

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

katedra elektroniky a automatizace



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Měření a analýza kvality elektrické energie

Autor práce: Petr Marek

Vedoucí práce: Ing. Jakub Svatoš

Praha 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Měření a analýza kvality elektrické energie*, vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které uvádím v seznamu odborné literatury.

V Praze, 1. Dubna 2015

.....

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Jakubovi Svatošovi za odborné vedení práce a poskytnuté informace, kterých se mi v průběhu práce dostalo.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá zpracováním a měřením kvality napětí elektrické energie. Teoretickou kapitolu tvoří rozbor metod k vyhodnocování kvality elektrické energie. Nejprve jsou vysvětleny přechodové děje, deformace napětí, účinník, výkon a jeho vymezení, následně pak kompenzace účinníku, činitelé plnění, výkyvu a tvaru. V závěru teoretické části je popsáno celkové harmonické zkreslení THD (Total Harmonic Distortion) pro měření kvality elektrické energie. V této části je vysvětleno, proč je důležité kvalitu elektrické energie sledovat a jaký vliv má kvalita elektrické energie na uživatele a spotřebiče, které používá. Dále způsoby měření THD a jak systémy fungují. Teoretické kapitoly slouží jako příprava pro měření a vyhodnocení kvality elektrické energie v souladu s normou ČSN EN 50160 (Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě). V následující kapitole jsou výsledky konkrétního vlastního měření. Je zde uveden přístroj Metrel MI 2192, kterým bylo měření provedeno. Je zde popsáno jakým způsobem se s přístrojem měří a jak byly zpracovány naměřené hodnoty. V závěru práce jsou vyhodnoceny výsledky a navrženy následné nápravné opatření.

Klíčová slova

Kvalita elektrické energie, FFT, Harmonické zkreslení, Napětí

Abstract

This bachelor thesis deals with the processing and measurement of electrical energy quality of the voltage. The theoretical section is composed of an analysis of methods used for the evaluation of electrical energy quality. The section is opened by an explanation of transitional processes, voltage deformation, power factor, power and its definition, followed by an explanation of power factor compensation, filling factor, crest factor and form factor. Finally, the Total Harmonic Distortion (THD) and its use for the measurement of electrical energy quality is described. It is also explained why it is important to monitor the quality of electrical energy and what influence the quality has on the end user, followed by ways how to measure THD and how the systems work. The theoretical section is used as grounds and preparation for measurement and quality assessment of electrical energy quality in accordance with the ČSN EN 50160 norm (Characteristics of voltage of electrical energy supplied from the public distribution network). The results of measurement are in the following section. The measurements were carried out with the Metrel MI 2192 instrument. It is also described how the instrument is used for measurement and how the measured values were processed. The conclusion of this thesis contains an analysis of the results and recommendations of corrective actions.

Keywords

Power quality, FFT, Harmonic Distortion, Voltage

Obsah

Abstrakt	1-4
Klíčová slova	1-4
Abstract	1-5
Keywords	1-5
Seznam obrázků	7
Seznam symbolů a zkratek	8
1 Úvod	9
2 Cíle práce	10
3 Kvalita elektrické energie	11
3.1 Přechodové děje	11
3.2 Deformace napětí	11
3.3 Účinník	11
3.4 Výkon a jeho vymezení	11
3.4.1 Elektrický výkon činný	12
3.4.2 Elektrický výkon zdánlivý	13
3.4.3 Elektrický výkon jalový	13
3.4.4 Výkonový trojúhelník	14
3.4.5 Deformační výkon	14
3.5 Kompenzace účinníku	15
3.6 Činitel plnění, výkyvu a tvaru	15
3.6.1 Činitele plnění	16
3.6.2 Činitel výkyvu	16
3.6.3 Činitel tvaru	16
3.7 Odchylky napájecího napětí	17
3.7.1 Rychlé změny napětí	17
3.7.2 Flikr	18
3.8 Podpětí a přepětí	19
3.9 Frekvence sítě	19
3.10 Přerušení napájecího napětí	21
3.10.1 Krátkodobá přerušení napájecího napětí	21

3.10.2	Dlouhodobá přerušení napájecího napětí.....	21
3.11	Total Harmonic Distortion (THD).....	21
3.12	THD pro měření kvality elektrické energie.....	21
3.12.1	THD + N.....	22
3.13	Diference napětí v rámci norem.....	23
4	Měření a zpracování výsledků.....	25
4.1	Power link v 5.5.....	26
4.2	Frekvence.....	27
4.3	Napětí U_1	29
4.4	Celkové harmonické zkreslení (Total Harmonic Distortion), THD.....	32
5	Zhodnocení a doporučení.....	36
6	Závěr.....	37
7	Seznam odborné literatury.....	38
	Seznam citací.....	38

Seznam obrázků

Obrázek 1 Výkonový trojúhelník	14
Obrázek 2 obecný příklad průběhu proudu odebíraný osobním počítačem	15
Obrázek 3 Dovolené odchylky napájecího napětí	17
Obrázek 4 Rozdíl mezi dvěma spojujícími se kmitočty.....	18
Obrázek 5 Perioda T sinusového průběhu frekvence napětí	20
Obrázek 6 Frekvenční spektrum	22
Obrázek 7 Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech U_n pro řády harmonických až do 25.....	23
Obrázek 8 Deformace sinusoidy napětí vlivem rušivých elementů	24
Obrázek 9 Metrel MI 2192	26
Obrázek 10 Vlastní měření: Celkový průběh frekvence v časovém horizontu vlastního měření.....	28
Obrázek 11 Vlastní měření: Celkový průběh napětí U_1 v časovém horizontu vlastního měření 1.....	29
Obrázek 12 Vlastní měření: Celkový průběh U_1 v časovém horizontu vlastního měření 2.....	30
Obrázek 13 Vlastní měření: Celkový průběh U_1 v časovém horizontu vlastního měření 3.....	31
Obrázek 14 Vlastní měření: Celkový průběh U_1 v časovém horizontu vlastního měření 4.....	32
Obrázek 16 Vlastní měření: Celkový průběh THD v časovém horizontu vlastního měření 1.....	33
Obrázek 17 Vlastní měření: Celkový průběh THD v časovém horizontu vlastního měření 2.....	33
Obrázek 18 Vlastní měření: Celkový průběh THD v časovém horizontu vlastního měření 3.....	34
Obrázek 19 Vlastní měření: Celkový průběh THD v časovém horizontu vlastního měření 4.....	35

Seznam symbolů a zkratek

Označení	Název	Základní jednotka
P	elektrický výkon	Watt
W	Práce	Joule
t	Čas	Sekunda
T	Perioda	Sekunda
U	Napětí	Volt
I	Proud	Ampér
φ	Úhel účíníku	Radián
Q	Činný elektrický výkon	Reaktanční voltampér
S	Zdánlivý elektrický výkon	Voltampér
K_p	Činitel plnění	-
K_t	Činitel tvaru	-
k_v	Činitel výkyvu	-
U_{AV}	Střední hodnota napětí	Volt
U_{max}	Maximální hodnota napětí	Volt
I_{max}	Maximální proud	Ampér
I_{ef}	Efektivní proud	Ampér
f	Frekvence	Hertz
T	Perioda	Sekunda
THD	Celkové harmonické zkreslení	(%)
U_n	Nominální napětí	Volt
U_1	Napětí první harmonické	Volt
U_{ef}	Efektivní napětí	Volt

1 Úvod

Elektrická energie je dnes bez pochyby jednou z nejdůležitějších potřeb moderního lidstva. V přírodě vzniklo nemnoho zdrojů, z kterých je možné získat po zpracování elektrickou energii. Elektrická energie se především díky své schopnosti transformace na jiné podoby, stala nejdůležitější formou, jakou zatím známe. Vyrábíme ji dnes v elektrárnách různého druhu (jaderné, vodní, větrné, uhelné, sluneční, geotermální, atd.). Na území České republiky působí několik nezávislých subjektů, které zajišťují dodávku elektrické energie spotřebitelům. Každý jedinec působí na svém vyhrazeném území, kde má na starost všechny jednání přímo související s dodávkou elektrické energie.

V teoretické části této práce jsou podle státní normy ČSN EN 50160 vysvětleny základní charakteristiky napájecího napětí, rozbor metod a vyhodnocování kvality, přechodové děje, deformační výkon, odchylky napájecího napětí, podpětí, předpětí, frekvence, rychlé změny napětí a difference v rámci norem. Jakým způsobem působí na kvalitu sítě a jakým způsobem ji ovlivňují.

V praktické části se budeme zabývat Technickou fakultou, kde si v rámci měření vysvětlíme, jakým způsobem provoz přístrojů, počítačů a jiných zařízení ovlivňují kvalitu elektrické energie. A právě kvalita elektrické energie je klíčovým tématem této práce. Práce se zabývá Technickou fakultou, kde se v rámci předmětů či cvičení velmi často měří s elektricky napájenými měřidly veličin. Právě kvalita, kolísání napětí, kolísání kmitočtu elektrické sítě a jiné nepříznivé jevy způsobují nepředvídatelné náhodné chyby při měření. Studenti tedy mohou naměřit zkreslené hodnoty.

V závěru práce jsou výsledky měření rozebrány, zpracovány do tabulek a grafů, porovnány s normou ČSN EN 50160 a vyhodnoceny.

2 Cíle práce

Cílem práce je určení kvality elektrické energie na Technické fakultě. Zmapovat, jakým způsobem je odebírán proud ze sítě a jak lidé svou prací, zapínáním a vypínáním elektrických přístrojů, počítačů a jiných zařízení kvalitu energie ovlivňují. V teoretické části práce je uveden přehled o kvalitativních požadavcích na napájecí napětí a povolených tolerancí jednotlivých parametrů a to především podle normy ČSN EN 50160. Mezi hlavní charakteristiky napájecího napětí patří jeho velikost a odchylky, kmitočet sítě, rychlé změny napětí (tzv. flickr), krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí, přepětí a nesymetrie. Práce obsahuje měření dle požadavků platných českých státních norem. Měřeno bylo přerušovaně čtyři týdny v areálu Technické fakulty pomocí třífázového analyzátoru elektrické energie verze *MI 2192* značky *METREL*, který slouží k měření veličin týkajících se elektrické energie. Měření bylo specifikováno na THD, frekvenci a napětí. Součástí práce je posouzení výsledků měření, následně jejich vyhodnocení, zpracování grafů a v neposlední řadě návrhy na odstranění nežádoucích jevů.

