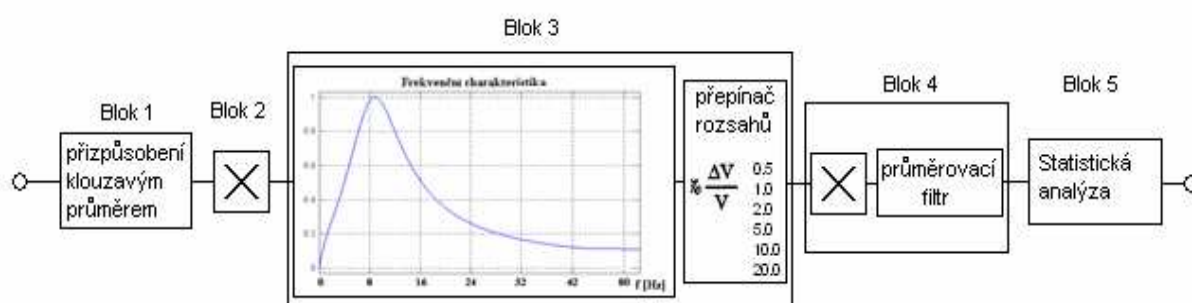
3. Blížeší popis vybraného algoritmu

Pro výpočet flikru byl vybrán **algoritmus využívající číslicové filtry** a to z následujících důvodů:

- poměrně snadná realizace číslicových filtrů.
 - Filtry lze v programu realizovat v jednoduchých cyklech, které obsahují jednoduchý vzorec (obsahuje pouze operace násobení a součtu) pro výpočet výstupní hodnoty filtru.
- dostatečná rychlost výpočtu.
 - Dosažená rychlost umožňuje výpočet flikru pro 3 fáze a to se současným prováděním dalších výpočtů, které již firmware měřicího přístroje obsahuje.
- nevyžaduje příliš paměti pro výpočet
 - V paměti je nutné uchovávat pouze několik hodnot vstupu a výstupu filtru podle složitosti příslušného filtru.

3.1. Popis Algoritmu využívajícího číslicové filtry

Tato kapitola vychází z normy ČSN EN 61000-4-15 [2].



Obrázek 3.1: Blokové schéma výpočtu pomocí číslicových filtrů

Struktura měřiče blikání je popsána blokovým diagramem (Obrázek 3.1) a může být rozdělena do dvou částí, z nichž každá provádí následující úkoly:

- Modelování odezvy řetězce svítidlo-oko-mozek
- Statistická analýza signálu blikání v reálném čase

První úkol je prováděn bloky 2,3 a 4 na Obrázek 3.1, zatímco druhý úkol je prováděn blokem 5.

3.1.1. Blok 1 – Přizpůsobení napětí

Tento blok přizpůsobuje efektivní hodnotu vstupního napětí síťového kmitočtu na interní referenční úroveň. Tímto způsobem může být měření blikání provedeno nezávisle na skutečné úrovni vstupního nosného napětí a vyjádřeno v procentech.

Přizpůsobení napětí na referenční hodnotu je dosaženo vydělením okamžitého vstupního napětí klouzavým průměrem efektivních hodnot tohoto napětí s periodou průměrování 60s. Takto je dosaženo referenčního signálu s efektivní hodnotou 1.

3.1.2. Blok 2 – Kvadratický násobič

Tento blok provádí umocnění signálu. Účelem tohoto bloku je obnovit signál kolísání napětí kvadratizací vstupního napětí odstupňovaně k referenční úrovni a tak modelovat chování svítidla.

3.1.3. Bloky 3 a 4 – Upravující filtry, kvadratizace a vyhlazování

Blok 3 je tvořen kaskádou dvou filtrů a přepínačem měřících rozsahů, který může být před nebo za obvodem selektivního filtru

První filtr eliminuje stejnosměrnou složku a složku zvlnění dvojnásobkem kmitočtu sítě na výstupu bloku 2.

Druhý filtr je blok vážícího filtru, který moduluje kmitočtovou odezvu na sinusové kolísání amplitudy napětí plynem plněné žárovky s cívkově vinutým vláknem (60W – 230V) v kombinaci se systémem lidského vidění. Funkce Odezvy je založena na prahu citlivosti pro každý kmitočet, který byl shledán u 50% zkoušených osob.

Blok 4 je tvořen kvadratickým násobičem a dolní propustí prvního řádu. Lidská citlivost na blikání prostřednictvím řetězce svítidlo-oko-mozek je modelována kombinovanou nelineární odezvou bloků 2,3 a 4.

Blok 3 sám je založen na křivce hraniční citlivosti pro sinusové kolísání napětí. Správné vážení nesinusových a stochastických kolísání je získáno správnou volbou celkové přenosové funkce bloků 3 a 4. Proto je správnost funkce modelu kontrolována periodickými pravoúhlými signály a rovněž přechodnými signály.

Výstup bloku 3 představuje okamžitou citlivost na blikání.

3.1.4. Blok 5 – Statistická analýza v reálném čase.

Tento blok provádí výpočet míry vjemu blikání pomocí statistické analýzy. Statistická analýza provedená blokem 5 je provedena dělením amplitudy signálu úrovně blikání do vhodného počtu tříd. Signál úrovně blikání je vzorkován s konstantní četností.

Za každý čas, v kterém se příslušná hodnota vyskytne, čítač odpovídající třídy zaznamená přírůstek o jednotku. Tímto způsobem se získá frekvenční distribuční funkce vstupních hodnot. Volbou snímacího kmitočtu alespoň dvojnásobného než je maximální kmitočet blikání, bude konečný výsledek na konci měřicího intervalu reprezentovat rozložení dob trvání úrovní blikání v každé třídě. Sečtením obsahů čítačů všech tříd a vyjádřením počtu v každé třídě v poměru k celku dává funkci hustoty pravděpodobnosti úrovní blikání.

Z této funkce se obdrží funkce kumulativní pravděpodobnosti používaná v statistické metodě čas-na-úroveň. Obrázek 3.2 a Obrázek 3.3 schématicky znázorňují metodu statistické analýzy, pro jednoduchost omezenou na 10 tříd.

Z funkce kumulativní pravděpodobnosti se mohou získat významné statistické hodnoty jako je střední hodnota, standardní odchylka, úroveň blikání, která je překročena pro dané procento času nebo, alternativně, procento času, kdy označená úroveň blikání byla překročena.

Čas sledování je definován ve dvou nastavitelných časových intervalech: T_{short} a T_{long} .

Dlouhý interval definuje celkovou dobu sledování a je vždy násobkem krátkého intervalu:

$$T_{long} = n \times T_{short}$$

- T_{short} může být vybráno mezi 1, 5, 10 a 15 min.
- T_{long} musí být celistvým násobkem T_{short} až alespoň do 1008, odpovídající sedmi dnům při T_{short} 10minut.

3.1.4.1. Vyhodnocení krátkodobého blikání

Měření míry vjemu založené na periodě pozorování $T_{st} = 10$ min je označováno P_{st} a je odvozováno od statistiky čas-na-úroveň získané z třídiče úrovní v bloku 8 měřiče blikání. Je použit následující vzorec:

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

kde percentily $P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_{10} a P_{50} jsou úrovně blikání překročené po 0,1;1;3; resp. 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:

$$\begin{aligned}P_{50s} &= (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3 \\P_{10s} &= (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5 \\P_{3s} &= (P_{2,2} + P_3 + P_4)/3 \\P_{1s} &= (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})/3\end{aligned}$$

Průměrovací filtr Bloku 4 zajišťuje, že $P_{0,1}$ se nemůže náhle měnit a pro tento percentil není potřeba vyhlazování.

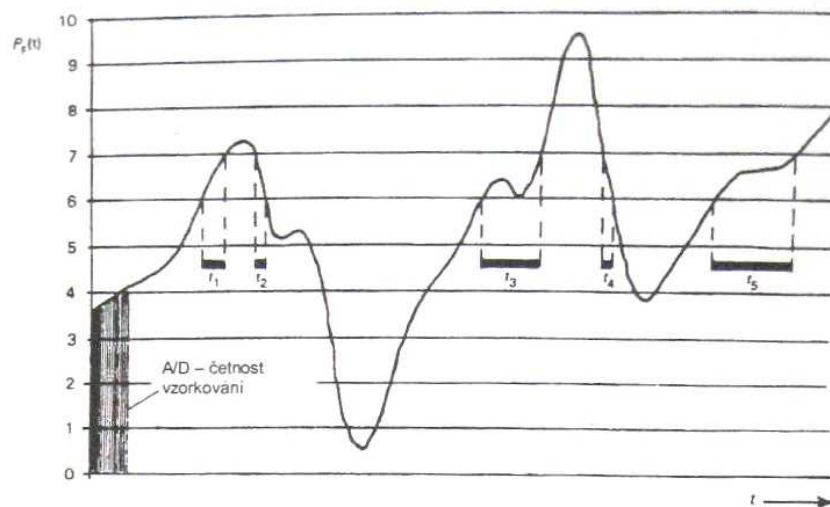
3.1.4.2. Vyhodnocení dlouhodobého blikání

Perioda 10minut, na které bylo založeno vyhodnocování krátkodobé míry vjemu blikání, je vhodná pro určení rušení způsobených jednotlivými zdroji s krátkým pracovním cyklem. V případech, kdy se mají brát v úvahu kombinované účinky několika rušících zařízení 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. Za tímto

