

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analyzátory kvality sítí

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Tato předkládaná bakalářská práce je zaměřena na provedení rešerše v oblasti analyzátorů kvality sítí na českém trhu s podrobnějším popisem konkrétních přístrojů a jejich funkcí. Součástí bakalářské práce jsou i konkrétní měření, která slouží pro vytvoření ukázkových protokolů. Tyto protokoly jsou potřebné pro praxi energetického auditora, jenž zkoumá a vyhodnocuje naměřená data.

Klíčová slova

Analyzátor kvality sítě, elektrické výkony, kvalita energie, měření s analyzátořem, energetický audit.

Abstract

The Bachelor's thesis presents the results of a project focused on information research in the area of the power quality analyzers on the Czech market with detailed description of some analyzers and their functions. A fundamental part of the project are specific measurements used for creating the exemplary protocols. The protocols are necessary for the practise of an energy auditor who examines and evaluates the measured data.

Key words

Power quality analyzer, electric powers, power quality, measurement with the analyzer, energy audit.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 29.5.2013

Aleš Boublík

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Václavu Kotlanovi, Ph.D. a konzultantovi panu Ing. Martinu Škopkovi, Ph.D. za odborné rady, připomínky, četné konzultace, a také za možnost provést měření v Trhových Svinech.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	11
1 ZÁKLADNÍ NORMY A VYHLÁŠKY SOUVISEJÍCÍ S KVALITOU ENERGIE	12
1.1 VYHLÁŠKA 540/2005 SB.	12
1.2 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV	12
1.3 NORMA ČSN EN 50160 ED. 3: 2011	13
1.4 NORMA ČSN EN 61 000-4-30 ED. 2: 2009.....	13
2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY MĚŘENÍ	14
2.1 ELEKTRICKÉ VÝKONY	14
2.1.1 <i>Práce a výkon stejnosměrného proudu</i>	14
2.1.2 <i>Výkon střídavého proudu</i>	14
2.1.3 <i>Výkon trojfázové soustavy při obecném zatížení</i>	16
2.2 SKUTEČNÝ ÚČINÍK	16
2.3 VYŠŠÍ HARMONICKÉ	16
2.3.1 <i>Zdroje zkreslení napětí</i>	18
2.3.2 <i>Negativní účinky vyšších harmonických</i>	19
2.3.3 <i>Deformační složka výkonu</i>	19
2.4 DRUHY CHYB A JEJICH MĚŘENÍ	20
3 ANALYZÁTORY KVALITY ENERGIE	22
3.1 ZNALOST KVALITY ENERGIE	22
3.2 TYPY PŘÍSTROJŮ	22
3.3 VÝROBKY NA ČESKÉM TRHU.....	22
3.4 VÝBĚR PŘÍSTROJE	23
3.4.1 <i>Použití jednofázových a trojfázových analyzátorů</i>	23
3.4.2 <i>Nastavení přístroje</i>	24
3.4.3 <i>Přesnost přístroje</i>	24
3.4.4 <i>Otázka bezpečnosti</i>	24
3.4.5 <i>Displej přístroje</i>	25
3.4.6 <i>Koupe analyzátoru</i>	25
3.4.7 <i>Vyhodnocování a zaznamenávání dat</i>	25
3.5 SOFTWARE.....	26
4 POPIS KONKRÉTNÍCH TYPŮ ANALYZÁTORŮ	27
5 MĚŘENÍ S ANALYZÁTOREM	31
5.1 LABORATORNÍ MĚŘENÍ	31
5.2 MĚŘENÍ V TRHOVÝCH SVINECH	32
6 ENERGETICKÝ AUDIT	39
6.1 PROTOKOL ENERGETICKÉHO AUDITORA	39
ZÁVĚR	44
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	45

Seznam symbolů a zkratk

<i>PPDS</i>	Pravidla provozování distribučních soustav
<i>ČEZ</i>	České Energetické Závody
<i>P</i>	Činný výkon [W]
<i>U</i>	Efektivní hodnota periodického napětí, stejnosměrné napětí [V]
<i>I</i>	Efektivní hodnota periodického proudu, stejnosměrný proud [A]
<i>I_m</i>	Amplituda periodického proudu [A]
<i>U_m</i>	Amplituda periodického napětí [V]
<i>ω</i>	Úhlová frekvence [rad/s]
<i>t</i>	Čas [s]
<i>φ</i>	Fázový posun harmonického proudu vůči napětí [rad]
<i>P_{sr.}</i>	Střední hodnota okamžitého výkonu [W]
<i>T</i>	Doba periody časově periodického průběhu [s]
\bar{Z}	Komplexní impedance [Ω]
<i>i(t)</i>	Okamžitá hodnota proudu [A]
<i>u(t)</i>	Okamžitá hodnota napětí [V]
<i>p(t)</i>	Okamžitá hodnota výkonu [W]
<i>Q</i>	Jalový výkon [VA]
<i>S</i>	Zdánlivý výkon [VA]
<i>Q_L</i>	Odebíraný jalový výkon (induktivní) [VA]
<i>Q_C</i>	Dodávaný jalový výkon (kapacitní) [VA]
<i>p_U, p_V, p_W</i>	Okamžitá hodnota výkonu na zátěži U, V, W [W]
<i>u_u, u_v, u_w</i>	Okamžitá hodnota napětí na zátěži U, V, W [V]
<i>i_u, i_v, i_w</i>	Okamžitá hodnota proudu na zátěži U, V, W [A]
<i>U_U, U_V, U_W</i>	Efektivní hodnota napětí na zátěži U, V, W [V]
<i>I_U, I_V, I_W</i>	Efektivní hodnota proudu na zátěži U, V, W [A]
<i>U_F</i>	Efektivní hodnota fázového napětí [V]
<i>I_F</i>	Efektivní hodnota fázového proudu [A]

$\varphi_U, \varphi_V, \varphi_W$	Fázový posun harmonického proudu vůči napětí na fázích U, V, W [<i>rad</i>]
U_S	Efektivní hodnota sdruženého napětí [<i>V</i>]
I_S	Efektivní hodnota sdruženého proudu [<i>A</i>]
P_Y	Činný výkon při zapojení do hvězdy [<i>W</i>]
P_D	Činný výkon při zapojení do trojúhelníka [<i>W</i>]
λ	Skutečný účinník
μ	Činitel zkreslení
$i_h(t)$	Okamžitá hodnota proudu vyšších harmonických [<i>A</i>]
$i_0(t)$	Okamžitá hodnota stejnosměrného proudu [<i>A</i>]
I_0	Hodnota stejnosměrného proudu [<i>A</i>]
h	Řád vyšší harmonické
I_h	Amplituda proudu vyšší harmonické [<i>A</i>]
γ_h	Fázový posun vyšších harmonických proudu vůči vyšším harmonickým napětí [<i>rad</i>]
U_h	Úbytek napětí na impedanci způsobený harmonickými proudu [<i>V</i>]
z_h	Impedance sítě
<i>THD</i>	Total Harmonic Distortion - Celkový činitel harmonického zkreslení [%]
<i>THDu</i>	Celkový činitel harmonického zkreslení napětí [%]
n	Proměnná
<i>PF</i>	Power Factor - Deformační složka výkonu
D	Deformační výkon [<i>VAd</i>]
Δ_a	Absolutní chyba
N	Naměřená hodnota
S_k	Skutečná hodnota
Δ_r	Relativní chyba
δ_r	Procentní chyba [%]
$\Delta_{celk.}$	Základní absolutní chyba
Δ_{mereni}	Absolutní chyba měření
$\Delta_{rozsahu}$	Absolutní chyba rozsahu

$\% rdg$	Procento z naměřené hodnoty
$\% F.S$	Procento z rozsahu
$digs$	Digity
$\delta_{celk.}$	Základní relativní chyba
δ_{mereni}	Relativní chyba měření
$\delta_{rozsahu}$	Relativní chyba rozsahu
$C.A$	Chauvin Arnoux
USA	United States of America
DPH	Daň z přidané hodnoty
CAT	Measurement Category
PC	Personal Computer
USB	Universal Serial Bus
$Wi - fi$	Wireless Fidelity
FTP	File Transfer Protocol
RMS	Root Mean Square
$3U$	Fázové napětí v trojfázové síti
$3V$	Sdružené napětí v trojfázové síti
$3A$	Fázové proudy v trojfázové síti
$L1, L2, L3$	Průběh na první, druhé, třetí fázi v trojfázové soustavě
CF	Crest Factor
$[A1], [A2], [A3]$	Absolutní hodnoty proudů
$\Phi_{12}, \Phi_{23}, \Phi_{31}$	Fázový posun mezi jednotlivými fázemi

Úvod

V této práci se zabývám popisem měřících přístrojů kvality elektrické energie, které lze pořídit na českém trhu. Dále se zaměřuji na vytvoření ukázkových protokolů z dostupných měření, která jsou potřebná pro praxi energetického auditora¹.

První část práce obsahuje rešerši současné nabídky trhu v oblasti analyzátorů kvality sítě, další část pak obsahuje popis konkrétních typů analyzátorů podrobněji. V poslední části se nachází ukázky z vlastních měření.

Analýza trojfázové elektrické sítě byla před uvedením pokročilých měřících přístrojů, jako jsou analyzátory kvality sítě, do praxe složitá a ekonomicky nákladná záležitost. Avšak nyní jsou na trhu k dostání mnohé druhy těchto přístrojů od výrobců z Evropy, Ameriky i Asie. Díky tomu se měření kvality podle normy EN 50160 a ČSN EN 61000-4-30 stalo výrazně jednodušší a finančně dostupnější.

¹ Na základě poslední novely § 10 zákona o hospodaření energií (č. 406/2000 Sb. ve znění č. 318/2012 Sb.) je označení „energetický auditor“ nahrazeno „energetickým specialistou“, avšak v této práci bude nadále pracováno v souladu se zadáním s označením „energetický auditor“.

1 Základní normy a vyhlášky související s kvalitou energie

Dodávku elektrické energie od zdrojů ke spotřebičům zajišťují elektrické rozvodné soustavy různých stupňů. Rozdíl mezi jinými výrobky a elektrickou energií je v tom, že nezávisí pouze na kvalitě výroby, ale i na kvalitě přenosu a spotřeby. Obecně na kvalitě elektrické energie závisí spolehlivost a s ní i velmi často spojená bezpečnost provozu zařízení i celé výroby. Je s ní také neodmyslitelně spojena ekonomická efektivnost výroby. Největší spotřeba samozřejmě vzniká v průmyslu, proto se musí dbát na kvalitu energie zejména v tomto odvětví, avšak nelze přehlížet ani vliv na člověka. Příkladem mohou být blikající světelné zdroje, nebo rušené rozhlasové vysílání [1].

Proto abychom mohli považovat energii za kvalitní se musí dodržet jisté podmínky (např. jmenovité napětí, jmenovitá frekvence, sinusový průběh napětí a proudu, souměrnost a vyváženost trojfázové soustavy). K tomu, aby bylo možné těchto podmínek dosáhnout, slouží vyhlášky a normy. V následujících kapitolách uvedu jen základní z nich.

1.1 Vyhláška 540/2005 Sb.

Tento provozní předpis k energetickému zákonu o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice [2, 3] udává standard kvality napětí, který pojednává o distribuci elektřiny s odpovídajícími parametry velikosti a odchylky napájecího napětí a frekvence, které jsou v souladu s Pravidly provozování distribučních soustav nebo s parametry napětí a frekvence sjednanými ve smlouvě mezi zákazníkem a provozovatelem distribuční soustavy. Je možné, že při nedodržení kvality napětí, by byly zákazníkům poskytovány náhrady.

1.2 Pravidla provozování distribučních soustav

Příloha 3 Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS) vychází z Energetického zákona 458/2000 Sb. [3] a z vyhlášky 540/2005 Sb., které definují kvalitu elektřiny, stanovují její parametry a podmínky pro jejich dodržování uživateli distribuční soustavy. Dalším cílem PPDS je určit způsob zjišťování jednotlivých parametrů a požadavky na měřicí soupravy pro její zjišťování. Tato pravidla byla schválena Energetickým regulačním úřadem v listopadu 2011. Každý distributor elektrické energie je povinen dodržovat PPDS.

1.3 Norma ČSN EN 50160 ed. 3: 2011

Uvedená norma ČSN EN 50160 [4] se týká charakteristik napětí za normálních provozních podmínek v takových místech, kde jsou odběratelé z veřejné distribuční sítě připojeni na nízké a vysoké napětí. Norma stanovuje mezní hodnoty charakteristických hodnot napětí, které by měl za normálních provozních podmínek očekávat jakýkoliv odběratel. Hlavním tématem normy je popis, týkající se velikosti frekvence, tvaru vlny, rychlých změn napětí, meziharmonické napětí, míra vjemu flikru a symetrie trojfázových napětí. Při běžném provozu sítě vyvolávají změny zatížení, poruchy vyskytující se v důsledku vnějších vlivů, rušení zapříčiněná různými zařízeními, či odchylky různými přechodovými ději změny těchto charakteristik. Některé jevy jsou nepředvídatelné, protože charakteristiky se mění náhodně v čase a v daný náhodný okamžik jsou i na náhodném místě, a proto se v malém množství dá úroveň těchto charakteristik překročit, avšak u některých případů je dokonce nemožné určit příslušné hodnoty charakteristik.

1.4 Norma ČSN EN 61 000-4-30 ed. 2: 2009

Dále v úvodu zmíněná norma ČSN EN 61 000-4-30 [5] se zabývá popisem měření a vyhodnocováním parametrů kvality napětí a rozděluje analyzátory do tříd:

- Třída A,
- Třída S,
- Třída B.

Pro přesná měření se používá třída A, tou můžeme ověřovat shodu s normou. Třída B je určena pro monitorování a statické aplikace. Třída B je zavedena z prostého důvodu, a to aby se dosavadní analyzátory nestaly nevyhovujícími. Pokud si chceme pořídit nový analyzátor, tak určitě již není vhodné pořizovat třídu přesnosti B. U třídy B totiž není zaručena shoda s normou, která určuje vyhodnocovací postupy. U této třídy totiž vyhodnocovací algoritmus určuje výrobce. Z toho vyplývá, že se vyhodnocovací postupy mohou u různých analyzátorů třídy B lišit. Třída S je stejně jako třída A v souladu s normou, avšak jejich rozdíl je přesnost. Přesnost třídy A je 0,1 %, přesnost třídy S 0,5 % a třída B do přesnosti 1 % daného měřeného signálu [5].

2 Základní parametry měření

Analyzátory kvality energie nám umožňují měřit základní parametry sítě jako je napětí, proud, výkon, energie ale i harmonické složky napětí, proudů, výkonů, také jejich špičky, poklesy nebo přerušování průběhu napětí označované jako tzv. flicker (blikání), dále se dají použít pro určení sledu fází, rozběhové proudy elektromotorů a mnohé další parametry sítě.

2.1 Elektrické výkony

Jelikož je měření elektrických výkonů velice důležitou součástí mé práce, nastíním zde základní vztahy pro jejich výpočty jak ve stejnosměrných obvodech, tak ve střídavých a v trojfázových sítích.

2.1.1 Práce a výkon stejnosměrného proudu

Práce stejnosměrného proudu je dána vztahem $A = U \cdot I \cdot t$ [Ws; V, A, s], výkon pak vztahem $P = U \cdot I$ [W; V, A].

2.1.2 Výkon střídavého proudu

Pro zátěž, která je charakterizována komplexní impedancí $\bar{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$, a kterou při průtoku proudu $i(t) = I_m \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$ napájí harmonické napětí $u(t) = U_m \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, je okamžitý výkon definován vztahem (s užitím vztahů pro úpravu goniometrických funkcí):

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U \cdot I \cdot \cos \varphi - U \cdot I \cdot \cos(2\omega t + \varphi) = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \cos(2\omega t)) + U \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot \sin(2\omega t) \quad [W] \quad (2.1)$$

Časový průběh okamžitého výkonu je dán součtem konstantní složky $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ a harmonického průběhu s amplitudou $U \cdot I$ a frekvencí 2ω . Přičemž φ je fázový posun proudu vzhledem k napětí ($-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$) [6].