3 Kvalita elektrické energie

Elektrická energie přichází k uživateli přes soustavu výroby, přenosu a distribuce. Každá část této soustavy podléhá poškození a poruchám způsobeným elektrickým, mechanickým a chemickým namáháním, jejich původ je v různých příčinách zahrnujících extrémní počasí, obvyčejné opotřebení, stárnutí a působení lidských činností, zvířat, atd. Takové poškození může znehodnotit nebo i přerušit dodávku jednomu nebo mnoha uživatelům.

3.1 Přechodové děje

Přechodové děje jsou procesy, které způsobují nestálost napětí na velmi krátký časový úsek. Tento časový úsek se udává v milisekundách, hodnota rozkmitu bývá až několik tisíc voltů s velmi vysokým nárůstem i poklesem. Přechodové děje jsou způsobené častým zapínáním a vypínáním spotřebičů v obvodu či okruhu. Následky bývají různé. Nejčastěji dochází k bezprostřednímu výpadku proudu, jinak také k narušení izolace zařízení a systému, které vede k dalším problémům, jako jsou například závady na instalaci, narušení sítě, či kompletní selhání elektroinstalace.

3.2 Deformace napětí

Deformace napětí v domácnosti, je způsobené chybným uspořádáním spotřebičů s vyšším odběrem ze sítě. Mezi ně patří například klasické domácí spotřebiče, bílá technika, televize či kancelářské vybavení (PC, tiskárna, scanner, fax). Všechny tyto spotřebiče mají zásadní vliv na změnu harmonické křivky, celkovou spotřebu energie systému a poškození spotřebičů.

3.3 Účinník

Účinník slouží ke kvantitativnímu vyjádření míry využití dodávaného napětí a odebíraného proudu ze sítě. Malý účinník je problém zejména kvality dodaného proudu soustavy. Jinými slovy udává, jak velkou část energie odebranou ze sítě lze přeměnit na užitečnou energii. Dalšími faktory jsou induktivní zatížení způsobené elektricky poháněnými motory, transformátory či velmi intenzivní zářivky. Kvůli nižšímu účinníku roste spotřeba energie, kterou je potřeba do systému dodat. Vlivem těchto faktorů vzniká nechtěná tepelná energie. Kvalita dodávané elektrické energie, bývá jednou z nejdůležitějších faktorů pro tržní a prodejní hodnotu, který stanoví výslednou prodejní cenu.

3.4 Výkon a jeho vymezení

Výkon je obecně definován jako množství vykonané mechanické práce W (J) za jednotku času t (s). Určuje, jak rychle byla práce vykonána. Elektrický výkon je fyzikální veličina vyjadřující vykonanou práci W (J) za jednotku času t (s), kde práci koná elektrická síla. Označujeme ho písmenem P a měříme jednotkou Watt (W).

$$P = \frac{W}{t} \quad (1)$$

Kde:

P = elektrický výkon (W)

W = vykonaná práce (J)

t = jednotka času (s)

Okamžitý výkon elektrického stejnosměrného proudu je definován součinem hodnot okamžitého napětí a proudu:

$$P = U \cdot I \quad (2)$$

Kde:

P = elektrický výkon (W)

U = napětí (V)

I = proud (A)

Jsou-li vývoje proudu a napětí pravidelné s periodou, poté je činný výkon určen střední hodnotou výkonu za dobu T . Tomuto výkonu lze eventuální rozumět jako střední výkon řádem jedné periody. Pro měření střídavého proudu platí následující vztah:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U \cdot I dt \quad (3)$$

3.4.1 Elektrický výkon činný

Činný výkon (P) nám udává reálnou složku střídavého elektrického proudu v obvodu. Tento výkon se ve spotřebiči přeměňuje na jiný druh energie, koná užitečnou práci, odtud název činný. Jako příklad je možné uvést například žárovku či topné těleso. Základní jednotkou je watt (W).

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

Kde:

P = činný výkon (W)

U = napětí (V)

I = proud (A)

φ = úhel účinníku

Z rovnice (4) vidíme, že činný výkon závisí na fázovém posunu φ mezi napětím a proudem. Bude-li zátěž čistě odporová, jsou napětí i proud ve fázi. Fázový posun φ je tedy roven nule a $\cos \varphi = 1$. Průběh okamžitého výkonu nabývá pouze kladné hodnoty, je dodáván pouze činný výkon. Bude-li spotřebič obsahovat krom rezistorů i induktory nebo kapacity, tak $\cos \varphi < 1$ a činný výkon konající činnou práci bude nižší.

3.4.2 Elektrický výkon zdánlivý

Zdánlivý výkon je významný zejména z toho důvodu, že mnoho elektrotechnických prvků má vlastnosti závislé jak na napětí, tak na proudu, takže vlastnosti těchto prvků se odvozují od zdánlivého výkonu. Jelikož se jalový výkon ve spotřebiči neproměňuje, snahou tedy je přenášený jalový výkon minimalizovat (vhodným návrhem, případně s využitím tzv. kompenzátorů účinníku). Zdánlivý výkon chápeme jako maximální výkon, dosažitelný při nulovém fázovém posuvu. Jde tedy o maximální hranici elektrického výkonu elektrického střídavého proudu. Základní jednotkou je volt-ampér.

$$S = U \cdot I \quad (5)$$

Kde:

S = zdánlivý výkon (VA)

U = napětí (V)

I = proud (A)

3.4.3 Elektrický výkon jalový

Jalový elektrický výkon je část složky zdánlivého výkonu. Základní jednotkou je reaktanční volt-ampér (VAR), kde se jedná o výkon, díky jemuž vzniká magnetické pole. Elektrický výkon, který práci nekoná, pouze prochází mezi zdrojem a zátěží (elektrickým spotřebičem, elektrickým motorem).

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (6)$$

Kde:

Q = jalový výkon (VAR)

I = proud (A)

U = napětí (V)

3.4.4 Výkonový trojúhelník

Zdánlivý výkon harmonických průběhů proudu a napětí je tedy možné znázornit pomocí výkonového trojúhelníku ve tvaru:

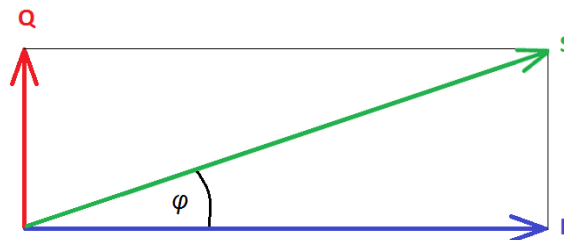
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (7)$$

Kde:

S = Zdánlivý elektrický výkon (VA)

P = Činný elektrický výkon (W)

Q = Jalový elektrický výkon (VAR)



Obrázek 1 Výkonový trojúhelník

V domácnostech je možné veličinu účinníku zanedbat (fázový posun mezi průběhem elektrického napětí a elektrického proudu), protože domácí elektrospotřebiče, jež obsahují elektromotory o maximálních výkonech přibližně 2 kW a nezpůsobují ve veřejné elektrické síti žádné velké problémy s účinníkem.

3.4.5 Deformační výkon

Souhrnný zdánlivý výkon můžeme rozložit na zdánlivý výkon S první harmonické složky proudu a na tzv. deformační výkon P_{def} . Dále můžeme předpokládat, že zdánlivý výkon S lze dále rozdělit na činný výkon P a jeho jalovou složku Q . Deformační výkon lze tedy vyjádřit následujícím výrazem.

$$P_{def} = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (8)$$

Kde:

P_{def} = Deformační výkon (VA)

S = Zdánlivý elektrický výkon (VA)

P = Činný elektrický výkon (W)

Q = Jalový elektrický výkon (VAr)

3.5 Kompenzace účinníku

Účinník vyjadřuje, jak velkou část zdánlivého výkonu lze přeměnit na užitečnou energii. Účinník závisí na vzájemném fázovém posuvu proudu a napětí. Účinník je bezrozměrný a jeho hodnota se pohybuje od nuly do jedné, přičemž jednotkový účinník znamená, že celý výkon je činný (fázový posuv je nulový), nulový účinník znamená, že celý výkon je jalový. Mnoho běžně používaných spotřebičů má induktivně odporový charakter, například asynchronní motory, zářivky, transformátory. U tohoto druhu spotřebičů je potřeba ke své činnosti jalový výkon induktivního charakteru. Jalový výkon ale nevykonává práci a pouze osciluje mezi spotřebičem a zdrojem napětí a díky němu vznikají ztráty. Proces kompenzace funguje tak, že využijeme kondenzátory k výrobě indukovaného jalového výkonu přímo u spotřebiče. Výsledkem tohoto kroku bude zmenšení proudu, který protéká vedení a tím pádem menší ztráty.

Jelikož rozvod většiny spotřebičů v průmyslu jsou trojfázové, stejným způsobem, tedy trojfázově, provádíme i kompenzaci. Systém funguje tím způsobem, že pomocí kondenzátorů sestrojíme trojúhelník nebo hvězdu. Podle jalového výkonu v síti je automatickým regulátorem prováděno připojování nebo odpojování dle potřeb paralelní baterie sítě.

3.6 Činitel plnění, výkyvu a tvaru

Elektromechanické měřicí přístroje bývají nejčastěji cejchovány v efektivních hodnotách, ale při měření může docházet ke zkreslení. Na obr. 2. je zobrazen příklad činitele plnění, výkyvu a tvaru na konkrétním případě.



