

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vyhodnocení proudů spotřebičů používaných  
v domácnostech, kancelářích a průmyslu**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2012/2013

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal HANZLÍČEK**  
Osobní číslo: **E10B0026P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Vyhodnocení proudů spotřebičů používaných v domácnostech,  
kancelářích a průmyslu**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

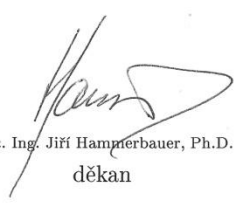
1. Změřte průběhy odebíraných proudů vybraných zařízení pomocí analyzátoru kvality elektrické energie.
2. Provedte harmonickou analýzu, analýzu účinníku a harmonického zkreslení odebíraných proudů.
3. Zkontrolujte odebírané harmonické proudy s limitními hodnotami udanými v příslušných ČSN.
4. Z naměřených dat sestavte knihovnu průběhů typických zařízení, které se používají v domácnostech, kancelářích či průmyslu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


1. Kús, Václav: Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu, BEN  
technická literatura, Praha 2002

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2012  
Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2013

  
Doc. Ing. Jiří Hamprerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na vznik vyšších harmonických proudů v napájecích sítích, jejich popisem a vyhodnocením, dále teoreticky popisuje jejich hlavní zdroje, působení na ostatní elektrické zařízení, jejich minimalizaci a jejich měření pomocí analyzátoru kvality elektrické energie. Nastiňuje základy harmonické analýzy, výpočty výkonů neharmonických průběhů a výpočet celkového činitele zkreslení. Nakonec je zde přiložena knihovna průběhů typických domácích, nebo kancelářských spotřebičů.

## **Klíčová slova**

Vyhodnocení vyšších harmonických proudů, usměrňovače, měniče, zdroje vyšších harmonických proudů, harmonická analýza, výkon, činitel harmonického zkreslení THD

## **Abstract**

This thesis deals with the creation of harmonics currents in power systems, their description and evaluation. It describes harmonics current sources, their effect to other electrical appliances and their minimization and measurement by a power Quality Analyzer. The thesis also describes the basis of harmonic analysis and calculations of power of the non-harmonics waveforms and total harmonic distortion. The thesis also contains an illustration of typical waveforms of home or office appliances.

## **Key words**

Evaluation of harmonics current, rectifiers, sources of harmonics current, harmonics analysis, power, total harmonics distortion