Činný výkon (střední hodnota okamžitého výkonu):

$$P_{\text{stř.}} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{U \cdot I}{T} \left[\int_0^T \cos \varphi dt - \int_0^T \cos(2\omega t + \varphi) dt \right] = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W] \quad (2.2)$$

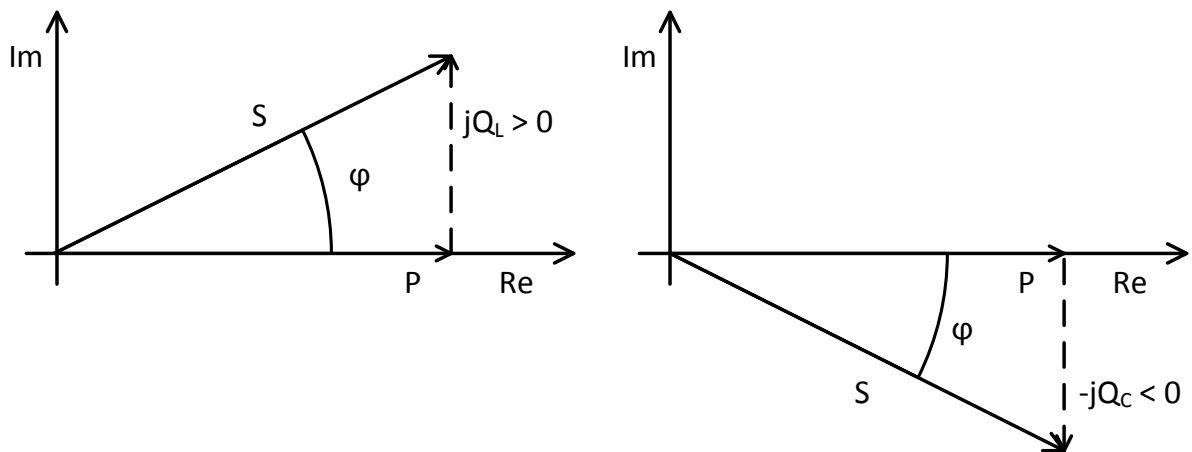
Fyzikálně představuje střední hodnota výkonu P práci za jednotku času, která se mění v energii jinou, nejčastěji tepelnou. Tento výkon nazýváme výkonem činným. Značíme ho P a odpovídá reálné složce impedance \bar{z} , jednotkou je pak watt [7].

Vztah $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ [VAr] udává jalový výkon a je mírou elektrické energie, jež

střídavě kmitá mezi zdrojem a elektrickým nebo magnetickým polem kapacitního nebo induktivního spotřebiče. Tudíž je tato energie střídavě dodávána a odebírána, neztrácí se a nelze ji užitečně využít. Jalový proud nekoná práci, ale vytváří ve spotřebiči elektrické nebo magnetické pole. Značíme ho Q , jeho jednotkou je voltampér reaktanční.[6]

Pakliže bereme v úvahu celkovou impedanci \bar{Z} , dostáváme se k tzv. zdánlivému výkonu. Pro zdánlivý výkon platí rovnice $S = U \cdot I$ [VA]. Tento výkon je důležitý např. při určování typové velikosti některých elektrických strojů (transformátor, synchronní stroj) [7].

Vztahy, které jsou dány mezi těmito výkony, vyplývají z geometrické interpretace, kterou nazýváme trojúhelník výkonů (obr. č. 2.).



Obr. 2 Trojúhelník výkonů (převzato z [7])

Výkony se dají vyjádřit také následovně:

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad Q_L = \sqrt{S^2 - P^2} \quad Q_C = -\sqrt{S^2 - P^2} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.3)$$

Zde se dostáváme k tomu, že znaménko + u jalového výkonu znamená výkon, který je ze sítě (zdroje) odebírán a znaménko - znamená, že je výkon do sítě (zdroje) naopak dodáván.

Pokud vyjdeme z trojúhelníku výkonů a platí tedy $S = U \cdot I$ a $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$, můžeme vyjádřit $P = S \cdot \cos \varphi$ a odtud vztah $\cos \varphi = \frac{P}{S}$. Tento poměr $\frac{P}{S}$ nazýváme účinník. U harmonických průběhů se účinník rovná funkci kosinu fázového posunu mezi napětím a proudem. Hodnota účinníku se pohybuje v intervalu od nuly do jedné. Čím větší je účinník, tím lepší je využití např. el. strojů či menší ztráty ve vedeních atd. Protože je kosinus sudá funkce, tak je hodnota účinníku vždy nezáporná [7].

2.1.3 Výkon trojfázové soustavy při obecném zatížení

Okamžitý výkon je dán součtem okamžitých výkonů jednotlivých zátěží (spotřebičů) připojených k soustavě $p(t) = p_U + p_V + p_W = u_u \cdot i_u + u_v \cdot i_v + u_w \cdot i_w$ [7].

Pro souměrnou zátěž je $U_U = U_V = U_W = U_F$ a $I_U = I_V = I_W = I_F$ a $\varphi_U = \varphi_V = \varphi_W = \varphi$ a platí tedy rovnice: $P = 3 \cdot U_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi$, což odpovídá trojnásobku výkonu jedné fáze [7].

Pro zapojení do hvězdy platí vztahy $U_S = \sqrt{3} \cdot U_F \Rightarrow U_F = \frac{U_S}{\sqrt{3}}$ a $I_S = I_F = I$.

Činný výkon je tedy $P_Y = 3 \cdot U_F \cdot I \cdot \cos \varphi$.

Pro zapojení do trojúhelníka platí vztahy $I_S = \sqrt{3} \cdot I_F \Rightarrow I_F = \frac{I_S}{\sqrt{3}}$ a $U_S = U_F = U$.

Činný výkon je tedy $P_D = 3 \cdot U \cdot I_F \cdot \cos \varphi$.

Obdobně takovéto vztahy platí pro jalový výkon: $Q = 3 \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$ a zdánlivý výkon: $S = 3 \cdot U \cdot I$.

2.2 Skutečný účinník

V neharmonických obvodech se kromě účinníku základní harmonické $\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}$ definuje tzv. skutečný účinník $\lambda = \frac{P}{S}$. Tyto účinníky jsou ve vzájemném vztahu $\lambda = \mu \cdot \cos \varphi_1$, kde μ (někdy označováno jako q) je činitel zkreslení (deformace či kvality). Tento činitel respektuje nejen přítomnost vyšších harmonických, ale také nesouměrnost a nevyváženost odběru [1].

2.3 Vyšší harmonické

Při analýze kvality energie a také při měření kvality se neustále setkáváme s vyššími harmonickými, proto je na místě vysvětlit si základní fakta ohledně vyšších harmonických.

K napájecí síti jsou čím dál tím více připojovány spotřebiče, které odebírají nesinusový proud, i když napájení má sinusový průběh. Takovéto spotřebiče jsou označovány jako nelineární spotřebiče (usměrňovače, frekvenční měniče, výkonové měniče, apod.) [8].

Činnost měničů souvisí se změnami vodivosti polovodičových součástek. Důsledkem těchto změn jsou strmé nárůsty a poklesy průběhů napětí a proudů. Jejich frekvenční

spektrum tak zasahuje až do oblasti řádově stovek MHz. Rušivé vysokofrekvenční signály se šíří jak elektromagnetickým polem do okolí měniče, tak se dostávají skrze kapacity napájecího transformátoru měniče do napájecí sítě. Tyto vlivy nejsou v současné době zanedbatelné a nelze je proto přehlížet [8].

Vlivy takovýchto rušení se běžně omezují konstrukčními úpravami samotných měničů. Pro odrušení se používají kondenzátory nebo širokopásmové LC filtry. Největší pozornost se musí věnovat řídicím obvodům měniče, protože jsou umístěny přímo u zdroje rušení [8].

Proud odebíraný nelineárními spotřebiči lze stejně tak jako každou periodickou nesinusovou funkci vyjádřit součtem sinusových složek (popř. i složky stejnosměrné), které mají různou amplitudu a jejichž frekvence je celistvým násobkem frekvence nesinusové funkce, tzv. Fourierovou řadou:

$$i(t) = \sum_0^{\infty} i_h(t), \text{ kde } i_0(t) = I_0 \text{ a pro } h > 0 \text{ platí } i_h(t) = \sqrt{2} \cdot I_h \cdot \sin(h\omega t + \gamma_h). \quad (2.4)$$

Základní harmonická je sinusová složka, která má shodnou frekvenci s nesinusovou funkcí (pro 50 Hz). Ostatní sinusové funkce, které mají frekvenci danou celistvým násobkem základní harmonické, se nazývají vyšší harmonické (harmonické vyššího řádu h) [9].

Samozřejmě se v síti mohou objevit i takové harmonické, které nejsou celistvým násobkem základní harmonické, nejsou tedy celočíselným násobkem. Nazývají se tzv. mezilehlé harmonické nebo také interharmonické a vznikají kvůli kolísavému odběru nelineárních spotřebičů.

Nelineární spotřebiče tedy můžeme považovat za proudové zdroje vyšších harmonických. Harmonické proudy se tedy dostávají do sítě a na impedancích sítě vyvolávají úbytky napětí. Tyto úbytky jsou svázány s daným řádem harmonické a platí: $U_h = Z_h \cdot I_h$. Dané úbytky napětí způsobují deformaci napěťové křivky. Tím jsou ovlivněny ostatní zařízení připojená k síti, která jsou na tvar napěťové křivky náchylná [9].

Napěťové a proudové charakteristiky nelineárních spotřebičů způsobují výkonová zkreslení a to hlavně vlivem 3. harmonické. Všechny takovéto typy zátěže způsobují harmonické zkreslení, jelikož proud který na usměrňovací kondenzátor přichází je ve formě pulzů. Pulzní průběh proudu způsobuje zploštění průběhu napětí, a to se ve spektrální oblasti projeví jako 5. a 7. harmonická napětí. V porovnání 3. harmonické napětí oproti 3.

harmonické proudu je ta pro napětí zanedbatelná, protože harmonická složka proudu je zkratována zapojením transformátoru do trojúhelníka. Ukázalo se, že je to jev nežádoucí, který např. na transformátoru 630 kV-A způsobí roční ztrátu až 60 000 Kč. Dále tento jev zatěžuje střední vodič, protože se přes něj vrací proud vyvolaný 3. harmonickou [10].

Úroveň vyšších harmonických v síti není během dne stejná, ale mění se v čase. Počet vyšších harmonických v síti lze hodnotit dvěma způsoby:

- individuálně - pomocí efektivních hodnot daných harmonických napětí, která jsou vztažena k napájecímu napětí,

liché harm.-nenásobky 3		liché harm.-násobky 3		sudé harmonické	
řád h	harm. napětí [%]	řád h	harm. napětí [%]	řád h	harm. 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, 23, 25	1,5				

Tab. 1. Maximální úrovně daných harm. napětí v odběrném místě sítí vn a nn dle ČSN EN 50160 [3].

- souhrnně - pomocí celkového činitele zkreslení napětí THD_U (Total Harmonic Distortion).

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n U_h^2}}{U_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad [9] \quad (2.5)$$

THD je funkce, která porovnává vlnové křivky harmonických se základní sinusoidou. Výsledkem měření je odchylka, udávaná v procentech, která říká, o kolik se dané vlnové křivky liší od sinusoidy. Čím je procentuální odchylka nižší, tím se křivka více shoduje se základní sinusoidou [11].

2.3.1 Zdroje zkreslení napětí

Jak již bylo zmíněno, vyšší harmonické se vyskytují v důsledku užívání nelineárních spotřebičů (výkonová elektronika). Tato zařízení (spotřebiče) generují především liché řady harmonických (3., 5., 7., 11., 13., atd.) proudů. Velikost proudu daných harmonických je nepřímo úměrná tomu, o jaký řád se jedná. Zde platí vztah (tzv. Amplitudový zákon):

$$I_h \approx \frac{1}{h} \cdot I_1 \quad [9]. \quad (2.6)$$

Dalšími zdroji zkreslení pro příklad jsou:

- obloukové a středofrekvenční pece,
- televizory, mikrovlnné trouby, úsporná svítidla s el. předřadníky,
- přesycené indukčnosti [9].

2.3.2 Negativní účinky vyšších harmonických

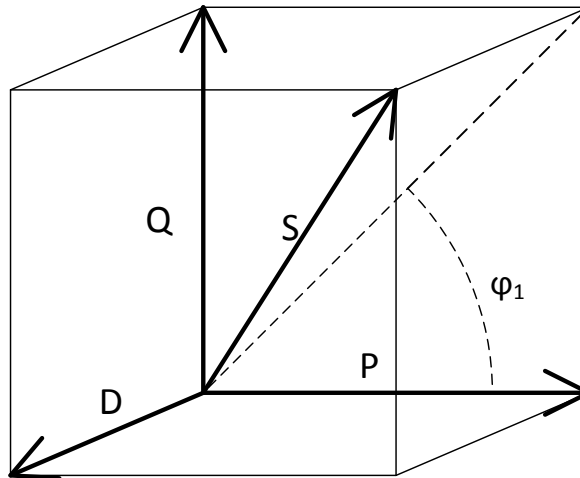
Výskyt vyšších harmonických napětí a proudů v distribuční síti může nepříznivě ovlivnit, jak zařízení která jsou do sítě připojena, tak samotnou rozvodnou síť. Nejvíce závažné vlivy vyšších harmonických jsou:

- přídavné ztráty v síti a zhoršená účinnost přenosu elektrické energie,
- zvýšení efektivní hodnoty proudu, proto se musí rozvodná zařízení dimenzovat na větší zdánlivý výkon, a tím klesá jejich využitelnost,
- zhoršení účinníku napájecí sítě,
- v elektrických strojích v magnetických obvodech dochází k větším ztrátám, protože pro danou ef. hodnotu harmonického proudu I_h jsou ztráty v železe úměrné druhé mocnině frekvence,
- zahřívání přenosových prvků i spotřebičů, s tím souvisí nižší životnost,
- chybná funkce elektrických ochran a elektrických zařízení,
- chyby při měření energie,
- rušení komunikačních zařízení,
- vliv na kompenzační obvody - přehřátí kondenzátorů [9].

2.3.3 Deformační složka výkonu

Protože obvody obsahují nelineární prvky, protéká obvodem neharmonický proud a ten obsahuje vyšší harmonické, které se u napětí nevyskytují. Vyšší harmonické proudů a napětí tvoří tzv. deformační výkon, který značíme D . Deformační výkon zvyšuje výkon zdánlivý a účinník takového výkonu se označuje jako skutečný účinník. Platí vztah: $S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$ resp. $D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$ [VA_d]. Jednotkou je voltampér deformační. Jestliže tedy v obvodu působí deformační výkon, musíme pro zajištění stejného činného výkonu dané soustavy zvýšit protékající proudy, a tím se vyvolává nárůst ztrát v napájecí síti a snížení využitelnosti sítě a spotřebičů. Deformační výkon představuje neúčinnou složku zdánlivého výkonu [5].

Zdánlivý výkon můžeme geometricky zobrazit jako tělesovou úhlopříčku kvádrů o hranách P,Q,D.



Obr. 3 Zdánlivý výkon (převzato z [12])

2.4 Druhy chyb a jejich měření

U jakéhokoliv měření nezískáme správnou hodnotu měřené veličiny, protože úplně každé měření je zatíženo chybou. Přesnost měření je charakterizována právě tímto faktorem. Při každém měření bychom měli znát, jaké maximální možné chyby se můžeme dopustit, jinak je měření bezcenné [13].

Obečně můžeme chyby rozdělit na:

1. Soustavné (systematické),
 - při opakovaném měření stejná velikost a polarita,
2. Náhodné,
 - příčinu neznáme, lze je omezit (př. špatný kontakt, změna síťového napětí, aj.),
3. Omyly,
 - musíme vyloučit ze souboru změřených hodnot [13].

Chyby dělíme také podle matematického vyjádření:

1. Absolutní $\Delta_a = N - S_k$ [-] (rozdíl naměřené a skutečné), kde N je naměřená hodnota a S_k je skutečná (správná) hodnota,

2. Relativní $\Delta_r = \frac{\Delta_a}{S_k} [-]$ (absolutní chyba vztažená ke skutečné hodnotě), pokud je N přibližně velké jako S platí $\Delta_r = \frac{\Delta_a}{N} [-]$,
3. Procentní $\delta_r = \Delta_r \cdot 100 [\%]$ (relativní chyba vyjádřená v procentech) [13].

Dále můžeme chyby dělit podle zdroje chyb:

1. subjektivní (zaviněné obsluhou),
2. objektivní (chyba měřicí metody, chyba měřicího přístroje, rušivé vlivy, tolerance součástek) [13].

Jelikož jsou analyzátory kvality energie digitální multimetry, tak pro ně platí, že přesnost respektive absolutní chyba se udává pro každý rozsah zvlášť. Základní chyby digitálních přístrojů se skládají ze dvou složek:

1. část chyby je udaná v % údaje měřené veličiny,
2. část chyby je vztažená k měřicímu rozsahu.

Základní absolutní chyba je $\Delta_{celk.} = \Delta_{mereni} + \Delta_{rozsahu}$ [13].

