

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2019

Petr Svozil

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra Elektroenergetiky**

**Flikr v distribučních a průmyslových sítích**  
**Flickr in Distribution and Industrial Networks**

2019

Petr Svozil

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Svozil**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika

Téma: **Flickr v distribučních a průmyslových sítích**  
**Flicker in Distribution and Industrial Networks**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor problematiky flickru
2. Vliv kolísání napětí na provoz světelných zdrojů
2. Technické možnosti měření flickru
4. Ukázka vyhodnocení reálných dat

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. Santarius P.: Elektromagnetická kompatibilita, Učební texty VŠB-TUO, Ostrava, 2007
2. ČSN EN 50160 ed. 3: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě
3. Další související normy a předpisy
4. Technická dokumentace výrobců analyzátorů sítí
5. Další literatura podle pokynu vedoucího práce


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě 30. 4. 2019



Petr Svozil

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D. za cenné rady a připomínky při zpracování mé bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku flikru v distribučních a průmyslových sítích. V první části jsou rozebrány vlivy kolísání napětí, flikru na elektrické zařízení. Další část je věnována měřicím přístrojům využívaným v praxi a jejich technické parametry. Závěrečná část je zaměřena na vyhodnocení naměřených dat z průmyslového objektu a možnosti omezení rušivých vlivů na distribuční síť.

## **Klíčová slova**

Elektrická energie, kvalita napětí, kolísání napětí, flikr, distribuční síť, průmyslová síť, zkratový výkon

## **Abstract**

This thesis deals with the issue of flicker in distribution and industrial networks. The first part analyze the effects of voltage fluctuations, flicker on electrical equipment. The next part is devoted to measuring instruments used in practise and their technical parameters. The final part is focused on the evaluation of measured data from industrial object and the possibility of limiting disturbing effects on distribution networks.

## **Key Words**

Electrical energy, voltage quality, voltage fluctuations, flicker, distribution network, industrial network, short-circuit power

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>10</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>1. KVALITA NAPĚTÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1. NORMA ČSN EN 50160 .....	12
1.2. NORMA ČSN EN 61000-2-4 .....	13
<b>2. ROZBOR PROBLEMATIKY FLIKRU</b> .....	<b>14</b>
2.1. PŘÍČINY KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ.....	14
2.2. FLIKR .....	14
2.3. VYHODNOCOVÁNÍ FLIKRU .....	16
2.3.1. MÍRA VJEMU FLIKRU $P$ .....	16
2.3.2. KRÁTKODOBÁ MÍRA VJEMU $P_{ST}$ .....	16
2.3.3. DLOUHODOBÁ MÍRA VJEMU $P_{LT}$ .....	17
2.3.4. ZÁKON SUPERPOZICE KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ .....	18
2.3.5. ČINITEL FLIKRU $A$ .....	18
2.4. ŠÍŘENÍ FLIKRU .....	19
<b>3. VLIV KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ NA PROVOZU SVĚTELNÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>20</b>
3.1. TRŽDĚNÍ PŘEDŘADNÝCH ZAŘÍZENÍ .....	20
3.2. PŘEDŘADNÁ ZAŘÍZENÍ PRO VÝBOJOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE.....	20
3.3. PŘEDŘADNÁ ZAŘÍZENÍ PRO SVĚTELNÉ DIODY .....	21
3.4. ŽÁROVKY .....	22
<b>4. TECHNICKÉ ZPŮSOBY MĚŘENÍ FLIKRU</b> .....	<b>24</b>
4.1. MĚŘENÍ KVALITY NAPĚTÍ .....	24
4.2. ZPŮSOBY MĚŘENÍ FLIKRU .....	24
4.2.1. METODA NA MODELU ŽÁROVKA-OKO .....	24
4.2.2. FLIKRMETR .....	24
4.3. SDRUŽENÝ ANALYZÁTOR SÍTÍ BK-ELCOM ENA 330 .....	25
4.4. PŘENOSNÝ ANALYZÁTOR C. A 8336.....	27

<b>5. UKÁZKA VYHODNOCENÍ REÁLNÝCH DAT .....</b>	<b>29</b>
5.1. GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....	29
5.2. HODNOCENÍ.....	38
5.3. ZPŮSOBY OMEZENÍ FLIKRU.....	38
5.3.1. ZPŮSOBY ZAPOJENÍ KOMPENZACE:.....	38
5.3.2. ZVÝŠENÍ ZKRATOVÉHO VÝKONU SÍTĚ V PŘÍPOJNÉM BODĚ.....	39
5.3.3. DYNAMICKÉ KOMPENZÁTORY JALOVÉHO VÝKONU .....	39
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>41</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>42</b>



## Seznam použitých zkratek

AC	- Střídavé napětí
ČSN	- Česká státní norma
DC	- Stejnoseměrné napětí
EN	- Evropská norma
FFT	- Fast fourier transform – Rychlá Fourierova transformace
HDD	- Hard disc – Pevný disk
IEC	- International Electrotechnical Commission
LED	- Light emitting diode
PWM	- Šířková modulace
RAM	- Random access Memory – operační paměť
RMS	- Efektivní hodnota
TFT	- Thin film transistor – Obrazovky z tekutých krystalů
THDu	- Total harmonic distortion voltage – Celkové harmonické zkreslení napětí
USB	- Universal serial bus – Univerzální sériová sběrnice
nn	- Nízké napětí
vn	- Vysoké napětí
vvn	- Velmi vysoké napětí
L1	- První fáze
L2	- Druhá fáze
L3	- Třetí fáze

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Model vedení nn a vn .....	14
Obrázek 2: Harmonický průběh napětí [2] .....	15
Obrázek 3: Charakteristika flikru Pst [2] .....	16
Obrázek 4: Schéma elektrizační soustavy [2].....	19
Obrázek 5: VA charakteristika výbojového zdroje .....	20
Obrázek 6: Charakteristika pro LED.....	21
Obrázek 7: Blokové schéma usměřovače .....	22
Obrázek 8: Průběhy a) Při použití kondenzátoru b) bez použití kondenzátoru.....	22
Obrázek 9: VA charakteristika žárovky .....	23
Obrázek 10: Blokové schéma flikrmetru [2] .....	25
Obrázek 11: Analyzátor BK ELCOM ENA 330 [10].....	25
Obrázek 12: Analyzátor C. A 8336 [11] .....	27
Obrázek 13: Průběh Pst - VN1 .....	30
Obrázek 14: Průběh Plt - VN1.....	31
Obrázek 15: Průběh Pst - VN4 .....	33
Obrázek 16: Průběh Plt - VN4.....	34
Obrázek 17: Průběh Pst - VVN .....	36
Obrázek 18: Průběh Plt - VVN.....	37

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Kompatibilní úrovně Plt a Pst .....	18
Tabulka 2: Naměřené hodnoty všech měřicích míst .....	29
Tabulka 3: Naměřené hodnoty v místě VN1 .....	29
Tabulka 4: Naměřené hodnoty v místě VN4.....	32
Tabulka 5: Naměřené hodnoty distribuční sítě vvn.....	35

## Úvod

V dnešní době se čím dál více věnujeme kvalitě dodávané elektrické energie. Souvisí to s nárůstem elektrických zařízení zatěžující naši elektrizační soustavu. Velké množství zařízení svým provozem vytváří rušivé jevy, které se šíří po vedení a můžou tak ovlivnit blízka zařízení. Je potřeba používat kompenzační prvky, které nám dokážou tyto jevy odfiltrvat a přispět tak ke kvalitě napětí.

V této bakalářské práci si probereme problematiku flickr a jeho vliv na zařízení připojená v distribučních a průmyslových sítích.

První část této bakalářské práce je teoretický rozbor problematiky flickr. Součástí této kapitoly bude rozebrání souvisejících norem ČSN EN 50160 pro Kvalitu napětí distribučních sítí a normu ČSN EN 61000-4-2 zabývající se Elektromagnetickou kompatibilitou průmyslových sítí. Dále si popíšeme vznik flickru, způsoby vyhodnocování a jeho šíření po vedení.

Druhá část se bude věnovat účinkům flickru na světelnou techniku. Rozebereme si jednotlivé předřadné systémy světelných zařízení používané pro výbojová světla, LED nebo i už méně často využívané klasické žárovky.

Třetí část je věnována způsobům měření flickru. Zde si probereme způsoby měření flickru pomocí metody žárovka-oko a flickrmetru. Následně si popíšeme dva měřicí přístroje pro vyhodnocování kvality napětí, které se využívají v praxi.

Poslední část této bakalářské práce bude věnována ukázce vyhodnocení naměřených dat z průmyslového objektu. Součástí ukázky budou tabulky naměřených hodnot a příslušné grafy s vyhodnocením krátkodobé a dlouhodobé míry vjemu flickru. Na závěr této části si rozebereme způsoby pro omezení zpětných vlivů flickru na síť.

# 1. Kvalita napětí

„Vyhláška číslo 306 Energetického regulačního úřadu z 20. srpna 2001 říká, že každý odběratel elektrické energie má právo odebírat elektrickou energii o jasně definované kvalitě“ [5]. Kvalitou napětí se zabývají pro veřejné distribuční sítě norma ČSN EN 50160 a pro průmyslové sítě norma ČSN EN 61000-2-4

## 1.1. Norma ČSN EN 50160

### „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí“

„Tato evropská norma popisuje a udává hlavní charakteristiky napětí v místech připojení uživatelů z veřejných distribučních sítí nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí za normálních provozních podmínek“ [1]. Mezi garantované parametry elektrické energie patří definovaná velikost napětí, frekvence, sinusový průběh napětí a symetrie mezi jednotlivými fázemi v třífázové soustavě.

Parametry se dělí na jevy průběžné (způsobené působením zatížení, lze je částečně předpovídat) a jevy napět'ové (způsobené neočekávanými událostmi např. poruchami nebo vnějšími vlivy počasí). Z toho vyplývá, že pro napět'ové vlivy v této normě nejsou uvedeny žádné konkrétní limity a jsou pouze informativní. U průběžných jevů stanovuje norma limity pro konkrétní parametry za předpokladu takzvaných normálních provozních podmínek. Normální provozní podmínky jsou definovány jako provozní stav distribuční sítě, která splňuje požadavky na zatížení, spínání v soustavě a odstraňování poruch automatickými ochrannými systémy, bez výskytu mimořádných stavů zahrnující následující, tj.[1]:

- Dočasné uspořádání napájení
- Výjimečné situace (např. povětrnostní vlivy, cizí zavinění, nařízení úřadů, vyšší moc a další)

### Průběžné jevy

- Kmitočet sítě
- Velikost napájecího napětí
- Rychlé změny napětí
- Nesymetrie napájecího napětí
- Harmonické napětí
- Meziharmonická napětí
- Napětí síťových signálů v napájecím napětí

### Napět'ové jevy

- Přerušování napájecího napětí
- Poklesy napájecího napětí
- Dočasné zvýšení napětí

## 1.2. Norma ČSN EN 61000-2-4

**„Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-4: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech“.**

*„Tato část normy se týká rušení šířených vedením v kmitočtovém rozsahu od 0kHz do 9kHz. Tato norma udává hodnoty kompatibilních úrovní pro průmyslové a neveřejné střídavé distribuční sítě jmenovitého napětí až do 35kV a jmenovitého kmitočtu 50Hz nebo 60Hz“ [3].* Norma definuje tři třídy elektromagnetického prostředí. Jsou rozděleny podle použitého zařízení připojené na síť. Třída 1 zahrnuje zařízení velmi citlivé na rušení např. přístrojové vybavení laboratoří, ochranné a automatizační zařízení atd. Třída 2 je identická s úrovněmi pro veřejné distribuční sítě a mohou zde být použity prvky navržené pro napájení z veřejných distribučních sítí. Do třídy 3 zařazujeme čistě průmyslové rozvody a uvažujeme při splnění podmínek: Zatížení je napájeno přes měniče, provoz svářeček, časté rozběhy motorů, proměnlivá zátěž [3].