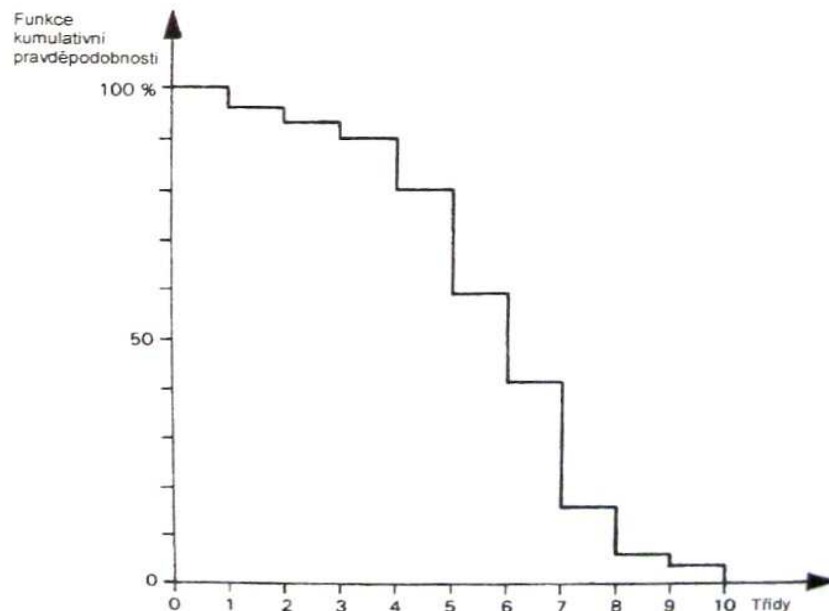
účelem se musí z hodnot krátkodobé míry vjemu blikání P_{st} odvodit dlouhodobá míra vjemu blikání P_{lt} po dobu přiměřené periody odpovídající pracovnímu cyklu zatížení nebo periody, po kterou pozorovatel může reagovat na blikání, tj. několik hodin, přičemž se použije následující vzorec:

$$P_{lt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_{sti}^3}{N}}$$

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



Obrázek 3.2: Úroveň blikání jako časově proměnná funkce



Obrázek 3.3: Funkce komulativní pravděpodobnosti trvání signálu v třídách 1 až 10

4. Použitý Hardware

Použitý měřicí přístroj je vyráběn firmou KMB. Tento přístroj se vyrábí v různých variantách, které se liší jak hardwarovou, tak i softwarovou výbavou.

Měřicí přístroj se skládá z těchto částí:

- **Mikropočítač STR912**
 - Vlastnosti použitého mikropočítače jsou uvedeny v další kapitole.

- **Externí RAM**
 - K mikropočítači je připojena externí RAM o velikosti 512KB, která rozšiřuje vnitřních 96KB RAM mikropočítače. Tato paměť je několikanásobně pomalejší než vnitřní, proto se hodí zejména pro uložení větších objemů dat které není nutné často měnit. Také je zálohována baterkou, čímž je zajištěno uchování dat při výpadku napájení.

- **Displej**
 - Pro zobrazení měřených dat, nastavení atd. je použit buď LCD displej s rozlišením 240x160 nebo LED-displej.

- **Flash paměť**
 - Přístroj je osazen 1GB externí flash paměti, která slouží pro ukládání záznamů měřených dat, logů událostí, atd..

- **Komunikace s PC**
 - Komunikace slouží pro přenos dat mezi přístrojem a PC. Přes komunikaci lze stahovat archivní data, měnit nastavení přístroje, monitorovat aktuální hodnoty, atd.. Přístroj může obsahovat následující komunikační rozhraní: USB, Ethernet, RS232, RS485, CAN nebo Bluetooth.

- **Výstupy**
 - Reléový a 2 LED výstupy slouží jako informační výstupy, nebo jako indikátory různých stavů přístroje.

- **Vstupy**
 - Přístroj obsahuje analogový vstup připojený přes D/A převodník, digitální vstup a 5tlačítek, která složí pro ovládání přístroje.
- **Měřicí obvody**
 - Pro měření je použito celkem 8 A/D převodníků. Jsou to 16-bitové převodníky s vzorkovací frekvencí 6400Hz. Čtyři slouží pro měření napětí a další 4 pro měření proudu. Vyhodnocení měřených dat se provádí každých 200ms.

4.1. Vlastnosti mikropočítače

Hlavní částí použitého hardware je mikropočítač, který se stará o veškeré výpočty. Pro tento hardware je použit mikropočítač řady STR912 od společnosti STMicroelectronics.

- **Harvardská architektura**
 - Tato architektura se vyznačuje rozdělením paměti na paměť programu a paměť pro data. Výhodou tohoto uspořádání je možnost paralelní komunikace s oběma paměťmi zároveň, což vede ke zvýšení výpočetního výkonu mikropočítače.
- **RISC Architektura**
 - Zkratka pochází z anglického originálu „Reduced Instruction Set Computer“, v překladu „počítač s redukovanou instrukční sadou“.
 - Využívají řetězení instrukcí.
 - Délka provádění jedné instrukce je jeden cyklus.
- **16/32 bitový instrukční soubor**
 - 32bitový instrukční soubor umožňuje zakódování více operací do jediné instrukce, čímž je dosaženo rychlejšího provádění kódu. Příkladem může být operace sčítání a rotace v jediné instrukci.
 - Naproti tomu 16bitový instrukční soubor sebou nese výhodu úspory paměti programu.

- Tento mikropočítač umožňuje využití „interwork“ režimu, který umožňuje využití jak 16 tak i 32bitového instrukčního souboru, takže je možné využít výhod obou.
- **Frekvence jádra až 96 MHz**
 - Frekvence jádra má přímý vliv na spotřebu i výpočetní výkon.
 - Mikropočítač je rozdělen do několika částí, které pracují na různých frekvencích odvozených od frekvence jádra nastavením příslušných děličů.
- **5 stupňová pipeline**
 - Česky znamená zřetěžené zpracování.
 - Každá instrukce se zpracovává v několika krocích, které jsou prováděny v jednotlivých pipeline. Tím je dosaženo možnosti zpracovávat více instrukcí najednou, čímž je dosaženo vyššího výpočetního výkonu.
- **512kB až 2MB hlavní flash paměti (podle konkrétního typu)**
 - Slouží k uchování vlastního programu mikropočítače.
- **32kB / 128kB přídatné flash paměti (podle konkrétního typu)**
 - Přídatná paměť programu je rozdělena do 4 částí po 8 resp. 32 kB.
 - Je využita pro program (tzv. bootloader), který slouží pro nahrání nového firmware do hlavní flash.
- **96kB SRAM paměti pro data s 32-bitovým rozhraním**
 - V této paměti jsou uloženy všechny proměnné, které v programu použijeme.
- **9 programovatelných kanálů DMA**
 - Slouží k přenášení dat z jednoho paměťového prostoru na další nebo z paměti na komunikační rozhraní.
 - Přenášení dat se provádí paralelně s programem.
 - Jeden pro ETHERNET a 8 programovatelných kanálů

- **Množství komunikačních rozhraní**
 - 10/100Mb/s Ethernet s DMA
 - Full-Speed USB (12Mb/s)
 - CAN rozhraní
 - Sériová linka(UART)
 - SPI rozhraní
 - a další

- **4 čítače/časovače**
 - 16-bitové
 - Režim PWM nebo čítač impulsů

- **10-bitový A/D převodník**
 - 8 kanálů
 - Rozsah 0 až 3,6V

5. Vlastní realizace

Měřič flikru byl nejprve navržen v aplikaci pro matematické výpočty MATLAB, kde byla následně testována přesnost výpočtu tohoto algoritmu. Po dosažení optimálního algoritmu byl tento algoritmus převeden do programovacího jazyka ANSI-C pro použitý měřicí přípravek.

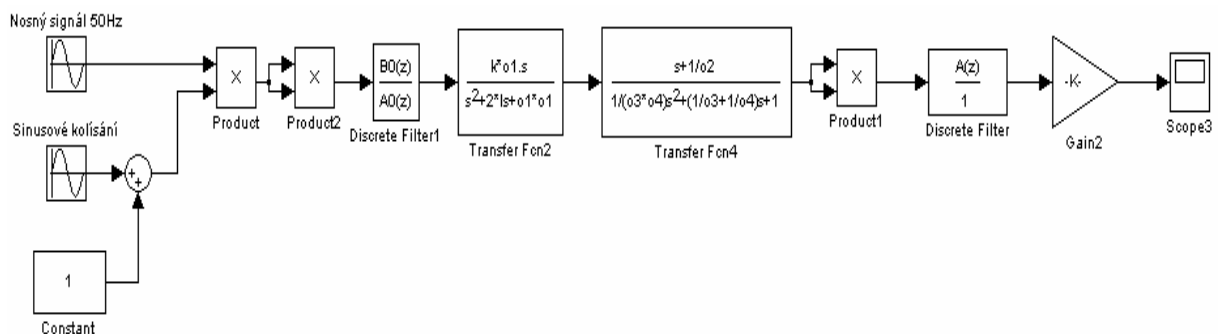
5.1. Flikr v Matlabu

Nejprve bylo v programu SimuLink (součást MATLABU) navrženo schéma (Obrázek 5.1), které mělo za úkol simulaci části „modelování odezvy řetězce svítidlo-oko-mozek“ a to podle údajů příslušné normy, včetně parametrů vyhodnocovacího filtru. Toto schéma ukázalo, že vyhodnocovací filtr s parametry uvedenými normou, jako parametry informativní, bohužel nedává správný výsledek pro celý rozsah kmitočtů kolísání napětí.

Proto bylo nutné navrhnout vlastní filtr, který bude lépe vyhovovat pro celý rozsah kmitočtů. Tento filtr byl navrhnout opět v prostředí MATLAB dle tabulek uváděných normou, které udávají frekvenci a amplitudu kolísání napětí při jejichž hodnotách je dosaženo jednotkového vnímání na výstupu. Norma udává frekvence kolísání od 0,5 do 25Hz a to jak pro sinusová, tak i pravouhlá kolísání.