Dá se vyjádřit dvěma způsoby:

1. Chyba vyjádřená v procentech $\Delta_{celk.} = \pm (\% rdg + \% F.S)$, kde % rdg - procenta z naměřené hodnoty (pohyblivá složka) a % F.S - procenta z rozsahu (pevná složka),
2. Chyba vyjádřená v procentech a digitech $\Delta_{celk.} = \pm (\% rdg + digs)$, kde % rdg - procenta z naměřené hodnoty (pohyblivá složka) a digs (tzv. digity) - počet kvantovacích kroků na daném rozsahu (pevná složka) [13].

Základní chyba relativní je $\delta_{celk.} = \delta_{mereni} + \delta_{rozsahu}$ [13].

3 Analyzátory kvality energie

3.1 Znalost kvality energie

Tím, že se napětí v síti deformuje, může způsobovat nečekané výpadky a snížení životnosti elektrických přístrojů a zařízení. Když si uvědomíme, že se na mechanickou práci využije jen první harmonická složka napětí (pro 50 Hz), tak ostatní harmonické činí pouze ztráty. Pokud tedy využijeme znalosti kvality sítě, můžeme neočekávaným stavům předejít, dokonce můžeme odhalit ta místa, která jsou problémová a určit nejlepší proces odběru elektrické energie. Tím se také vyhneme konfliktu s dodavatelem elektrické energie [14].

Jistě může někdo namítnout, že není potřeba měřit a sledovat kvalitu energie, když vše je funkční a doposud nebyla takováto měření vůbec třeba. Je jasné, že pokud v podniku nedochází k výpadkům technologií s následným odstavením výroby, nedochází k poruchám řídicí elektroniky, elektromotory se nepřehřívají, počítačové sítě nám nevypadávají, a tím pádem se nemusíme dohadovat s podniky, které nám dodávají elektrickou energii, kdo je ten, kdo způsobuje rušení, je to nejlepší možný případ. Avšak v opačném případě by pro danou firmu mohl být analyzátor kvality sítě a harmonického rušení jistě přínosem [14].

3.2 Typy přístrojů

Analyzátory elektrické sítě je možné rozdělit na dvě skupiny. První skupina jsou analyzátory ruční (přenosné) a druhá skupina jsou analyzátory pevně instalované. První skupinu využijeme především ke kontrole výrobních zařízení, tu druhou pak pro stálé měření stavu sítě v důležitých distribučních uzlech jako jsou transformátorovny a rozvodny [14].

Podle toho, v jaké cenové relaci se daný analyzátor elektrické kvality nachází, v sobě zahrnuje wattmetr, multimetr, analyzátor harmonických, osciloskop či zapisovač. K tomu, abychom přivedli signál charakterizující velikost proudu na vstupy analyzátoru, se využívá různých typů proudových adaptérů.

3.3 Výrobky na českém trhu

Na českém trhu můžeme najít výrobky firem z různých koutů světa. Zmíním ty, které mají na našem trhu, zejména tedy na internetových obchodech, nejrozsáhlejší nabídku svých výrobků, analyzátorů kvality sítě, jak pro jednofázovou, tak pro trojfázovou síť. Mezi největší

evropské výrobce patří firma Chauvin Arnoux (C.A.), což je francouzská firma, jejímž dodavatelem v České republice je dovozce GHV Trading. Také bych zmínil německou firmu Gossen-Metrawatt GmbH, kterou u nás zastupuje GMC měřicí technika. Mezi evropskými výrobci si vydobyli své místo na trhu také firmy ELSPEC a Metrel (MI). Dále největším zástupcem z USA je firma Fluke, která se stala nadnárodní korporací a má pobočky téměř po celé Evropě. Z těch asijských či spíše japonských firem je nejvýznamnější firma HIOKI a neméně významná firma Kyoritsu se svými výrobky označovanými zkratkou KEW. Musím také zmínit, že předním dodavatelem všech těchto značek měřicí techniky a odborných služeb s nimi spojených je firma Blue Panther. Pokud byste chtěli koupit nějaký přístroj z internetového obchodu a ne v kamenných obchodech, tak by bylo určitě vhodné podívat se na oficiální stránky buď zmiňovaných výrobců a dodavatelů nebo na nabídku internetových stránek dalších českých či zahraničních dovozců.

Ceny takovýchto analyzátorů, které patří do té první skupiny tzv. přenosných, se pohybují zhruba od 8 tisíc korun až po 180 tisíc korun včetně DPH. U té druhé skupiny, tedy u těch pevně instalovaných, jsou ceny dražší, ty začínají zhruba od 50 až 60 tisíc korun. Zde platí to, že v čím dražší cenové relaci se přístroj nachází, tím více funkcí v sobě sdružuje.

3.4 Výběr přístroje

Z širokého sortimentu výrobků na trhu je určitě složité vybrat právě ten správný typ přístroje. Abychom si mohli nějaký přístroj vybrat, pak musíme vědět nebo zjistit, co od takového přístroje očekáváme, kde se bude používat a co si představujeme, aby zvládal. Tedy musíme si určit daná kritéria. Danými kritérii mohou být např. přesnost měření, kvalita a kvantita parametrů přístroje. Dále je to jistě podle toho, na jaké soustavě budeme měřit (jednofázová síť nebo trojfázová síť). Dalším kritériem, které bychom měli brát v potaz je, jestli má analyzátor sloužit k vyhledávání poruch či k dlouhodobému snímání záznamů dějů v síti. Samozřejmě existují analyzátory, s nimiž jsme schopni aplikovat obě tyto funkce. Další možností volby je přístroj buď s grafickým či numerickým displejem. Různé typy analyzátorů také různě ukládají naměřená data, různě je přenášejí a používají jiné typy komunikace [15].

3.4.1 Použití jednofázových a trojfázových analyzátorů

Pokud se zabýváme otázkou, jestli pořídit analyzátor jednofázový či trojfázový, tak bychom měli vědět, že ty jednofázové se používají většinou tam, kde je trojfázový přívod již rozdělen do jednotlivých fází (např. rozvody v budovách, počítačové sítě) a také k měření na

konkrétních spotřebičích. Zatímco trojfázové využijeme spíše v průmyslových podnicích. Tam se měření provádí od hlavních přívodů až po jednotlivé stroje, spotřebiče (např. elektromotory). Samozřejmě není vyloučena ani ta možnost použít trojfázové analyzátory pro měření jednofázových přívodů [15].

3.4.2 Nastavení přístroje

Některé přístroje mají oblast, v které jsou schopny pracovat již předem určenou svými vlastnostmi. Avšak jiné můžeme nastavit sami pomocí konfigurovatelných možností přístroje. Analyzátor je třeba před vlastním měřením vhodně nastavit. Oblast využití je široká. Přístroj může být pevně umístěn v rozvaděči, můžeme ho s sebou přenášet na místa poruch nebo ho můžeme použít pro dlouhodobější sledování. Vhodné je také zjistit, co daný analyzátor bude sledovat. Když zjistíme, k čemu přesně má sloužit, můžeme si vybrat takový, který má námi vyžadované funkce a nemusíme platit za dražší, u kterého nevyužijeme funkce navíc [15].

3.4.3 Přesnost přístroje

Mezi ta důležitá kritéria se také řadí přesnost přístroje. U přístroje, který využíváme v průmyslovém podniku na kontrolu elektromotorů či jiných technologií, nepotřebujeme nejvyšší přesnost. Ale naopak tam, kde měříme dodávku z elektrické soustavy nebo do elektrické soustavy je nejvyšší přesnost naprosto nezbytná [15].

3.4.4 Otázka bezpečnosti

Otázka bezpečnosti není o nic méně důležitá. U každého analyzátoru by mělo být uvedeno označení přepět'ové kategorie CAT I až CAT IV a také pracovní napětí. Přepět'ové kategorie vychází z normy IEC61010-1 [16]. Ta určuje tyto kategorie na základě vzdálenosti daného zařízení od zdroje energie a přirozených útlumů přechodných odchylek energie, které se mohou vyskytovat v elektroinstalaci. A platí, že čím vyšší kategorie, tím blíže ke zdroji a je nutná vyšší ochrana.

Přepět'ové kategorie:

- CAT I: obvody, které nejsou přímo připojeny k síti a zvláště chráněny (př. chráněné elektronické obvody),
- CAT II: obvody připojené přímo k nízkému napětí (1-fázové, př. zásuvkově připojená zátěž, napájení pro domácí elektrické spotřebiče a nářadí),
- CAT III: elektrické rozvody v budovách (3-fázové, včetně 1-f. komerčního osvětlení, př. elektrické panely, jističe, pevné průmyslové stroje nebo zařízení),

- CAT IV: zdroje nízkého napětí (3-fázové připojení na vnější rozvod, vstupní přívody budov, jakékoliv vnější vodiče).

Z bezpečnostních důvodů se také musí používat pouze měřicí příslušenství ve stejné kategorii a se stejným napětím jako je kategorie a napětí přístroje v souladu s normou IEC61010 nebo vyšší [16].

3.4.5 Displej přístroje

K dostání jsou jak přístroje s displejem tak bez něj. Je-li přístroj vybaven displejem, pak naměřená data a sledované záznamy lze okamžitě číst z displeje a není třeba, abychom museli data přeposílat do počítače. Pokud je samozřejmě analyzátor určený k tomu, aby byl neustále zavřen např. v rozvaděči, tak určitě není displej nutný. Možná výhoda přístroje bez displeje je ta, že nepovolaná osoba nezmaří vlastní měření či nezmění nastavení analyzátoru [15].

3.4.6 Koupě analyzátoru

Když si zakoupíme přístroj, převážně bude balení obsahovat samotný analyzátor, kuffík na celou sadu, měřicí kleště, set měřicích kabelů, akumulátor, nabíječku, patřičný software pro komunikaci s PC, USB kabel pro připojení k PC, příručku a jiné volitelné doplňky.

Ruční přístroj je oproti tomu pevně instalovanému jen jeden celek, vše je v něm sdruženo. Má většinou malé rozměry a dá se držet jen v jedné ruce. Avšak ty pevně instalované jsou systémy složeny z více modulů. Tento systém obsahuje napájecí zdroj, následně modul pro měření napětí a proudů, jehož součástí jsou i měřicí proudové transformátory, modul, který je schopen komunikovat s počítačem, zpracovávat a ukládat naměřená data. Další volitelné moduly jsou např. modul bezdrátové komunikace či modul ovládací a zobrazovací jednotky.

3.4.7 Vyhodnocování a zaznamenávání dat

V čem se ale naopak tyto přístroje neliší, je způsob, jakým vyhodnocují a zaznamenávají naměřená data. Běžný způsob probíhá tak, že analyzátor měří data na všech proudových i napěťových kanálech. Tato data pak přístroj vyhodnotí, buď podle normy, nebo způsobem jakým jej nadefinoval uživatel a výsledky uloží do své paměti. Uživatel tedy nevidí, jaké byly skutečné hodnoty, ale až ty výsledné, které jsou ukládané do paměti. Tím ztrácí návaznost mezi skutečnými a vyhodnocenými daty. Další možný způsob je ten, že analyzátor vytváří záznam až několika stovek či tisíc vzorků na periodu měřeného signálu, což při 50Hz odpovídá 20ms. Takže není problémem zachytit i krátkodobý přechodový děj, který v síti

vzniknul. S tím je ale spojeno obrovské množství výstupních dat, které se pro další práci musí komprimovat. Pokud jsou vstupní veličiny v ustáleném stavu, komprimace je maximální, a proto se nemusí ukládat tak velké množství naměřených vzorků. Avšak pokud vznikne v síti přechodový jev, máme již dostatečný počet vzorků k tomu, aby tento přechodový děj byl zaznamenán a uložen do paměti (většinou na paměťovou kartu). Tímto způsobem tedy analyzátoru žádná událost, která v síti nastane, neunikne. Spojitý záznam všech napětí a proudů, která jsou komprimována, mohou vytvářet záznam dlouhý klidně až jeden rok. Záznam všech veličin je určitě vhodný využít na takových místech, kde uživatel v podstatě netuší, jaký problém by měl vyhledávat. Ve výsledcích měření se tedy mohou objevit jevy, o kterých předtím neměl uživatel ani ponětí [14].

3.5 Software

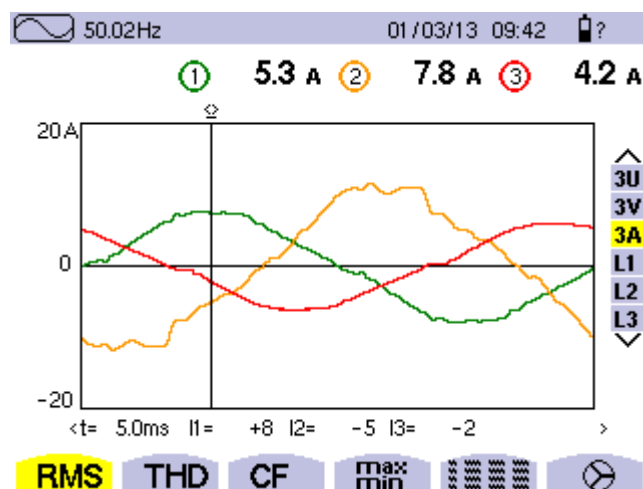
Software určený pro prohlížení naměřených dat, umožňuje uživateli snadný přístup k těmto datům. Data jsou automaticky převedena z paměti analyzátoru do databáze počítače. Nebo se data mohou rovnou tisknout na papír přes tiskárnu. To se samozřejmě může dít prostřednictvím USB kabelu či pomocí bezdrátového spojení Wi-fi, podle toho jaký typ analyzátoru jsme si pořídili. Jisté typy analyzátorů ani jinou možnost, jak se na změřené průběhy podívat, než pomocí PC s daným softwarem nemají. Software nám zobrazí zachycené průběhy, dopočítá veškeré další parametry, porovná naše hodnoty s hodnotami normovanými nebo s těmi, které jsme si sami přednastavili. Samozřejmostí softwarové aplikace je i možnost filtrovat dané časové úseky, o které máme zájem. Díky stejnému databázovému systému pro přenosné a pevně instalované analyzátory jsme schopni sledovat šíření poruchy sítí a v daných námi sledovaných místech. Data z přenosných i pevně instalovaných lze srovnávat a prokládat přes sebe v jedné aplikaci. Pokud analyzátor obsahuje ethernetový vstup, můžeme ho nastavovat a provádět s ním měření pomocí vzdáleného počítače v reálném čase připojením na FTP server analyzátoru v podstatě z jakéhokoliv místa potřebujeme.

4 Popis konkrétních typů analyzátorů

Na trhu jsou tedy k dostání různé typy analyzátorů, které se pohybují v rozdílných cenových relacích. Pro bližší popis jsem si vybral ty zástupce, s kterými jsem měl možnost měřit v laboratoři či v terénu a reálně se s nimi setkat.

Zmíním přístroje Chauvin Arnoux typ 8332 a typ 8335, což jsou zástupci vyšší cenové kategorie. Vhodné uplatnění těchto analyzátorů nalezneme u středních a velkých odběratelů energie i výrobců a distributorů. Takovéto přístroje jsou schopny pracovat ve střídavých i stejnosměrných jednofázových, dvoufázových či trojfázových sítích. S ohledem na širokou nabídku příslušenství k takovým přístrojům je zajištěna univerzálnost pro různorodosti měřených veličin a podmínek měření.

Jako příklad bych uvedl pár měřících režimů těchto přístrojů. Základní měření a analýzy jsou prováděny v tzv. monitorovacím režimu. Při tomto režimu jsou na displeji přístroje zobrazovány skutečné naměřené efektivní hodnoty (RMS - Root-Mean-Square) proudu, napětí, frekvence a jejich grafické průběhy. Pro přehlednost jsem přiložil obrázek č. 4.