## 2. Rozbor problematiky flikru

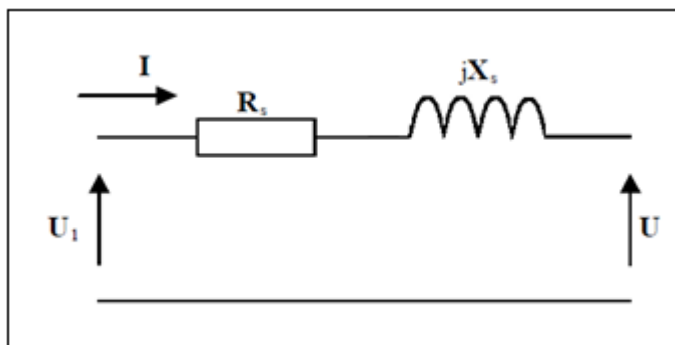
### 2.1. Příčiny kolísání napětí

„Kolísání napětí je řada změn napětí nebo cyklická změna obálky napětí“ [1]. Změny kolísání napětí jsou způsobeny rušením během výroby, přenosu a zejména v místě spotřeby odběratelem, spínáním v sítí nebo poruchami. Nejčastějším přispěvovatelem rušivých vlivů je provozovatel, který vlastním provozem přispívá k těmto rušení a jen minimum přichází z vnější sítě. Těmito rušiteli můžeme uvažovat například rozběhy velkých motorů, elektrické obloukové pece, svářečky a proměnlivé zátěže tj. zátěže, u kterých dochází k rychlé změně činného a jalového odběru. Nemusí to být jenom rozběhy velkých motorů, ale i velké množství malých dynamických pohonů, které samotně sít' příliš neovlivní, avšak současně vytvářejí rychlé odběry proudu. Tyto změny jsou způsobeny častým spínáním zatížení, jež nepřesahují velikost  $\pm 5\%$  jmenovitého nebo dohodnutého napětí. V distribučních sítích, tyto změny nesmějí, za normálních provozních podmínek, přesáhnou  $\pm 10\%$  jmenovitého nebo dohodnutého napětí [4], [13].

Při připojení elektrického zařízení na síť, která nesplňuje dané parametry, může dojít k jeho ovlivňování. Při krátkodobém provozování můžeme předpokládat, že zařízení tento stav vydrží bez větších problémů. Jiná situace nastane, když je zařízení připojeno trvale. Kolísání napětí bude namáhat zařízení natolik, že může docházet k ohřívání vinutí strojů, snížení jeho životnosti, zvýšení výskytu harmonických složek, přetěžování měničů atd. Tyto jevy mohou způsobit nečekané poruchy strojů a tím i odstávky výroby. U točivých strojů se kolísání napětí projeví především změnou otáček hřídele, momentu motoru, skluzu a případně vibracemi, které vedou k opotřebenosti a následnému zničení motoru. U zařízení na elektrický ohřev (topné spirály, obloukové pece apod.) je vyzářené teplo závislé na velikosti napětí. Tím pádem bude ovlivňovat jejich provozní účinnost. Při snížení napájecího napětí u přímotopu o 10% dojde k poklesu vyzářeného tepla až o 20%. U světelných zdrojů bude docházet ke změně světelného toku, které mohou způsobovat zrakový vjem nazývaný flikr. Tj. dynamické změny napětí vyvolávající pocit blikání světelných zdrojů [13]

### 2.2. Flikr

„Flikr je vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podmětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase“ [2]. Při překročení určité prahové hodnoty se stává flikr nepříjemný. Míra nepříjemnosti se s amplitudou kolísání zvyšuje. Tyto změny závisí i na změně činného výkonu  $P$  a jalového výkonu  $Q$ . Vyplývá to z následujícího modelu [2]:



Obrázek 1 Model vedení nn a vn

U výpočtů napětí na spotřebiči musíme respektovat odpor a induktivní reaktanci vedení. Při odběru proudu spotřebičem vznikají na vedení ztráty (úbytek napětí), které způsobí, že na konci vedení bude napětí nižší než na začátku. Úbytek napětí lze vyjádřit podle vztahu:

$$U = U_1 - \Delta U = U_1 - (I_\xi \cdot R_s + I_j \cdot X_s)$$

Vyjádření proudů:

$$I_\xi = I \cdot \cos\varphi = \frac{P}{3 \cdot U}$$

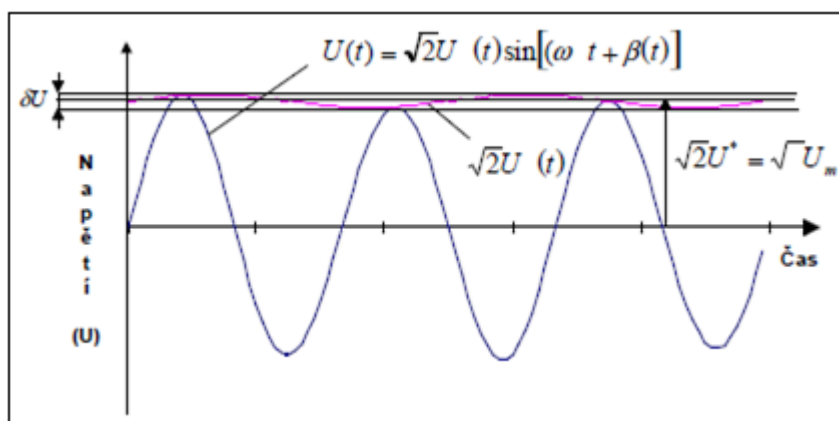
$$I_j = I \cdot \sin\varphi = \frac{Q}{3 \cdot U}$$

Dosazením do vztahu:

$$U = U_1 - \frac{1}{3U}(P \cdot R_s + Q \cdot X_s)$$

Lze říci, že při konstantním zatížení se napětí v čase nemění [2]. Při uvažování změn zatížení lze změna napětí vyjádřit takto:

$$\delta U = \frac{1}{3U}(\delta P \cdot R_s + \delta Q \cdot X_s) = \Delta I_\xi \cdot R_s + \Delta I_j \cdot X_s = \delta(\Delta U)$$



Obrázek 2 Harmonický průběh napětí [2]

Definice efektivní hodnoty

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

Kde:  $T=20\text{ms}$  a  $\omega=2\pi/T$

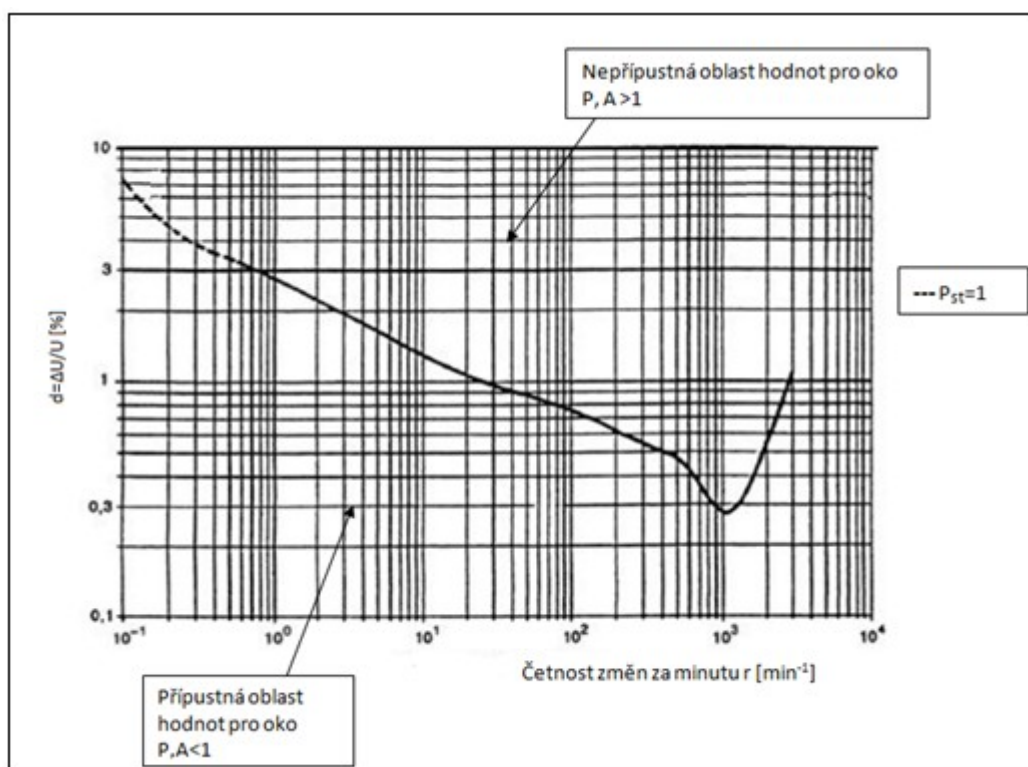
$$U_{(stř)} = \lim \left[ \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt \right] = U$$

Ze vztahů můžeme vidět, že k ovlivnění změny napětí dochází i z pohledu frekvence. Při určitých frekvencích mohou být nepříjemné i velmi malé změny amplitudy.[2]

## 2.3. Vyhodnocování flikru

### 2.3.1. Míra vjemu flikru P

Jedná se o intenzitu nepříjemnosti flikru a je definována krátkodobou mírou vjemu flikru  $P_{st}$  a dlouhodobou mírou vjemu flikru  $Plt.$ . Z měření můžeme prokázat kvalitu napětí v síti a místa původu šíření flikru. Hodnoty rušení na vedení vyhodnocujeme přímým měřením, výpočtem nebo simulací. K vyhodnocení je potřeba minimálně týdenní měření [1].



Obrázek 3 Charakteristika flikru  $P_{st}$  [2]

### 2.3.2. Krátkodobá míra vjemu $P_{st}$

Krátkodobá míra vjemu flikru  $P_{st}$  (st-short term) se měří po dobu deseti minut. Využívá se pro ověřování jednoho zdroje rušení s krátkým provozním cyklem. Dle normy se  $P_{st}$  vypočítá podle následující rovnice [2]:

$$P_{st} = \sqrt{K_1 \cdot P_1 + K_2 \cdot P_2 + \dots + K_n \cdot P_n}$$

Kde:  $K_1$  až  $K_n$  - váhové koeficienty (Pro jednotlivé úrovně překročení)  
 $P_1$  až  $P_n$  - úrovně překročení při vzorkování (Percentily)



Pro tento algoritmus komise IEC definovala 5 úrovní [2]:

$P_{0,1}$  – je úroveň, která je překročena v 0,1% sledovaného intervalu

$P_1$  – je úroveň, která je překročena v 1% sledovaného intervalu

$P_3$  – je úroveň, která je překročena v 3% sledovaného intervalu

$P_{10}$  – je úroveň, která je překročena v 10% sledovaného intervalu

$P_{50}$  – je úroveň, která je překročena v 50% sledovaného intervalu

Odpovídající váhové koeficienty pro jednotlivé úrovně [2]:

Pro úroveň 0,1% je  $K_{0,1}=0,0314$

Pro úroveň 1% je  $K_1=0,0525$

Pro úroveň 3% je  $K_3=0,0657$

Pro úroveň 10% je  $K_{10}=0,28$

Pro úroveň 50% je  $K_{50}=0,08$

Aby při výpočtech nedocházelo k nestabilitě výpočtů a změn vypočtených hodnot flikru, způsobené zátěžemi vykazující při provozu konstantní rušení a stabilní cyklus ZAP/VYP, byly zavedeny pro výpočet tzv. vyhlazené hodnoty percentilu [2].

$$P_{50s} = \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3}$$
$$P_{10s} = \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5}$$
$$P_{3s} = \frac{P_{2,2} + P_3 + P_4}{3}$$
$$P_{1s} = \frac{P_{0,7} + P_1 + P_{1,5}}{3}$$

Hodnotu  $P_{0,1}$  není potřeba vyhlazovat, protože časová konstanta paměti flikrmetru je 0,3s to zajistí, že hodnota  $P_{0,1}$  se nemůže náhle měnit [2].