## **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 6.6.2013

Michal Hanzlíček

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné profesionální rady a připomínky, poskytnutí teoretických podkladů, metodické vedení práce a pomoci při praktickém měření spotřebičů. Dále bych rád poděkoval Ing. Vladislavu Sít'ařovi, též za pomoc při praktickém měření spotřebičů.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>11</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>12</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
<b>1 VZNIK VYŠŠÍCH HARMONICKÝCH</b> .....	<b>14</b>
1.1 ROZDĚLENÍ SPEKTRÁLNÍCH SLOŽEK .....	17
1.2 ZDROJE VYŠŠÍCH HARMONICKÝCH PROUDŮ.....	18
1.2.1 <i>Usměrňovače a měniče</i> .....	18
1.2.2 <i>Zářivky, kompaktní žárovky, plynové výbojky a domácí spotřebiče</i> .....	19
1.2.3 <i>Transformátory</i> .....	20
1.2.4 <i>Obloukové pece (EOP)</i> .....	20
1.3 PROBLÉMY ZPŮSOBENÉ HARMONICKÝMI PROUDY V ELEKTROINSTALACÍCH .....	21
1.3.1 <i>Přetížení středního vodiče</i> .....	21
1.3.2 <i>Přehřátí transformátorů</i> .....	22
1.3.3 <i>Rušení při spínání vypínačů</i> .....	22
1.3.4 <i>Přetěžování kompenzačních kondenzátorů</i> .....	22
1.3.5 <i>Skinefekt</i> .....	23
1.4 OMEZENÍ VYŠŠÍCH HARMONICKÝCH .....	23
1.4.1 <i>Bez pomoci přidavných zařízení</i> .....	24
1.4.2 <i>S pomoci přidavných zařízení</i> .....	24
1.5 NORMY A ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA (EMC) V NÍZKOFREKVENČNÍM RUŠENÍ .....	26
<b>2 HARMONICKÁ ANALÝZA</b> .....	<b>28</b>
2.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI FOURIEROVY ŘADY .....	28
2.2 VOLBA KMITOČTU VZORKOVÁNÍ .....	30
<b>3 VÝPOČET VÝKONŮ A POMĚRNÉ HODNOTY</b> .....	<b>32</b>
3.1 VÝPOČET VÝKONŮ.....	32
3.2 VÝPOČET POMĚRNÝCH HODNOT A CELKOVÉHO Činitele ZKRESLENÍ.....	36
<b>4 ZPŮSOBY MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ HARMONICKÝCH</b> .....	<b>37</b>
4.1 MĚŘENÍ ODEBÍRANÝCH PROUDŮ VYBRANÝCH ZAŘÍZENÍ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ .....	38
4.1.1 <i>Úkol měření</i> .....	38
4.1.2 <i>Popis měřicího přístroje</i> .....	38
4.1.3 <i>Postup měření</i> .....	39
4.1.4 <i>Export naměřených dat</i> .....	40
4.1.5 <i>Seznam naměřených spotřebičů a vyhodnocení dle normy</i> .....	42
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>45</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>
PŘÍLOHA 1 - TELEVIZE A MONITORY .....	1
PŘÍLOHA 2 - STOLNÍ POČÍTAČE A NOTEBOOKY.....	6
PŘÍLOHA 3 - MEOTARY A DATA PROJEKTORY .....	8



PŘÍLOHA 4 - TISKÁRNY A KOPÍRKY .....	10
PŘÍLOHA 5 - AUDIO, VIDEO A DVD PŘEHRÁVAČE .....	12
PŘÍLOHA 6 - SVĚTELNÉ ZDROJE .....	14
PŘÍLOHA 7 - ODPOROVÉ SPOTŘEBIČE.....	16
PŘÍLOHA 8 – MOTORICKÉ SPOTŘEBIČE .....	18
PŘÍLOHA 9 - OSTATNÍ ELEKTRONIKA .....	20

## Seznam obrázků

OBRÁZEK 1.1 DEFORMOVANÝ PRŮBĚH PROUDU S TŘETÍ A PÁTOU HARMONICKOU [5][8] .....	14
OBRÁZEK 1.2 ČASOVÝ PRŮBĚH NAPĚTÍ A PROUDU LINEÁRNÍ ZÁTĚŽE [5] .....	15
OBRÁZEK 1.3 ČASOVÝ PRŮBĚH NAPĚTÍ A PROUDU NELINEÁRNÍ ZÁTĚŽÍ [5] .....	16
OBRÁZEK 1.4 ŘÍZENÝ TŘÍFÁZOVÝ USMĚRŇOVAČ, IDEALIZOVANÝ PRŮBĚH ODEBÍRANÉHO PROUDU, PŘEVZATO Z [1] .....	18
OBRÁZEK 2.1 SPECIÁLNÍ PŘÍPADY PERIODICKÝCH FUNKCÍ [1] .....	29
OBRÁZEK 2.2 ALIASING EFEKT – VZNIK NESPRÁVNOU VZORKOVACÍ FREKVENCÍ, PŘEVZATO Z [1] .....	31
OBRÁZEK 3.1 DIAGRAM SLOŽEK VÝKONŮ ODEBÍRANÝCH ZE SÍTĚ, PŘEVZATO Z [1] .....	35
OBRÁZEK 4.1 ANALYZÁTOR KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE, PŘEVZATO Z [12] .....	38
OBRÁZEK 4.2 PRŮBĚH KOMPAKTNÍ ŽÁROVKY ZOBRAZENÝ NA DISPLAYI ANALYZÁTORU KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	39
OBRÁZEK 4.3 PRŮBĚH KOMPAKTNÍ ŽÁROVKY ZOBRAZENÝ V PROGRAMU POWER ANALYZER TRANSFER .....	41
OBRÁZEK 4.4 PRŮBĚH KOMPAKTNÍ ŽÁROVKY VYTVOŘENÝ V PROGRAMU EXCEL .....	41
OBRÁZEK 4.5 UKÁZKA VYHODNOCENÍ HARMONICKÝCH, DLE LIMITNÍCH HODNOT NORMY ČSN EN 61000-3-2, PRO PRO TŘÍDU C (KOMPAKTNÍ ŽÁROVKA 25W ECOLITE) .....	43