Nyní byl v programu MATLAB naprogramován program, v kterém byl navržený číslicový filtr testován. Tento program opět prováděl výpočet části „modelování odezvy řetězce svítidlo-oko-mozek“ a byl kontrolován výsledek pro všechny frekvence a amplitudy kolísání napětí dle normy.

Po nalezení vhodného filtru byl doplněn algoritmus provádějící statistickou analýzu, který vypočítává úroveň krátkodobého blikání P_{st} .

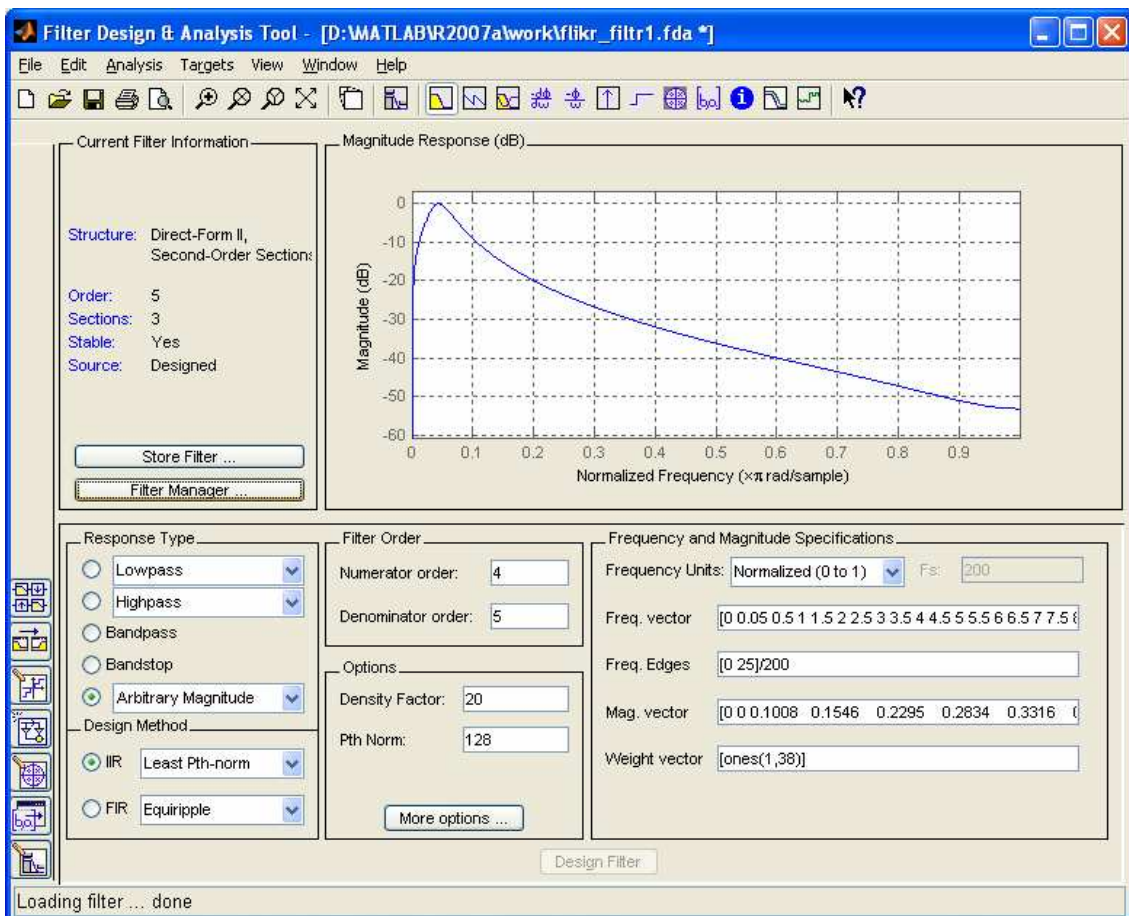


Obrázek 5.1: Blokové schéma flikrmetru v SIMULINKu

5.1.1. Návrh vlastního filtru

Filtr byl navržen v prostředí MATLAB prostřednictvím nástroje „Filter Design & Analysis Tool“ (příkaz fdatool). Tento prostředek umožňuje navržení různých číslicových filtrů jako je dolní propust, horní propust, pásmová propust nebo navržení filtru s libovolnou frekvenční charakteristikou definovanou uživatelem. Filtry je možné navrhovat podle různých parametrů. Výsledný filtr může být FIR (s konečnou impulsní odezvou) nebo IIR (s nekonečnou impulsní odezvou).

Filtr navrhovaný tímto nástrojem byl testován a jeho vstupní parametry byly postupně experimentálně modifikovány dokud nebylo dosaženo požadovaného výsledku.



Obrázek 5.2: Nástroj pro návrh číslicových filtrů

5.1.2. Příkazy použité pro výpočet flikru

V programu pro výpočet flikru byly použity různé příkazy MATLABU, v této kapitole budou představeny některé z nich:

- **BUTTER**
 - Slouží pro návrh tzv. Butterworthova filtru.
 - Umožňuje návrh dolní nebo horní propusti.
 - V programu je použit pro výpočet filtru na odstranění nosné složky signálu o frekvenci 50Hz a pro průměrovací filtr.

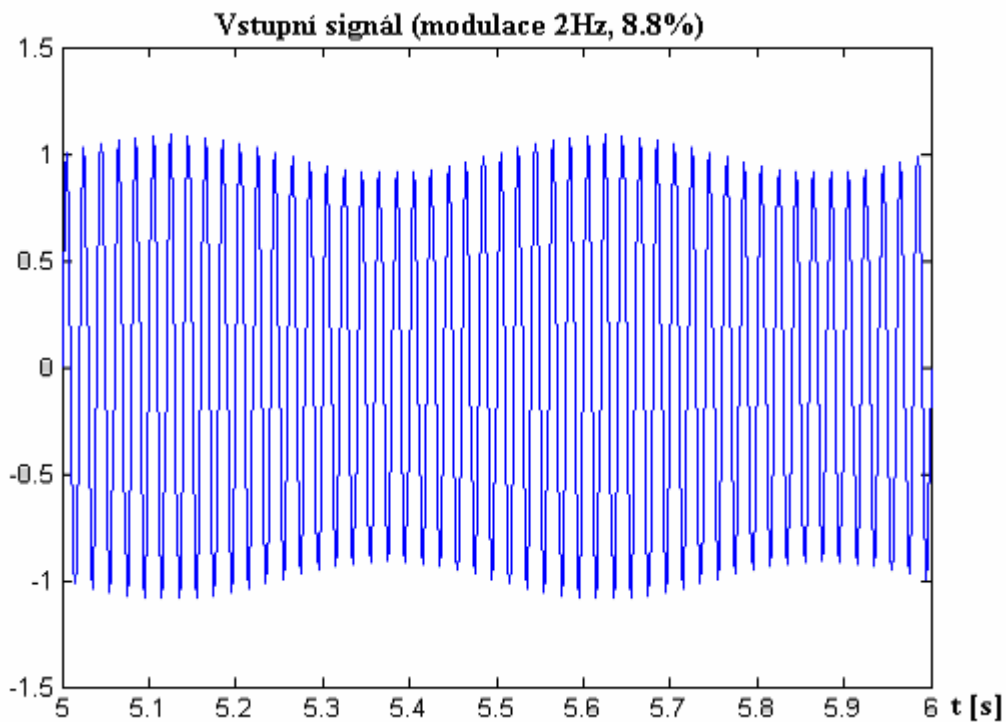
- **FILTER**
 - Slouží pro filtrování signálu zadaným filtrem.
 - V programu je použit pro filtrování postupně podle všech navržených filtrů.

- **FOR**
 - Provádění operací v cyklech s určeným počtem opakování
 - V programu použito zejména v části statistické analýzy pro roztřídění signálu do tříd a pro výpočet koeficientů $P_{0,7}$ až P_{80} .