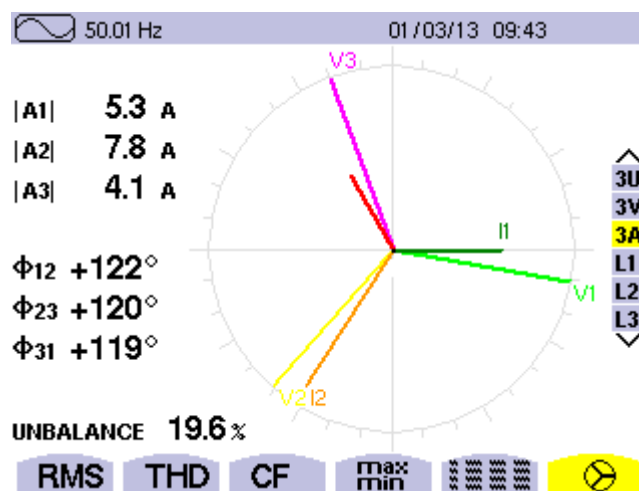


Obr. 4 Současné zobrazení více měření

V daném obrázku č. 4. si můžeme všimnout horní lišty, kde se nachází důležité parametry přístroje jako je kmitočet sítě, datum a čas měření, aktuální stav baterie. Na pravé svislé liště je výběr možných zobrazení grafů na displeji. Vysvětlení pro zkratky: 3U = fázová napětí v trojfázové síti, 3V = sdružená napětí v trojfázové síti, 3A = 3 fázové proudy. L1, L2 a L3 umožňuje přepínání mezi zobrazením průběhu první, druhé a třetí fáze. Údaje pod grafem udávají velikost aktuálních hodnot v čase t, čas t je vyznačen přímkou. Dále dolní vodorovná lišta, kde můžeme zvolit konkrétní měření – jakýsi podrežim. RMS značí skutečnou efektivní

hodnotu. THD značí celkové harmonické zkreslení. CF značí Crest Factor tzv. faktor výkyvu. CF nám udává poměr mezi maximální a efektivní hodnotou signálu. Pod ikonou Max/Min se skrývá funkce zobrazování maximální, minimální a průměrné hodnoty signálu. Pomocí této funkce můžeme také zobrazovat špičky signálu. Následující ikona nám umožňuje přehledně si prohlédnout měřené veličiny v tabulkách. Poslední ikona je přepnutí na zobrazení Fresnelova kruhového diagramu (obr. č. 5).

Při zobrazení Fresnelova kruhového diagramu jsou kromě samotného diagramu zobrazovány i číselné hodnoty napětí (proudů) na jednotlivých fázích a jejich fázový posuv, také je u něj zobrazeno celkové nevyvážení soustavy.

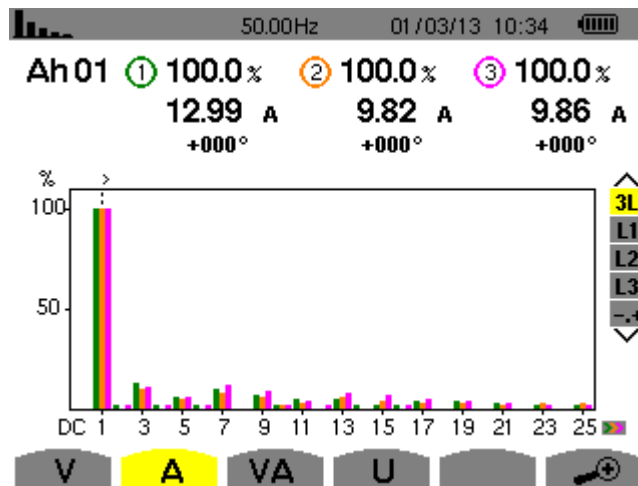


Obr. 5 Fresnelův kruhový diagram

Zkratky [A1], [A2], [A3] jsou absolutní hodnoty proudu. Φ_{12} , Φ_{23} , Φ_{31} značí fázový posuv mezi jednotlivými fázemi. UNBALANCE udává poměr nevyváženosti soustavy. Dolní a postranní pravá lišta opět souží k výběru podrežimů.

Zatímco tzv. monitorovací režim je předurčen k tomu, aby vyhledal problémy kvality v dané síti, tak další tzv. analytický režim je chopen vykonávat velmi podrobnou analýzu vyšších harmonických. Tím pádem můžeme snadno odhalit skutečný původ problému.

V analytickém režimu jsou vzorkovány jednotlivé absolutní i relativní hodnoty harmonických napětí, proudů či výkonu. Kromě možnosti zobrazení základních informací o těchto harmonických, můžeme získat i další důležité údaje, např. maximální a minimální hodnoty harmonických nebo THD soustavy. Další možností je zobrazení fázového posuvu námi zvolené harmonické oproti té základní. Zobrazení analytického režimu je vidět na obrázku číslo 6.



Obr. 6 Analytický režim

V horní části displeje je poměrná hodnota harmonické (udávaná v %), absolutní hodnota harmonické a fázový posuv k základní harmonické. Čárový diagram nám ukazuje hodnoty až do n. harmonické, podle typu přístroje, avšak většinou do 50. harmonické. Pravá lišta ukazuje sledované fáze, samozřejmě můžeme zvolit jinou. Výběr z ikon dole umožňuje volit podrežim pro napětí sdružené, proud fáze, výkon a fázové napětí.

V tomto režimu je také možné zobrazit orientaci harmonických výkonů, což je velice důležitá funkce, protože díky této informaci se dá zjistit, jestli daná harmonická ze soustavy odchází či naopak do soustavy přichází. O nic méně významná je funkce, která nám dovoluje rozdělit indukované harmonické na skupiny negativních, neutrálních a pozitivních posloupností. Takto rozdělené harmonické do skupin nám pomůže analyzovat důvody, např. zahřívání nulového vodiče nebo rotačního zařízení.

Další funkce jsou dosaženy režimem pro měření a analýzy výkonů a energie. Zde se měří činný, jalový a zdánlivý výkon v každé jednotlivé fázi. Měřit můžeme také činné, jalové a zdánlivé dodávky a spotřeby energie. Kromě naměřených hodnot, přístroj dokáže spočítat velikost fázových posuvů a účinníků. Takže tímto režimem docílíme analýzy energetických ztrát v soustavě a jejich kompenzaci.

Režim přechodových dějů je určen pro analýzu přechodových dějů. Přechodový děj můžeme změřit např. při kontrole rozběhových proudů u elektromotoru. Tento režim tedy umožňuje tyto děje v elektrické síti zaznamenávat, ukládat si je do paměti své nebo rovnou do paměti počítače pomocí softwaru. Následně se dají z paměti vyvolávat. Kolik takovýchto záznamů můžeme do paměti uložit, opět závisí na daném typu přístroje.

Pokud porovnáme oba zmíněné přístroje, tedy typ C.A 8332 s C.A 8335, tak jasně lepší přístroj je C.A 8335, neboť 8332 je jeho starším předchůdcem. Hlavní výhodou 8335 vidím v počtu proudových vstupů, kterými disponuje. Jelikož má o jeden vstup více, můžeme s ním měřit proud tekoucí ve středním vodiči. Další jeho velkou výhodou je přesnost měření, typ 8335 měří v třídě přesnosti A, zatímco 8332 měří ve třídě přesnosti B. Cena přístroje 8332 se nyní pohybuje zhruba kolem 45 000 Kč, cena typu 8335 se pohybuje kolem 110 000 Kč. Samozřejmě se celková cena odvíjí podle toho, jaké příslušenství k analyzátoru koupíme.

Ostatní údaje jsem shromáždil v tabulce č. 2.

Typ	Ideal 61-830	Fluke 345	C.A 8220	KEW 6310	HIOKI 3197	C.A 8332	C.A 8335	PQ-Box 100	Elspec G4500	Fluke 1735	Fluke 435 II
soustava	1f	1f	1f	3f	3f	3f	3f	3f	3f	3f	3f
počet vstupů napětí	1	1	2	4	4	4	4	4	4	4	5
počet vstupů proudů	0	1	1	4	3	3	4	4	4	4	4
displej	digitální	grafický	digitální	grafický	grafický	grafický	grafický	grafický	grafický (tablet)	grafický	grafický
maximální vstupní napětí	230 V	800 V	600 V	600 V	600 V	600 V	1000 V	800 V	1000 V	600 V	1000 V
výkon	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
energie	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
přechodové děje	ne	ne	ne	ano	ne	ne	ano	ano	ano	ne	ano
harmonické	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
vektorový diagram (nevyváženost)	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ano
paměť	ano	ano	-	až 1 Gb	4 Mb	2 Mb	1 Gb	1 Gb	32 Gb	4 Mb	až 32 Gb
třída přesnosti	B	neuvedeno	B	B	B	B	A	A	A	B	A
Bezpečnostní kategorie ČSN EN 61010	CAT III 300 V	CAT III 1 kV/CAT IV 600 V	CAT III 600 V	CAT III 600 V/CAT IV 300 V	CAT III 600 V/CAT IV 300 V	CAT III 600 V	CAT III 1kV/CAT IV 600 V	CAT IV 800 V	CAT III 1kV/CAT IV 600 V	CAT III 600 V	CAT III 1kV/CAT IV 600 V
Přehled kvality dle EN 50160	ano	-	-	-	-	ano	ano	ano	ano	-	ano
Standardy IEC61000-4-30 třídy A	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ano	ne	ano

Tab. 2 Srovnání analyzátorů

Pokud je v buňce tabulky uvedena pomlčka, znamená to, že údaj nebyl v příručce o popisu produktu uveden.

Pro přehlednost jsem do tabulky č. 2 přidal i další typy přístrojů, které jsou momentálně k datu 16.5.2013 k nalezení na stránkách BluePanther.cz. Zde jsou internetové odkazy na stránky výrobců analyzátorů z tabulky č. 2 (platné 16.5.2013):

- <http://www.idealindustries.com/>,
- <http://www.fluke.com/fluke/czcs/home/default>,
- <http://www.chauvin-arnoux.com/>,
- <http://www.kew-ltd.co.jp/en/>,
- <http://www.hioki.com/>,
- <http://www.a-eberle.de/en/>,
- <http://www.elspec-ltd.com/>.

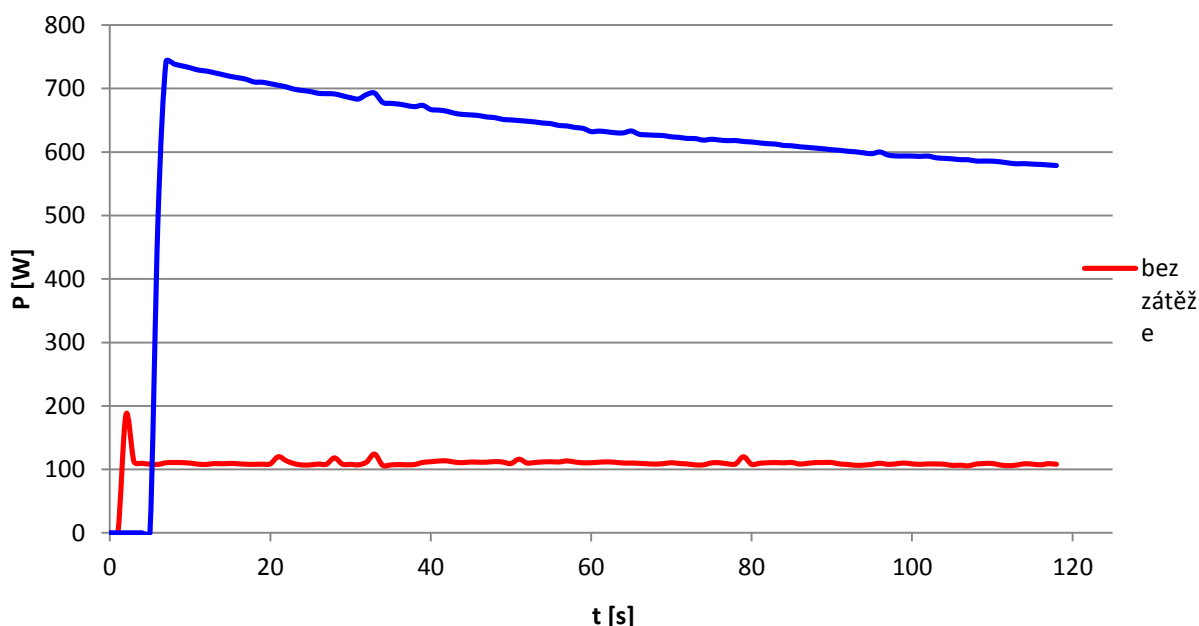
Přímé internetové odkazy k popisu daných výrobků na stránkách výrobce jsem vložil do příloh (viz. Příloha A).

5 Měření s analyzátozem

5.1 Laboratorní měření

První měření jsem provedl laboratorně na katedře teoretické elektrotechniky. Jednalo se o měření, kde byl na hřídeli motoru připevněn přes přírubu hliníkový ingot, na který byl vsunut magnetický obvod. V tomto magnetickém poli se ingot při rotaci zahřívá v důsledku působení vířivých proudů. Mně tato sestava posloužila k měření napětí, proudů, výkonů i účinníků. Zde jsem použil analyzátor C.A 8332, naučil jsem se s přístrojem zacházet a ovládat ho. Měřil jsem motor na prázdno, následně při zatížení magnetickým obvodem. Výsledky měření činných výkonů jsem vynesl do grafů a umístil do příloh (viz. Příloha B).

Porovnání činných výkonů - bez zátěže / se zátěží

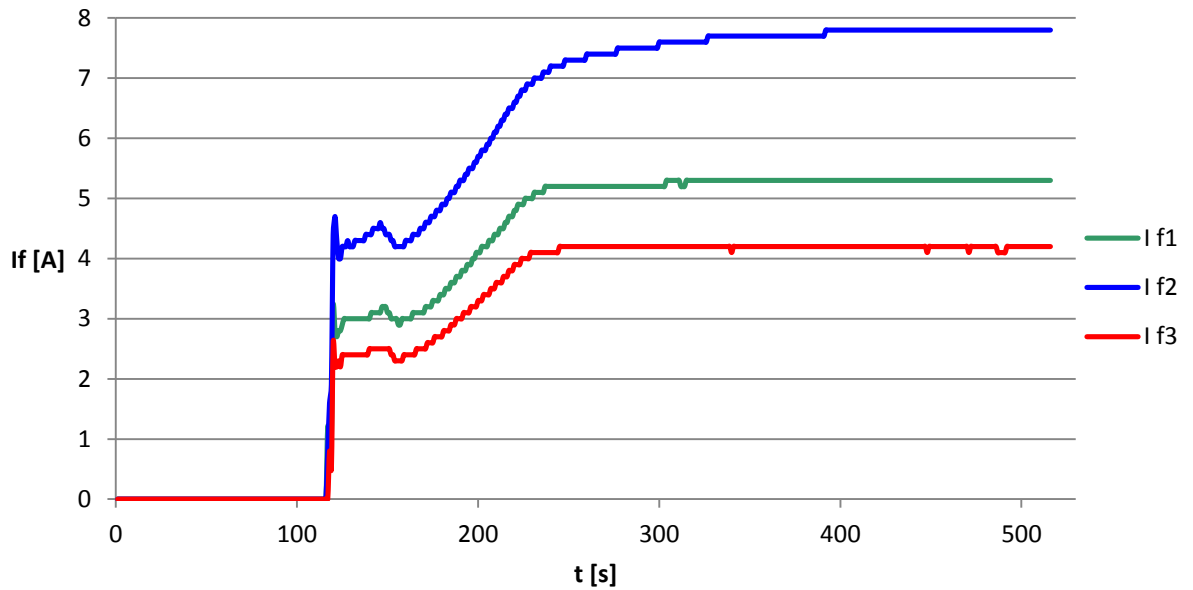


Obr. 7 Porovnání činných výkonů na první fázi bez zátěže a se zátěží

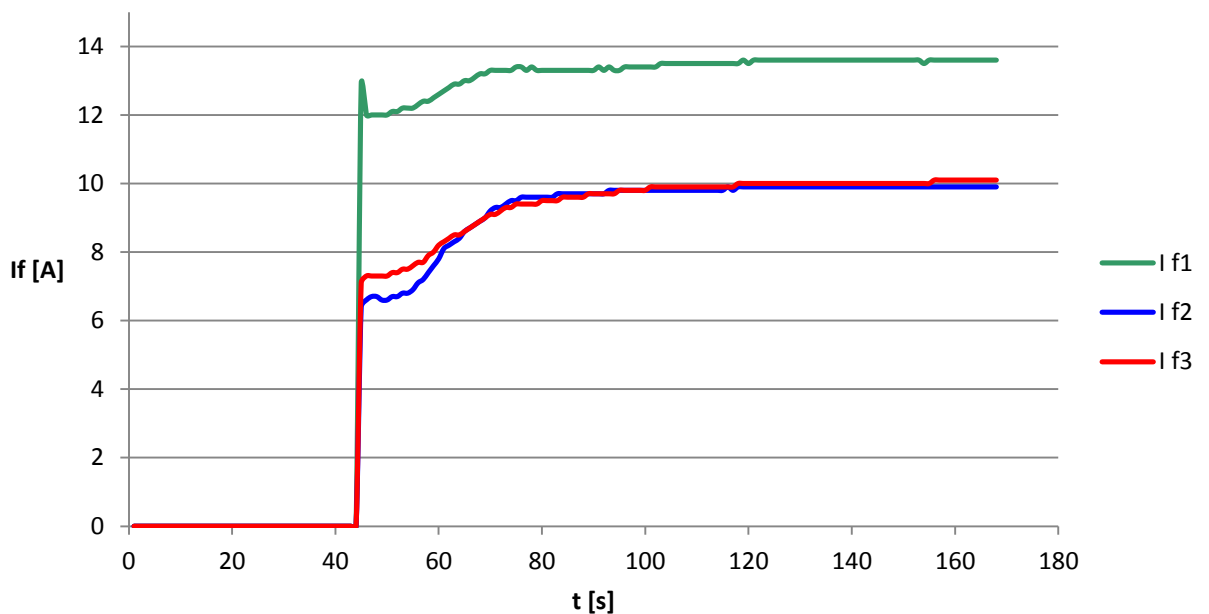
Na obrázku č. 7 můžeme vidět, že činný výkon odebíraný (po cca 100 sekundách) při zatížení, tedy s magnetickým obvodem, je o zhruba 500 Wattů větší než při stavu bez zátěže.