Obrázek 2 konkrétní případ průběhu proudu odebíraný osobním počítačem

<http://elektrika.cz/data/clanky/vyssi-zatizeni-vodicu-a-odebirany-proud-v-case>

3.6.1 Činitele plnění

Nejčastěji se uplatňuje v silnoproudé elektrotechnice a elektroenergetice. Jde o vztah mezi střední a maximální hodnotou napětí.

$$K_p = \frac{U_{av}}{U_{max}} \quad (9)$$

Kde:

K_p = činitel plnění

U_{av} = střední hodnota napětí (V)

U_{max} = maximální hodnota napětí (V)

3.6.2 Činitel výkyvu

Ovlivňuje dynamické vlastnosti převodníku přístroje na měření. Přesnost je zaručena jen do maximální míry činitele výkyvu. Jde o vztah mezi maximální a efektivní hodnotou napětí. Platí pouze pro sinusový průběh.

$$K_v = \frac{U_{max}}{U_{ef}} \quad (10)$$

Kde:

K_v = činitel výkyvu

U_{max} = maximální hodnota napětí (V)

U_{ef} = efektivní hodnota napětí (V)

3.6.3 Činitel tvaru

Přístroje s převodníkem střední hodnoty jsou určeny jen pro měření harmonických průběhů s činitelem tvaru. Pokud měříme napětí v odlišném tvaru, považujeme to za systémovou chybu měřené. Přístroje měřící skutečně efektivní hodnoty se označují jako TMRS (od anglického true root mean-square). Jde o poměr mezi efektivní a střední hodnotou. Platí pouze pro sinusový průběh.

$$K_t = \frac{U_{ef}}{U_{av}} \quad (11)$$

Kde:

K_t = činitel tvaru

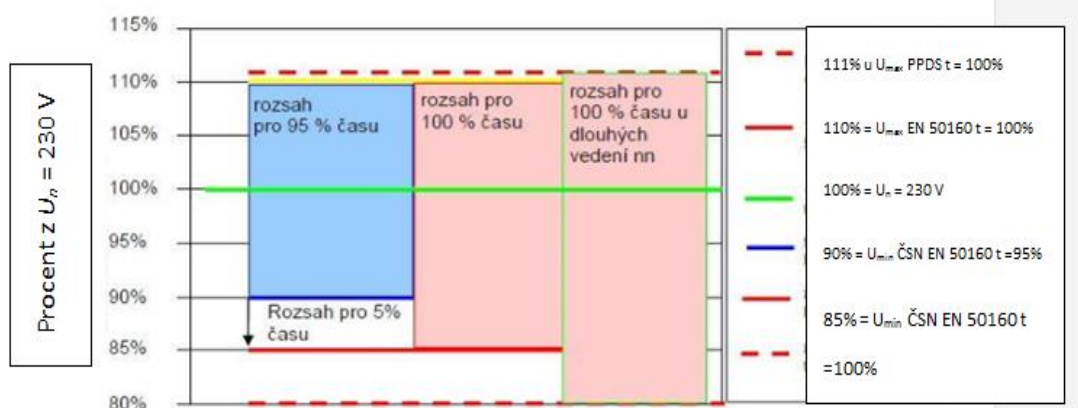
U_{ef} = efektivní hodnota napětí (V)

U_{av} = střední hodnota napětí (V)

3.7 Odchyly napájecího napětí

V distribučních sítích nízkého napětí není prováděno žádné řízení napětí. Sítě jsou navrženy s ohledem na to, že provozovatel distribuční sítě má omezené možnosti ovlivňovat zvyšování zatížení odběratelů. Odchyly napájecího napětí v distribučních sítích by ovšem neměly přesáhnout $\pm 10\%$ (výjimkou jsou situace způsobené poruchami nebo přerušením napětí). Dle pravidel provozu distribučních soustav, jsou dovolené odchyly napájecího napětí pro sítě nízkého napětí.

- $+10\% / -10\%$ od jmenovité hodnoty ($\geq 207\text{ V}$; $\leq 253\text{ V}$) u 95 % měřicích intervalů
- $+10\% / -15\%$ od jmenovité hodnoty ($\geq 195,5\text{ V}$; $\leq 253\text{ V}$) pro 100 % měřicích intervalů
- u dlouhých vedení $+11\% / -20\%$ od jmenovité hodnoty ($\geq 184\text{ V}$; $\leq 255,3\text{ V}$) pro 100 % měřicích intervalů
- v sítích vysokého napětí a $110\text{ kV} \pm 10\%$ od jmenovité (dohodnuté) hodnoty u 95 % měřicích intervalů.



Obrázek 3 Dovolené odchyly napájecího napětí

http://www.eru.cz/user_data/files/sdeleni_elektro2/PPDS/PravidlaPDS.pdf

3.7.1 Rychlé změny napětí

V distribučních sítích nízkého napětí se někdy objevují rychlé změny napětí. Rychlou změnu napětí můžeme chápat jako, když při výchozím stavu, kdy máme ustálené hodnoty, dojde k rychlému snížení efektivní hodnoty napětí. Rychlé změny napětí charakterizujeme ji dobou trvání přechodového jevu mezi dvěma stavy a dále také parametry rozdílu mezi počáteční ustálenou hodnotou a ustálenou hodnotou po změně. Rychlé změny napětí mohou být způsobeny několika jevy. Jako příklad lze uvést náhlé zvýšení nebo snížení zatížení, jenž je někdy spojované s vypínáním poruchy. Jsou-li okamžité změny napětí vyvolány rozběhovým proudem motoru, tak rychlá změna

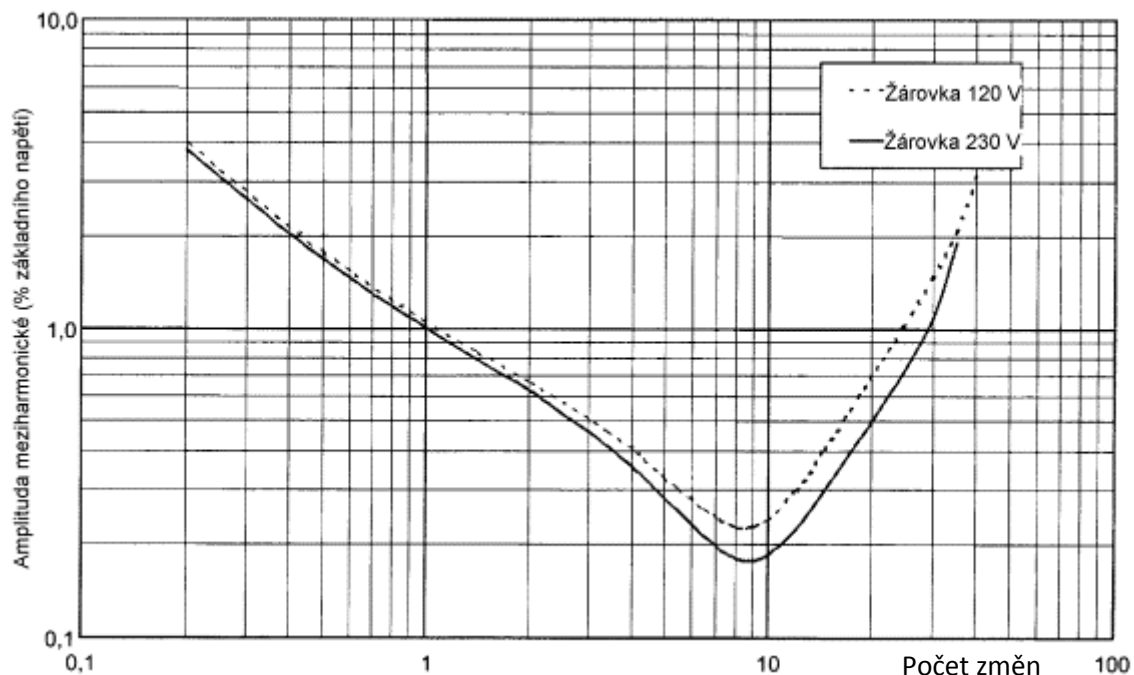
napětí začíná často strmým poklesem. Vše končí ve chvíli, když je dosažena taková hodnota napětí, která je stejná nebo menší, než byla hodnota napětí před zapnutím motoru.

Doba potřebná na pozorování tohoto jevu (označená jako Δt), je závislá na více okolnostech, jako je metoda spouštění motoru, velikost motoru, impedance sítě. Jestliže během rychlé změny poklesne napětí pod úroveň 90 % napájecího napětí, je to nutné považovat za krátkodobý pokles napětí.

3.7.2 Flickr

Elektrické spotřebiče, jako například žárovky připojené do veřejné distribuční sítě, vyžadují pro správnou funkci konstantní napětí. Odběratelé s proměnlivým výkonem však bohužel způsobují úbytky napětí. Rychlé periodické změny napětí, které nazýváme kolísání napětí, způsobují jev zvaný flickr. Tento jev se projevuje změnou zrakového vnímání, která ruší člověka při jeho činnosti. Tyto změny zrakového vnímání jsou vyvolány časovými změnami světelného toku vlivem rychlých změn napětí.

Flickr je znám již od zavedení energetických sítí. Rychle rostl s nárůstem počtu zátěží a spotřeby elektrické energie. Dříve byly konstrukce zařízení založeny na jednoduchém pozorování světelného proudu. Pokrokem bylo vytvoření modelu lidské odezvy (v podobě nepohodlí a nepříjemnosti při kolísání světelného toku). Prototyp byl vyroben pro wolframovou žárovku 60 W, 230 V (kdysi nejčastěji používaný zdroj světla v Evropě).



Obrázek 4 Rozdíl mezi dvěma spojujícími se kmitočty

http://homen.vsb.cz/~san50/Ceska/Normy/pojmy_kvality_energie.htm

Obr. 4 ukazuje práh vnímání flikru vykreslený pro procentuální napěťovou změnu (osa y) a počet změn (osa x). V případě, že se výška a frekvence změn nachází nad křivkou, dochází k rušení lidského pozorovatele. Pokud se ovšem pohybujete pod křivkou, vjem světla nelze vnímat. Čárkovaná křivka je pro wolframové žárovky s odlišným jmenovitým napětím (120 V používáno v Severní Americe).

Způsoby, jakými lze dle [4] rozdělit negativní vliv flikru na člověka lze charakterizovat do dvou skupin:

- Krátkodobá míra vjemu (P_{st}) je měřena po dobu deseti minut
- Dlouhodobá míra vjemu (P_{it}) je vypočítána z posloupnosti dvanácti hodnot P_{sti} po dobu dvouhodinového intervalu použitím vztahu:

$$P_{it} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (12)$$

3.8 Podpětí a přepětí

Přepětí je v základu jakékoli napětí mezi fází a zemí, které svou hodnotou překračuje amplitudu jmenovitého napětí. Podpětí je napětí, jehož hodnota je menší než jmenovité napětí. Způsob, jakým je možné snižovat negativní vjem podpětím v síti, má všeobecný název stabilizátor napětí. Automatické stabilizátory napětí mají za úkol vyřešit konkrétní problém, aniž by vytvářely problémy další.