### 2.3.3. Dlouhodobá míra vjemu $P_{lt}$

Dlouhodobá míra vjemu flikru  $P_{lt}$  (lt-long term) se počítá z posloupnosti dvanácti hodnot  $P_{st}$  po dobu 120 minut při použití následujícího vztahu[2]:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

Využívá se pro vyhodnocování skupin zdrojů rušení, které přispívají svým delším a proměnlivým pracovním cyklem. Podle normy ČSN EN 50160 nesmí 95% hodnota  $P_{lt}$  během libovolného měřeného

týdenního intervalu překročit hodnotu 1. Reakce na flickr může být subjektivní záležitostí. Záleží na příčině flickru a délce jeho trvání. V některých případech může flickr při hodnotě Plt=1 způsobovat obtíže, zatímco při vyšší hladině Plt obtíže nevyvolá. [2]

Tabulka 1: Kompatibilní úrovně Plt a Pst

	Kompatibilní úroveň dle ČSN EN 50160	Kompatibilní úroveň dle ČSN EN 61000-2-4		
	NN, VN, VVN	třída 1	třída 2	třída 3
<b>Pst (-)</b>	-	1,00	1,00	1,00
<b>Plt (-)</b>	1,00	0,80	0,80	0,80

Uvedené hodnoty Pst a Plt lze v některých případech překročit za podmínky, že nedojde k ovlivnění kvality v době, kdy se svítí. Hodnoty relativní změny napětí lze překročit do 10% za předpokladu, že se vyskytne jen několikrát za den.

### 2.3.4. Zákon superpozice kolísání napětí

Pro určení jednotlivých příspěvovatelů Psti, lze vyjádřit pomocí níže uvedeného vztahu:

$$P_{st} = \sqrt[m]{\sum_i P_{sti}^m}$$

Rozdělení skupin koeficientu m podle charakteru hlavního zdroje kolísání

- m=4: Použití pro sčítání změn napětí způsobené obloukovými pecemi
- m=3: Používá se pro většinu druhů změn napětí, kde vzniká malá pravděpodobnost překrytí změny napětí jednotlivých odběrů
- m=3,2: Koeficient odpovídá sklonu přímkové části křivky Pst=1
- m=2: Výskyt tam, kde dochází k ovlivňování více zdrojů (např. u větrných elektráren)
- m=1: Hodnota výsledného Pst se blíží hodnotě 1 při velké současnosti změn napětí [6]

### 2.3.5. Činitel flickru A

Je veličina zabývající se parametrem kvality napětí. Je odvozen z vjemů flickru a určuje se jako suma trvání účinků flickru za časový interval v měřeném období.

$$A_{st} = \frac{\sum t_f}{10}$$

$$A_{lt} = \frac{\sum t_f}{120}$$

Vztah mezi Činitelem flikru a krátkodobým a dlouhodobým vjemem flikru

$$A_{st} = P_{st}^3$$

$$A_{lt} = P_{lt}^3$$

## 2.4. Šíření flikru

Intenzita flikru se v paprskových sítích zmenšuje od místa šíření rušení. Od místa rušení se pohybuje oběma směry a dokáže se přenášet mezi jednotlivými hladinami a navzájem se ovlivňovat. Velikost rušení bude dáno impedancí mezi uzly a jejich poměrem vůči zemi v daném bodě. V sítích vn a vvn budou tyto zdroje rušení méně příznivé. Rušení se bude směrem k napájecí síti pohybovat podle vztahu [2], [9]:

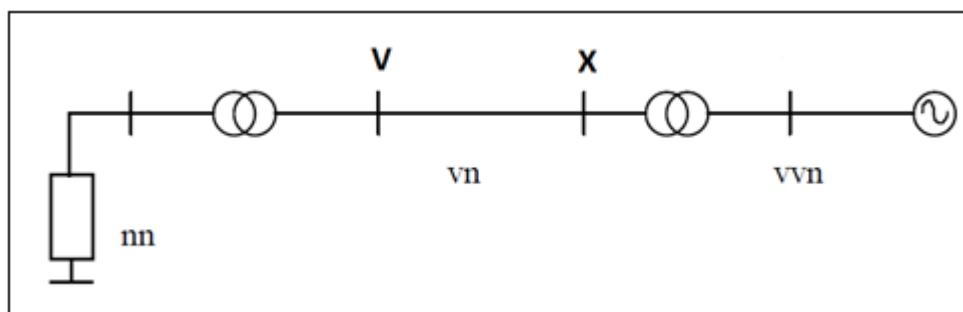
$$P_{stiX} = \frac{S_{kV} \cdot P_{stiV}}{S_{kX}}$$

Kde: PstiV, PstiX – Míra vjemu Pst flikru v místě rušení (bod V) a ve sledovaném místě (bod X)

SkV – Zkratový výkon v místě rušení (v bodě V)

SkX – Zkratový výkon ve sledovaném místě (v bodě X)

i – index jednotlivých přispěvovatelů (zařízení, přístrojů nebo uživatelé sítě)



Obrázek 4 Schéma elektrizační soustavy [2]

### 3. Vliv kolísání napětí na provozu světelných zdrojů

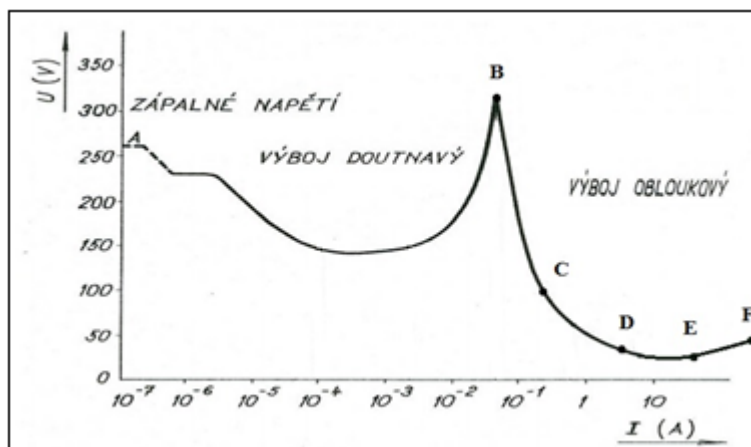
U světelných zdrojů se využívají předřadné zařízení, zapojené mezi napájením a světelným zdrojem, k omezení proudu na požadovanou hodnotu. Slouží pro zajištění správné a spolehlivé funkce světelného zdroje. Důležitou součástí při efektivním řízení osvětlovací soustavy. Do nedávna se používaly pouze elektromagnetické předřadníky pro výbojové zdroje. Využívají se zejména tlumivky, startéry, zapalovací zařízení a rozptylové transformátory pro výbojové zdroje, nejčastěji vysokotlaké a nízkotlaké sodíkové výbojky. V poslední době došlo k rozšíření předřadníků k dalším světelným zdrojům např. pro zářivky, výbojky, halogenové výbojky, světelné diody LED [7].

#### 3.1. Třídění předřadných zařízení

Dělíme je podle použitých součástek a konstrukce zařízení na elektromagnetická a elektronická. Elektromagnetické předřadníky se využívají zejména pro kmitočty 50Hz (popř. 60Hz). Předřadníky jsou tvořeny pasivními součástkami s činným odporem (rezistory) anebo s reaktancí (tlumivky, kondenzátory, rozptylové transformátory), které omezují průchod proudu. Elektronické předřadníky jsou konstruovány pro vyšší kmitočty a tvořeny polovodičovými součástkami. Stávají se čím dál více populární díky svým vlastnostem. Schopnost stabilizovat světelné parametry světelných zdrojů v širokém rozsahu napájecího napětí, prodloužit životnost, eliminovat stroboskopický jev a zvýšit úsporu elektrické energie (nižší ztráty vyšší účinnost). Z pohledu konstrukčního jsou menších rozměrů, mají nižší hmotnost a úroveň hluku [7].

#### 3.2. Předřadná zařízení pro výbojové světelné zdroje

Výbojovou činnost můžeme popsat voltampérovou charakteristikou (na obrázku 5). První část VA charakteristiky (část A, B a C) patří startu výbojového světla, které se vyznačuje malým proudem (řádově mA) při vysokém napětí. Výška zápalného napětí závisí na rozměrech trubice. Můžeme říci, že napětí roste s délkou trubice a klesá s jejím průřezem. Dále závisí na teplotě, tlaku a druhu použitého plynu. V pracovním (ustáleném za chodu) režimu se pohybujeme na klesající části mezi body C, D a E (pro zářivky, rtuťové a halogenidové výbojky aj.). Pouze xenonové výbojky mají dlouhý výbojový oblouk a nacházejí se na stoupajícím úseku (E-F) [7].



Obrázek 5 VA charakteristika výbojového zdroje

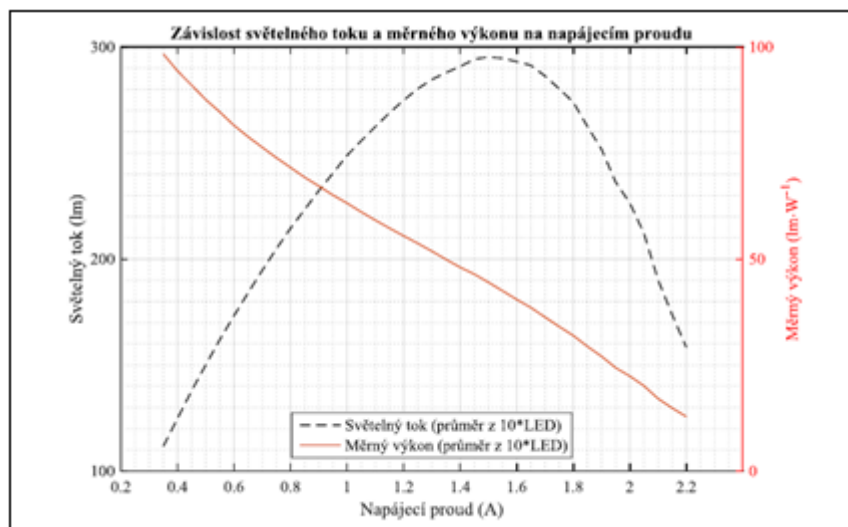
Statická voltampérová charakteristika většiny výbojových světelných zdrojů je klesající (s poklesem napětí narůstá proud). Při připojení světelného zdroje na kolísající napětí zdroje bude docházet k jeho významnému ovlivňování. Při poklesu napětí sítě dojde ve výbojce k nárůstu proudu a tím poklesne napětí výbojky. Velké rozdíly napětí sítě a výbojky způsobí další zvyšování proudu. Hodnota proudu se může přiblížit až k hodnotě zkratového proudu, což by vedlo ke zničení výbojové trubice. Při poklesu napětí by docházelo k poklesu proudu a následnému zhasnutí výbojky. Pro optimální provoz se zařazuje před výbojku předřadník, který omezuje proud a stabilizuje její provoz. Předřadník obsahuje i další funkce, které slouží k zapálení výboje, zlepšení účinnosti obvodu, ke změně napájecího napětí apod. [7].