5.2 Měření v Trhových Svinech

Na druhé měření jsem jel do Trhových Svinů. Zde jsem měřil dva okruhy pouličního osvětlení. První okruh (tedy okruh A) se skládal ze 48 vysokotlakých sodíkových výbojek typu HORNET-70S-REG o výkonu 70 W. Svítidla jsou regulovatelná s elektronickým předřadníkem. Dále byla v okruhu dvě svítidla starší konstrukce osazená opět vysokotlakou 70 W sodíkovou výbojkou, avšak pouze s konvenčním elektromagnetickým předřadníkem (klasická tlumivka). Okruh B se skládal pouze z vysokotlakých sodíkových výbojek. Zde jsem měl k dispozici analyzátor C.A 8332 i C.A 8335. Zaznamenával jsem skutečné hodnoty napětí, proudů i jejich harmonická zkreslení, dále výkony, účinnky i energii, a to během zapínání světel v okruhu, abych zachytil náběžné špičky. Tyto veličiny jsem vynesl pro přehlednost do grafů a také jsem pořídil několik snímků z displeje přístrojů (viz. Příloha C - okruh A, Příloha D - okruh B).

Fázové proudy - okruh A

Obr. 8 Fázové proudy - okruh A

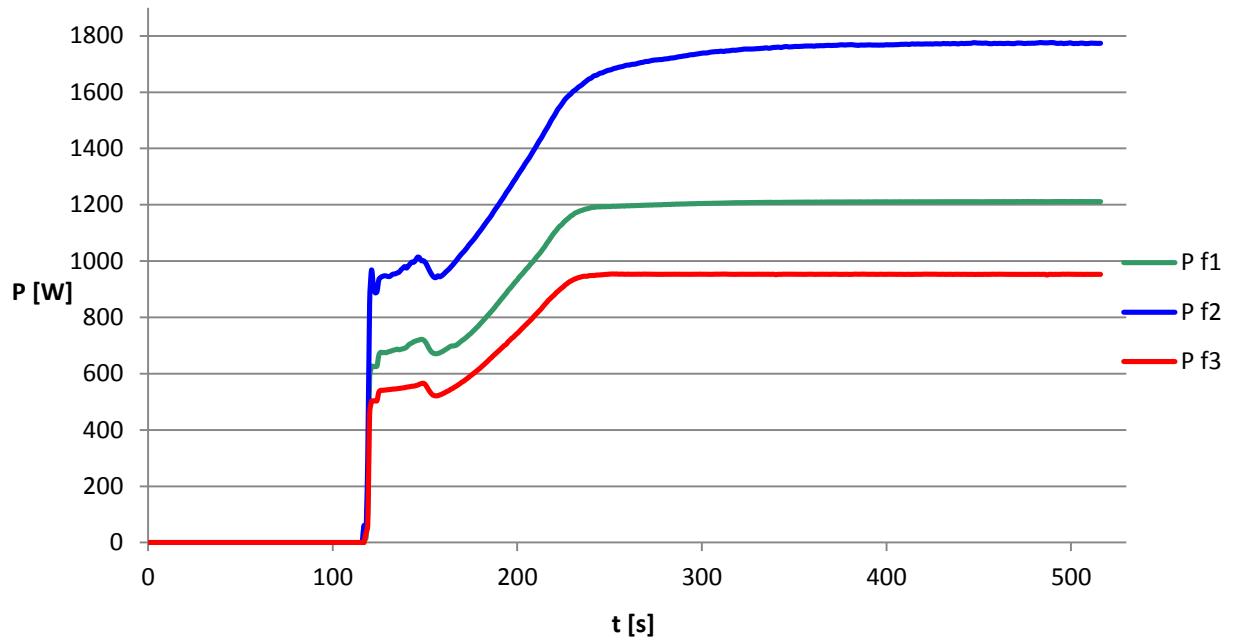
Fázové proudy - okruh B

Obr. 9 Fázové proudy - okruh B

Na obrázku č. 8. můžeme vidět, že je druhá fáze zatěžována více než zbývající. Oproti první je na druhé proud až dvojnásobný. Toto by se mohlo vyřešit přepojením některých světel z druhé fáze na první nebo třetí fázi, tím by se snížil proud v jednotlivých větvích. Pak by bylo možné například vyměnit v rozvaděči stávající hlavní jističe před elektroměry za

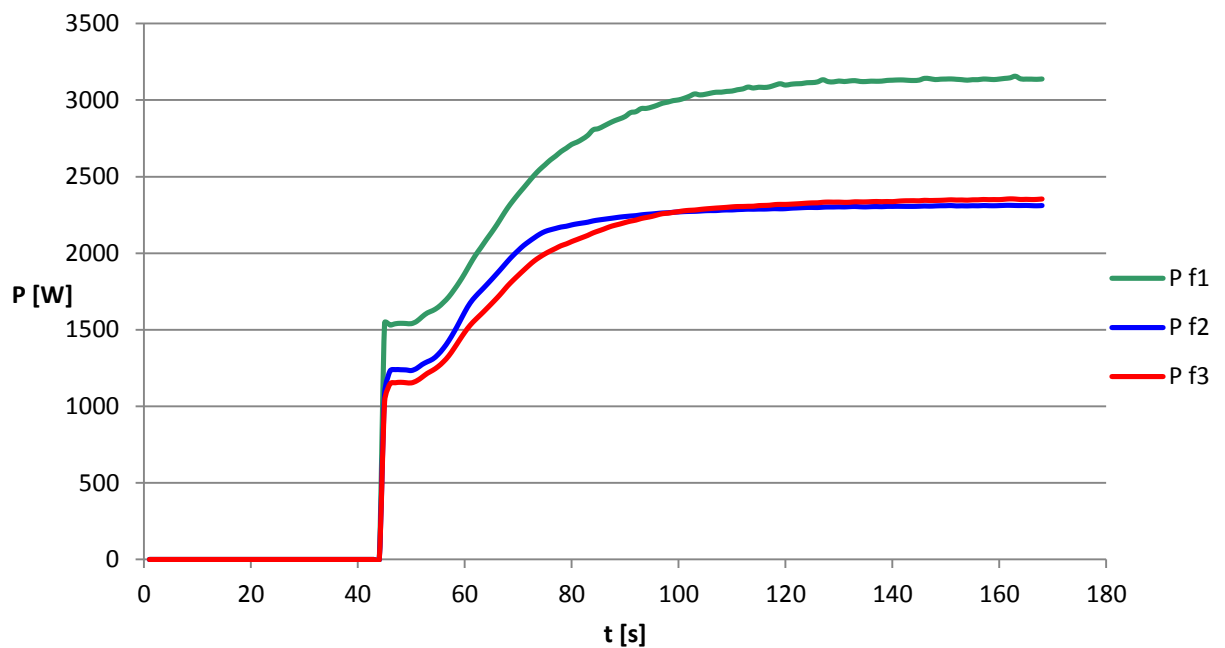
jističe pro nižší proudy, a tím získat finanční úsporu. V okruhu B není tento rozdíl již takový, avšak i přesto je proud v první fázi o třetinu větší než ve zbývajících fázích. S většími proudy v daných fázích souvisí i větší činné výkony v těchto fázích (viz obr. č. 10, 11).

Činné výkony - okruh A



Obr. 10 Činné výkony - okruh A

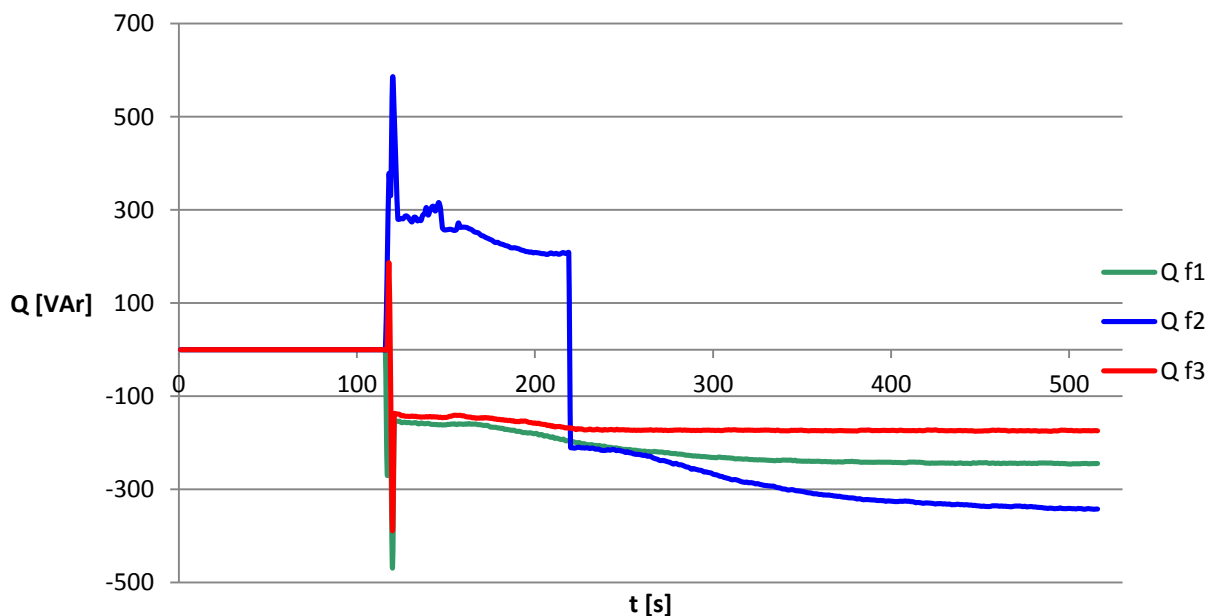
Činné výkony - okruh B



Obr. 11 Činné výkony - okruh B

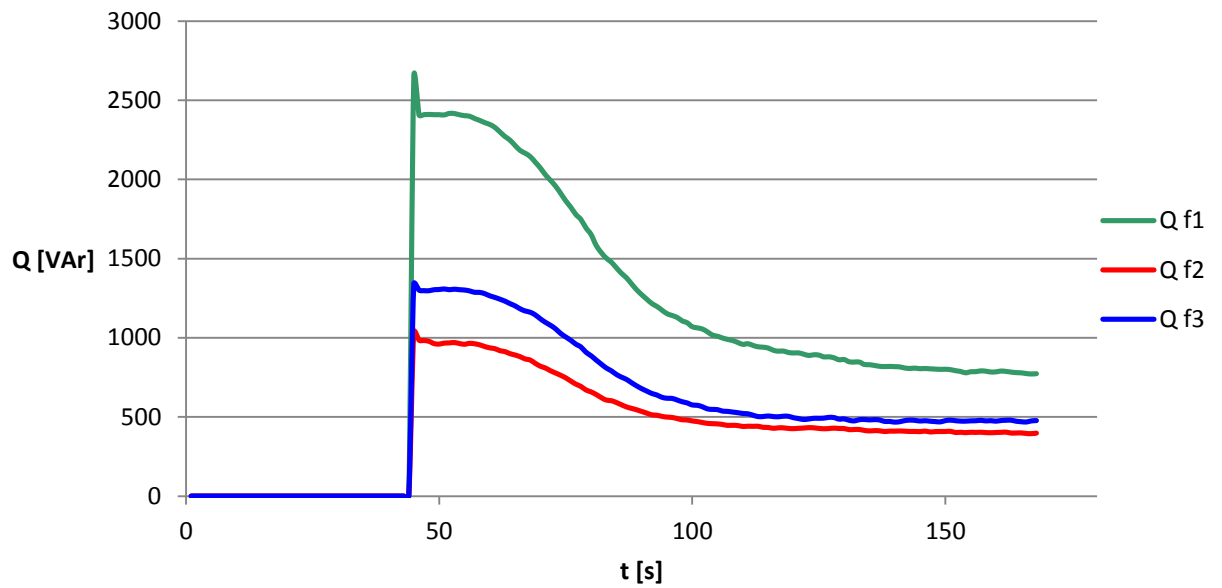
Činný výkon na všech fázích není tvořen pouze příkony svítidel (světelných zdrojů a elektrovýzbroje), ale je tvořen i ztrátami v hliníkovém kabelovém vedení mezi sloupy, na přechodových odporech svorkovnice mezi napájecím kabelem a napájením vlastního svítidla, další svorkovnice je ve vlastním svítidle. Ztráty vznikají také na přechodu mezi objímkou a výbojkou, v pojistce každého světelného bodu. Nejdou pominout ani ztráty, které jsou tvořeny v samotném rozvaděči. Zde se jedná o kontakty jističů, pojistek, stykačů, přechodové odpory na jednotlivých svorkovnicích všech prvků, cívky stykačů, HDO, spoušť jističe, atd. Dále je nutno zvážit výrobní tolerance u výbojek a jejich stárnutí. Chyba měření samozřejmě vzniká také přesností měření daným přístrojem.