## **Seznam tabulek**

TABULKA 1.1 SPEKTRÁLNÍ SLOŽKY PRŮBĚHU KMITŮ O ZÁKLADNÍ FREKVENCI $F_1$ .....	17
TABULKA 1.2 MEZNÍ HODNOTY HARMONICKÝCH SLOŽEK NAPÁJECÍHO PROUDU TŘÍDY A A B .....	27
TABULKA 1.3 MEZNÍ HODNOTY HARMONICKÝCH SLOŽEK NAPÁJECÍHO PROUDU TŘÍDY C A D .....	27
TABULKA 4.1 SEZNAM MĚŘENÝCH SPOTŘEBIČŮ A VYHODNOCENÍ DLE NORMY ČSN EN 61000-3-2 .....	42

## Seznam symbolů a zkratk

ES.....	Evropské společenství
UCPTE.....	Sdružení pro koordinaci výroby a přenosu elektrické energie
$f$ .....	frekvence [ $Hz$ ]
$L$ .....	Indukčnost ve stejnosměrném obvodu [ $H$ ]
$S$ .....	Zdánlivý výkon [ $VA$ ]
$i(t)$ .....	Okamžitý proud [ $A$ ]
$t$ .....	Čas [ $s$ ]
$\omega$ .....	Úhlová rychlost [ $rad\ s^{-1}$ ]
$h$ .....	Harmonická
$p$ .....	pulznost usměřovače
SMPS .....	Spínaný zdroj (Switch-mode power supply)
EOP.....	Oblouková pec
EMC.....	Elektromagnetická kompatibilita
$f(t)$ .....	Funkce
$T$ .....	Perioda [ $s$ ]
$u(t)$ .....	Okamžité napětí [ $V$ ]
$p(t)$ .....	Okamžitý výkon [ $s$ ]
$P$ .....	Činný výkon [ $W$ ]
$\varphi$ .....	Fázový posun [ $^{\circ}$ ]
$Q$ .....	Jalový výkon [ $VAr$ ]
$D$ .....	Deformační výkon [ $VA$ ]
$\Lambda$ .....	Skutečný účinník (PF power factor) [ $-$ ]
$\cos \varphi$ .....	Účinník [ $-$ ]
$THD_I$ .....	Celkové harmonické zkreslení [%]