Na přepětí je náchylná celá řada přístrojů, mezi něž patří například počítače, televize v domácnostech, audiovizuální technika, světelné regulátory, mikroprocesorová ovládání, satelity, skenery, apod. Přepětí nejčastěji vzniká úderem blesku. Během mikrosekundy rapidně stoupá potenciál neživých částí a potenciál ochranných vodičů všech elektrických zařízení propojená s uzemněním. Vzniká velký vyrovnávací proud, který protéká z uzemněných dílů napájecí sítě a datových spojů. Současně s tím vznikají ve smyčkách vodičů, které nejsou spojeny se zemničem, velmi vysoká napětí.

Na podpětí bývají nejvíce náchylné domácí spotřebiče. Lednice, mrazáky či pračky. Řešení problému s podpětím spočívá ve zlepšení kvality napájecí sítě. Bohužel se jedná o velmi finančně nákladné a obtížně uskutečnitelné řešení situace.

3.9 Frekvence sítě

Frekvence (dříve kmitočet) je fyzikální veličina, jež nám dává informaci o počtu opakování periodického děje za určený časový úsek. V obvodu střídavého proudu takto označujeme počet kmitů napětí či proudu za jednotku času. Frekvence se označuje písmenem f , základní jednotkou je Hertz.

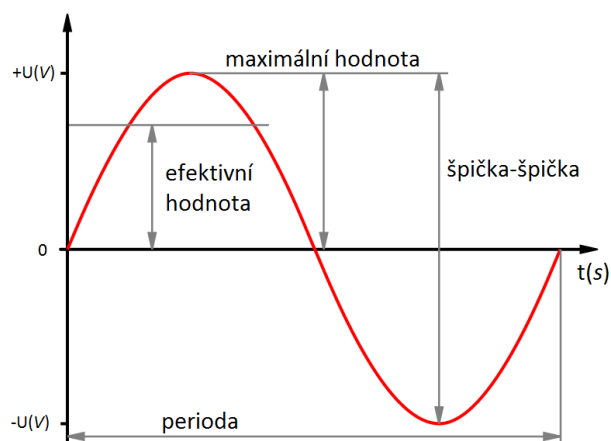
Další veličinu, kterou je třeba definovat, předtím než je možné určit konkrétně frekvenci sítě je perioda T . Vztah mezi frekvencí a periodou vychází z následujícího vztahu:

$$T = \frac{1}{f} \quad (13)$$

Kde:

T = perioda (s)

f = frekvence (Hz)



Obrázek 5 Perioda T sinusového průběhu frekvence napětí

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Sine_voltage.svg

V normě [4], se dále uvádí, že v distribučních sítích je jmenovitý kmitočet napájecího napětí 50 Hz a rozděluje se do dvou skupin:

- *Systemy se synchronním připojením k propojenému systému.*
- *Systemů bez synchronního připojení k propojenému systému. (tj. ostrovní napájecí systémy)*

Udržení konstantní frekvence soustavy tedy vyžaduje vysoký výkon výroby (možnost velké dodávky elektrické energie), který se přizpůsobuje v reálném čase jednotlivým odběrům. Budící soustava s regulací turbíny společně řídí energetický blok výroby. Budící soustavu tvoří zdroj regulovaného stejnosměrného proudu, který je dodáván do budícího vinutí synchronního generátoru a ovlivňuje velikost napětí a jalový výkon stroje. Regulace turbíny pak řídí velikost činného výkonu a kmitočet.

3.10 Přerušení napájecího napětí

Dle normy [4], je přerušení napětí rozdělováno do dvou kategorií. Krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí.:

3.10.1 Krátkodobá přerušení napájecího napětí

„Za normálních provozních podmínek je roční výskyt krátkodobých přerušení napájecího napětí v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Přibližně 70 % krátkodobých přerušení bývá kratší než 1 sekunda.

POZNÁMKA: V některých dokumentech se vychází z toho, že krátkodobá přerušení trvají do jedné minuty. Občas se však pro vyloučení dlouhodobých přerušení napětí používá řízené přerušení dodávky na tři minuty.“

ČSN EN 50160, *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, český normalizační institut, ICS 29.020, Praha, červen 2000, str. 11*

3.10.2 Dlouhodobá přerušení napájecího napětí

„Poruchová přerušení napětí jsou obvykle způsobena vnějšími událostmi nebo vlivy, kterým dodavatel nemůže předcházet. Pro roční četnost a doby trvání dlouhodobých přerušení není možné udat typické hodnoty. To je způsobeno velkými rozdíly v uspořádání a struktuře elektrických sil a rovněž nepředvídatelnými důsledky povětrnosti a vlivy třetích stran. Za normálních provozních podmínek může být roční četnost přerušení napětí delších než tři minuty menší než 10, avšak v závislosti na oblasti může dosahovat až 50.“ ČSN EN 50160, Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, český normalizační institut, ICS 29.020, Praha, červen 2000, str. 11

3.11 Total Harmonic Distortion (THD)

Historicky první zmínky o měření harmonického zkreslení pochází z oboru audiotechniky, kde se dodnes měří hodnoty THD pro zvukové karty. V případě, že hodnota THD narůstá, zvyšuje se hladina šumu na výstupu a snižuje se kvalita signálu. Celkové harmonické zkreslení je definováno jako poměr součtu amplitudy vyšších harmonických složek k výkonu základní frekvence. Pokud signál prochází neideální, nelineárním zařízením, další hodnoty se přidávají v harmonicky původních frekvencích.

3.12 THD pro měření kvality elektrické energie

Měření pro kalkulaci THD jsou na výstupu ze zařízení za vymezených předpokladů. THD se běžně vyjadřuje v procentech jako činitel zkreslení útlumu.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n U_h^2}}{U_1} \cdot 100 \% \quad (14)$$

Kde:

THD = celkové harmonické zkreslení (%)

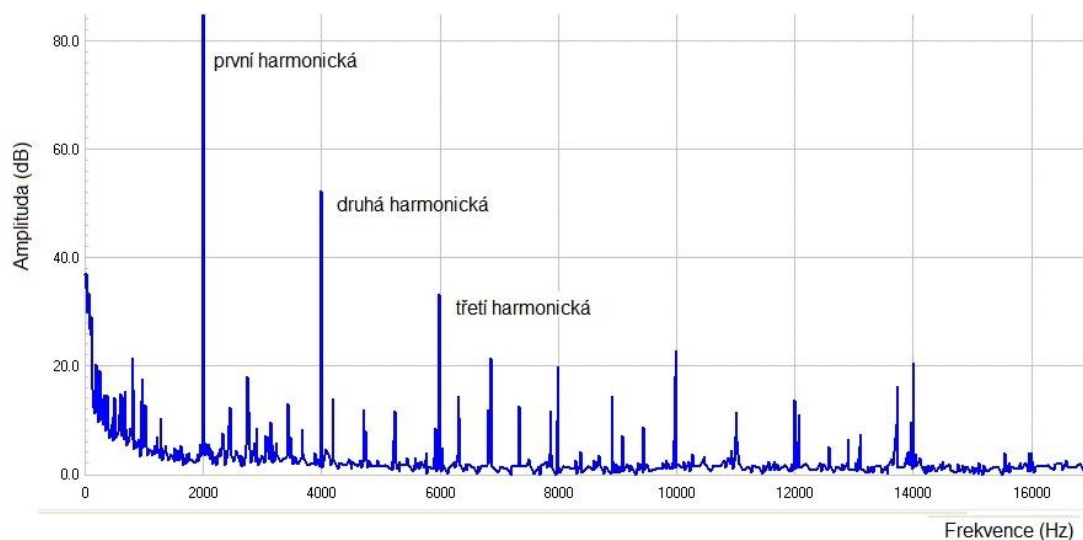
n = počet vyšších harmonických

U_h = efektivní hodnota h-té harmonické složky

U_1 = efektivní hodnota základní frekvence

3.12.1 THD + N

THD + N znázorňuje celkové harmonické zkreslení plus šum. Toto měření je mnohem běžnější a srovnatelné mezi zařízeními. To se obvykle měří zadáním sinusoidy, filtrování výstupu, a porovnání poměru mezi výstupním signálem s a bez sinusového průběhu.



Obrázek 6 Frekvenční spektrum

http://www.diracdelta.co.uk/science/source/t/o/total%20harmonic%20distortion/chart_image001.gif

Činitel harmonického zkreslení, bývá uváděn do souvislosti s proudem, což může být zavádějící. Tento parametr vystihuje pouze charakter zkreslení napětí bez ohledu na odebíraný proud a je přesně určen normou.

liché harmonické ne násobky 3		liché harmonické násobky 3		sudé harmonické	
řád harmonické n	harmonické napětí %	řád harmonické n	harmonické napětí %	řád harmonické n	harmonické napětí %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Obrázek 7 Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech U_n pro řády harmonických až do 25

<http://www.csres.cz/Upload/PNE%2033%203430-7%203.vyd%C3%A1n%C3%AD.pdf>

Úrovně pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, jelikož jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních jevů obtížně předvídatelné.