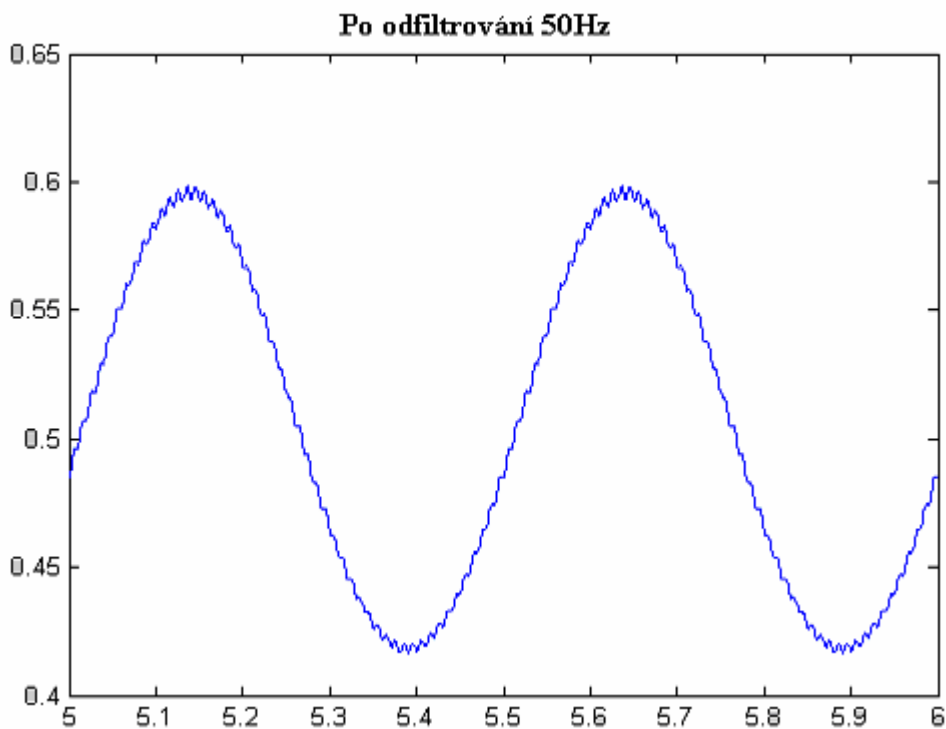
5.1.3. Průběh výpočtů v grafech

V této kapitole bude ukázán průběh výpočtů navrženého algoritmu v grafech

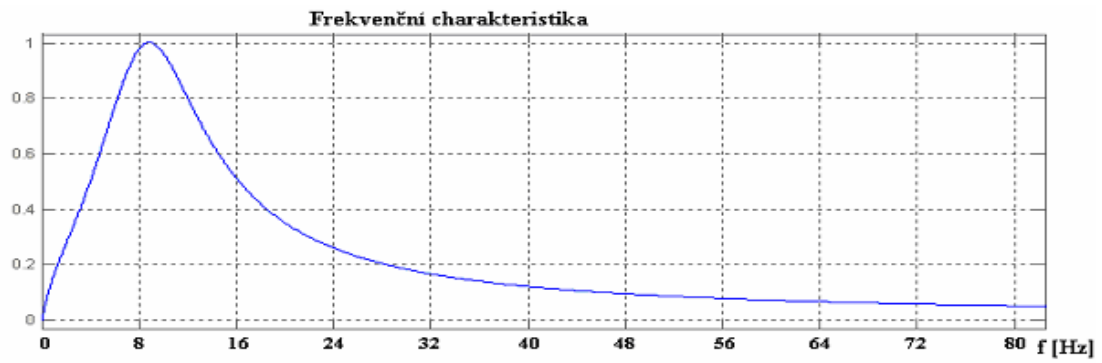
5.1.3.1. modelování odezvy řetězce svítidlo-oko-mozek



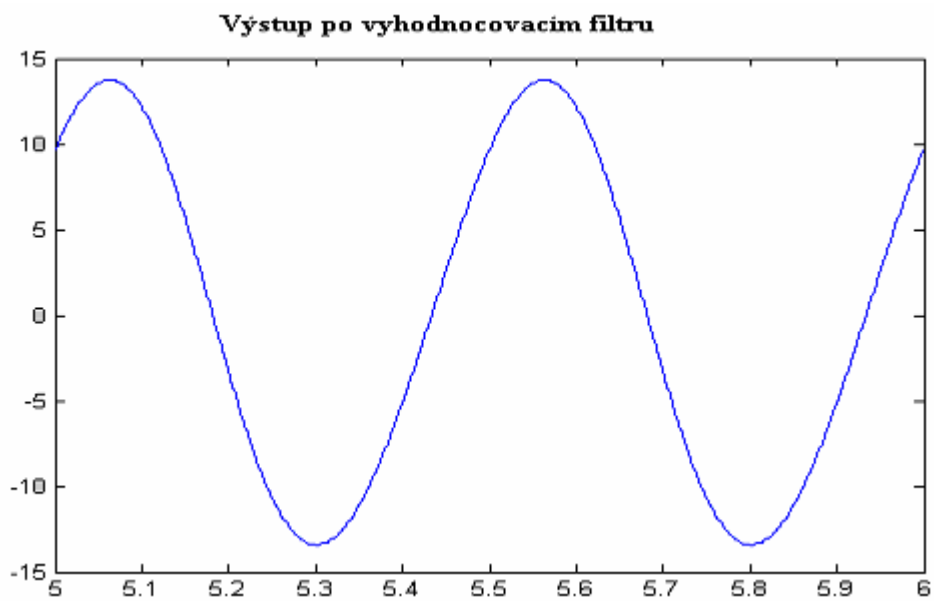
Graf 5.1: Vstupní signál



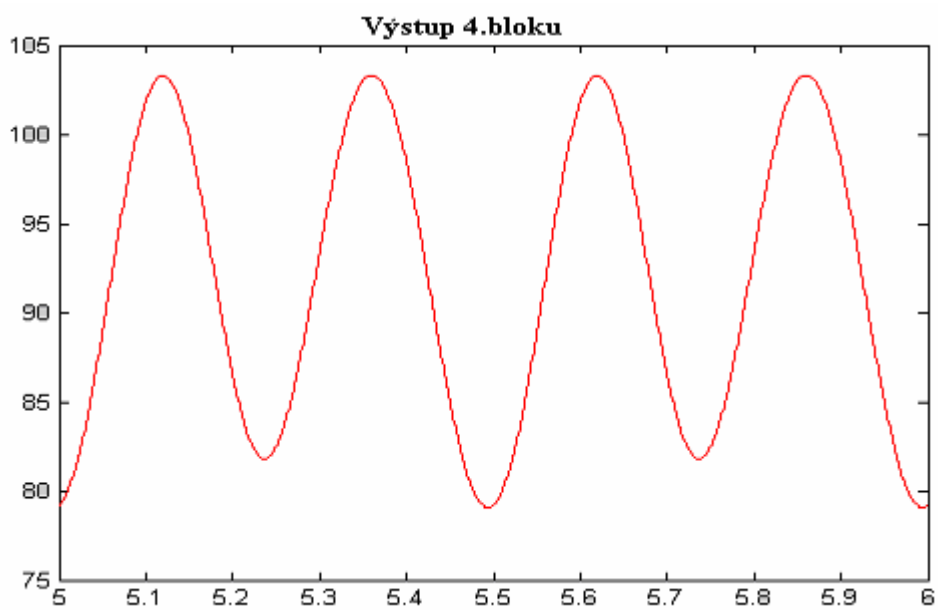
Graf 5.2: Signál po odfiltrování 50Hz



Graf 5.3: Frekvenční charakteristika vyhodnocovacího filtru



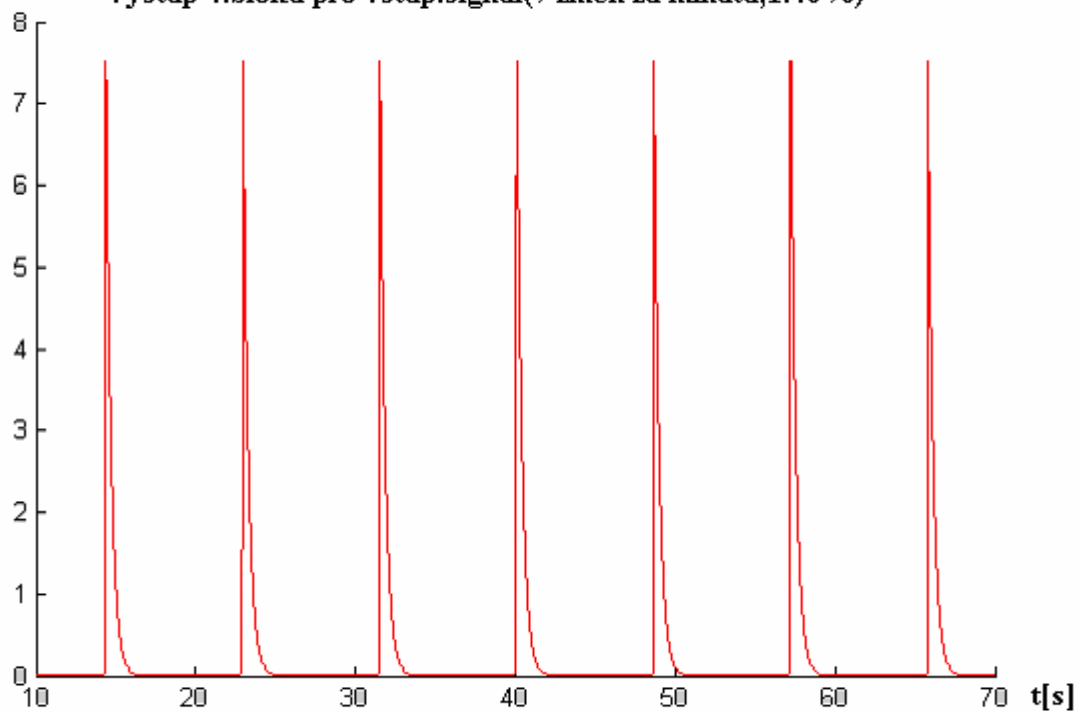
Graf 5.4: Výstup po vyhodnocovacím filtru



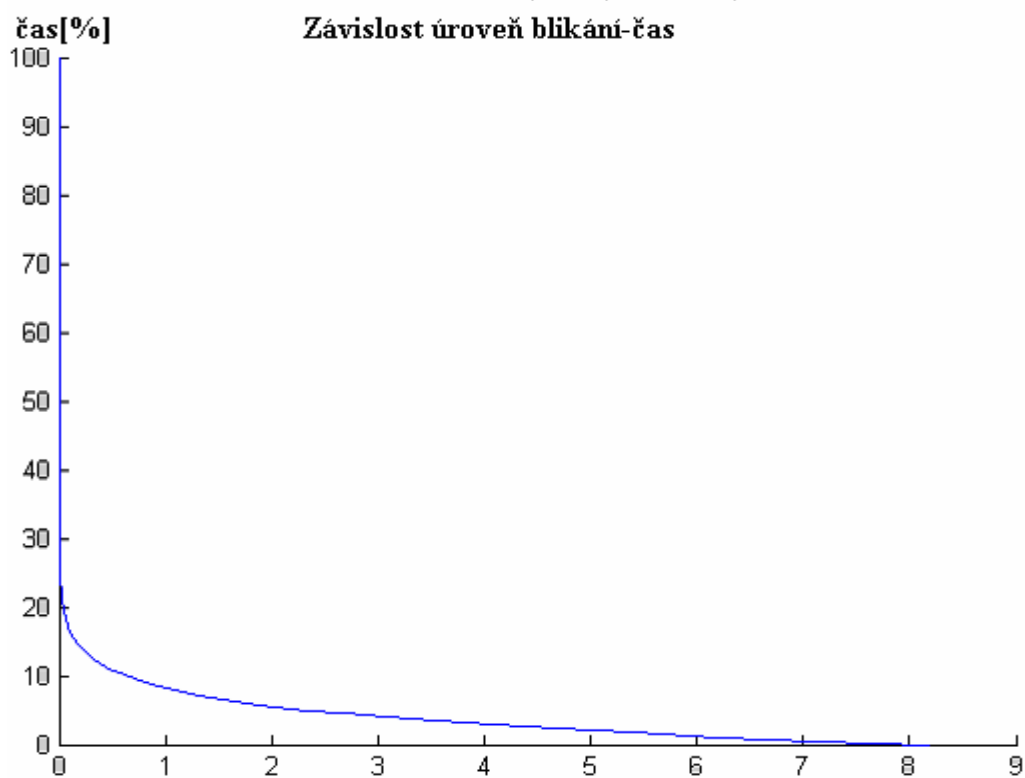
Graf 5.5: Výsledek před Statistickou analýzou