### 3.3. Předřadná zařízení pro světelné diody

Kvalita elektrické energie razantně ovlivňuje pokles výkonu a životnosti LED osvětlení. Blikání (flickr), kolísání napětí a harmonické v zařízení mohou způsobit předčasné selhání LED osvětlení, ovlivnění úspory elektrické energie a tím způsobit i finanční ztráty. U LED máme možnost použít dva napájecí zdroje a to napěťové nebo proudové.

U napěťových zdrojů se využívá předřadný odpor, který omezuje průtok proudu v obvodu. Tento odpor musí být pro každou barvu a velikost napájecího napětí jiný. Při působení kolísání napětí dochází ke kolísání proudu a tím i ke změně vyzářeného světelného toku. Další nevýhodou je malá účinnost, kdy dojde na rezistoru přeměny části energie na teplo. Napěťové zdroje se proto používají pro jednoduché světelné obvody se sériově nebo paralelně zapojenými LED (např. LED pásy).

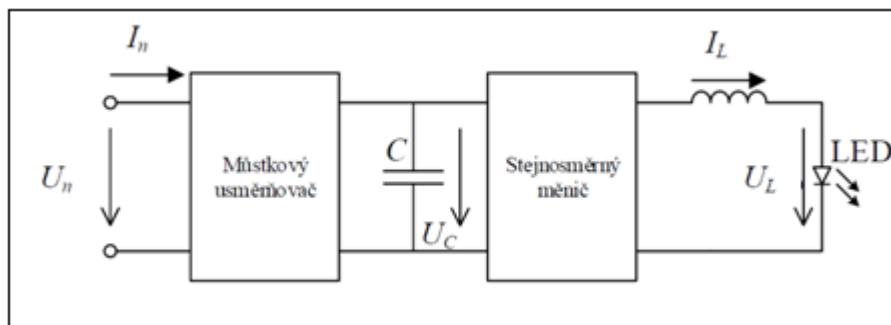
K napájení LED je výhodnější použít proudový zdroj. Proudový zdroj dodává stabilní hodnotu proudu a napájecí napětí je nastavováno v určitém rozsahu. Rozsah napětí je převážně dán šířkou pásma diody. K regulaci se používá pulsní šířková modulace (PWM), tedy pulsním měničem proudu s vysokou frekvencí spínání. Dochází k ovlivňování světelného toku a při špatně zvolené frekvenci může docházet k rušivému blikání (flickeru). Frekvenci spínání musí být větší než 100 Hz (čas zhasnutí nižší než 10ms), kdy oko ještě není schopno zaregistrovat velmi krátké zhasnutí světelného zdroje. [7]



Obrázek 6 Charakteristika pro LED

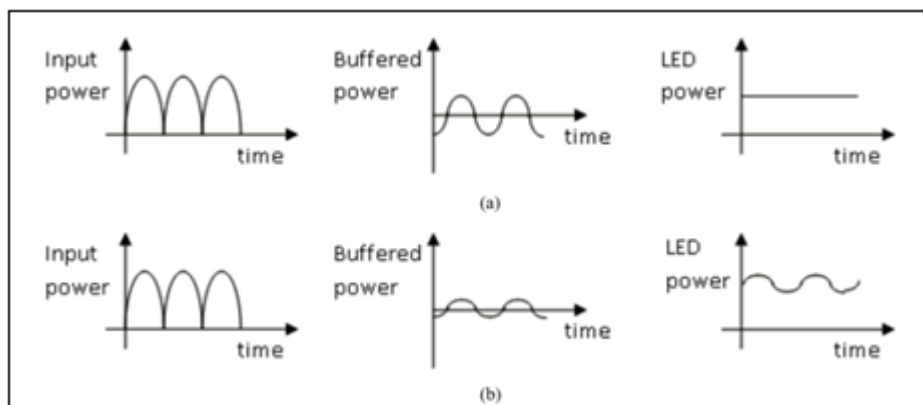
Z obrázku 6 můžeme vidět, že při průchodu vyššího proudu než hodnota jmenovitého proudu, dochází k nárůstu světelného toku až na trojnásobek jmenovité hodnoty při napájení čtyřnásobkem jmenovité hodnoty proudu. Při tomto provozu dochází jednak k poklesu životnosti, ale také k významnému poklesu účinnosti.

LED předřadníky jsou tvořeny AC/DC měniči se stabilizací výstupního stejnosměrného proudu (Obrázek 7). Přivedené napětí nejdříve usměrníme pomocí můstku, poté ho vyhladíme kondenzátorem a stejnosměrným měničem převedeme na požadovanou velikost napětí.



Obrázek 7 Blokové schéma usměrňovače

Důležitým prvkem v předřadníku je vyrovnávací kondenzátor, který eliminuje kolísání výstupního napětí a ustálí na požadovanou hodnotu (Obrázek 8).

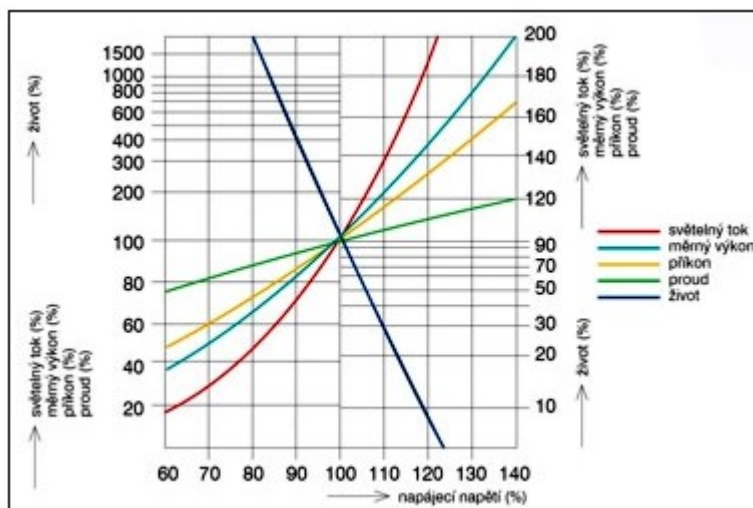


Obrázek 8 Průběhy a) Při použití kondenzátoru b) bez použití kondenzátoru

### 3.4. Žárovky

Jedná se o jeden z nejrozšířenějších světelných zdrojů v minulosti (dnes už bráno jako tepelný zdroj). Je tvořen wolframovým vláknem svinutým do šroubovice a uzavřen v baňce s plnicím plynem (převážně vakuum nebo halogeny). Měrný výkon vyzářené energie jsme schopni řídit pomocí teploty vlákna. Teplotu vlákna ovlivňujeme velikostí vstupního napětí. Při zvýšení napájecího napětí dojde k zvýšení měrného výkonu žárovky. Mezi napájecím napětím a životností se projevuje v běžném rozsahu změny napětí exponenciální závislost. Podle obrázku 9 je zřejmé, že při zvýšení napětí o 10% jmenovité hodnoty napětí dojde k nárůstu měrného výkonu o 20% a poklesu životnosti až o 70%. Je to způsobeno zvýšením teploty

vlákna a tím i k rychlejšímu vypařování wolframu a jeho usazování na vnitřní straně baňky žárovky. Naopak při poklesu napětí dojde k zvýšení životnosti žárovky na úkor snížení měrného výkonu. Tento stav je nevhodný. Proto je důležité pro optimální chod žárovky provozovat na jmenovité hodnoty napájecího napětí. Zvýšení účinnosti můžeme dosáhnout náhradou vakua halogeny, které vykazují omezení tepelných ztrát, a tím můžeme při stejné době životnosti žárovky zvýšit teplotu wolframového vlákna (Wolframový cyklus). U žárovek se nepoužívají předřadná zařízení, proto při kolísání napětí bude docházet i ke kolísání vyzářeného světelného toku a jeho změny, tak mohou být nepříjemné a nežádoucí [7].



Obrázek 9 VA charakteristika žárovky

## 4. Technické způsoby měření flikru

### 4.1. Měření kvality napětí

Hlavním cílem výrobců a provozovatelů elektrické energie je zajistit dlouhodobé schopnosti sítě vyhovět požadavkům. Tyto veličiny je v praxi nutno měřit. Dá se to provést teoretickými výpočty ve fázi projektování a návrhu nových zařízení nebo speciálními měřicími přístroji, vyvinutými pro měření v elektrických sítích. U naměřených dat posuzujeme kvalitu, vlastnosti, přesnost a další charakteristiky analyzátorů. Měření provádíme ze dvou důvodů. Prvním z důvodů je měření parametrů sítě a porovnávání s hodnotami udávající meze v normě, zda nedochází k překračování těchto mezí. Při zjištění překročení mezí musíme navrhnout takové opatření, aby k tomu nedocházelo. Druhým důvodem proč se provádí měření, je že při návrhu nové rozvodné sítě potřebujeme ověřit, zda navrhovaná síť vyhovuje parametrům dané normou. [5], [10].

### 4.2. Způsoby měření flikru

Při neuvažování výpočetních metod se v praxi pro zjišťování flikru využívají dvě metody:

- Metoda modelu žárovka-oko
- Měřič blikání - Flickmetr

#### 4.2.1. Metoda modelu žárovka-oko

Tato metoda se využívá pro zjišťování ovlivňování světelného toku světelného zdroje vlivem kolísání napětí. Tento model je složen z měřeného světelného zdroje a měřiče intenzity světelného toku (přístroj, oko). Tato měření se využívají zejména na pracovištích, kde potřebujeme zjistit míru nepříjemnosti blikání, jež negativně působí na soustředění a vnímání člověka při pracovním úkonu.

#### 4.2.2. Flickmetr

Další metodou měření je použití flickmetru. Flickmetr je univerzální přístroj pro měření a vyhodnocování parametrů sítě. Přístroj musí respektovat normy, které definují poměrně velké nároky na kvalitu a rychlost měření [2].

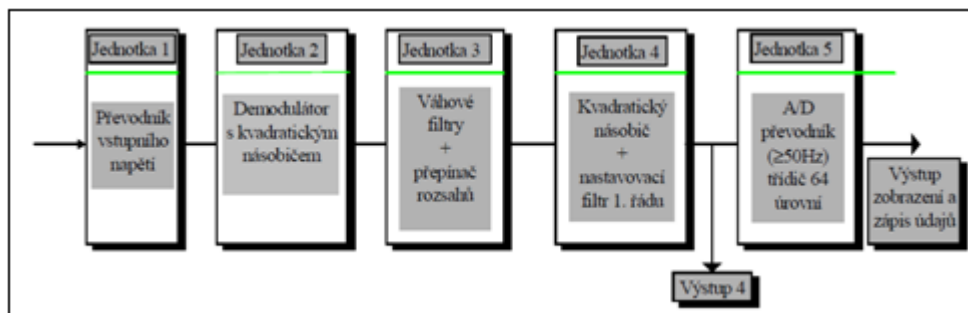
Přístroje doporučené normou se skládají z 5 jednotek:

- Jednotka 1: Převodník vstupního napětí na vnitřní referenční napětí
- Jednotka 2: Demodulátor s kvadratickým násobičem. Zde dochází k oddělení základního napětí pro 50 Hz od napěťových změn.
- Jednotka 3: Váhový filtr + přepínač rozsahu. Zde dochází k odstranění stejnosměrné složky a složky s dvojnásobným kmitočtem sítě na výstupu z demodulátoru. Druhý filtr tvoří odezvu flikru na kolísání napětí.