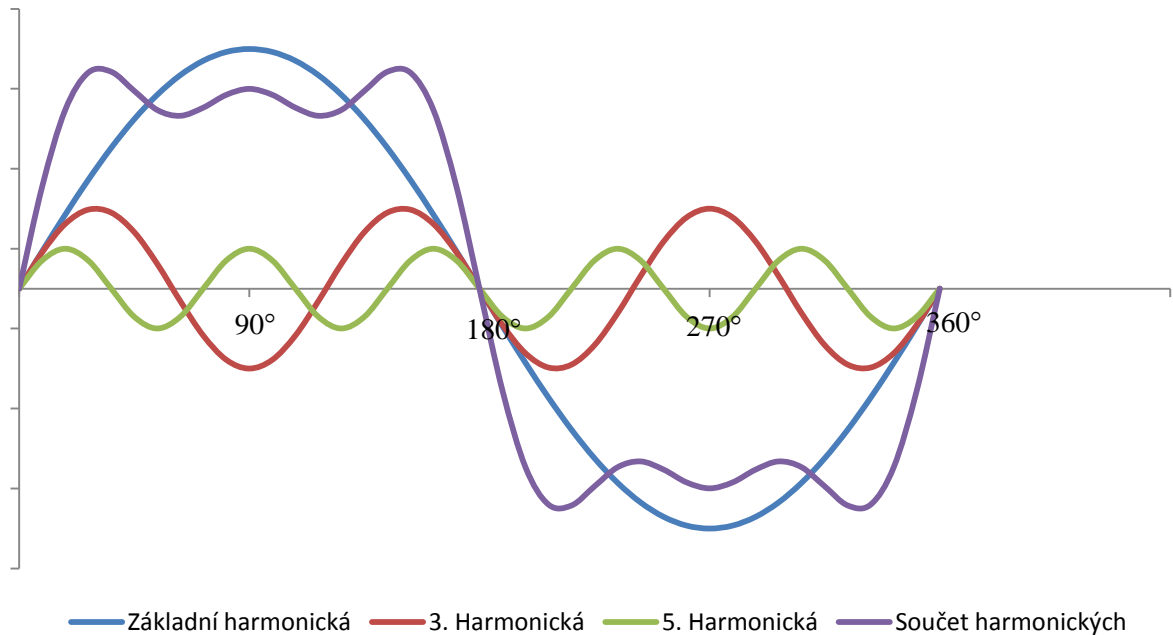
## Úvod

Postup techniky a snaha o zvýšení hospodárnosti ve využívání elektrické energie, vede spotřebitele k stále častějšímu používání úspornějších zařízení a přístrojů. Tyto zařízení a přístroje s nelineárními nebo proměnlivými provozními charakteristikami, působí zpětnými vlivy na distribuční sítě a mohou za určitých podmínek vést k rušení nebo ovlivnění ostatních přístrojů a zařízení. K hlavním znečišťovatelům elektrické sítě patří elektrický pohon s využitím polovodičových měničů a jejich neustále narůstající počet má za následek vzájemné ovlivňování přístrojů, což je výsledkem elektromagnetických vlastností přístrojů, prostředí a systému. Prvořadým zájmem výrobců i spotřebitelů je odolnost zařízení vůči rušení, které proniká do distribuční sítě, proto k posuzování těchto vlivů je nutné stanovení do jaké míry smí být zařízení zdrojem rušení a zároveň jakému rušení musí odolávat. Toto zaručují směrnice pro elektromagnetickou kompatibilitu, které jsou uzákoněny v zemích Evropského společenství (ES), proto je naprostou nutností se těmito směrnici řídit, a také aby tyto směrnice dodržovali země, které jsou v obchodním styku s ES, nebo dokonce propojeny v energetické soustavě UCPTE (Sdružení pro koordinaci výroby a přenosu elektrické energie).

Kapitola Úvod byla zpracována na základě použité literatury [1], [2], [9].