5.1.3.2. Statistická analýza

Výstup 4.bloku pro vstup.signál(7 změn za minutu,1.46%)



Graf 5.6: Vstup statistické analýzy



Graf 5.7: Závislost úroveň blikání-čas

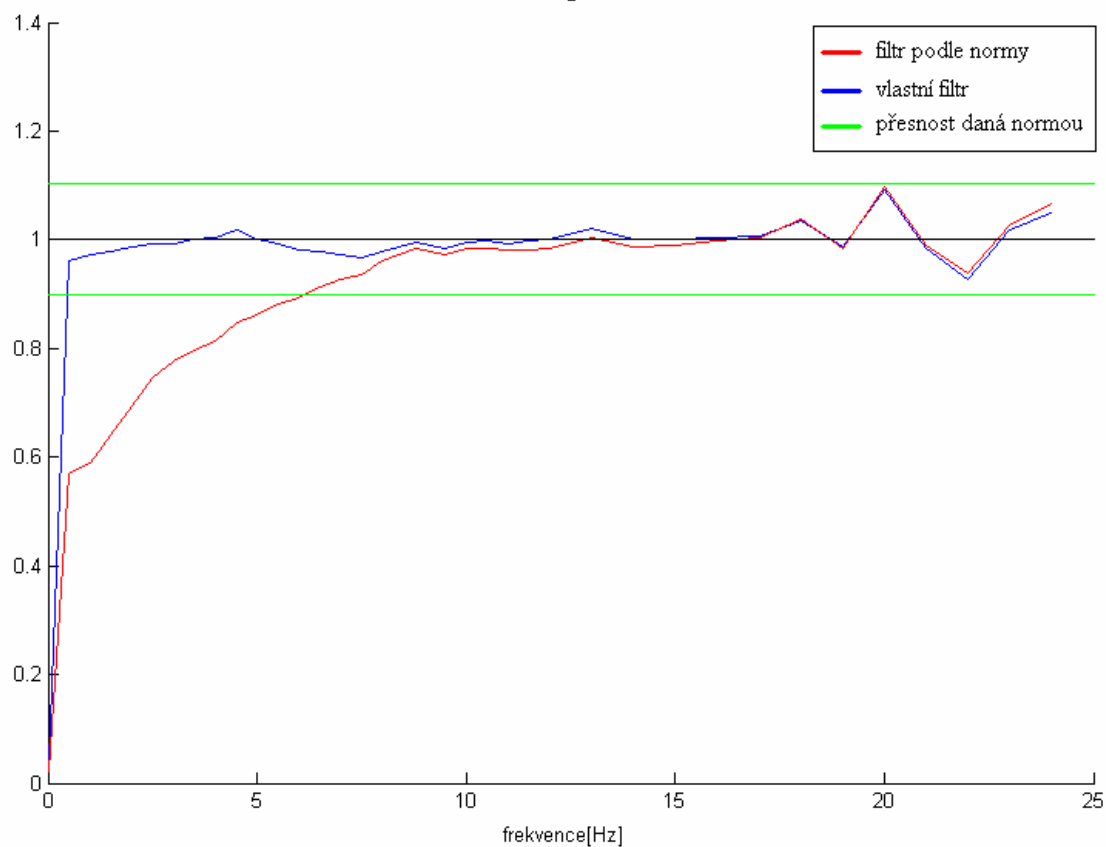
5.2. Porovnání výsledků vážících filtrů

Na následujících grafech je ukázán nesprávný výsledek, který byl dosažen při použití filtru s parametry dle normy a výsledek dosažený s vlastním filtrem. Na grafech je zobrazena úroveň vjemu blikání v závislosti na frekvenci. Frekvence je zadávána dle normy spolu s amplitudou kolísání napětí, při těchto hodnotách by měla být úroveň vjemu blikání rovna jedné.

Tabulka 5.1 : Porovnání filtrů

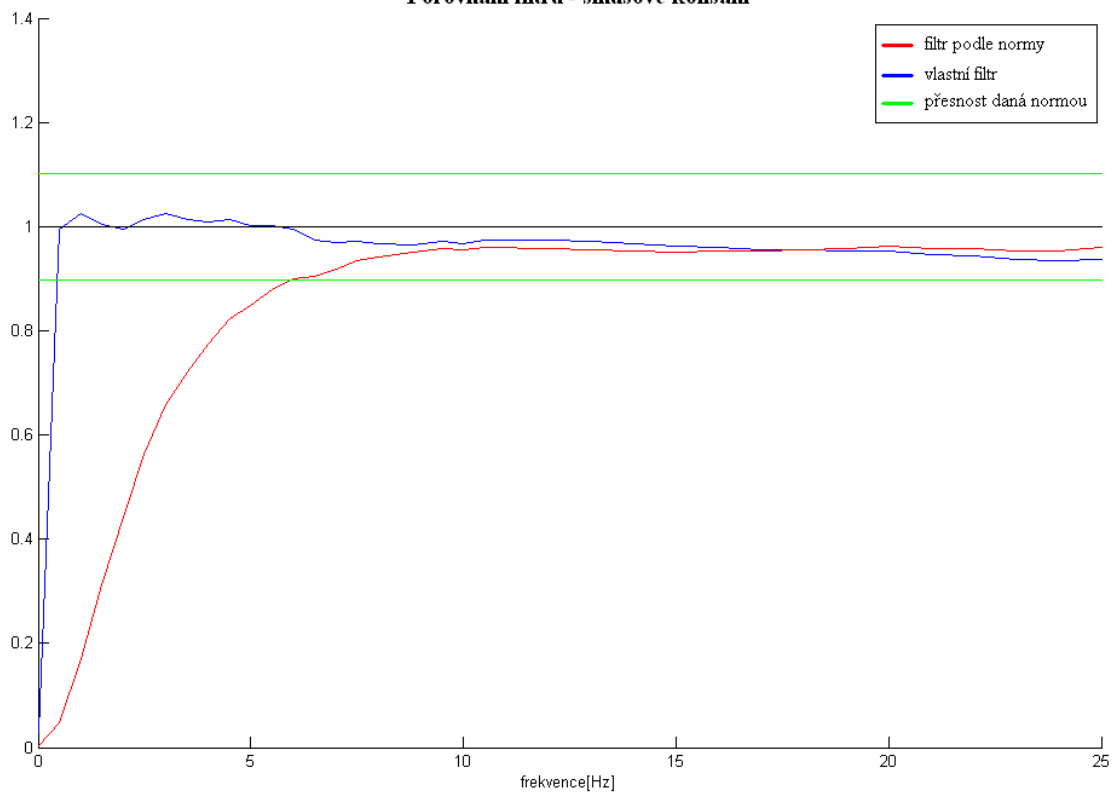
f[Hz]	sinusové kolísání - Pakt max [-]		f[Hz]	Pravouhlé kolísání - Pakt max [-]	
	navržený filtr	filtr dle normy		navržený filtr	filtr dle normy
0	0,002	0,001	0	0,002	0,001
0,5	0,994	0,048	0,5	0,960	0,569
1	1,025	0,172	1	0,972	0,588
1,5	1,003	0,313	1,5	0,977	0,640
2	0,994	0,443	2	0,986	0,694
2,5	1,012	0,563	2,5	0,992	0,746
3	1,025	0,659	3	0,994	0,777
3,5	1,013	0,722	3,5	1,002	0,798
4	1,009	0,773	4	1,003	0,814
4,5	1,014	0,822	4,5	1,017	0,848
5	1,003	0,849	5	1,002	0,861
5,5	1,001	0,879	5,5	0,991	0,880
6	0,995	0,900	6	0,980	0,894
6,5	0,975	0,904	6,5	0,978	0,914
7	0,970	0,918	7	0,973	0,927
7,5	0,971	0,934	7,5	0,967	0,936
8	0,966	0,941	8	0,979	0,961
8,8	0,965	0,950	8,8	0,996	0,984
9,5	0,971	0,958	9,5	0,983	0,972
10	0,968	0,955	10	0,996	0,984
10,5	0,973	0,959	10,5	0,998	0,985
11	0,974	0,959	11	0,994	0,981
11,5	0,973	0,958	11,5	0,999	0,982
12	0,974	0,958	12	1,000	0,985
13	0,972	0,957	13	1,021	1,005
14	0,966	0,952	14	1,000	0,988
15	0,962	0,951	15	1,002	0,990
16	0,961	0,953	16	1,003	0,997
17	0,957	0,953	17	1,008	1,003
18	0,956	0,956	18	1,036	1,037
19	0,953	0,957	19	0,986	0,985
20	0,954	0,962	20	1,093	1,096
21	0,947	0,958	21	0,984	0,989
22	0,943	0,957	22	0,926	0,939
23	0,936	0,953	23	1,017	1,026
24	0,934	0,953	24	1,048	1,067
25	0,938	0,959			

Porovnání filtrů - pravouhlé kolísání



Graf 5.8: Porovnání filtrů – pravouhlé kolísání

Porovnání filtrů - sinusové kolísání



Graf 5.9: Porovnání filtrů – sinusové kolísání

5.3. Program v ANSI – C

Aby bylo možné použít algoritmus navržený v aplikaci MATLAB, tak jej bylo nutné předělat do programu v programovacím jazyce ANSI-C.