3.13 Diference napětí v rámci norem

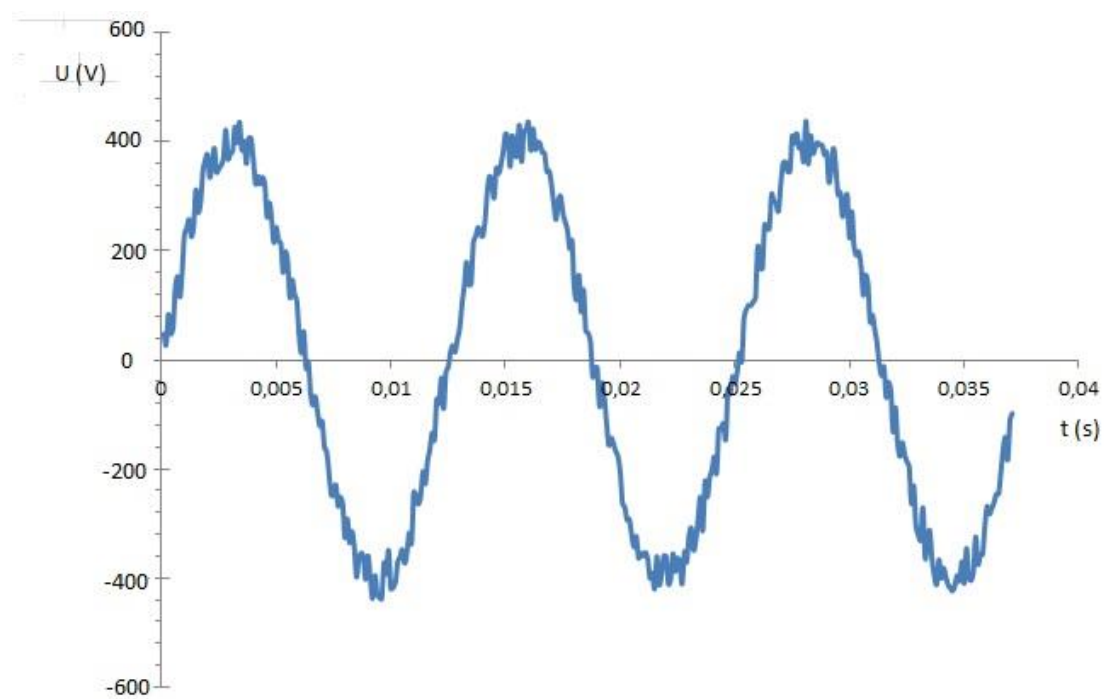
„krátkodobé poklesy jsou obecně způsobeny zkraty v zařízení odběratelů, nebo ve veřejné distribuční síti. Jejich četnost výskytu za rok se značně mění podle typu rozvodné sítě a budou sledovány. Mimoto může být jejich rozložení během roku velmi nepravidelné.

Směrné hodnoty:

Za normálních provozních podmínek může být očekávaný počet krátkodobých poklesů napětí během roku od několika desítek až do jednoho tisíce. Většina krátkodobých poklesů napětí má dobu trvání kratší než 1 sekunda a hloubku poklesu menší než 60 %. Mohou se však občas vyskytnout krátkodobé poklesy napětí s větší hloubkou a dobou trvání. V některých oblastech se mohou velmi často vyskytovat krátkodobé poklesy napětí s hloubkou poklesu mezi 10 % až 15 % U_c jako následek spínání zatížení v instalacích odběratelů “

ČSN EN 50160, *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*, český normalizační institut, ICS 29.020, Praha, červen 2000, str. 11

Nejvyššími rušivými elementy jsou spínané zdroje a kondenzátory. Jejich zapojení do sítě při spouštění těchto zařízení vytváří nerovnoměrnost napětí a proudu. Dochází tak ke krátkodobé deformaci sinusoidy napětí a snížení kvality dodávané ze sítě.



Obrázek 8 Deformace sinusoidy napětí vlivem rušivých elementů

4 Měření a zpracování výsledků

Měření probíhalo na Technické fakultě v suterénu katedry elektrotechniky a automatizace. Měřeno bylo čtyři týdny po sobě vždy v jiné učebně, abychom získali komplexnější přehled nad odběrem proudu a celkové THD.

- Měření 1.: Středa 18. únor 16:05 – Pátek 21. únor 13:16
První měření mělo za úkol nastavit základní hodnoty rozdílů během dne a noci. Dále pak sledovat denní periodické děje. Měřilo se v kanceláři, kde není předpokládáno vyšších vlivů vnějších činitelů. Toto měření mělo za úkol nastavit základní tvary grafů pro měření napětí a THD.
- Měření 2.: Středa 25. únor 14:19 – Pondělí 2. březen 1:00
Druhé měření vycházelo z parametrů prvního měření a navíc bylo prodloužené do konce víkendu. Účel tohoto měření bylo nalézt shodu či odlišnost s prvním měření a dále porovnat rozdíl mezi všedním dnem a víkendem.
- Měření 3.: Čtvrtek 5. březen 8:45 – Pondělí 9. březen 2:00
Třetí měření probíhalo v počítačové učebně, kde bylo zároveň zapnuto a připojeno 20 počítačů, nejlépe tak připomíná elektrickou síť menší kanceláře. Účel měření bylo zmapovat, zda více množství strojů a zařízení na jednom místě, v tomto případě osobní počítače, má vliv na kvalitu napětí v síti a celkové harmonické zkreslení.
- Měření 4.: Středa 11. březen 15:30 – Pondělí 16. březen 3:00
Čtvrté měření probíhalo v učebně, kde se nacházejí elektrické motory pro výuku předmětů. Cílem měření bylo zjistit, zda elektricky napájené motory s vyšším odběrem mohou mít zásadní vliv na kvalitu napětí v síti a celkové harmonické zkreslení.

Měření přístrojem firmy METREL technické označení MI 2192 (FW verze 5.50). Ukončení měření bylo načasováno vždy náhodně podle naplnění kapacity paměti přístroje.



Obrázek 9 Metrel MI 2192

<http://www.jais.ru/mi2192.htm>

Třífázový analyzátor elektrické energie verze MI 2192 slouží jako nástroj pro celkový rozbor distribučních sítí. Mezi jeho základní funkce patří tři vstupy pro zdroj napětí a vstupu pro připojení proudových kleští. Analyzuje charakteristiky dle státní normy EN 50160, která určuje hodnoty kvality napětí, dále její vrchní a spodní hranici, frekvenci, neregulérnosti a jiné anomálie jako jsou nesymetrie či přechodové děje. Přístroj má svojí vlastní interní paměť, měření tedy proběhlo tím způsobem, že zařízení bylo připojeno do sítě a hodnoty byly ukládány do paměti. Následně přes program Power link v 5.5 byly výsledky rozebrány a vyhodnoceny.

4.1 Power link v 5.5

Jednoduchý program, který velmi snadno komunikuje s přístrojem Metrel Mi 2192. V případě, že je přístroj současně připojen, je možné analyzovat okamžitá data, jinak lze čerpat z paměti přístroje. Program je schopen analyzovat veškeré parametry potřebné k výpočtu THD, detekovat anomálie a vykreslovat grafy dle nastavených parametrů.

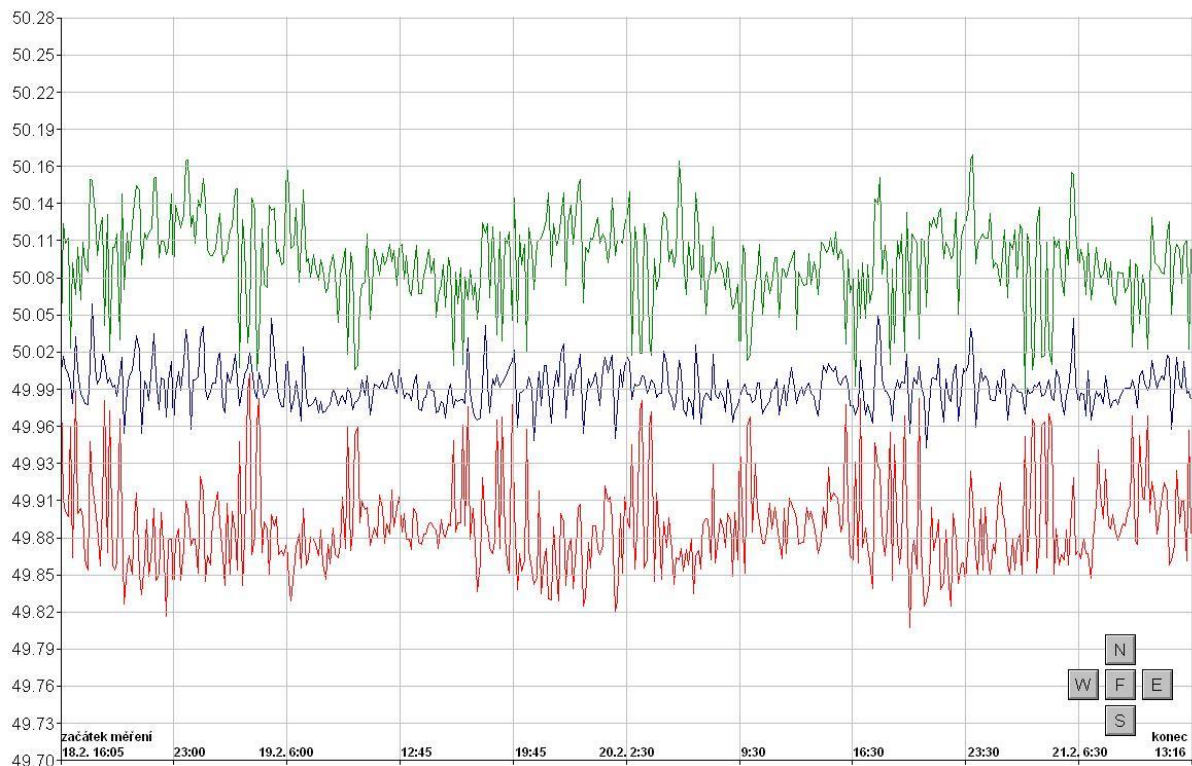
Tabulka 1 Power Link

Selected signals	64	Ph1	Ph2	Ph3	Total
Progr. start time	MANUAL	U1	U2	U3	
Progr. end time	MANUAL	I1	I2	I3	
Real start time	18.02.2014. 16:05:00	thdU1	thdU2	thdU3	
Real end time	21.02.2014. 13:16:18	thdI1	thdI2	thdI3	
Frequency (Hz)	50	dPfl	dPfl2	dPfl3	Freq
U nominal (V)	230.0	U12	U23	U13	I null
Main int. period (s)	60	S1+	S2+	S3+	St+
Anom. rec. condit.	Fixed anomalies, (LL: 10.0%, HL: 10.0%)	S1-	S2-	S3-	St-
Recording	Periodics (sta, ano, per)	P1+	P2+	P3+	Pt+
Periodics #	4152	P1-	P2-	P3-	Pt-
Anomalies #	0	Pflc+	Pflc2+	Pflc3+	Pflc+
Power breaks #	0	Pfli+	Pfli2+	Pfli3+	Pfli+
Memory type	linear	Pflc-	Pflc2-	Pflc3-	Pflc-
U range	600	Pfli-	Pfli2-	Pfli3-	Pfli-
U factor	1,0	Q1c+	Q2c+	Q3c+	Qtc+
I range (A)	1000,0	Q1i+	Q2i+	Q3i+	Qti+
Instrument baud rate	57600	Q1c-	Q2c-	Q3c-	Qtc-
Sync. input	auto	Q1i-	Q2i-	Q3i-	Qti-