Jalové výkony - okruh A



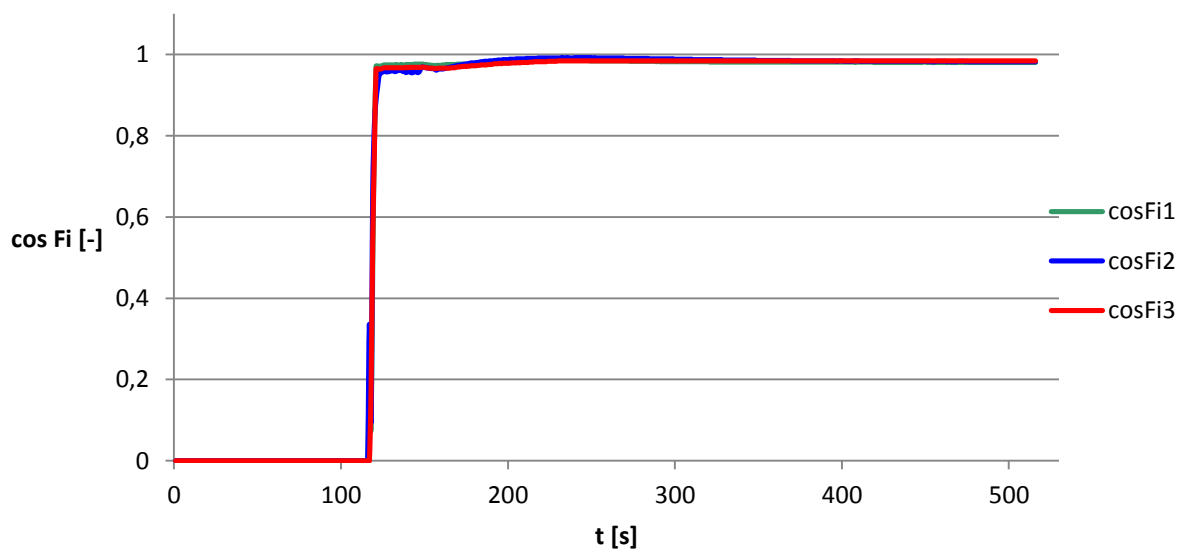
Obr. 12 Jalové výkony - okruh A

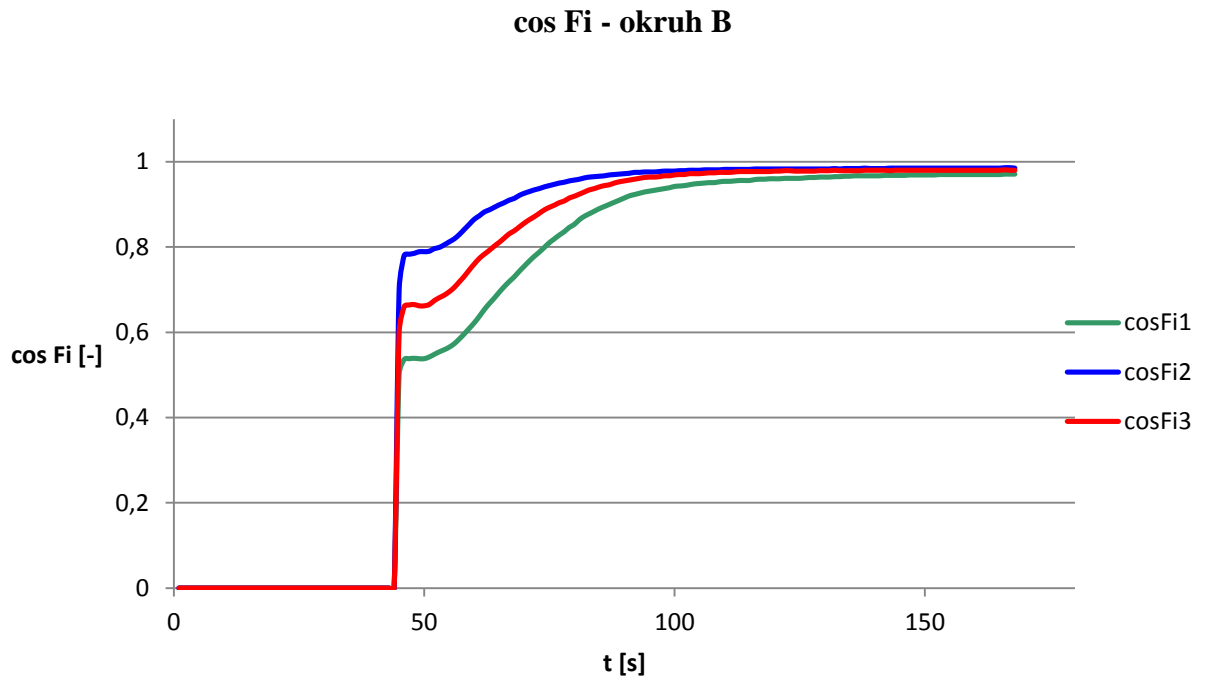
Při měření jalového výkonu v okruhu A dochází v prvních sto sekundách k přechodovému ději, kdy má druhá fáze induktivní charakter. Dochází k rozsvícení, tedy zapálení výboje do plného svitu. Kompenzace je nastavena tak, aby reagovala po tomto ději. Řešení pomocí dynamické kompenzace, která by reagovala i na zapálení, se v tomto případě jeví jako nevhodné, jelikož doba náběhu oproti době plného svitu tvoří pouze cca 0,3 % doby provozu za rok. Správnost vykompenzování se vyhodnocuje dle $\cos \varphi$, tedy dle poměru mezi složkami výkonu (viz obr. č. 14, 15).

Jalové výkony - okruh B

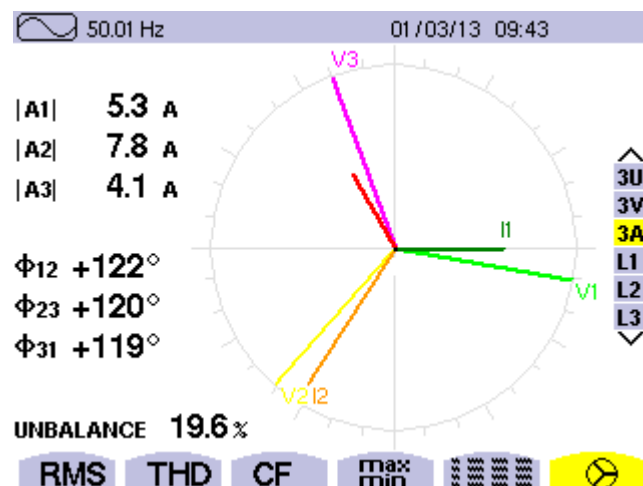
Obr. 13 Jalové výkony - okruh B

Správným vykompenzováním všech fází je zamezeno zvyšováním ztrát při přenosu elektrické energie. Taktéž můžeme říci, že správná a vhodně provozovaná kompenzace, v tom nejobecnějším pojetí, má zásadní vliv na kvalitu energické energie [1].

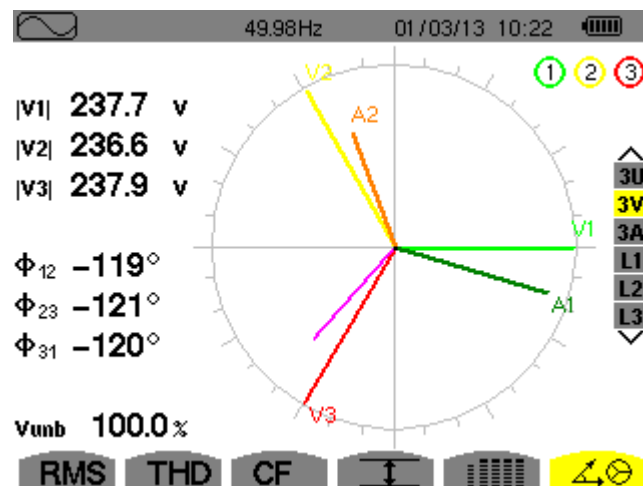
cos Φ_i - okruh AObr. 14 Cos φ - okruh A

Obr. 15 Cos φ - okruh B

Účinník $\cos \varphi$ ve všech fázích obou okruhů se po odeznění přechodového děje (cca po sto sekundách) blíží k hodnotě 1, tedy překračuje hodnotu 0,95, což je známkou dostatečného vykompenzování pomocí vestavěných kompenzačních kompenzátorů ve svítidlech.

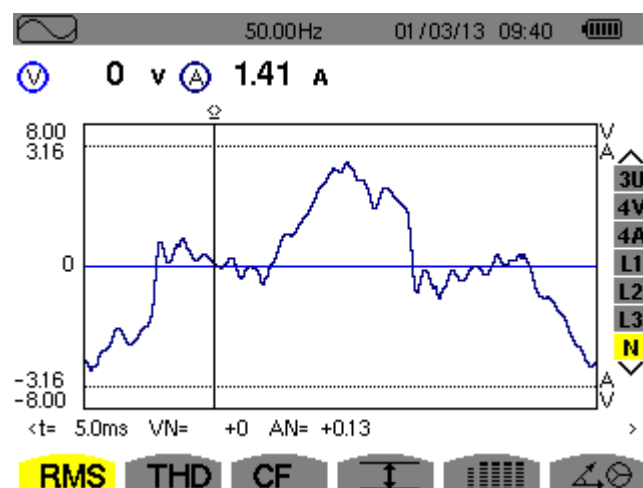


Obr. 16 Fresnelův kruhový diagram pro fáz. proudy - okruh A - snímek z C.A 8332



Obr. 17 Fresnelův kruhový diagram pro fáz. napětí - okruh B - snímek z C.A 8335

Ze snímku Fresnelova kruhového diagramu můžeme vidět, že v obou okruzích je soustava nevyvážená, což je způsobeno různým zatížením jednotlivých fází. Nesouměrnost se projevuje tím, že nulovým vodičem protéká proud (viz obr. č. 18). Jedná se o tzv. proudovou nesymetrii. Proudová nesymetrie vyvolává i napěťovou nesymetrii, jelikož více zatíženou fází teče větší proud než zbývajících fázemi. Proto bude ve více zatížené fázi větší úbytek napětí mezi zdrojem a spotřebičem, a tím pádem bude na konci vedení dané fáze i o trochu nižší napětí než ve fázích zbývajících.



Obr. 18 Skutečná efektivní hodnota proudu nulovým vodičem - okruh A - snímek z C.A 8335

6 Energetický audit

Energetický audit je definován zákonem č. 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů a návaznou vyhláškou č. 48/2012 Sb. (nahrazuje původní č. 213/2001 včetně její novely č. 425/2004 Sb.). Jeho struktura je jasně stanovena a jeho cílem je prověření o hospodaření s energiemi, navrhování opatření pro jejich úsporu a efektivnější využití.

Energetický audit je povinný podle zákona č. 406/2000 Sb. pro velké budovy nebo technologické celky přesahující limity spotřeby energie na rok, dále je povinný tam, kde se stát podílí na financování, hlavně tedy tam, kde jsou státní dotace. Zpracovat energetický audit mohou pouze osoby, které složili příslušné zkoušky a mají potřebnou kvalifikaci, a jsou zapsáni v seznamu Ministerstva průmyslu a obchodu [17].

6.1 Protokol energetického auditora

Ukázkový protokol jsem vytvořil v prostředí MS Excelu podle naměřených údajů, které jsem získal při měření pouličního osvětlení v Trhových Svinech. Jedná se o okruh A a B. Protokol automaticky tyto data zobrazuje, určí ustálený stav, takže není nutné kupovat žádný drahý software, jelikož výrobce poskytuje vlastní freeware program, díky kterému se dají data stáhnout. Pro práci energetického auditora je tento freeware plně dostačující.

Protokol obsahuje údaje o tom, kde a kým bylo měření provedeno, kdy měření probíhalo a jakým přístrojem bylo měřeno.

Na první straně protokolu je nejdříve uvedena tabulka okamžitých hodnot na všech fázích v době, kdy odezněl přechodový děj a nastal ustálený stav. Pod ní jsou vyneseny čtyři grafy. Dva z nich po levé straně znázorňují Fresnelův kruhový diagram, horní je pro fázová napětí, dolní pak pro fázové proudy. Na pravé straně jsou vyneseny sloupcové grafy znázorňující fázové proudy a účinník. V těchto grafech je znázorněna průměrná hodnota, aby byl jasně patrný rozdíl velikostí jednotlivých fází.

Druhá strana protokolu pak obsahuje dva grafy. V prvním grafu je závislost fázových proudů na čase a v druhém grafu je závislost činného výkonu na čase.

Měření rozvaděče VO - okruh A

Označení: _____

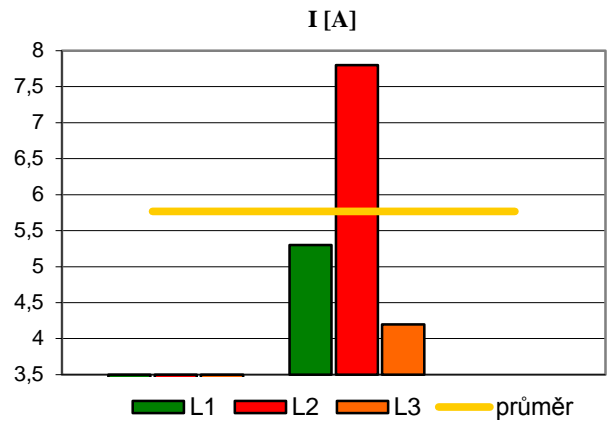
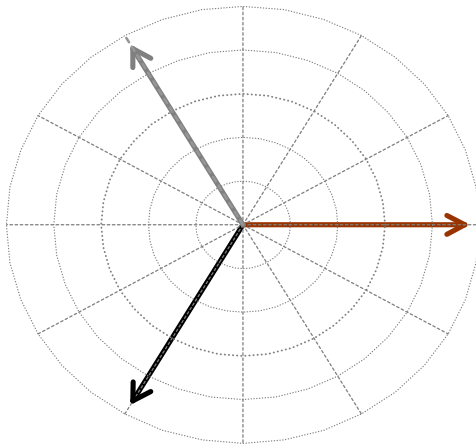
Adresa

umístění: _____

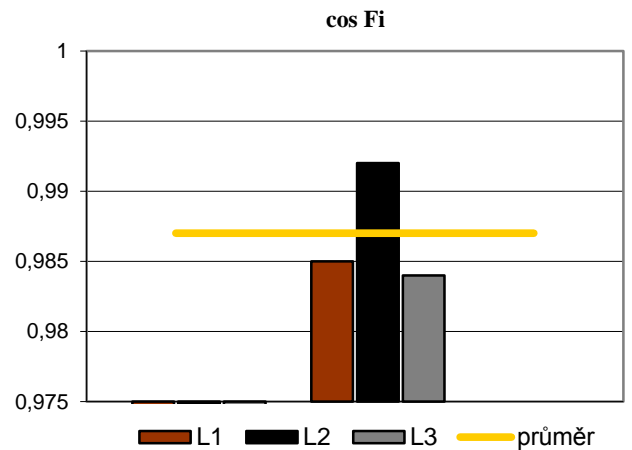
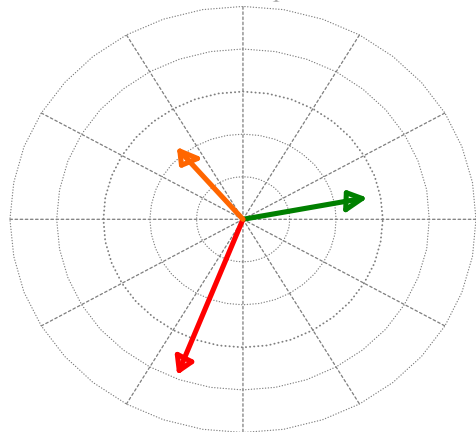
Vývod:

	U [V]	I [A]	P [W]	Q [VAr]	S [VA]	cos φ [-]
L1	234,30	5,20	1204,39	-231,53	1226,45	0,982
L2	232,70	7,60	1738,24	-267,17	1758,66	0,988
L3	232,80	4,20	953,17	-172,99	968,74	0,984
∅	233,27	5,67	1298,60	-223,90	1317,95	0,98467
Σ			3895,81	-671,70	3953,84	

doba ustáleného stavu: 300 s (této hodnotě času odpovídají zobrazené okamžité hodnoty veličin)



Fázová napětí



Fázové proudy



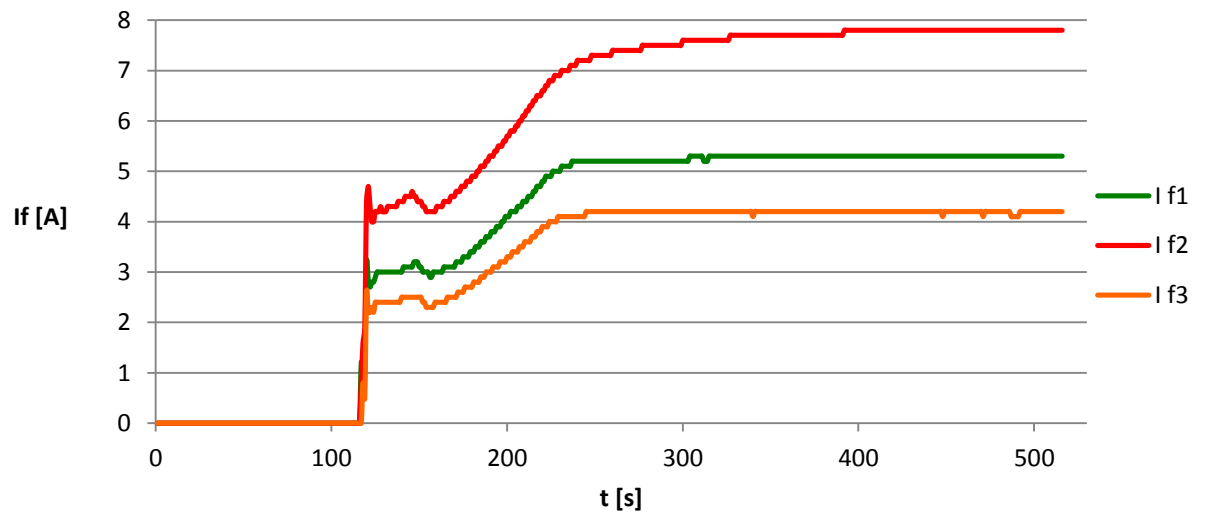
Ing. Martin Škopek, Ph.D.
jednatel

Energy Consulting Service, s.r.o.
Alešova 21
370 01 České Budějovice
IČ: 28062868 • DIČ: CZ28062868
www.e-c.cz

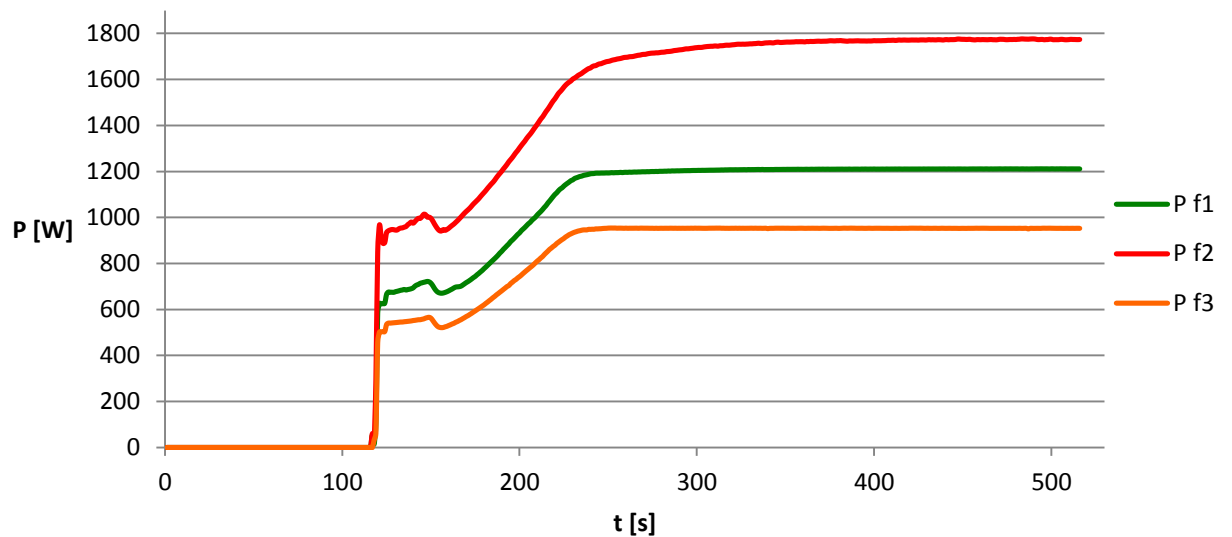
Office:
telefon: +420 386 351 778
fax: +420 386 351 778
mobil: +420 603 320 822
e-mail: martin@e-c.cz

Společnost zapsaná v OR vedeném Krajským soudem v Č. Budějovicích, oddíl C vložka 15031

Fázové proudy



Činné výkony



Měření všech veličin probíhalo po dobu 516 sekund, přičemž byla soustava svítidel spuštěna ve 117 sekundě. K ustálení došlo v čase 300 sekund.