5.3.1. Vlastnosti a optimalizace kódu v ANSI-C

Použitý přípravek vzorkuje data s vzorkovací frekvencí 6400Hz. Takto velké množství vzorků by ovšem pro měření flikru bylo redundantní a znamenalo by přílišnou náročnost na výpočtový čas. Proto se pro měření flikru zmenší vzorkovací frekvence na 400Hz. Tato frekvence je pro výpočet dostačující, při dalším snížení frekvence by již nebylo možné dosáhnout dostatečně přesných výsledků.

Data jsou dále normalizovány pomocí minutového klouzavého průměru. Na výpočet minutového klouzavého průměru při vzorkování 400Hz by bylo třeba 24000 vzorků dat pro jednu fázi. Aby nebylo nutné takto velké množství dat, tak se vypočítá průměrná hodnota po 200ms a až z těchto hodnot se počítá klouzavý průměr. Jednotlivé hodnoty se poté dopočítají pomocí lineární interpolace. Takto je dosaženo snížení množství potřebných dat na 300vzorků na fázi.

Dále jsou data zpracovány pomocí číslicových filtrů. Ty jsou realizovány pomocí jednoduchých „For“ cyklů s násobením koeficienty příslušných filtrů. Tyto výpočty jsou prováděny s daty typu „float“, když byla použita větší vzorkovací frekvence, konkrétně 800Hz, tak bylo nutné použít typ „double“, což vedlo k větší výpočtové náročnosti.

Pro statistickou analýzu je nejprve snížena vzorkovací frekvence na 50Hz. Data jsou dále roztríděna do tříd. V tomto přípravku je použito 120tříd, jejichž úrovně jsou odstupňovány geometrickou řadou od 0.01. Geometrické uspořádání dává větší rozsah než lineární uspořádání se stejným množstvím tříd bez ztráty přesnosti. Větší rozsah také umožňuje vynechat „přepínač rozsahů“, což by při lineárním uspořádání zřejmě nebylo možné. Výsledná hodnota krátkodobého a dlouhodobého blikání je následně vypočítána podle vzorce.

Výpočet krátkodobého i dlouhodobého blikání musí začínat v přesně definovaný čas, to je v programu umožněno pomocí podmínek kontrolujících čas. Program si vždy při výpočtu P_{st} resp. P_{lt} vypočítá čas dalšího výpočtu a poté kontroluje zda tento čas již nastal, pokud ano, tak provede další výpočet.

Délka výpočtu krátkodobého blikání lze v přípravku nastavit na 1,5,10 nebo 15min jak předepisuje norma ale příslušná funkce by umožnila výpočet od 1 do 255min. Pro blikání dlouhodobé je umožněno nastavení od 2 do 1008násobku krátkodobého dle normy a funkce by umožnila teoreticky až 65535.

6. Měření a výsledky

6.1. Měření dle normy

Nejprve bylo provedeno měření odezvy měřiče blikání na sinusové a pravoúhlé kolísání dle normy pro softwarově vygenerovaná data na vstupu funkce měření blikání.

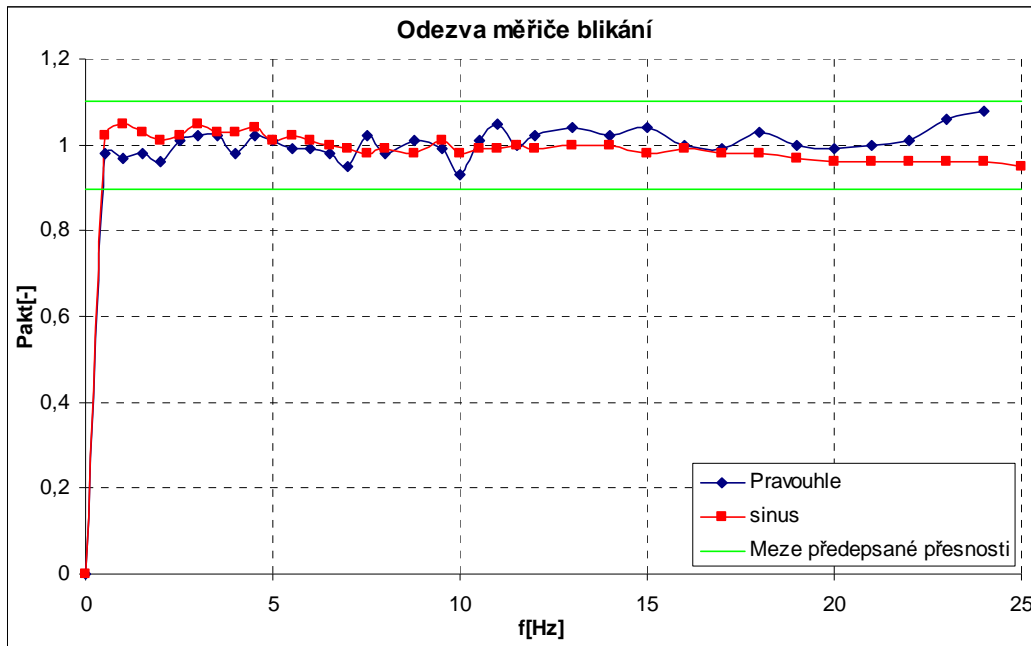
Norma udává tabulku, která obsahuje amplitudu a frekvenci kolísání napětí při níž má být dosaženo úrovně blikání rovné 1. Norma dále říká: „Předepsaná přesnost je dosažena jsou-li vstupní hodnoty pro sinusové a pravoúhlé modulace v rozsahu $\pm 5\%$ tabulkových hodnot pro výstup jednotkového vnímání“. To v přepočtu odpovídá přesnosti výsledku zaokrouhleně $\pm 10\%$ pro tabulkové hodnoty vlivem mocniny použité ve výpočtu.

Z výsledků měření (Tabulka 6.1 a Graf 6.1) vyplívá že předepsané přesnosti bylo dosaženo.

Tabulka 6.1: Odezva měřiče blikání – softwarově generovaný vstup

f[Hz]	Sinusové Pakt max [-]	Pravoúhlé Pakt max [%]
0	0	0
0,5	0,98	1,02
1	0,97	1,05
1,5	0,98	1,03
2	0,96	1,01
2,5	1,01	1,02
3	1,02	1,05
3,5	1,02	1,03
4	0,98	1,03
4,5	1,02	1,04
5	1,01	1,01
5,5	0,99	1,02
6	0,99	1,01
6,5	0,98	1
7	0,95	0,99
7,5	1,02	0,98
8	0,98	0,99
8,8	1,01	0,98
9,5	0,99	1,01

f[Hz]	Sinusové Pakt max [-]	Pravoúhlé Pakt max [-]
10	0,93	0,98
10,5	1,01	0,99
11	1,05	0,99
11,5	1	1
12	1,02	0,99
13	1,04	1
14	1,02	1
15	1,04	0,98
16	1	0,99
17	0,99	0,98
18	1,03	0,98
19	1	0,97
20	0,99	0,96
21	1	0,96
22	1,01	0,96
23	1,06	0,96
24	1,08	0,96
25		0,95



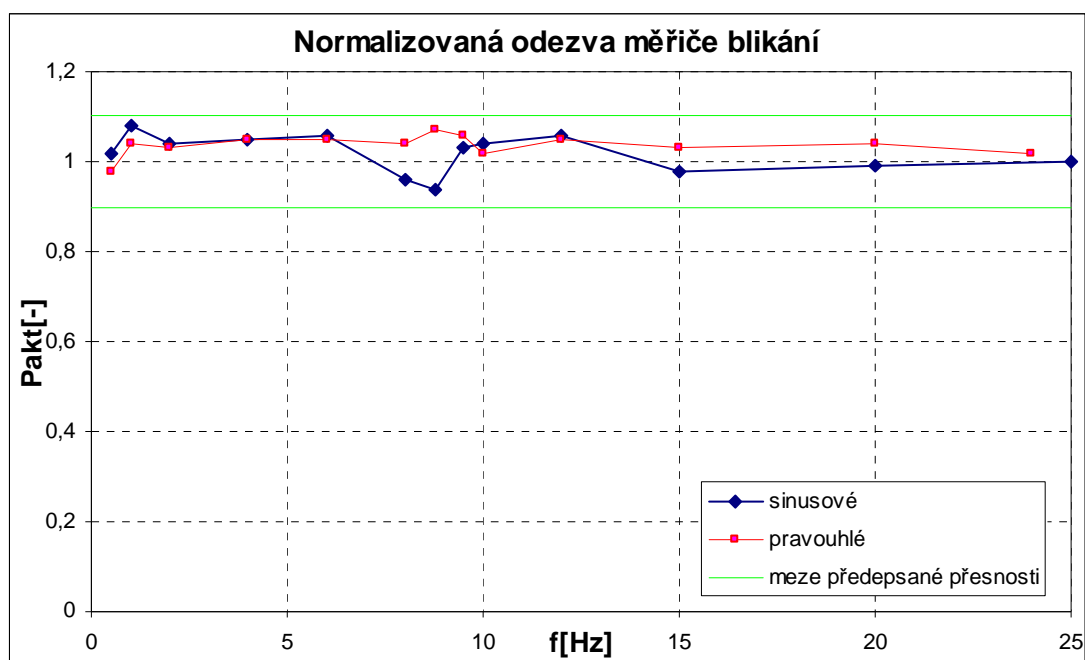
Graf 6.1: Odezva měřiče blikání – softwarově generovaný vstup

Dále bylo provedeno obdobné měření odezvy měřiče blikání na sinusové a pravouhlé kolísání dle normy tentokrát již s reálnými naměřenými daty generovanými generátorem.