Jednotka 4: Kvadratická násobička + dolní propust prvního řádu.  
 (Jednotky 2,3 a 4 představují simulaci vnímání člověka na flickr a na výstupu z jednotky 4 se nachází okamžitý vjem flickru)

Jednotka 5: Mikroprocesor pro hodnocení úrovně flickru a výpočet parametrů.



Obrázek 10 Blokové schéma flickrmetru [2]

### 4.3. Sdružený analyzátor sítí BK-ELCOM ENA 330

Komplexní modulátor systému BK-ELCOM pro sledování a analýzu kvality elektrických sítí respektující platné normy. Jedná se o virtuální rozhraní (software + hardware), které komunikuje s počítačem (notebookem) pomocí rozhraní USB nebo Ethernet. Je vybaven čtyřmi napěťovými a čtyřmi proudovými vstupy. Proudů se měří pomocí proudových kleští nepřímou metodou s železným jádrem nebo použitím Rogowského cívek. Lze volit různé kapacity paměti pro ukládání naměřených dat. Podle vhodného nastavení ukládacího intervalu, lze naměřené data ukládat nepřetržitě až několik měsíců. Pro své rozměry je vhodné přístroj uložit v rozvaděči. Přístroj je konfigurovatelný podle požadavků zákazníka [10].

#### Základem ENA 330 je

- FFT analyzátor harmonických
- Osciloskop a Vektorskop
- Monitor výkonů a energií
- Měřič blikání (flickr)
- Monitor napětí

Další moduly lze dokoupit jako např. Analyzátor signálu HDO, zapisovač poruchových dějů, analyzátor symetrických složek, analyzátor zkratové impedance sítě v místě měření a další [10]



Obrázek 11 Analyzátor BK ELCOM ENA 330 [10]

## Technické specifikace ENA 330

### Všeobecně

Intervaly ukládání - k\*0,2s, 3s, k\*60s, 10min, 15min, 2hod.  
Pracovní teplota - -15 až +50°C  
Rozměry – 66 x 308 x 257 mm (v x š x h)  
Hmotnost 1,5kg

### Hardware

Operační paměť – 512MB RAM  
Procesor – Intel Celeron M  
HDD – CF 2GB  
Rozhraní – USB, Ethernet  
A/D převodník – 16bitů  
Vzorkovací frekvence – 9600S/s, 19200S/s, 38400S/s  
Napájení – 180 až 265V AC, 47 až 63 Hz  
Příkon – 20VA

### Napět'ové vstupy

Počet vstupů – 4  
Vstupní rozsah – 450V, 250V, 110V, 65V (RMS)  
Šířka pásma – 45Hz až 2,5kHz  
Vstupní impedance – 200k $\Omega$ , 10pF  
Izolační pevnost – 4,2kV RMS, 50Hz, 1min  
Přesnost - +/-0,1%  
Zapojení – 1f,3f, 3f+N, hvězda, trojúhelník

### Proudové vstupy

Počet vstupů – 4  
Vstupní rozsah – rozsah je závislý na použití proudových kleští  
Šířka pásma – 45Hz až 2,5kHz  
Přesnost - +/-0,1%

#### 4.4. Přenosný analyzátor C. A 8336

Třífázový analyzátor elektrických sítí C. A 8336 od firmy Chauvin Arnoux je všestranný a přenosný přístroj pro analýzu kvality elektrických sítí. Dokáže rychle a efektivně měřit, monitorovat a diagnostikovat síť se sedmi režimy, intuitivním ovládáním a zpracováním naměřených dat. Měřicí přístroj dokáže rychle poskytnout data z průmyslových nebo administrativních budov při revizích a údržbách. Je vybaven pěti napěťovými vstupy a čtyřmi proudovými, pro měření všech typů elektrických sítí se 2, 3, 4 a 5 vodiči. Díky barevné obrazovce s úhlopříčkou 148mm dokáže okamžité zobrazení sledovaných charakteristik sítě (Zobrazení časových průběhů vln, sloupcové grafy frekvencí, vektorové zobrazení, snímky obrazovky atd.). Součástí je také režim alarmu. K nastavení prahové hodnoty lze přiřadit alarm, který při překročení této hodnoty vytváří záznam události s časovým a datovým razítkem. Měřicí přístroj vyhovuje platným Evropským normám [11].

##### Funkce analyzátoru C. A 8336

- Sledování všech typů elektrických sítí
- Měření rozběhových proudů po dobu 10 minut
- Krátkodobý a dlouhodobý flickr
- Hodnoty výkonů a energií
- Harmonické složky napětí a proudu
- Deformační výkony
- Výpočet faktoru K pro transformátory



Obrázek 12 Analyzátor C. A 8336 [11]

## Technické specifikace C. A 8336

### Všeobecně

Rozměry – 240 x 180 x 55 mm (v x š x h)  
Hmotnost- 1,9  
Paměť – až 2G  
Rozhraní – USB  
Display – TFT (320x240), grafický, barevný  
Výdrž baterie – až 13 hodin  
Napájení – Dobíjecí baterie NiMH 9,6V nebo napájecí zdroj  
Stupeň krytí – IP53  
Elektrická bezpečnost – ČSN EN 61010 1.000V CAT III / 600V CAT IV

### Napět'ové vstupy

Počet vstupů – 5  
Vstupní rozsah - 2V až 1kV RMS  
Šířka pásma – 40 až 69 Hz  
Přesnost - +/- 0,1%

### Proudové vstupy

Počet vstupů – 4  
Vstupní rozsah – podle použitých proudových kleští  
Šířka pásma – 40 až 69Hz  
Přesnost - +/- 0,1%

## 5. Ukázka vyhodnocení reálných dat

Součástí měření kvality napětí je vyhodnocování jednotlivých parametrů vedení. Ukázka naměřených dat pochází z měření průmyslového objektu, připojeného do veřejné distribuční sítě 110kV. Rozvodná síť objektu je na hladině 22kV. K dispozici bylo sedm měřících míst měření. K vyhodnocení jsem vybral tři měřící místa. Jedná se o distribuční přívodní síť a dvě místa v průmyslovém objektu s vysokou a nízkou hodnotou flikru. Týdenní měření probíhalo v období 8.3.2012 0:00 až 15.3.2012 23:50. Během této doby bylo změřeno 1008 vzorků hodnot Pst, Plt, THDu s vzorkovací frekvencí 10 minutu. Z naměřených hodnot je vypočítána 95% hodnota, která souvisí s normou ČSN EN 50160. Součástí je ukázka grafických průběhů krátkodobé míry flikru Pst a dlouhodobé míry flikru Plt.

### 5.1. Grafické vyhodnocení naměřených dat

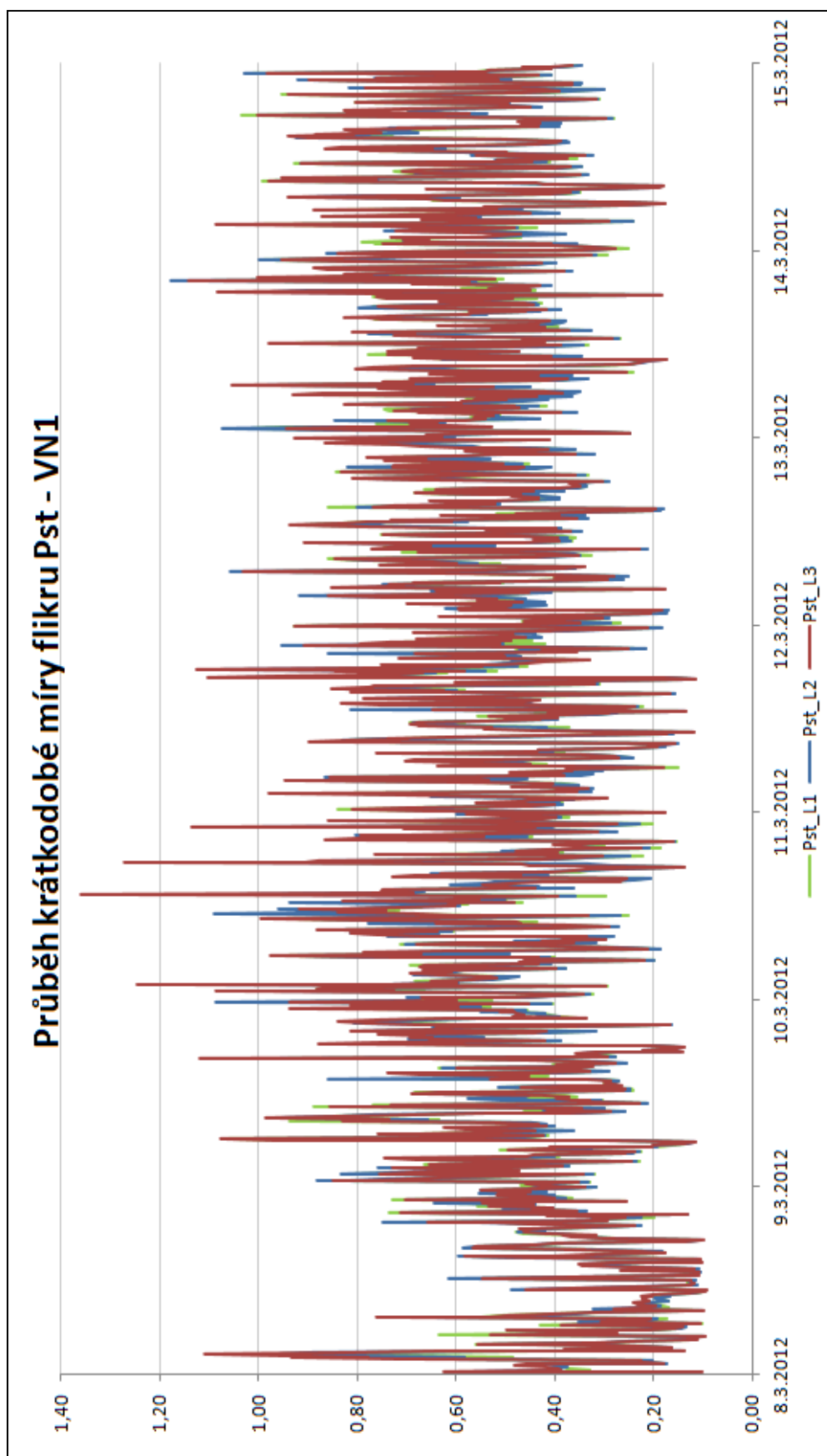
Tabulka 2: Naměřené hodnoty všech měřících míst