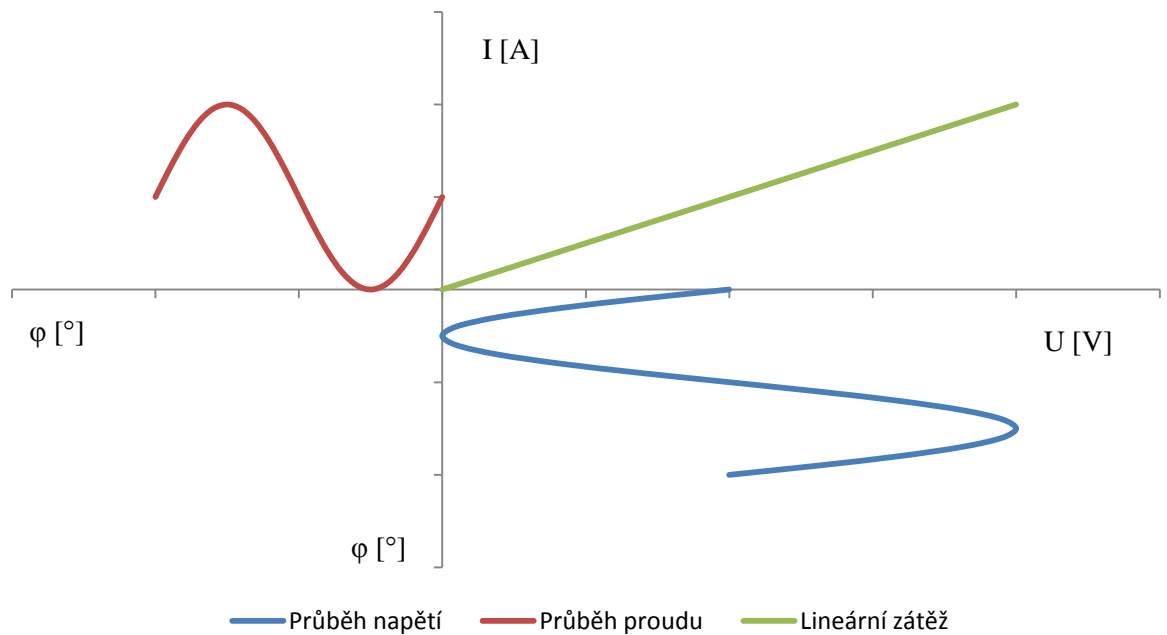
## 1 Vznik vyšších harmonických

Harmonické frekvence jsou celé násobky základní frekvence, tzn. v našem případě při frekvenci 50Hz jsou vyšší harmonické například 3. harmonická 150Hz a 5. harmonická 250Hz (viz. Obrázek 1.1).



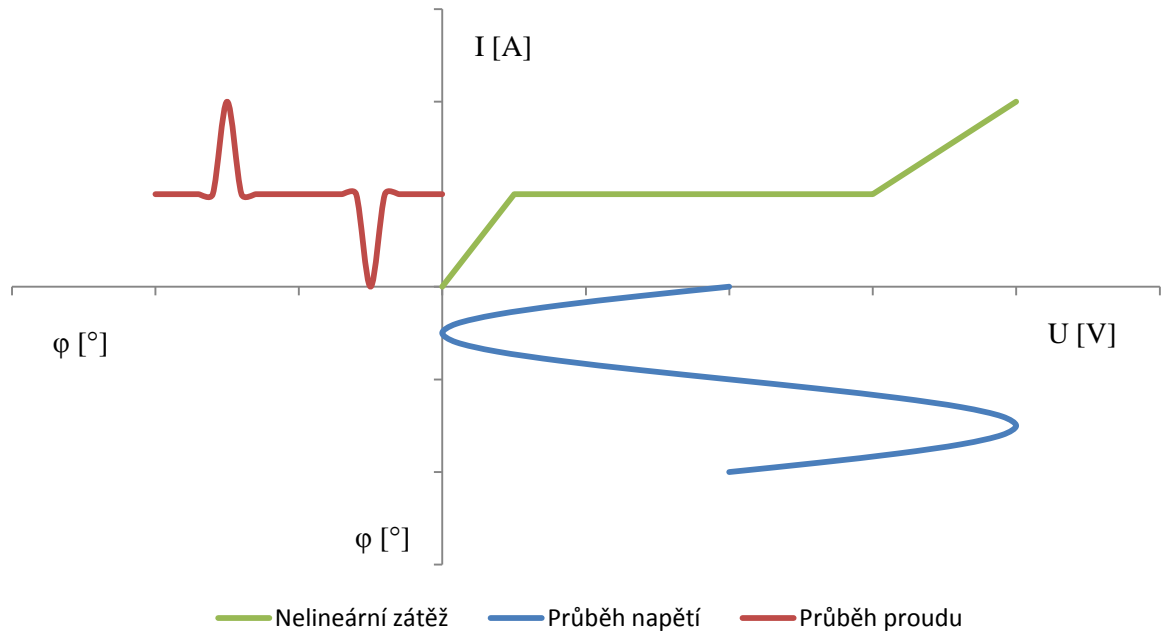
Obrázek 1.1 Deformovaný průběh proudu s třetí a pátou harmonickou[5][8]