Z výsledků měření (Tabulka 6.2 a Graf 6.2) vyplývá že předepsané přesnosti bylo dosaženo.

Tabulka 6.2: Měření dle normy – Odezva měřiče blikání

Sinusové kolísání			Pravouhlé kolísání		
f [Hz]	Kolísání napětí [%]	$P_{akt\ max} [-]$	f [Hz]	Kolísání napětí [%]	$P_{akt\ max} [-]$
0,5	2,34	1,02	0,5	0,514	0,98
1	1,432	1,08	1	0,471	1,04
2	0,882	1,04	2	0,401	1,03
4	0,5	1,05	4	0,333	1,05
6	0,328	1,06	6	0,249	1,05
8	0,256	0,96	8	0,201	1,04
8,8	0,25	0,94	8,8	0,199	1,07
9,5	0,254	1,03	9,5	0,2	1,06
10	0,26	1,04	10	0,205	1,02
12	0,312	1,06	12	0,246	1,05
15	0,432	0,98	15	0,344	1,03
20	0,7	0,99	20	0,546	1,04
25	1,042	1	24	0,743	1,02



Graf 6.2: Měření dle normy – Odezva měřiče blikání

Dále bylo provedeno měření odezvy měřiče blikání na pravidelnou řadu pravoúhlých změn napětí opět dle hodnot udávaných normou. Pro tyto hodnoty má být výstup $P_{st}=1,00\pm 5\%$.

Z výsledku měření (Tabulka 6.3) vyplývá že požadované přesnosti bylo opět dosaženo.

Tabulka 6.3: Měření dle normy – Změny za minutu

Změny za minutu[CPM]	Změny napětí $\Delta V/V$ [%]	Norma [PST]	SMPQ [PST]	Odchylka[%]
1	2,72	1	0,977	2,3
2	2,21	1	1,01	1
7	1,46	1	1,015	1,5
39	0,905	1	1,005	0,5
110	0,725	1	1,008	0,8
1620	0,402	1	1,019	1,9

Následující měření testuje opět odezvu měřiče blikání na pravidelné řady pravoúhlých změn napětí, tentokrát ovšem při násobcích hodnot vstupu daných normou.

Výsledky měření (Tabulka 6.4) ukazují dobrou přesnost při větších hodnotách. Naopak při nižších hodnotách procentuální přesnost klesá. To může být způsobeno například šumem nebo nedostatečným rozlišením převodníků.

Tabulka 6.4: Měření dle normy – Změny za minutu (násobky)

Změny za minutu[CPM]	Změny napětí $\Delta V/V$ [%]	Norma [PST]	SMPQ [PST]	Odchylka[%]
1620	0,0402	0,1	0,146	46
1620	0,0804	0,2	0,233	16,5
110	0,3625	0,5	0,506	1,2
2	4,42	2	2,01	0,5
7	7,3	5	5,051	1,02
39	9,05	10	9,96	0,4

6.2. Porovnání SMP x BK500

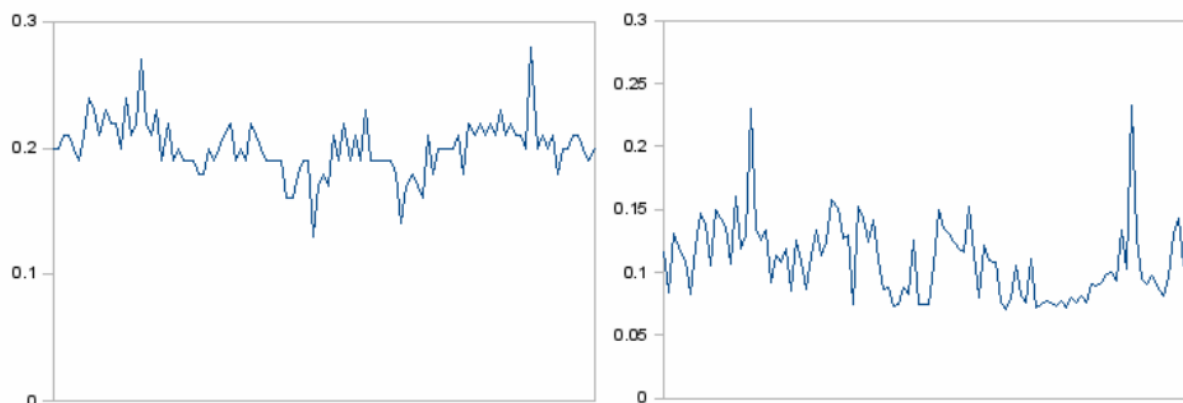
Následující měření ukazují porovnání s analyzátozem sítě BK500 firmy ELCOM, a. s.. Nejprve bylo provedeno měření, při kterém byl vstupní signál generován generátorem. Tabulka 6.5 udává kolísání napětí dU ve voltech, periodu kolísání a výsledky měřených přístrojů.

Výsledky ukazují maximální odchylku 5,7%.

Tabulka 6.5: Porovnání SMP a ELCOM

$dU[V]$	Trvání změny [s]	Pst[-]		
		SMP1	SMP2	ELCOM
3,5	8,57/17,2	1,11	X	1,05
1,9	1,53/3,1	0,96	0,97	0,95
1,65	0,54/1,1	1,01	1,02	0,99
0,9	0,04/0,08	1,16	1,16	1,1

Další měření ukazuje porovnání při běžném provozu. Měření probíhalo po dobu 12hodin. Z grafů vyplývá že při nižších hodnotách je výsledek přístroje SMP vyšší. Možné příčiny již byly uvedeny v předchozích měřeních.



Graf 6.3: Porovnání SMP a ELCOM

7. Vizualizační program na PC

Pro účely zobrazení a zpracování naměřených dat byl naprogramován program na PC.

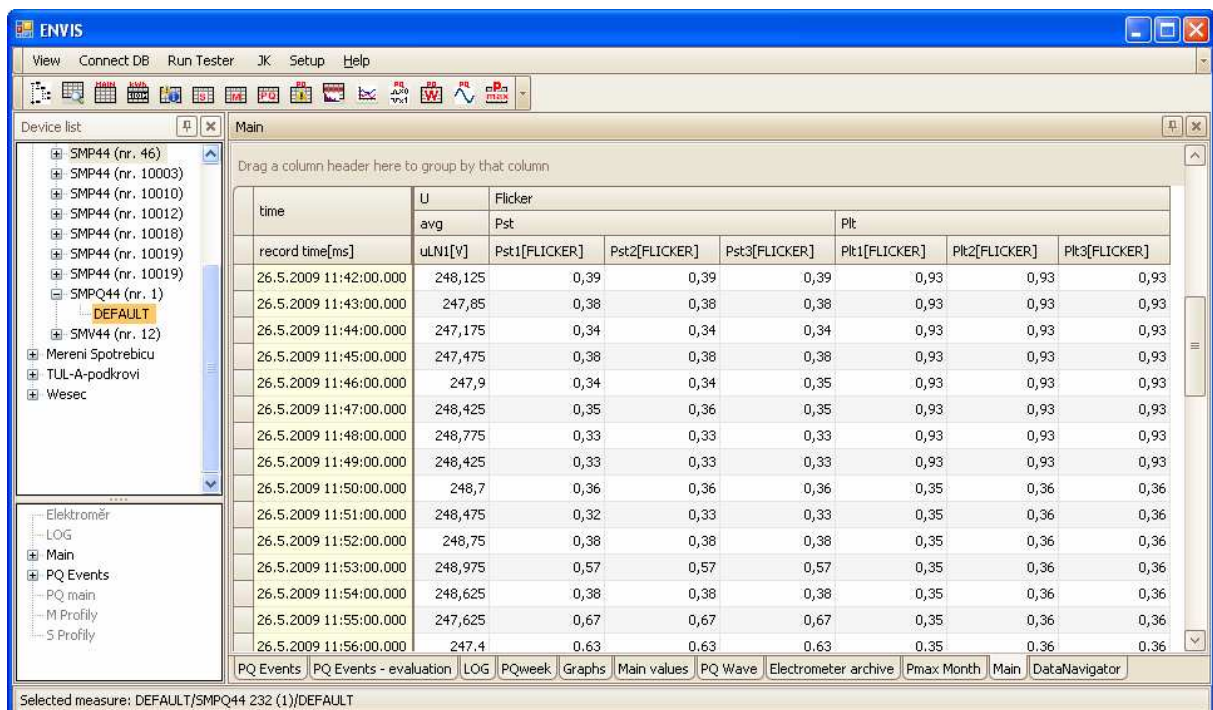
Program má následující vlastnosti:

- Je programován v jazyce C#
- Pro ukládání dat používá Databázi.
 - Databáze jsou uloženy na „Microsoft SQL Server 2005“
- Využívá komponenty DXperience
 - Nabízí velké množství komponent
 - Podpora databází
 - Množství vizuálních prvků

Jedním z úkolů této diplomové práce bylo doplnit podporu Flickru do tohoto software.