Měřící místa	Pst [-]	Plt [-]	THDu [%]
VN1	0,861	0,713	2,772
VN2	1,057	0,878	2,333
VN3	2,755	<b>2,489</b>	4,233
VN4	5,717	<b>4,457</b>	1,749
VN5	0,935	0,779	1,297
VN6	4,258	<b>3,676</b>	1,541
VVN	1,4	<b>1,157</b>	1,266
Komp. úroveň 61000-2-4	-	-	10
Komp. úroveň 50160	-	1	8

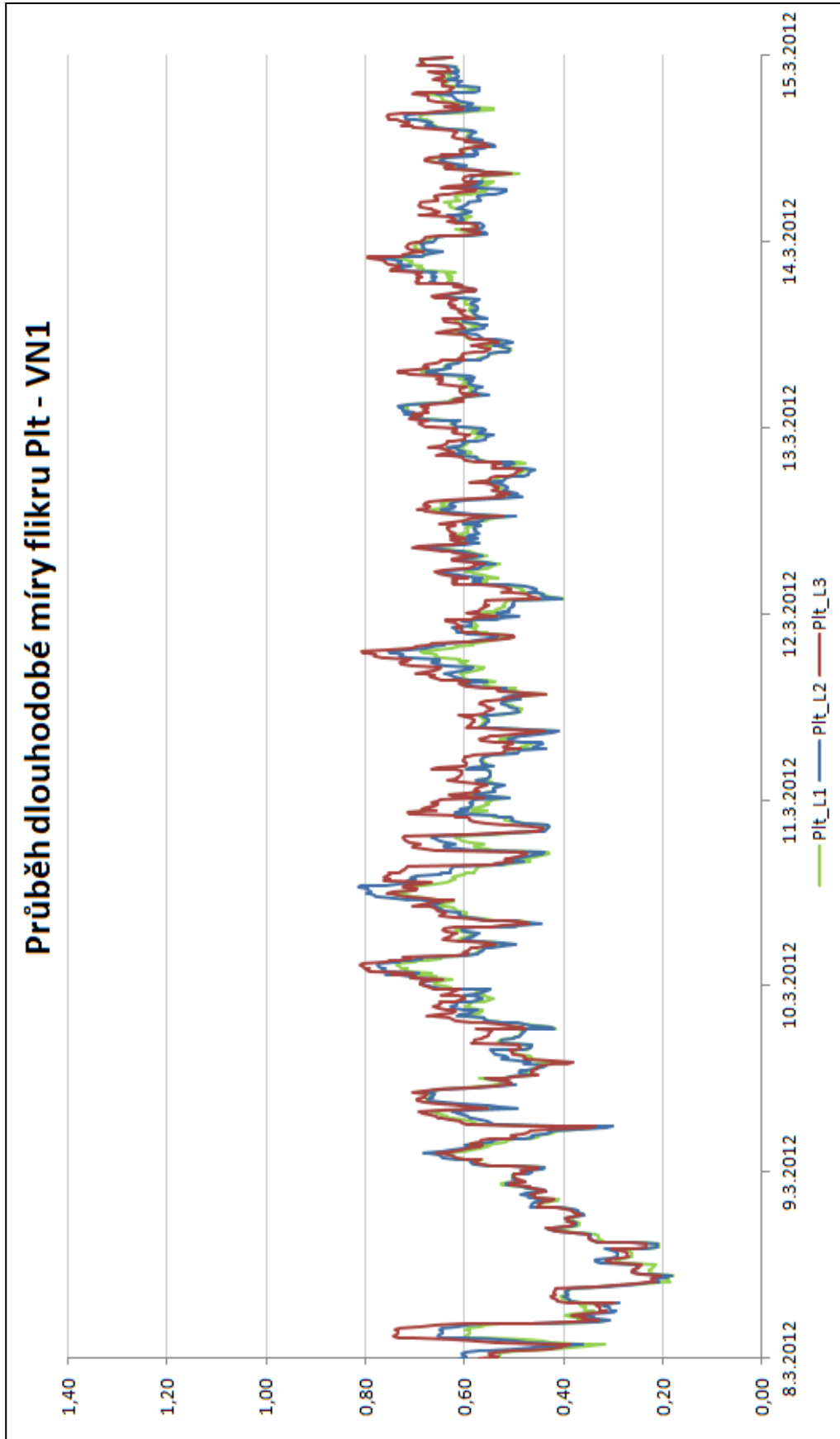
#### Průmyslová síť 22kV - VN1

Tabulka 3: Naměřené hodnoty v místě VN1

Limity úrovně flikru dle normy ČSN EN 50160 PLT < 1 (95% hodnota z týdenního měření)			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	Hodnocení
Interval měření 8. 3. 2012 0:00 - 14.3.2012 23:50			
Pst_L1 [-]	-	0,836	
Pst_L2 [-]	-	0,858	
Pst_L3 [-]	-	0,89	
Plt_L1 [-]	1	0,687	Vyhovuje
Plt_L2 [-]	1	0,716	Vyhovuje
Plt_L3 [-]	1	0,735	Vyhovuje



Obrázek 13 Průběh Pst - VN1



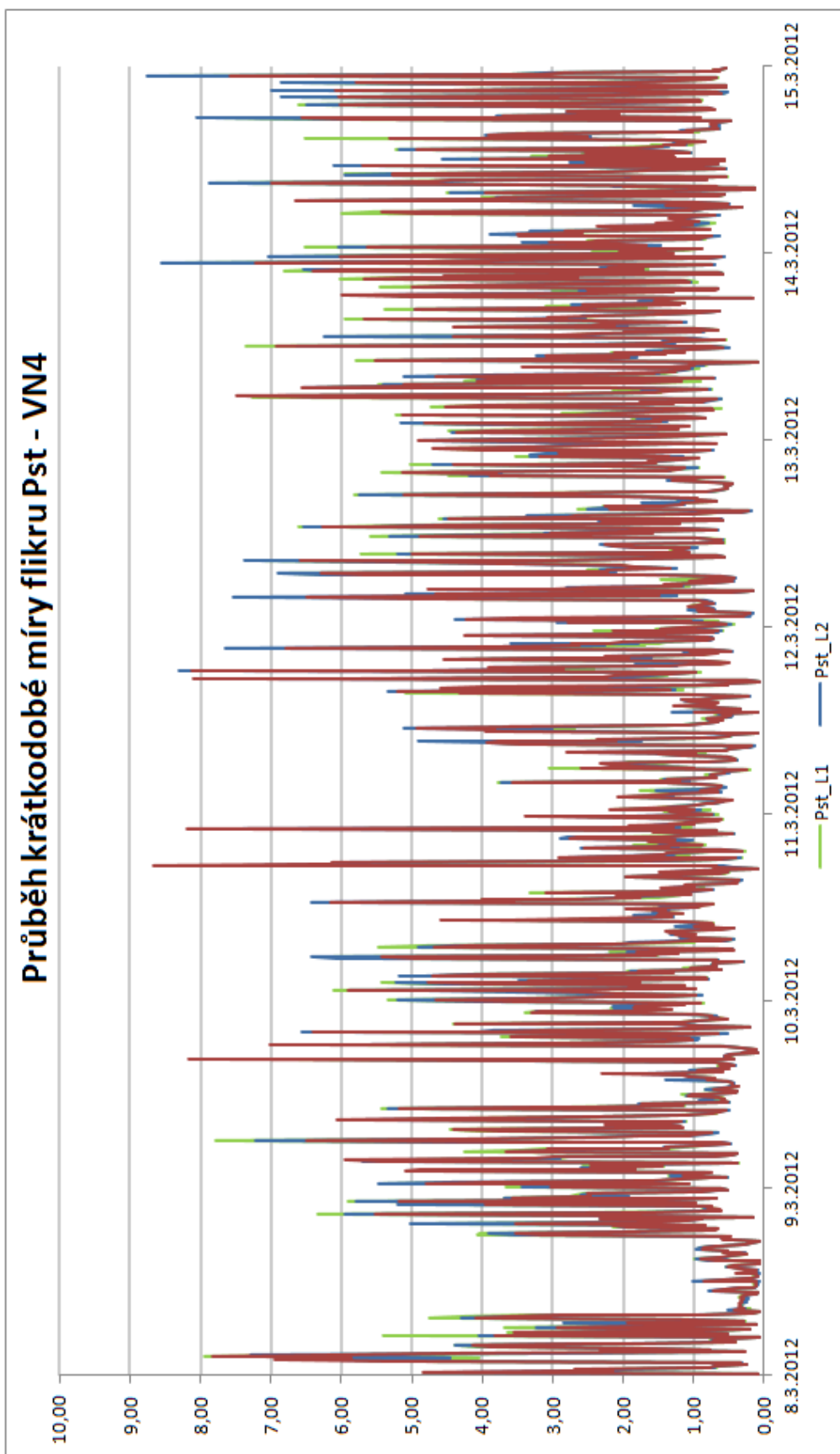
Obrázek 14 Průběh PIt - VN1

## Průmyslová síť 22kV - VN4

Tabulka 4: Naměřené hodnoty v místě VN4

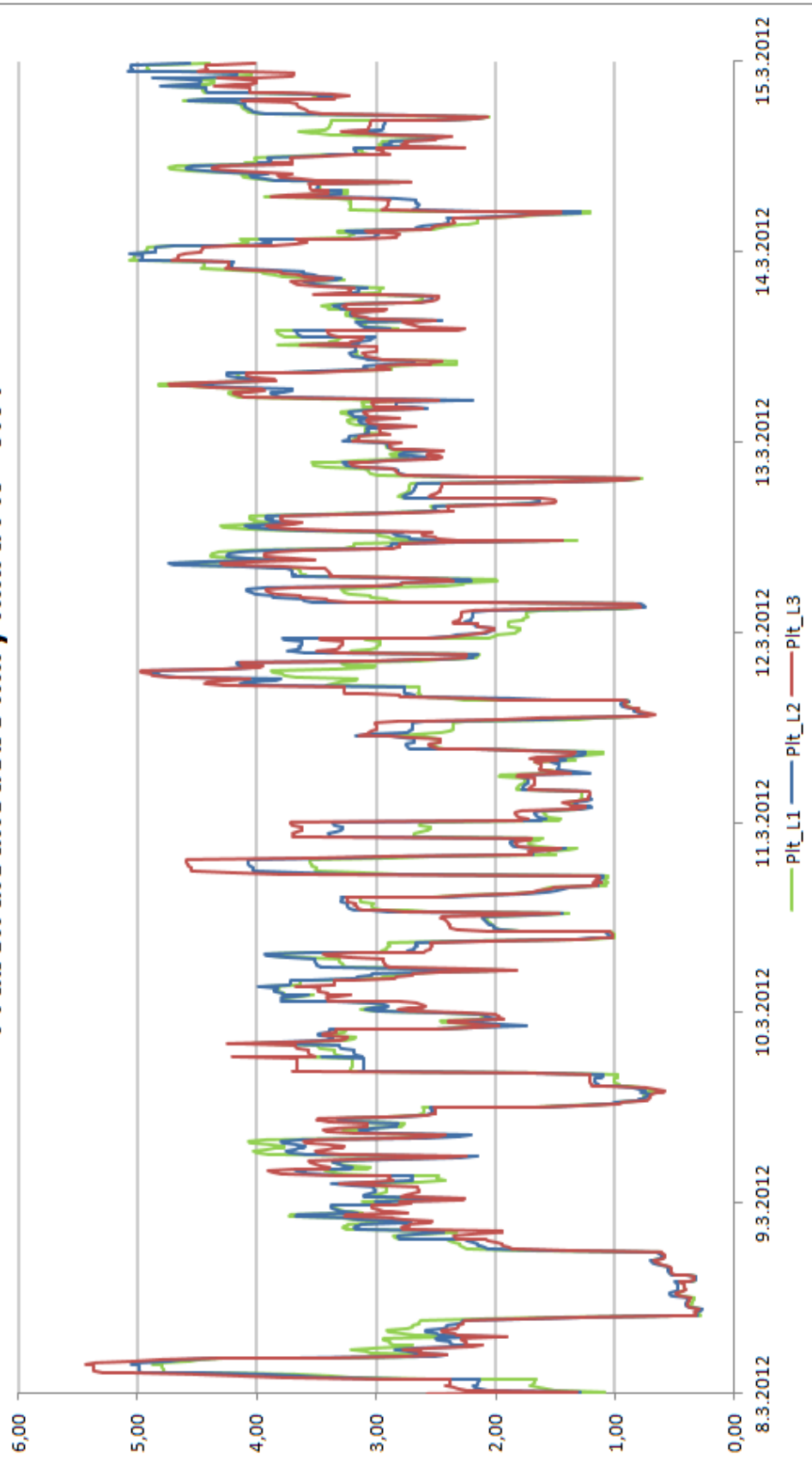
Limity úrovně flikru dle normy ČSN EN 50160 PLT < 1 (95% hodnota z týdenního měření)			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	Hodnocení
Interval měření 8. 3. 2012 0:00 - 14.3.2012 23:50			
Pst_L1 [-]	-	5,805	
Pst_L2 [-]	-	5,713	
Pst_L3 [-]	-	5,634	
Plt_L1 [-]	1	4,454	<b>Nevyhovuje</b>
Plt_L2 [-]	1	4,505	<b>Nevyhovuje</b>
Plt_L3 [-]	1	1,413	<b>Nevyhovuje</b>