Z 64 signálu nabídky bylo měřeno 10 nejdůležitějších, z kterých byly vybrány 3. Napětí U_1 , Frekvence, Celkové harmonické zkreslení $THDu_1$

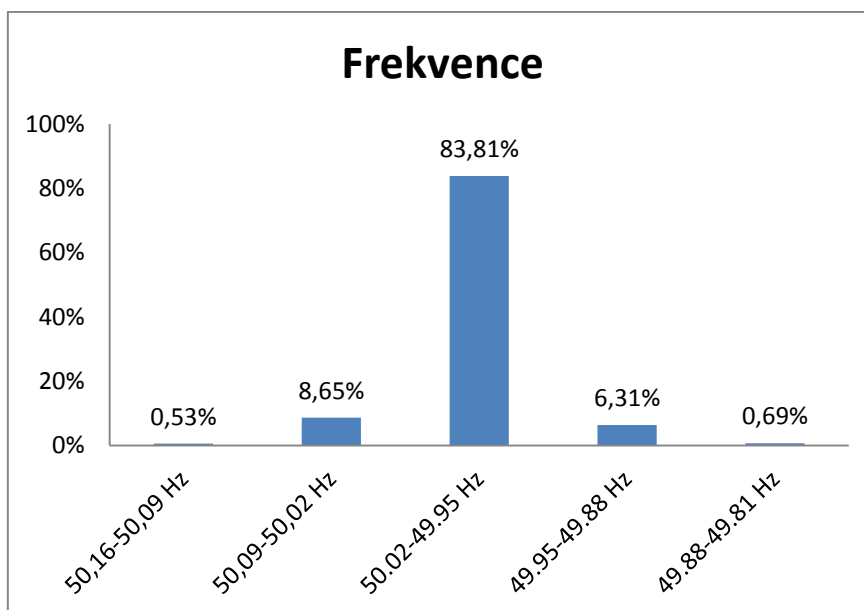
4.2 Frekvence

Naměřené hodnoty frekvence byly programem sumarizovány do pěti intervalů. Dle povolených hodnot ČSN EN 50160, který dovoluje interval 49,5 Hz - 50,5 Hz. Je možné pouze konstatovat fakt, že během měření nedošlo k žádné anomálii a tyto hodnoty jsou v normě.



Obrázek 10 Vlastní měření: Celkový průběh frekvence v časovém horizontu vlastního měření.

Barevné rozdělení: Zelená = maximální hodnota frekvence, červená = minimální hodnota frekvence, modrá = průměrná hodnota frekvence.



Graf 1 Procentuální rozdělení průměrných hodnot frekvence v časovém horizontu měření

U frekvence není zvýšení aktivity tak markantní, čas není faktor, který by ji zásadním způsobem ovlivnil. Naměřené hodnoty jsou v normě s velkou rezervou. Další práce s frekvencí byly vždy naměřeny stejné hodnoty, proto se již dále frekvencí nebudeme zabývat.

4.3 Napětí U_1

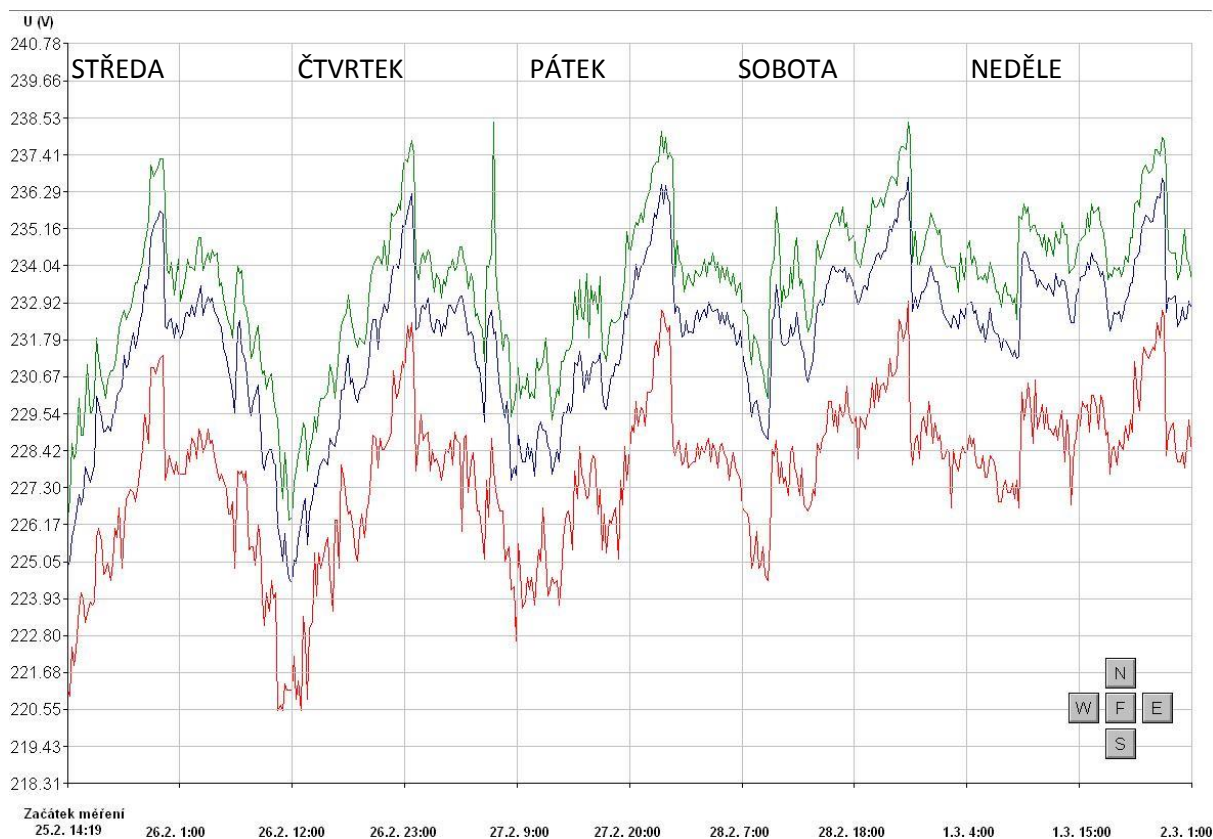
Obecně je v lidovém podvědomí, že napětí na zásuvce v distribuční síti je 230 V. Jak je vidět z naměřených hodnot, skutečnost ukazuje, že tomu tak není. Napětí v měřené síti během měření oscilovalo primárně mezi hodnotami 208 V – 238 V. Výsledky měření jsou rozděleny do 4 obrázků: Obr. 11-14. Z měření můžeme pozorovat periodické děje, které se opakují každý den bez rozdílu všedního dne či víkendu. Jedním z nich je maximální napětí, které vidíme v nejvyšších hodnotách denně mezi půlnocí a 2 hodinou ranní a dosahuje vždy hodnoty 238 V. Jedinou výjimku je obr. 13., 6.3.16h, tento jev je rozebrán níže v této kapitole. Minimální napětí dosahuje hodnot až 208 V, a s malou rezervou splňuje 10% normu krátkodobého poklesu napětí.



Obrázek 11 Vlastní měření: Celkový průběh napětí U_1 v časovém horizontu vlastního měření 1

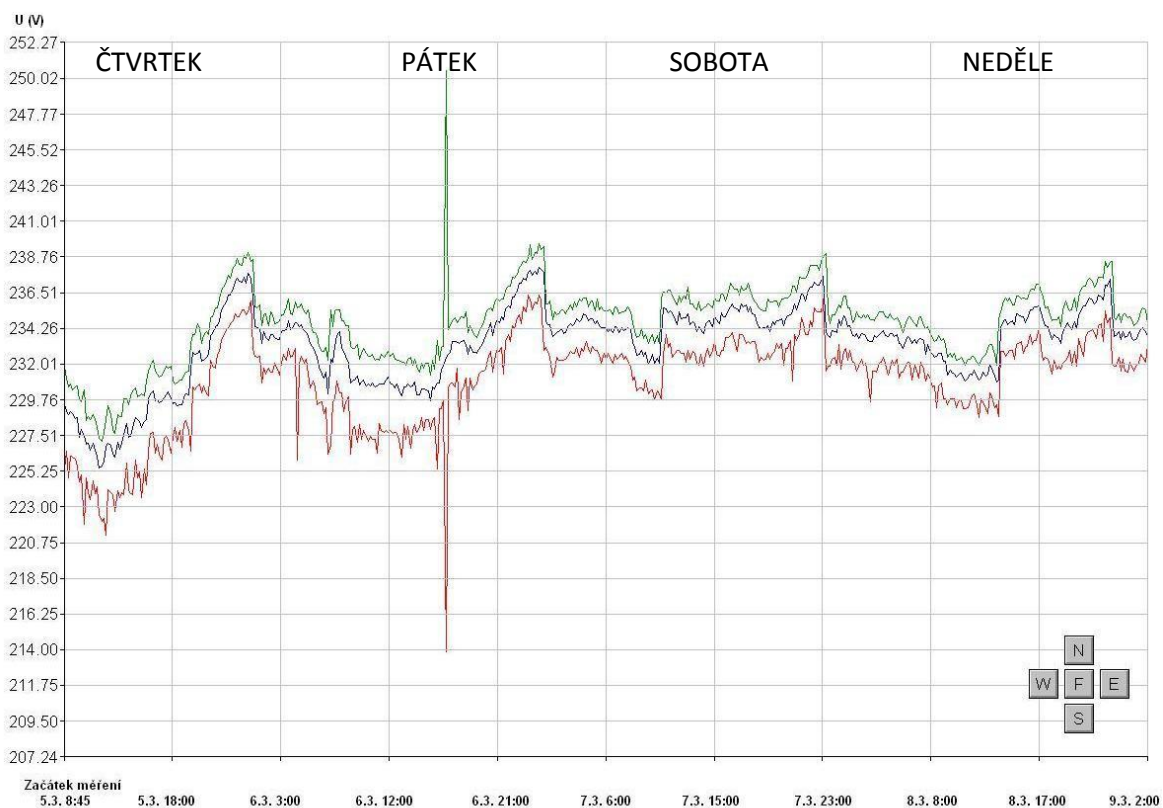
Zelená = maximální hodnota napětí, červená = minimální hodnota napětí, modrá = průměrná hodnota napětí.