Hodnoty flickru je možné zobrazit na několika místech:

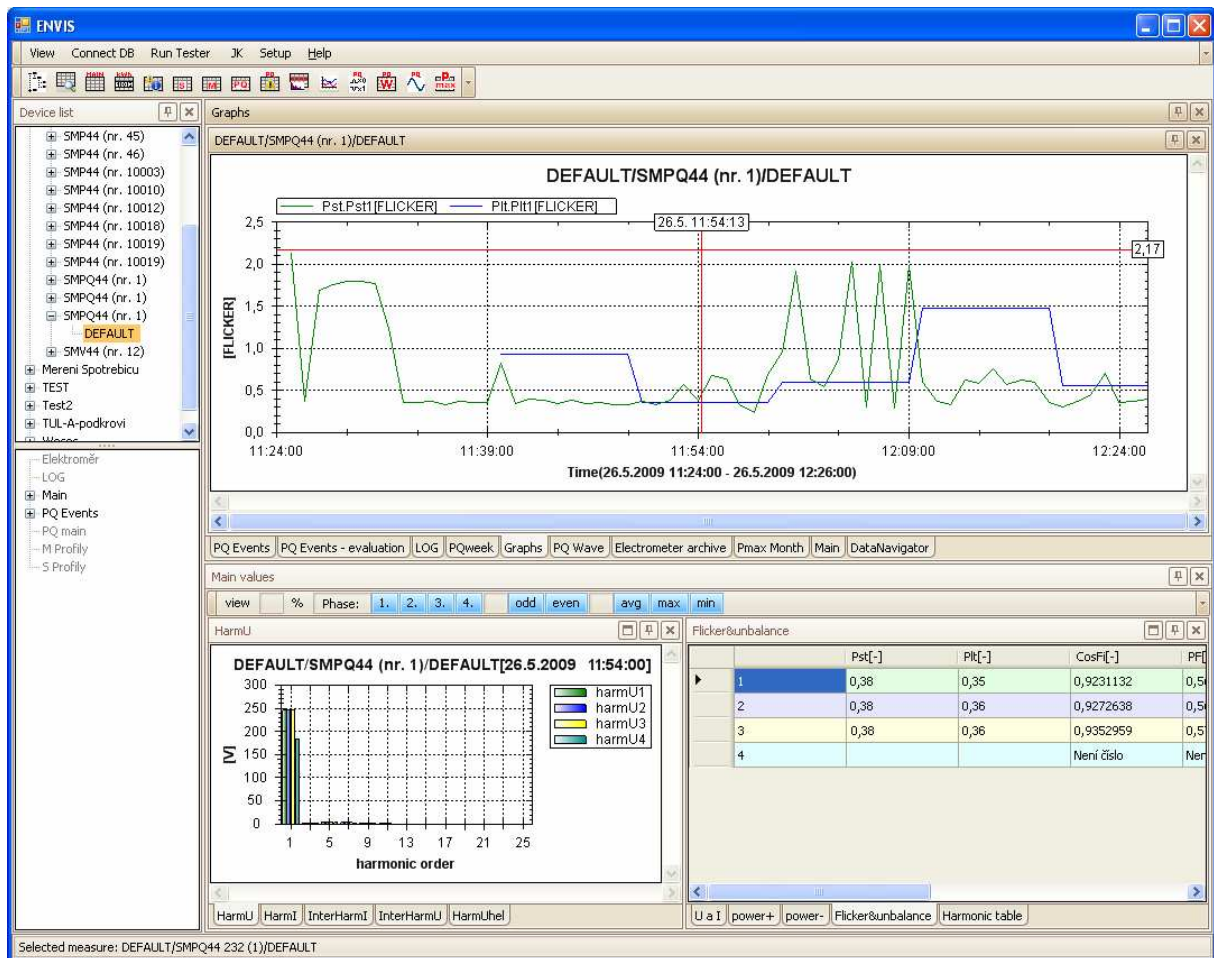
- V tabulce záznamů spolu s dalšími veličinami. (Obrázek 7.1)
- V podrobné tabulce pro konkrétní záznam.(Obrázek 7.2)
- V grafu. (Obrázek 7.2)



The screenshot shows the ENVIS software interface. On the left is a 'Device list' tree with various nodes like 'SMP44 (nr. 10003)', 'SMP44 (nr. 10010)', etc. The main window displays a table with the following data:

time	U	Flicker			Plt			
	avg	Pst	Pst1[FLICKER]	Pst2[FLICKER]	Pst3[FLICKER]	Plt1[FLICKER]	Plt2[FLICKER]	Plt3[FLICKER]
record time[ms]	uLNI[V]							
26.5.2009 11:42:00.000	248,125	0,39	0,39	0,39	0,39	0,93	0,93	0,93
26.5.2009 11:43:00.000	247,85	0,38	0,38	0,38	0,38	0,93	0,93	0,93
26.5.2009 11:44:00.000	247,175	0,34	0,34	0,34	0,34	0,93	0,93	0,93
26.5.2009 11:45:00.000	247,475	0,38	0,38	0,38	0,38	0,93	0,93	0,93
26.5.2009 11:46:00.000	247,9	0,34	0,34	0,35	0,35	0,93	0,93	0,93
26.5.2009 11:47:00.000	248,425	0,35	0,36	0,35	0,35	0,93	0,93	0,93
26.5.2009 11:48:00.000	248,775	0,33	0,33	0,33	0,33	0,93	0,93	0,93
26.5.2009 11:49:00.000	248,425	0,33	0,33	0,33	0,33	0,93	0,93	0,93
26.5.2009 11:50:00.000	248,7	0,36	0,36	0,36	0,35	0,36	0,36	0,36
26.5.2009 11:51:00.000	248,475	0,32	0,33	0,33	0,35	0,36	0,36	0,36
26.5.2009 11:52:00.000	248,75	0,38	0,38	0,38	0,35	0,36	0,36	0,36
26.5.2009 11:53:00.000	248,975	0,57	0,57	0,57	0,35	0,36	0,36	0,36
26.5.2009 11:54:00.000	248,625	0,38	0,38	0,38	0,35	0,36	0,36	0,36
26.5.2009 11:55:00.000	247,625	0,67	0,67	0,67	0,35	0,36	0,36	0,36
26.5.2009 11:56:00.000	247,4	0,63	0,63	0,63	0,35	0,36	0,36	0,36

Obrázek 7.1: Vizualizační software – tabulka s hodnotami flickru



Obrázek 7.2: Vizualizační software - Graf

Závěr

Ze zkoumaných metod byla vybrána metoda využívající číslicových filtrů, protože umožňuje rychlý výpočet a je možné implementovat ji do existujícího měřícího přístroje. Tento měřící algoritmus byl nejprve navržen a nasimulován v programu MATLAB a poté implementován do měřícího přístroje.

Nejobtížnější na návrhu algoritmu bylo nalezení vhodného vyhodnocovacího filtru, protože již malá změna parametrů tohoto filtru může způsobit velké rozdíly ve výsledku. Tento filtr byl navrhován v aplikaci MATLAB prostřednictvím nástroje „Filter Design & Analysis Tool“. Vstupní parametry tohoto nástroje byli mnohokrát experimentálně modifikovány dokud nebylo dosaženo požadovaného výsledku.

Výsledná funkce měření blikání umožňuje rychlý výpočet, takže je možné ji snadno přidat k dalším funkcím použitého měřícího přístroje bez výrazného dopadu na prostředky mikropočítače. Měřící přístroj provádí výpočty každých 200ms, z tohoto intervalu si funkce výpočtu flikru vezme zhruba 5ms. Tato funkce umožňuje vyhodnocení krátkodobého blikání (P_{st}) i dlouhodobého blikání (P_{lt}). Periodu krátkodobého i dlouhodobého vyhodnocení je možné jednoduše nastavit pomocí 3 proměnných. První proměnná udává periodu krátkodobého intervalu v minutách. Druhá udává periodu dlouhodobého vyhodnocení v násobcích krátkodobého intervalu. A třetí udává začátek měření dlouhodobého blikání opět v násobcích krátkodobého intervalu. Například, pokud má být vyhodnocení krátkodobé 10minut a dlouhodobé 2 hodiny se začátkem v každou lichou hodinu, pak je nastavení uvedených parametrů 10, 12, 6.

Výsledky měření ukazují dobrou přesnost při vyšších hodnotách blikání, která splňuje limity dané normou. Při nižších hodnotách se přesnost snižuje. To může být způsobeno například šumem na vstupu, nedostatečnou přesností převodníků nebo určitou nepřesností vyhodnocovacího algoritmu. Tato nižší přesnost ovšem není v rozporu s normou.

Do vizualizačního software byla doplněna podpora flikru a to v několika různých podobách. Flikr je možné zobrazit v tabulce spolu s dalšími veličinami, v grafu nebo v podrobné tabulce zobrazující jeden změřený záznam.

Tuto práci by bylo možné vylepšit dalším zpřesňováním výpočtu a to zejména při nižších hodnotách. Práci by bylo možné dále rozšířit měřením blikání nejen pro žárovky ale také pro zářivky nebo jiné typy osvětlení.

Literatura

- [1] BK-ELCOM - Komplexní systém monitoringu a analýzy kvality elektřiny. ELCOM Praha - Divize virtuální instrumentace Ostrava, 2004.

- [2] IEC 61000-4-15, Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - část 4-15: Testovací a měřicí techniky - Flickmetr - Funkční a návrhové specifikace.

- [3] Poruchy napětí - Část 5.1.4. Flicker [online]
Dostupné na: http://www.medportal.sk/files/file/lpq_cz/5_1_4.pdf

- [4] Kvalita elektrické energie – flicker. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE[online]
Dostupné na: http://k315.feld.cvut.cz/download/dee/dee_flicker.pdf

- [5] Flicker Produced by Harmonics Modulation
Dostupné na: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01193854>

- [6] Propagation of Flicker in Electric Power Network Due to Wind Energy Conversions Systems
Dostupné na: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01009479>

- [7] A Method for Flicker Severity Evaluation using the Hadamard Transform
Dostupné na: http://venus.ece.ndsu.nodak.edu/~kavasseri/papers/flicker_osu03.pdf