Měřící

přístroje: _____

Měření

provedl: _____

Datum

a čas: _____



Ing. Martin Škopek, Ph.D.
jednatel

Energy Consulting Service, s.r.o.
Alešova 21
370 01 České Budějovice
IČ: 28062868 • DIČ: CZ28062868
www.e-c.cz

Office:
telefon: +420 386 351 778
fax: +420 386 351 778
mobil: +420 603 320 822
e-mail: martin@e-c.cz

Společnost zapsaná v OR vedeném Krajským soudem v Č. Budějovicích, oddíl C vložka 15031

Měření rozvaděče VO - okruh B

Označení: _____

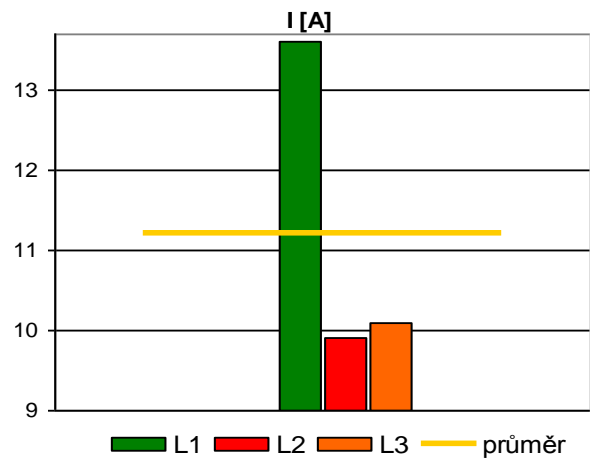
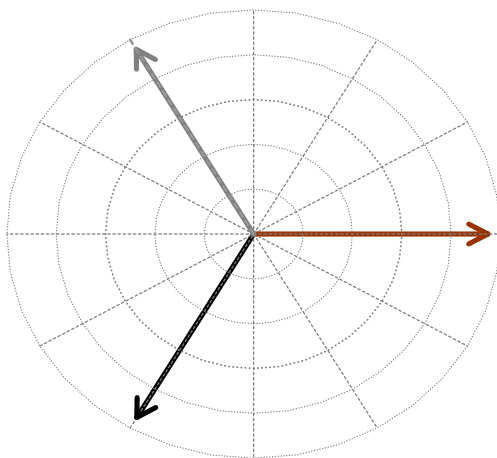
Adresa

umístění: _____

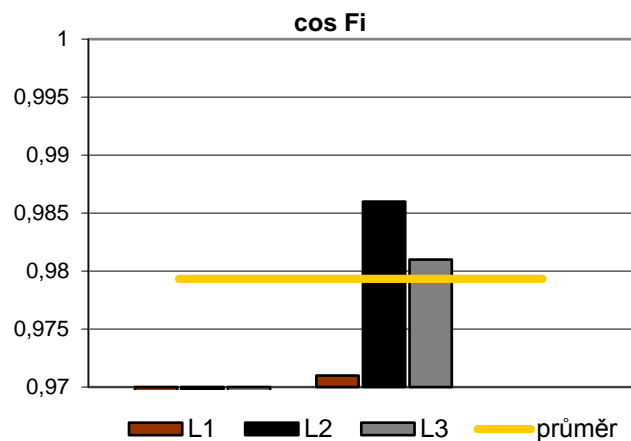
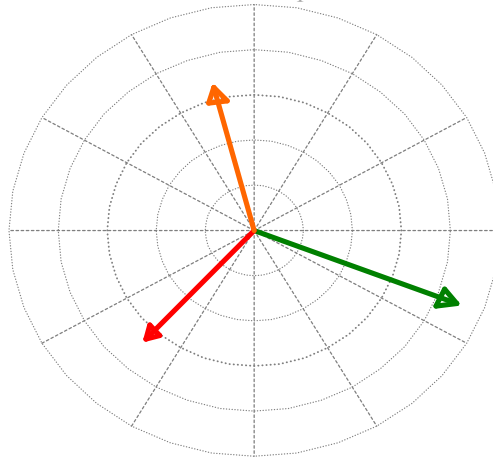
Vývod:

	U [V]	I [A]	P [W]	Q [VAr]	S [VA]	$\cos \varphi$ [-]
L1	237,20	13,30	2954,55	1152,48	3171,37	0,931
L2	236,40	9,80	2256,29	499,143	2310,85	0,976
L3	237,60	9,80	2240,32	618,031	2324,01	0,964
\emptyset	237,07	10,97	2483,72	756,551	2602,08	0,957
Σ			7451,17	2269,65	7806,23	

doba ustáleného stavu: 95 s (této hodnotě času odpovídají zobrazené okamžité hodnoty veličin)



Fázová napětí



Fázové proudy



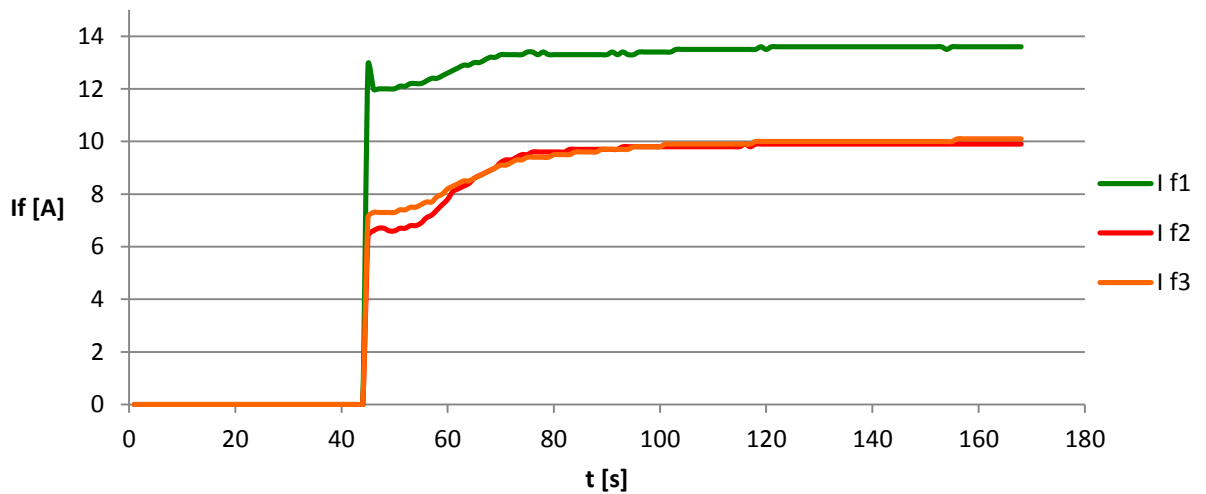
Ing. Martin Škopek, Ph.D.
jednatel

Energy Consulting Service, s.r.o.
Alešova 21
370 01 České Budějovice
IČ: 28062868 • DIČ: CZ28062868
www.e-c.cz

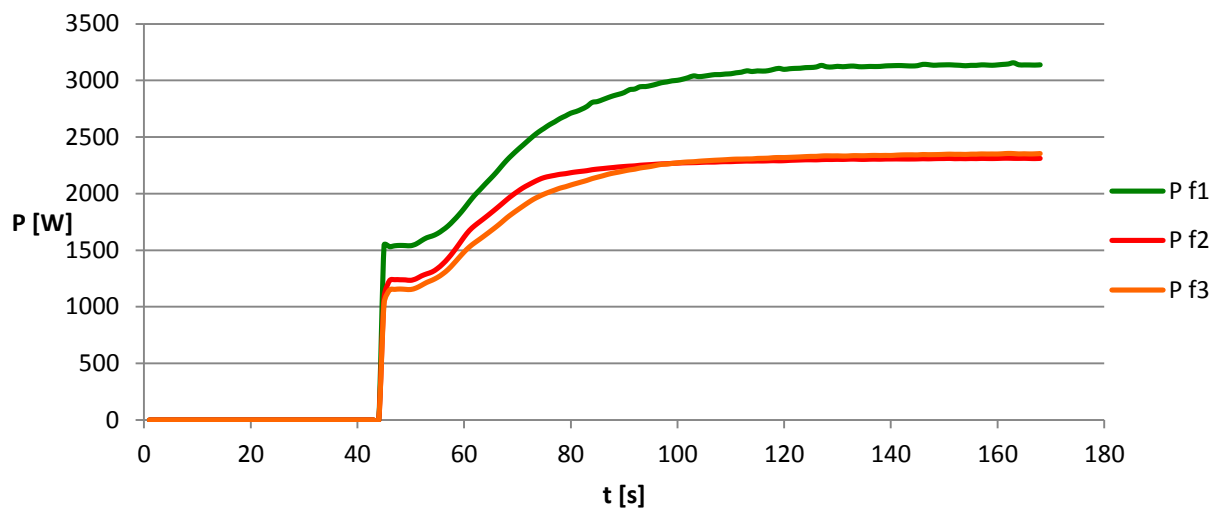
Office:
telefon: +420 386 351 778
fax: +420 386 351 778
mobil: +420 603 320 822
e-mail: martin@e-c.cz

Společnost zapsaná v OR vedeném Krajským soudem v Č. Budějovicích, oddíl C vložka 15031

Fázové proudy



Činné výkony



Měření všech veličin probíhalo po dobu 168 sekund, přičemž byla soustava svítidel spuštěna ve 45 sekundě. K ustálení došlo v čase 95 sekund.

Měřící

přístroje: _____

Měření

provedl: _____

Datum

a čas: _____

ENERGY[®]
CONSULTING
SERVICE, s.r.o.

Ing. Martin Škopek, Ph.D.
jednatel

Energy Consulting Service, s.r.o.
Alešova 21
370 01 České Budějovice
IČ: 28062868 • DIČ: CZ28062868
www.e-c.cz

Office:
telefon: +420 386 351 778
fax: +420 386 351 778
mobil: +420 603 320 822
e-mail: martin@e-c.cz

Společnost zapsaná v OR vedeném Krajským soudem v Č. Budějovicích, oddíl C vložka 15031

Závěr

Zpracoval jsem ucelenou práci, v níž jsem se zabýval analyzátory kvality elektrické energie. Nejdříve jsem uvedl základní normy a vyhlášky úzce související s kvalitou energie. Následně jsem popsal, co tyto přístroje měří a jakými funkcemi disponují. Věnoval jsem také kapitolu elektrickým výkonům, vyšším harmonickým a druhům chyb digitálních přístrojů. Dále jsem se zmínil, jak se s analyzátorem pracuje a kde se dá použít. Provedl jsem srovnání konkrétních typů, které si můžeme pořídit na českém trhu a podrobněji jsem se zabýval typy C.A 8332 a C.A 8335, s kterými jsem měl možnost měřit.

Provedl jsem laboratorní měření na katedře teoretické elektrotechniky, které mi posloužilo k osvojení ovládání těchto měřících přístrojů. Také jsem provedl měření v terénu. Jednalo se o dva okruhy pouličního osvětlení v Trhových Svinech. Z naměřených dat, která jsem získal v Trhových Svinech, jsem vytvořil jak ukázkové grafy, tak protokol, který je používán v praxi pro práci energetického auditora.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KORENC, Vladimír. *Kompenzace jalového výkonu v praxi*. 1. vyd. Praha: IN-EL, 1999, 127 s. ISBN 80-862-3007-4.
- [2] Vyhláška 540/2005 sb. *O kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice*. Praha: Energetický regulační úřad, 2005.
- [3] Energetický zákon 458/2000 sb. *Pravidla provozování distribučních soustav – Příloha 3: Kvalita elektřiny v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení*. Praha: Energetický regulační úřad, 2011.
- [4] ČSN EN 50160 ed. 3. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [5] EN 61 000-4-30 ed. 2. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [6] KOTLAN, Jiří. *Základy teoretické elektrotechniky*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1997, 258 s. ISBN 80-708-2172-8.
- [7] JAROLÍM, Pavel, Josef KŮS a Marcela LEDVINOVÁ. *Elektrotechnika: Příklady z elektrotechniky pro posluchače strojínského inženýrství*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2007, 193 s. ISBN 80-704-3297-7.
- [8] VONDÁŠEK, František. *Výkonnová elektronika*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1994. ISBN 80-7082-137-X.
- [9] TESAŘOVÁ, Miloslava a Milada ŠTROBLOVÁ. *Průmyslová elektroenergetika*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 154 s. ISBN 80-708-2703-3.
- [10] *Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku*. Praha: FCC PUBLIC s. r. o., 2005, roč. 2005, č. 5., ISSN 1210-0889.
- [11] DUGAN, Roger C, M MCGRANAGHAN, Surya SANTOSO a H BEATY. *Electrical power systems quality*. Third edition. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2012, xvii, 558 pages. ISBN 978-0-07-176155-0.
- [12] *Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku*. Praha: FCC PUBLIC s. r. o., 2003, roč. 2003, č. 12. ISSN 1210-0889.
- [13] TŮMOVÁ, Olga. *Elektrická měření: měřicí metody*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005, 216 s. ISBN 80-704-3412-0.
- [14] *ETM Elektrotechnický magazín: Odborný magazín pro elektrotechniky, energetiky, projektanty, zájemce o silnoproudou elektrotechniku, podnikatele a investory v oborech elektro*. Brno: Elektromanagement, 2009, roč. 2009, č. 2., ISSN 1803-6007.
- [15] *ETM Elektrotechnický magazín: Odborný magazín pro elektrotechniky, energetiky, projektanty, zájemce o silnoproudou elektrotechniku, podnikatele a investory v oborech elektro*. Brno: Elektromanagement, 2006, roč. 2006, č. 11.-12., ISSN 1803-6007.
- [16] ČSN EN 61010-1 ed. 2. *Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Část 1: Všeobecné požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [17] Energy consulting. *Energy consulting* [online]. [2013] [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.e-c.cz/>.

Přílohy

Příloha A - Odkazy na stránky výrobců a výrobků uvedených v tabulce č. 2

Odkazy jsou platné k datu 16.5.2013.

Ideal 61-830:

http://www.idealindustries.com/products/test_measurement/power_quality_meters/voltage_performance_monitor.jsp.

Fluke 345:

<http://www.fluke.com/fluke/usen/clamp-meters/Fluke-345.htm?PID=56070>.

C.A 8220:

http://www.chauvin-arnoux.com/produit/Famille_detail.asp?idFam=1974&idPole=1.

KEW 6310:

<http://www.kew-ltd.co.jp/en/products/powermeter/6310.html>.

HIOKI 3197:

http://www.hioki.com/newproduct/3197/3197_e.html.

C.A 8332:

http://www.chauvin-arnoux.com/produit/Famille_detail.asp?idFam=1442&idPole=1.

C.A 8335:

http://www.chauvin-arnoux.com/Produit/Famille_detail.asp?idFam=2058&idPole=1.

PQ box 100:

<http://www.a-eberle.de/en/power-quality/mobile-komponente/pq-box-100.html>.

ELSPEC g4500:

http://www.elspec-ltd.com/default.asp?catid=%7B76FC81EE-B891-4239-AFE2-8454E8A2EFFC%7D&details_type=1&itemid=%7BCF531F3F-35D3-4901-876F-8C90BCAB7595%7D.