Obrázek 15 Průběh Pst - VN4

### Průběh dlouhodobé míry flikru PIt - VN4

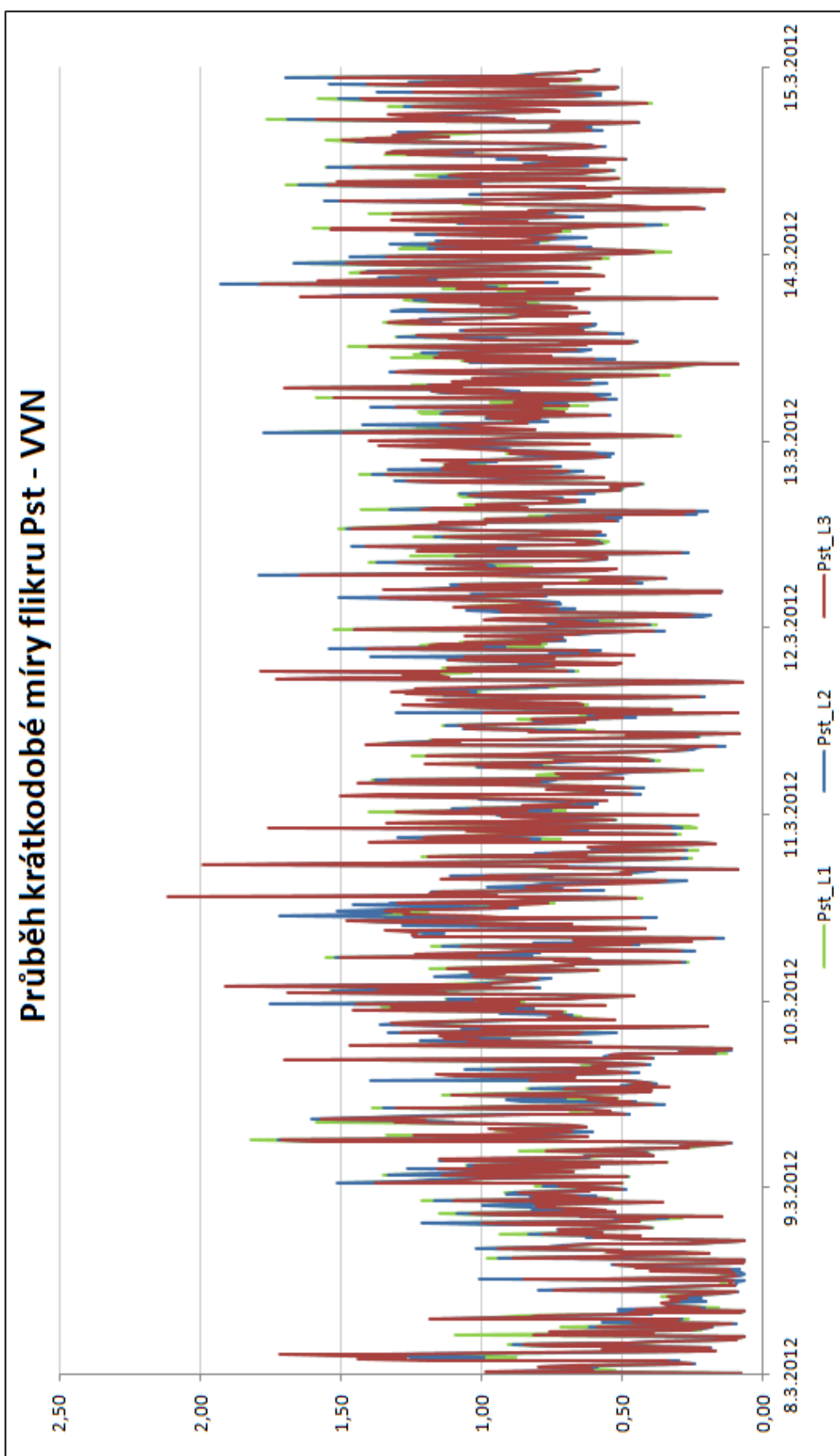


Obrázek 16 Průběh PIt - VN4

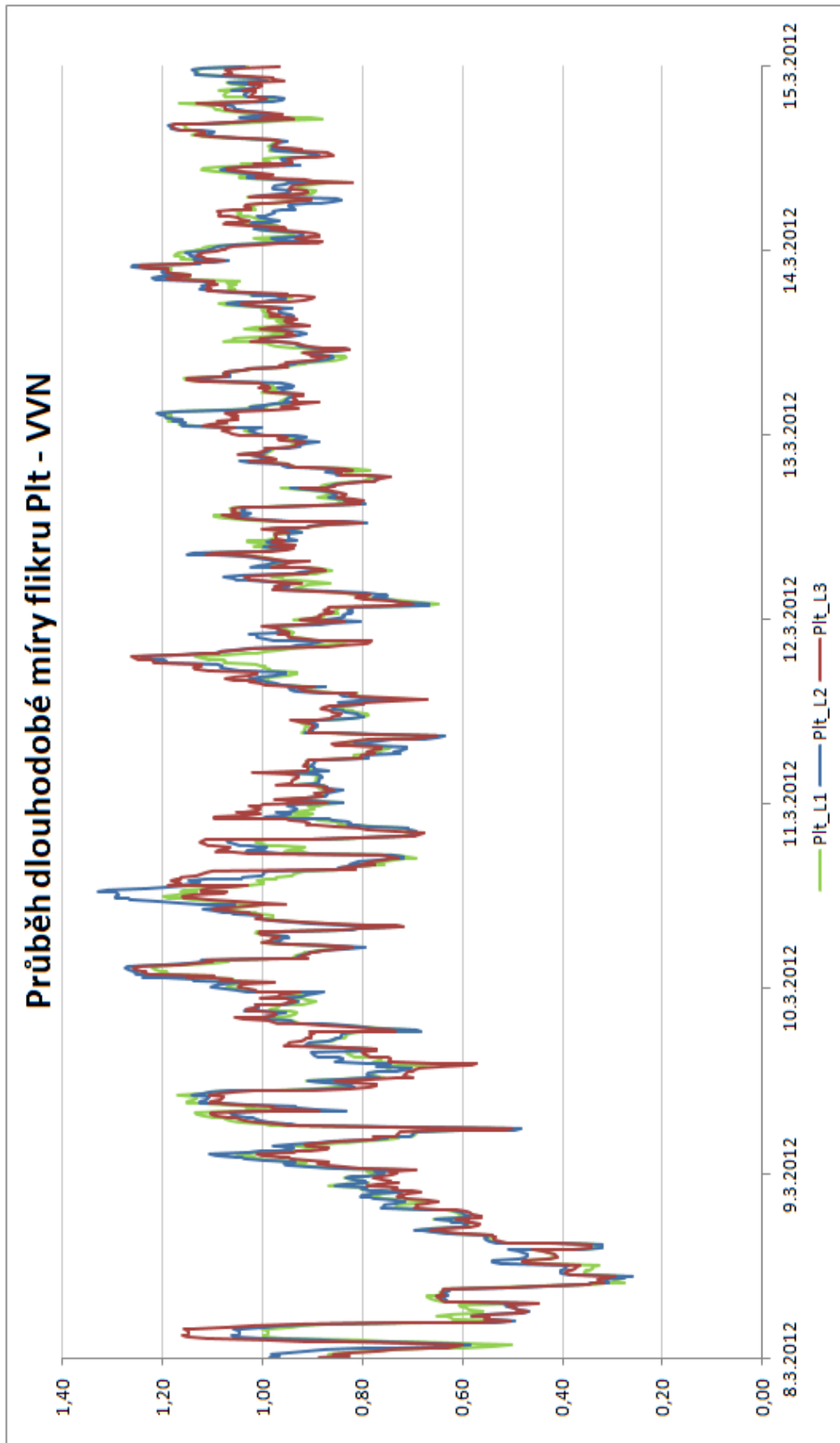
## Veřejná distribuční síť 110kV - VVN

Tabulka 5: Naměřené hodnoty distribuční sítě vvn

Limity úrovně flikru dle normy <b>ČSN EN 50160</b> PLT < 1 (95% hodnota z týdenního měření)			
Veličina	Mez	Naměřená hodnota	Hodnocení
Interval měření 8. 3. 2012 0:00 - 14.3.2012 23:50			
Pst_L1 [-]	-	1,395	
Pst_L2 [-]	-	1,397	
Pst_L3 [-]	-	1,407	
Plt_L1 [-]	1	1,152	<b>Nevyhovuje</b>
Plt_L2 [-]	1	1,172	<b>Nevyhovuje</b>
Plt_L3 [-]	1	1,147	<b>Nevyhovuje</b>



Obrázek 17 Průběh Pst - VVN



Obrázek 18 Průběh PIt - VVN

## 5.2. Hodnocení

Hodnoty ve většině případů překračují meze dané normou. V případě překročení hodnot v průmyslovém objektu, docházelo by k ovlivňování jen průmyslových zařízení. V tomto případě rušivé vlivy zasahují i do veřejné distribuční sítě a odběratel je povinen zajistit opatření ke kompenzaci těchto vlivů. Tyto opatření můžeme zajistit připojením kompenzačních zařízení, filtrů nebo změnou parametrů vedení např. změnou průřezu a délky vedení. Dalšími možnostmi je připojení zařízení do soustavy s větším zkratovým výkonem nebo připojením na vyšší napět'ovou hladinu.