První měření mělo za úkol zmapovat základní hodnoty v porovnání den a noc. Dále pak základní tvar grafu pro další měření. Na obr. 11 sledujeme periodické děje každý den, kde mezi 23h a 4h ranní byly naměřeny vždy maximální hodnoty a mezi 6h až 12h minima.



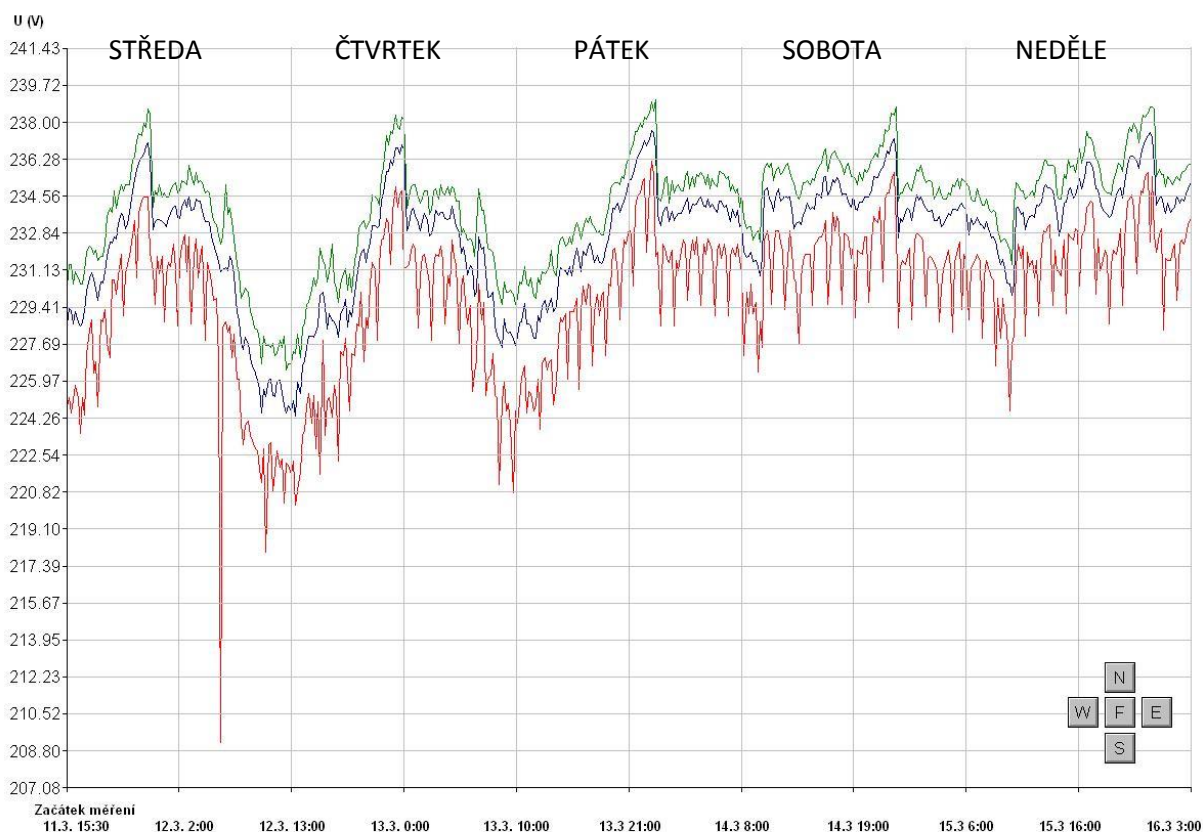
Obrázek 12 Vlastní měření: Celkový průběh U_1 v časovém horizontu vlastního měření 2

Druhé měření vychází z předpokladů měření prvního s tím, že je prodloužené až do pondělního rána. Z obr. 12 pozorujeme periodické děje, které se oproti předpokladům opakují i o víkendových dnech. Zatímco denní maximální napětí, které vrcholí každý den mezi 23h a 1h dne následujícího, se každý den pohybuje okolo hodnoty 238 V, denní minimální napětí s blížícím se víkendem roste. Důvodem je pokles intenzity výuky. Fakt, že v pátek se na fakultě již neučí s takovou intenzitou a spoustu studentů a profesorů, kteří zapínají přístroje a zařízení se na fakultě v pátek již nevyskytují. Minimální napětí naměříme každý den během polední špičky mezi 11h a 13h. Ve čtvrtek hodnotu 220 V, pátek nám minimum roste na 222 V a během víkendu se dostáváme až k hodnotám 226 V. Nejvíce stabilní den je tedy, po druhém měření, jednoznačně neděle, kde se rozdíl mezi maximálními a minimálními hodnotami napětí pohybuje v rozmezí 10 V.



Obrázek 13 Vlastní měření: Celkový průběh U_1 v časovém horizontu vlastního měření 3

Účelem třetího měření bylo zjistit, zda měříme napětí v kanceláři s jedním počítačem nebo v místnosti, kde se nachází počítačů 20, má vliv na naměřené výsledky. Z obr. 13 můžeme prohlásit, že počet počítačů v takovém množství nemá zásadní vliv na kolísání napětí. Při porovnání obr. 12 a obr 13 zjistíme, že byly naměřeny velmi podobné hodnoty s maximálním rozdílem +/- 2 V. Jedinou výjimku tvoří píky minimum 214 V, maximum 250 V z 6.3.16h. Předpokladem tohoto jevu bylo pravděpodobně zapojení energeticky náročnějšího přístroje z prostor nedaleké stavby. Přestože se jedná o viditelnou výchylku, nedošlo k překročení desetiprocentní hranice poklesu či nárůstu, kterou udává norma. Jelikož se nejedná o periodický jev, a protože se během měření znovu neobjevil, nebude se tento jev již více rozebírat.



Obrázek 14 Vlastní měření: Celkový průběh U_1 v časovém horizontu vlastního měření 4

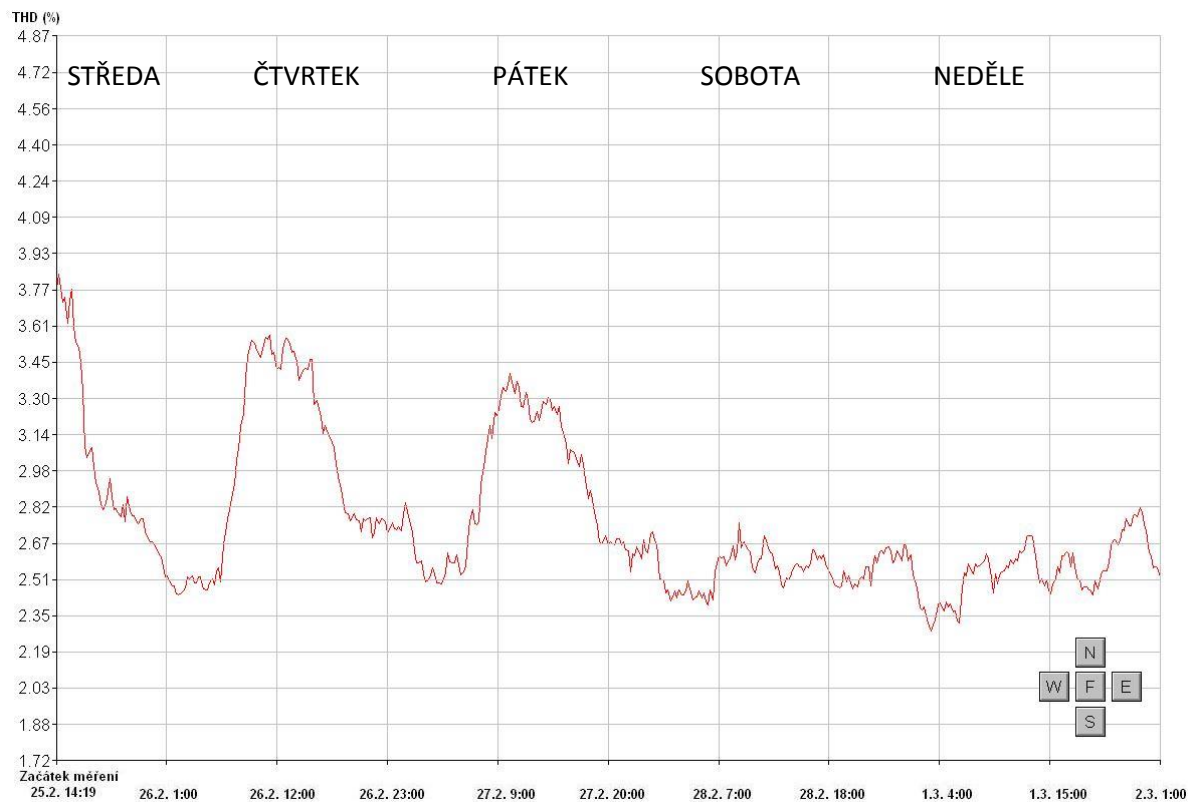
Měření číslo čtyři probíhalo v místnosti s elektricky napájenými motory. Cílem měření bylo zjistit, zda tyto motory nepůsobí na odběr napětí ze sítě takovým způsobem, že by mohli narušit 10 % hranici, kterou udává norma. Jak lze pozorovat na obr. 14, minimální hodnota se nám během měření s elektricky napájenými motory dostala pouze k hodnotě 208 V a s rezervou 1 V nepřekročila normou stanovených 10%.

4.4 Celkové harmonické zkreslení (Total Harmonic Distortion), THD

Při měření celkového harmonického zkreslení byly naměřeny hodnoty v intervalu 2,3 – 3,9 % $\text{thd}U_1$. Znamená to tedy, že v místech měření dochází k pouze mírnému rušení signálu. Jak lze vyčíst z obrázků 16. – 19., tak stejně tak, jak tomu bylo u napětí v případě poklesu, tak u THD dochází naopak k nejvyššímu nárůstu každé ráno mezi sedmou až devátou hodinou, kde dochází k zapínání elektrických spotřebičů a přístrojů. Tento jev se opakuje i o víkendové dny, přesto že růst je v těchto dnech minimální, až zanedbatelný.