Fluke 1735:

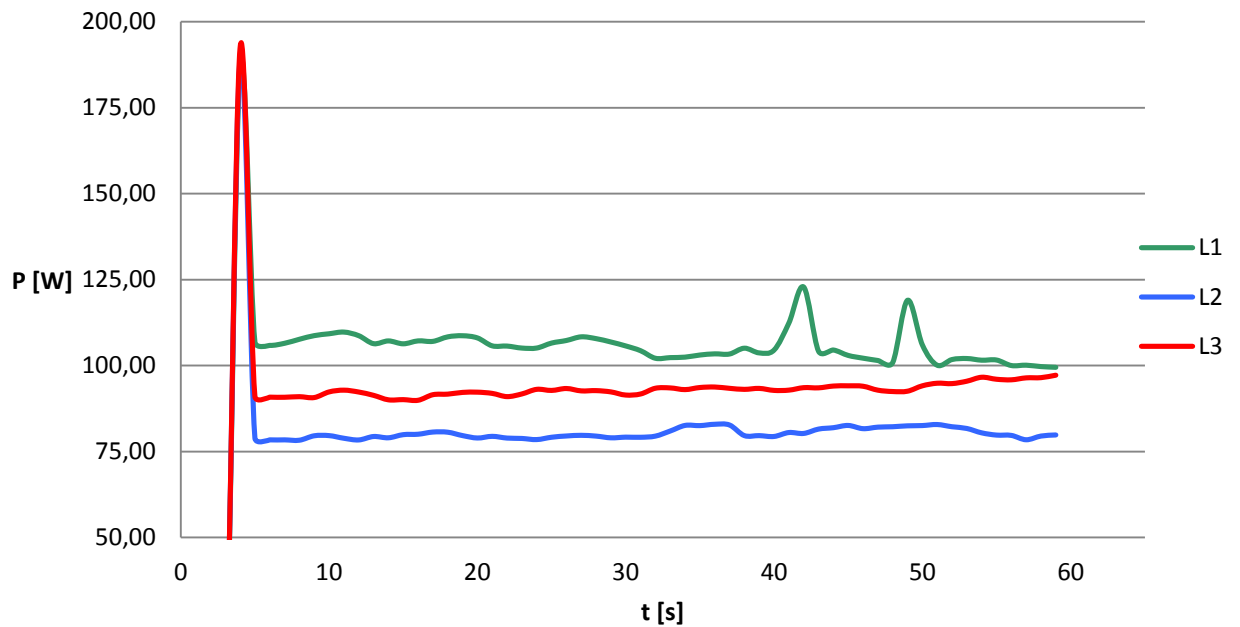
<http://www.fluke.com/fluke/usen/Power-Quality-Tools/Three-Phase/Fluke-1735.htm?PID=56028&trck=1735>.

Fluke 435 II:

<http://www.fluke.com/fluke/usen/Power-Quality-Tools/Logging-Power-Meters/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939>.

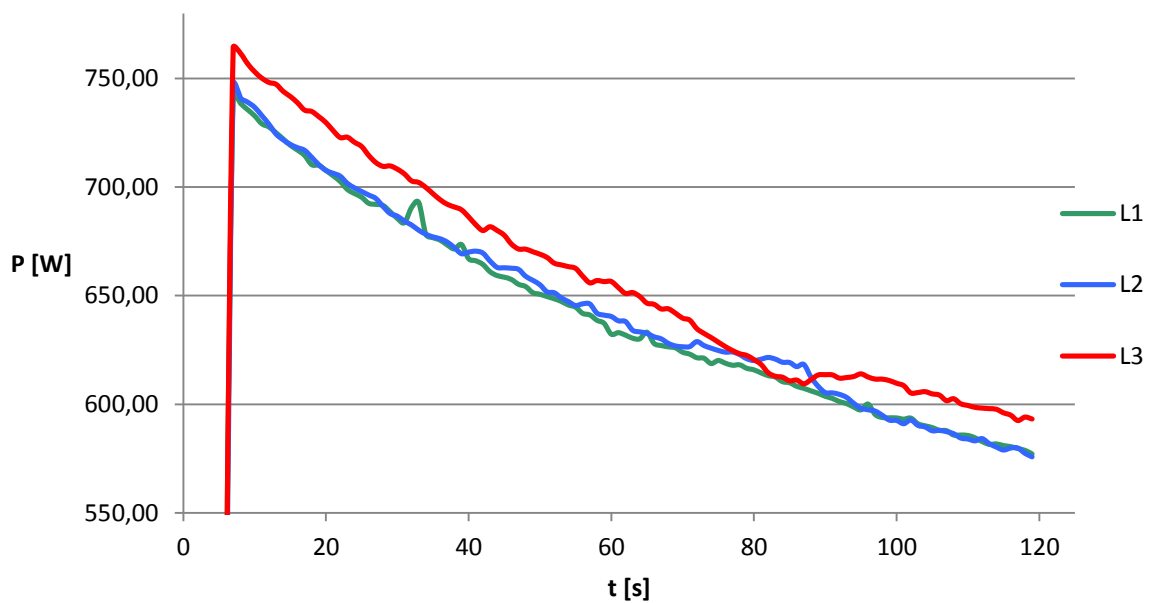
Příloha B - Laboratorní měření

Měření činného výkonu - bez zátěže



Obr. 19 Činný výkon bez zátěže

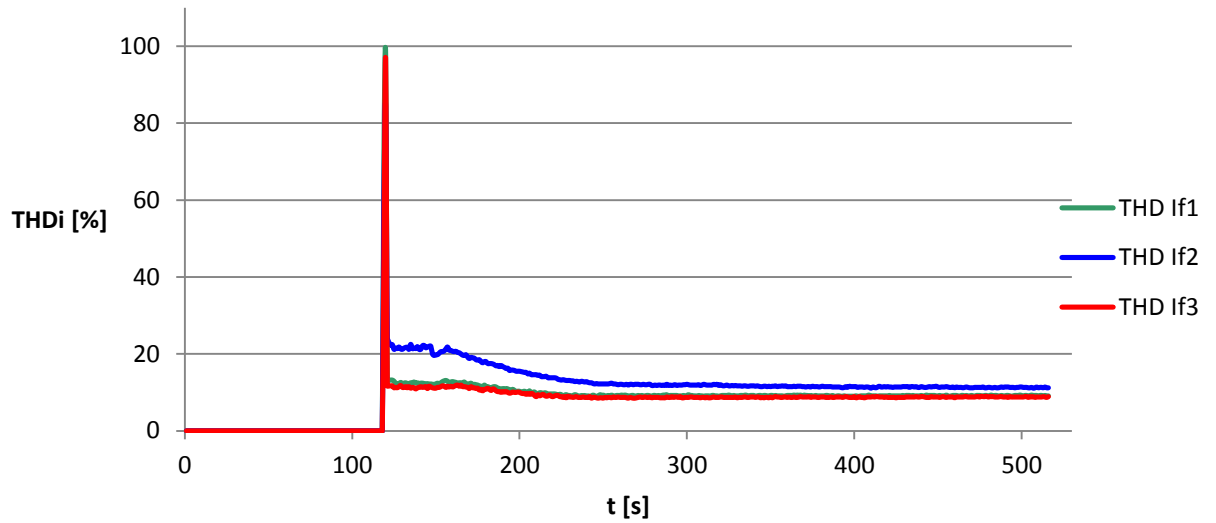
Měření činného výkonu - s magnetickým obvodem



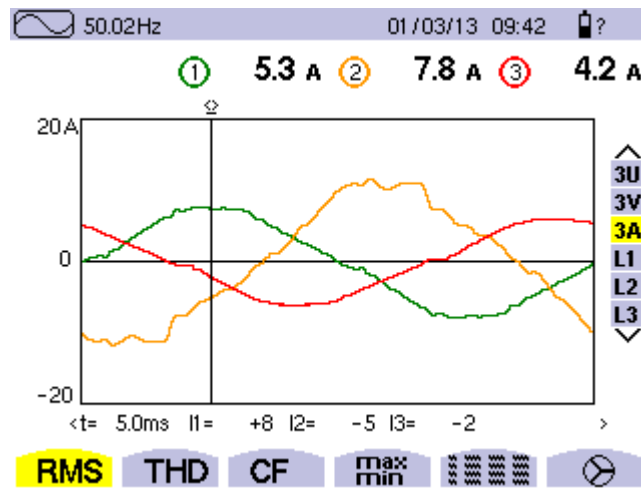
Obr. 20 Činný výkon s magnetickým obvodem

Příloha C - Měření v Trhových Svinech - okruh A

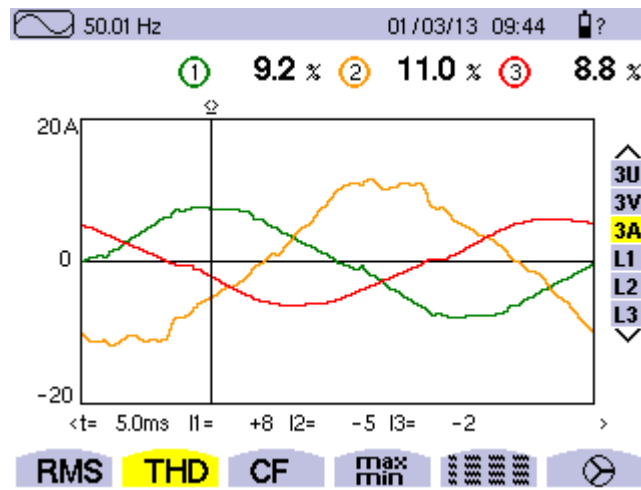
THD I fázové - okruh A



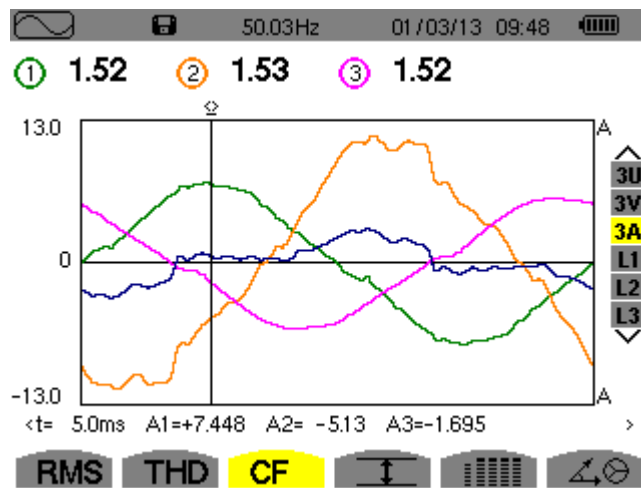
Obr. 21 THD I fázové - okruh A



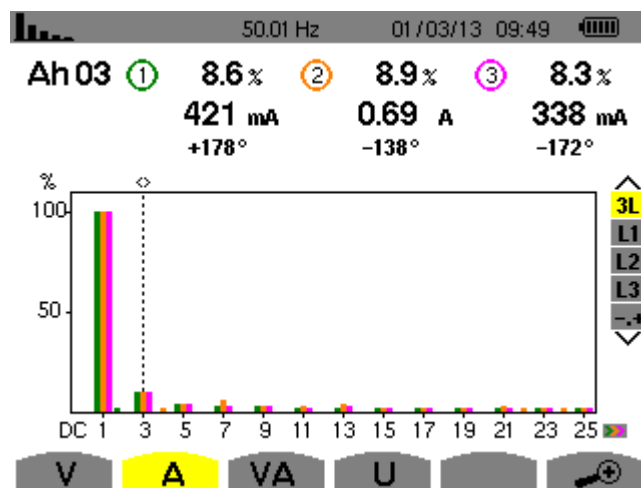
Obr. 22 Skutečné efektivní hodnoty - okruh A - snímek z C.A 8332



Obr. 23 Harmonické zkreslení - okruh A - snímek z C.A 8332



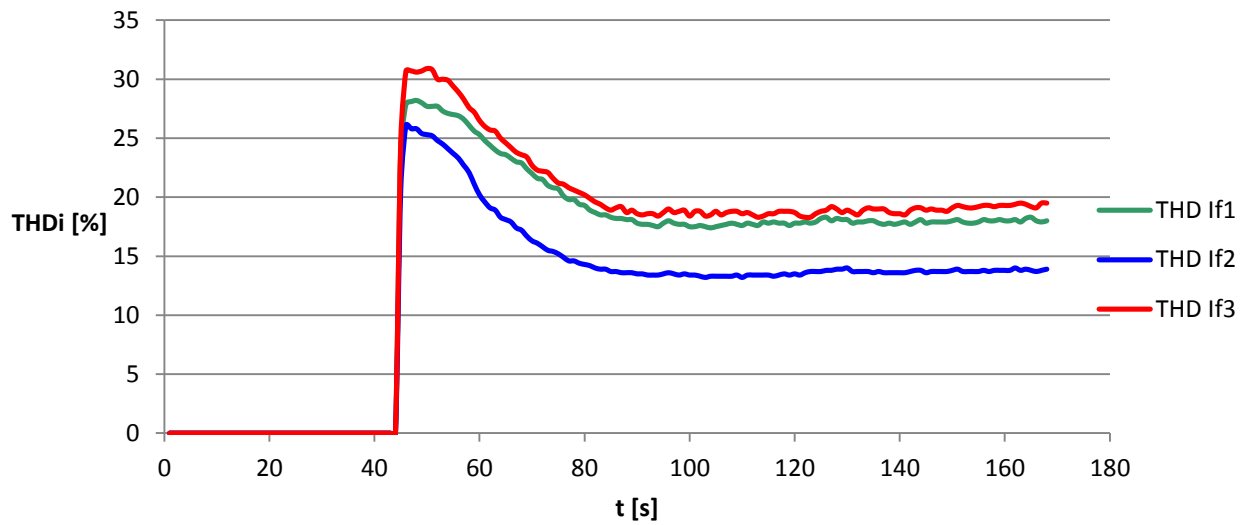
Obr. 24 Faktor výkyvu fázových proudů - okruh A - snímek z C.A 8335



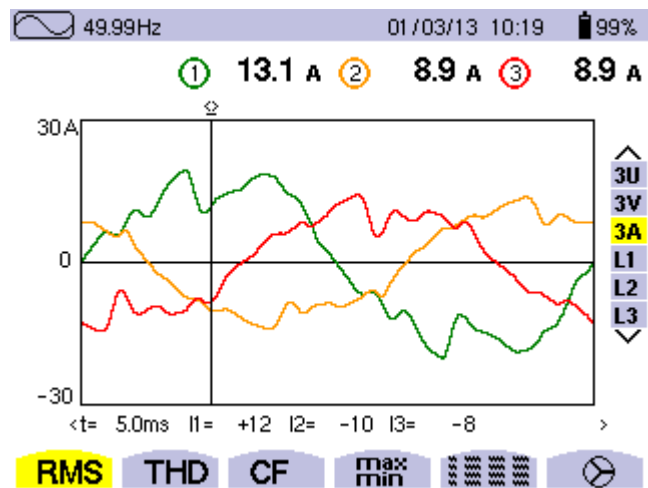
Obr. 25 Vyšší harmonické fázových proudů - okruh A - snímek z C.A 8335

Příloha D - Měření v Trhových Svinech - okruh B

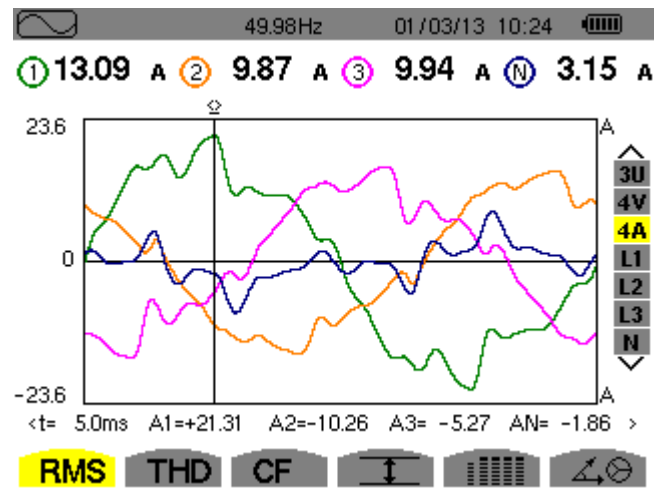
THD I fázové - okruh B



Obr. 26 THD I fázové - okruh B



Obr. 27 Skutečné efektivní hodnoty - okruh B - snímek z C.A 8332



Obr. 28 Skutečné efektivní hodnoty - okruh B - snímek z C.A 8335



Obr. 29 Fotografie z měření v Trhových Svinech