V případě kdyby docházelo k překročením stanovených hodnot zřídka, může dojít k tzv. zvláštnímu ujednání mezi provozovatelem a odběratelem. Toto ujednání může zahrnovat dojednané hodnoty v uvažovaném termínu, délku časových úseků pro vyhodnocení nebo počet označených dat zahrnutých ve vyhodnocení (Označená data jsou nespolehlivé hodnoty způsobeny poklesem, zvýšením nebo přerušením napětí). Při nedodržování příslušných mezí z dlouhodobého hlediska může distributor elektrické sítě, v krajních případech, příslušného odběratele odpojit z elektrizační soustavy.

## 5.3. Způsoby omezení flikru

Výskytem rušivých vlivů na distribuční síť musí odběratel zajistit nápravné opatření dle Energetického zákona 458/2000 Sb. Účinky kolísání napětí jsou závislé na velikosti amplitudy, charakteru systému a provozu. Pro účinnější kompenzace se instalují kompenzační prostředky v místě rušení, aby nedocházelo k ovlivňování veřejné distribuční sítě, hromadného dálkového ovládání (HDO) a vybavení podpět'ových ochranných, které by mohly způsobit v některých případech porušení chráněného zařízení. Ke kompenzaci různých druhů zařízení přispívající k rušení sítě, používáme optimální druhy opatření, např. u obloukových pecí se předřazují sériově reaktory, upravují metalurgické postupy a metody pro optimální chod zařízení a tím i snížení ovlivnění sítě, u svařování napájení přes transformátory, připojení rovnoměrně na všechny fáze nebo fáze mimo světelné obvody, změnou regulace elektrod, u motorů použití speciálně vinutou kotvu, tračnicky, soft startér nebo vhodným rozložením provozu jednotlivých zařízení atd. [4].

### 5.3.1. Způsoby zapojení kompenzace:

#### Individuální

Kompenzační zařízení je připojeno na svorky zařízení (motoru). Výhodou tohoto zapojení je kompenzace jalových výkonů přímo v místě vzniku a nedochází tak k přetěžování přívodů a celé sítě. Vznikají nižší ztráty a úbytky na vedení. Využití u asynchronních motorů se špatným účinníkem.

#### Skupinová

Kompenzační zařízení je připojeno na přípojnice skupinového rozvaděče. Výhodou oproti individuální kompenzace je nižší velikost kapacitního výkonu a tím lepší využití kondenzátorů. Využívají se u výrobních linek s více asynchronními motory.

## Centrální

Kompenzace jalového výkonu je provedena v jednom místě, nejčastěji v podružném rozvaděči. Ve vlastních rozvodech nedochází k odlehčení sítě od přenosu induktivního výkonu tzv. kompenzace vůči distributorovi sítě.

### 5.3.2. Zvýšení zkratového výkonu sítě v přípojném bodě

Snížení vlivu zařízení na síť můžeme ovlivnit jeho připojením na síť s velkým zkratovým výkonem nebo zesílení sítě na dostatečný zkratový výkon. Omezíme tak vlivy kolísání a zvýšíme kvalitu napětí v přípojném bodě soustavy. Dojde také k potlačení kolísání napětí způsobené změnou činného a jalového výkonu. Zvýšení zkratového výkonu můžeme dosáhnout několika způsoby:

- Zvětšení průřezů napájecího vedení (zdvojení přívodů)
- Zvýšení zkratového výkonu napájecího transformátoru
- Připojení synchronního generátoru, synchronního kompenzátoru
- Využití sériové kompenzace pro snížení impedance napájecího vedení
- Připojení na vyšší napěťovou hladinu

### 5.3.3. Dynamické kompenzátory jalového výkonu

Dynamické kompenzátory je vhodné použít pro kompenzaci, kde dochází k velké změně jalového výkonu nebo není možné zvýšit zkratový výkon. Velikost změn ovlivňují zejména rychlosti reakce.

#### Omezení rozběhového proudu u motorů (Softstartéry)

Použitím softstartéru regulujeme rozběhy větších motorů řádově nad 5 kW. Při připojení motoru přímo na síť, by docházelo k odběru velkého špičkového proudu, který by mohl dosáhnout až desetinásobek hodnoty jmenovité. Softstartér umožňuje plynulý rozběh motoru pomocí nastavení řídicího úhlu tyristoru, kdy dokážeme lineárně zvyšovat napětí na požadovanou hodnotu. Zabraňujeme tak odebírání velkého záběrného proudu a vzniku rázů jak při přepínání motoru pomocí přepínače hvězda-trojúhelník. Výhodou použití softstartéru je i při brzdění motoru, kdy umožníme motoru pozvolnému doběhu (tzv. doběhová rampa) bez větších rázů a tím i nižší opotřebení stroje [14].

#### Statické kompenzátory

Statické kompenzátory jsou tvořeny kapacitními nebo induktivními prvky. K řízení kompenzačního výkonu dochází skokově. Pro plynulejší řízení se využívá fázové řízení. Využití této metody jsou díky nízkým ztrátám (cca 0,5%  $S_n$ ) a menší náklady. Velký vliv na účinnost kondenzátorů má provozní teplota a hlavně frekvenční závislost jejich impedance. Při připojení na síť se zdrojem harmonických bude docházet k nárůstu proudu a zatěžování kondenzátoru, tak i části sítě. Tento typ kompenzace se využívá v sítích nízkého a vysokého napětí, kde dochází k malým úrovním energetického rušení. Výhodou oproti rotačním kompenzátorům je absence rotačních částí, které způsobují vyšší ztráty a vyšší náročnost na údržbu [4], [8].

## Aktivní filtry

Aktivní filtry využívají sériové nebo paralelní zapojení řízených generátorů. Podle typu zapojení lze ovlivňovat kvalitu proudu, napětí nebo obou z parametrů. Paralelní filtry odstraňují nežádoucí harmonické proudů. Je schopen generovat složky opačného směru, které pošle zpět do sítě. Tímto způsobem filtruje odebraný proud zátěže a tím upravuje i vyvolanou deformaci napětí. U sériových filtrů dochází k udržování požadované hodnoty a tvaru napětí. Dokáže tak udržet amplitudu napětí, kompenzovat kolísání, odstranit harmonické a zajistit symetrii napětí. Jako generátor proudu nebo napětí se používají výkonové tranzistory IGBT, které vhodným spínáním dosáhnou požadovaný tvar proudu procházející filtrem. Tento proud obsahuje velké množství harmonických, proto se mezi vývody filtru a sítě zapojují pasivní filtry pracující jako dolní propust. Z vlastností zapojení vychází fakt, že paralelní zapojení upravuje rušivé účinky zátěže, kdežto sériové zapojení upravuje kvalitu napětí směrem k zátěži [8].

## Statické zdroje UPS

UPS (Uninterruptible Power Supply) slouží jako záložní zdroje pro zařízení, u kterých nesmí dojít k přerušení napájení. Používají se i jako kompenzátory kvality napětí. Dokážou stabilizovat kolísání napětí v síti. Zapojení UPS s delta konverzí zapadá do napěťově a frekvenčně nezávislých zdrojů. V normálním režimu je část elektrické energie využívána pro nabíjení akumulátoru přes delta konvertor. Tato část energie je dána rozdílem vstupní a výstupní hodnoty. Rozdíl je vyrovnáván delta invertorem, který řídí vstupní proud a dobíjení akumulátoru. Při výpadku je zátěž napájena z akumulátoru přes hlavní invertor. UPS tak může sloužit k eliminaci rušivých vlivů sítě, zejména proti napěťovým špičkám, přepětím, podpětím, frekvenčnímu kolísání, harmonickému zkreslení atd. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je vysoká pořizovací a provozní cena. Každé 4 až 5 let je potřeba vyměnit přibližně 2/3 akumulátorů. Výhodou je kompatibilita s ostatními náhradními zdroji, vysokou účinností přeměny energie delta konvertorem a malé ztráty [12].



## Závěr

U vyhodnocených dat docházelo k překročení dovolených hodnot Plt a Pst. K překročení těchto hodnot může dojít párkrát za den v případě, že nedojde k ovlivnění světelných obvodů během doby svícení a celková hodnota míry flikru nepřekročí meze dané normou. Hodnota flikru je jeden z hlavních parametrů, kterým můžeme prokázat kvalitu napětí odebíranou odběratelem. Kompenzace ve veřejných distribučních sítích zajišťují přenosové společnosti ve spolupráci s výrobcí a distributory. Pomocí systémových služeb regulují jednotlivé parametry sítě. Přenosová společnost nakupuje podpůrné služby k zajištění systémových služeb. Patří zde zejména regulace napětí, frekvence, výkony a v neposlední řadě obnova elektrizační soustavy.

V průmyslových oblastech, jak už jsme si rozebrali, využíváme dynamické kompenzátory. Jejich výhodou je využívání polovodičových součástek a rychlá odezva na změnu. U klasických kompenzátorů tvořených elektromechanickým spínáním docházelo k přechodným jevům a tím rychlejšímu opotřebení.

K prokázání kvality se využívají normou schválené měřicí přístroje jako např. zmíněný BK ELCOM nebo Chauvin Arnoux C. A 8336. Tyto přístroje měří jednotlivé parametry sítě. Z analýzy naměřených parametrů jsme schopni navrhnou správně fungující prvky kompenzace.

## Literatura

- [1] Norma ČSN EN 50160: Charakteristika napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí. 3 vydání. 2011.
- [2] SANTARIUS, Pavel. *Elektromagnetická kompatibilita*. Ostrava, 2007. Skripta. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [3] Norma ČSN EN 61000-2-4 ed. 2: *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - část 2-4: Prostředí - Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech*. Vydání 2. Český normalizační institut, 2003.
- [4] GALVAS, Josef, Pavel SANTARIUS a Petr KREJČÍ. *Poruchy napětí: Část 5.1.4. Flikr* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://copperalliance.cz/resources/kvalita-elektricke-energie5-1-4/?download=please>
- [5] ČERMÁK, Jiří. *Kvalita elektrické energie* [online]. 28.5.2015 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/kvalita-elektricke-energie/>
- [6] Norma PNE 33 3430-2: *Parametry kvality elektrické energie Část 2: Kolísání napětí*. Vydání 2. 1999.
- [7] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [8] RUSEK, Stanislav a Jiří GURECKÝ. *Přenos a rozvod elektrické energie*. Ostrava, 2001. Skripta. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [9] ŠŤASTNÝ, Vítězslav. *Změny napětí, flikr a nesymetrie* [online]. 17. 3. 2010 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.energetikainfo.cz/33/zmeny-napeti-flikr-a-nesymetrie-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqOhwzFctmzXaN7jHtA2ItM/>
- [10] BK - ELCOM: *Komplexní systém monitoringu a analýzy kvality elektřiny Uživatelský manuál* [online]. Verze 2.7.0. Ostrava: ELCOM, a.s. Divize Virtuální instrumentace, 2008 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [www.elcom.cz](http://www.elcom.cz)
- [11] C.A 8336 - *Třífázový analyzátor elektrických sítí: Katalogový list C.A8336-přehledový C.A* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/analyzatory/ca8336.html>
- [12] MORAVEC, Jan. *Záložní zdroje elektrické energie: 2.díl: Statické zdroje*. *Oenergetice.cz* [online]. 13.10.2015 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/zalozni-zdroje-elektricke-energie-2-dil-staticke-zdroje/>
- [13] Eliminace poklesů a výpadků napětí v síti závodu. *BluePanther* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.blue-panther.cz/eliminace-poklesu-a-vypadku-napeti-vsiti-zavodu>
- [14] Spoštění motorů - softstartéry. *Press Hammer* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.press-hammer.cz/sposuteni-motoru.html>