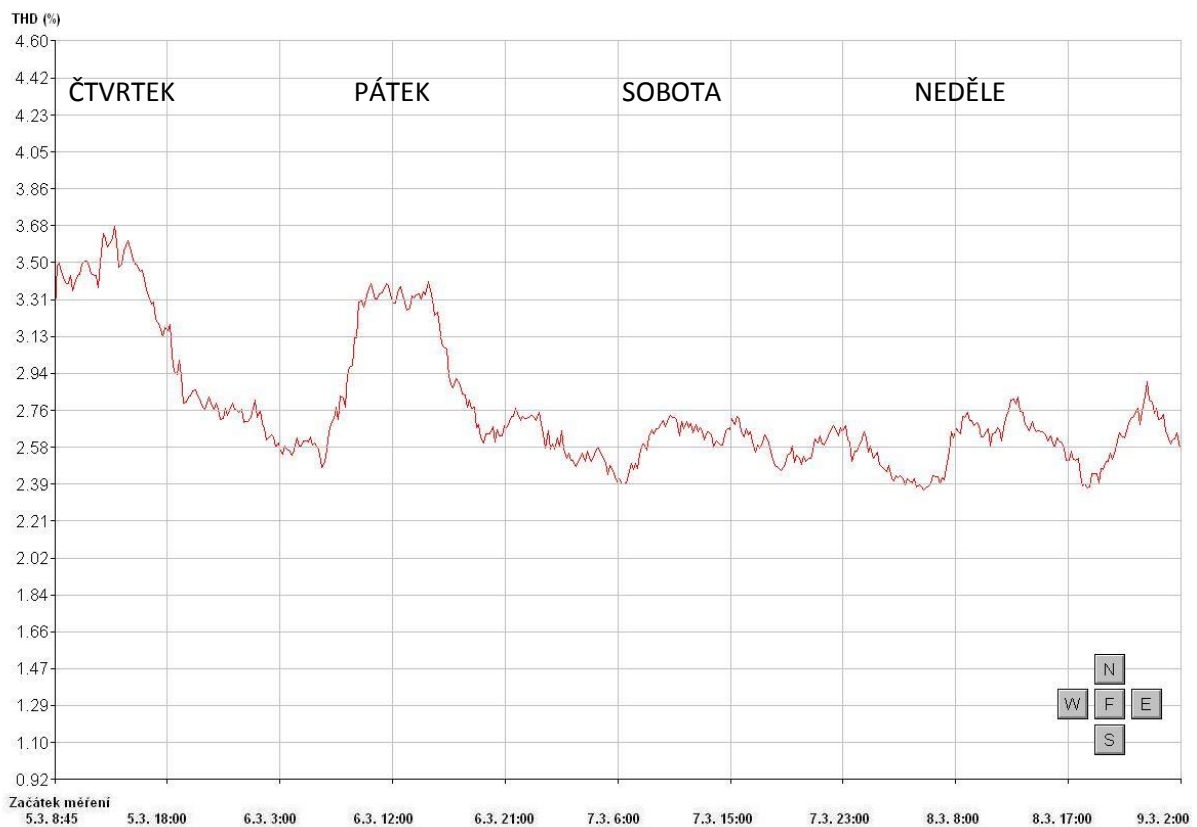


Obrázek 15 Vlastní měření: Celkový průběh THD v časovém horizontu vlastního měření 1.



Obrázek 16 Vlastní měření: Celkový průběh THD v časovém horizontu vlastního měření 2.

V případě obr. 15., první měření. Pozorujeme opakující se děje, jako jsou lokální minima každé ráno mezi 6h a 7h, dále lokální maxima mezi 11h a 13h. Tímto měřením bylo zmapováno jak se THD mění v rámci denního režimu. Při měření číslo dva, obr. 16, byly potvrzeny hodnoty středa, čtvrtka, které byly naměřeny shodně s měřením číslo jedna. Měření probíhalo za stejných podmínek, jen 2. měření delší dobu. Byl získán přehled o tom, jaký vliv má fakt, že je fakulta o víkendu zavřená na celkový profil THD. Na rozdíl tedy od měření napětí, je rozdíl všední den proti víkendu viditelně znát. Stejně jako při měření napětí pozorujeme pokles maximálních hodnot THD již v pátek, kde klesá intenzita výuky. Oproti středě či čtvrtku, kdy se na fakultě učí do pozdních večerních hodin.



Obrázek 17 Vlastní měření: Celkový průběh THD v časovém horizontu vlastního měření 3.

Při měření THD číslo 3 bylo zmapováno, že přítomnost dvaceti počítačů v učebně nemá zásadní vliv na celkové harmonické zkreslení. Maximální hodnoty THD se na obr. 18 pohybují na hodnotě 3,7 %, a vychází stejné lokální maxima jako při měření č. 2. Dále je možné potvrdit fakt, že pík, jež jsme naměřili na obr. 13. Ze dne 6.3.16h v kapitole měření napětí nemá zásadní vliv pro měření harmonického zkreslení.



Obrázek 18 Vlastní měření: Celkový průběh THD v časovém horizontu vlastního měření 4.

Měření č. 4 nám při prozkoumání obr. 19 ukazuje, že práce s elektricky napájenými motory nemá znatelný vliv na harmonické zkreslení. Maximální hodnota je opět 3,7 % a lokální minima kopírují hodnoty z měření č 2 a 3.

5 Zhodnocení a doporučení

Na Technické fakultě dochází v rámci časového horizontu k pravidelnému a předvídatelnému odběru elektrické energie. V závislosti na síle odběru se nám nepřímo úměrně snižuje její kvalita. Cílem této práce bylo zmapovat, v jakých hodnotách se kvalita elektrické energie pohybuje v rámci pracovního týdne a víkendu. Dále pak jakým způsobem se nám hodnoty mění, pokud síť vystavíme zátěži většího množství počítačů a zátěži elektricky napájených motorů. Z naměřených zdrojů bývá nejméně kvalitní ve všední dny v čase mezi devátou hodinou ranní a třetí hodinou odpolední, platí zároveň předpoklad, že v tuto dobu je pohybuje nejvíce studentů a profesorů a v prostorách fakulty, kteří zapínáním přístrojů odebírají elektřinu ze sítě. Lze předpokládat, že podobné hodnoty bychom naměřili také v pondělí a úterý. Po analýze veškerých dat lze pouze konstatovat, že v žádném z případů nebyla překročena státní norma

Přestože naměřené parametry odpovídají normě, zůstává nám otázka, zda velikost chyby náhodné, o které bylo psáno v úvodu, můžeme v rámci měření na elektricky napájených měřicích zanedbat či snížit počet statistických opakování. V případě že by bylo potřeba provést na fakultě měření s velmi citlivými přístroji, jako například geodetický monitoring, doporučuji měřit v noci během týdne anebo kterýkoliv víkendový den. Jiné řešení by bylo přinést si s sebou vlastní zdroj napětí.

Na základě naměřených výsledků by v rámci plánu do budoucna bylo zajímavé realizovat a prozkoumat závislosti přesnosti měření a odchylky náhodných chyb na výsledcích měření této práce, tedy závislost výsledných hodnot elektricky napájených měřičů na harmonickém zkreslení a kvalitě sítě.

6 Závěr

Cílem teoretické části práce bylo vytvoření přehledu o možnostech a způsobech, jakým se kvalita elektrické energie měří a vyhodnocuje. Nejprve byly vysvětleny přechodové děje, deformace napětí, účinník, výkon a jeho vymezení, následně pak kompenzace účinníku, činitelé plnění, výkyvu a tvaru. V závěru teoretické části bylo popsáno celkové harmonické zkreslení THD. Byly vysvětleny děje, které způsobují deformaci napětí vlivem výkonu vyšších harmonických u elektronických přístrojů fungujících na nelineárních zátěžích.

V praktické části byl napřed přestaven způsob, jakým konkrétně bude měření probíhat, dále byl přestaven přístroj na měření a software na zpracování dat. Z naměřených hodnot napětí, frekvence a THD byly analyzovány výsledky. Podle ČSN EN 50 160 všechny kvalitativní parametry splňují normu a při měření se nevyskytlo žádné přepětí, pokles nebo přerušení napětí. Můžeme konstatovat, že naměřené parametry jsou známkou tvrdé a kvalitní sítě. Co se týče výsledných hodnot THD, tak žádná z naměřených hodnot nepřekračuje limity české státní normy, lze teda prohlásit, že elektrická síť na Technické fakultě je kvalitní.

7 Seznam odborné literatury

- [1] Aleš Richter, Eva konečná, Pavel Rydlo; *Harmonické zkreslení napájecí sítě, jeho definice, měření a praxe; Technická Univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií. 2009.*
- [2] Kijonka, J., Skřivánek, L.: *Vyjádření činitelů zkreslení z naměřených hodnot, VI. sešit katedry teoretické elektrotechniky, FEI VŠB-TU Ostrava, 1997.*
- [3] Richter A., Konečná, E., Rydlo, P.: *Harmonic Filters for Supply of Switching Converters, Third Workshop ECMS, Université Paul Sabatier, Toulouse, Francie, červen 1997.*
- [4] ČSN EN 50160, *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, ISC 29.020, červen 2000.*
- [5] J. Macek, J. Sedláček; *Schvalování rádiových zařízení v České republice. In Sborník konference RADIOKOMUNIKACE' 94. Pardubice 1994, s. 1-20.*
- [6] Václav Kolář, Václav Vrána; *Elektrické obvody střídavého proudu, fakulta elektroniky a informatiky, VŠB – TU Ostrava, 2006.*
- [7] Bořivoj Štěpánek; *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele lokálních distribučních soustav; ProEnergia s.r.o.; září 2013.*
- [8] Jaroslav Šmíd, *Aktualizace pojmů v oblasti kvality elektrické energie v návaznosti na české a mezinárodní normy; 1996*
- [9] Václav Fajt; Haasz Vladimír, Miloš Sedláček; *Elektrická měření, Vydavatelství ČVUT; 1996.*
- [10] Vladimír Haasz, Miloš Sedláček, *Elektrická měření přístroje a metody; Vydavatelství ČVUT; 1998.*
- [11] Tomáš Mlčák, Václav Kolářů, *Elektrické obvody střídavého proud; Elektrické obvody střídavého proudu, Fakulta elektroniky a informatiky, VŠB – TU Ostrava;2007.*

Seznam citací

- (1) Aleš Richter, Doc. Eva konečná, Pavel Rydlo *Harmonic Filters for Supply of Switching Converters,Third Workshop ECMS, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, June 2-3 1997, s.: 214*
- (2) ČSN EN 50160, *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, český normalizační institut, ICS 29.020, Praha, červen 2000, str.: 11*