V ideálním elektrickém systému, který obsahuje pouze lineární prvky odpor, indukčnost, kapacitu, má proud i napětí tvar čisté sinusovky, dále proud, který jimi protéká je úměrný napájecímu napětí (při konkrétní frekvenci). Takže pokud napájecí napětí je sinusové, proud je taky sinusový. Pokud bude obvod obsahovat reaktanční prvek, bude mezi průběhem napětí a proudu pouze fázový posun, z toho vyplývá, že účinník bude snížen, ale obvod bude stále lineární (viz. Obrázek 1.2).



Obrázek 1.2 Časový průběh napětí a proudu lineární zátěže [5]

Pokud je zátěž jednoduchý dvoucestný usměrňovač, jako je tomu u spínaného zdroje, tak v tomto případě protéká proud pouze tehdy, překročí-li napájecí napětí napětí kondenzátoru, tzn. v oblasti špičkové hodnoty sinusového průběhu (viz. Obrázek 1.3).



Obrázek 1.3 Časový průběh napětí a proudu nelineární zátěží [5]



Harmonické proudy jsou generovány všemi nelineárními spotřebiči ať už jednofázovými, nebo trojfázovými. Jednofázové spotřebiče generující harmonické: jsou např. spínané napájecí zdroje, elektronické předřadníky kompaktních svítidel, malé zdroje nepřerušitelného napájení a trojfázové elektronické regulační pohony, velké zdroje nepřerušitelného napájení.

Spínané napájecí zdroje (nelineární zátěž) jsou obsaženy ve většině moderních elektrotechnických jednotek. Tyto spínané napájecí zdroje obsahují přímo řízený usměrňovač, který nabíjí kondenzátor a ten poté napájí zátěž stejnosměrným proudem. Hlavní nevýhoda je, že zátěž odebírá pulzující proud, který obsahuje velké množství třetí a dalších harmonických řádů. Jednoduchý filtr, který je určen k vyzkratování vysokofrekvenčních složek, nemá žádný vliv na harmonické, protože harmonické se šíří směrem zpět do napájecího vedení.

Kapitola 1 Vznik vyšších harmonických byla zpracována na základě použité literatury [2], [5].

## 1.1 Rozdělení spektrálních složek

Harmonické složky můžeme rozdělit na harmonické, interharmonické a stejnosměrnou složku. Jak jsme si definovali v 1. kapitole, harmonické jsou celočíselné násobky základního kmitočtu. Meziharmonické jsou proudy, jejichž kmitočet je neceločíselný násobek základního kmitočtu.

Harmonická	$f = nf_1$ kde n je celočíselný násobek vyšší než nula
SS složka	$f = nf_1$ pro n=0
Meziharmonická	$f = nf_1$ kde n není celé číslo, ale je vyšší než nula
Nižší harmonická	$f = nf_1$ kde n je menší než 1
$f_1$ je základní kmitočet (základní harmonická)	

Tabulka 1.1 Spektrální složky průběhu kmitů o základní frekvenci  $f_1$

Kapitola 1.1 Rozdělení spektrálních složek byla zpracována na základě použitých zdrojů [6].

## 1.2 Zdroje vyšších harmonických proudů

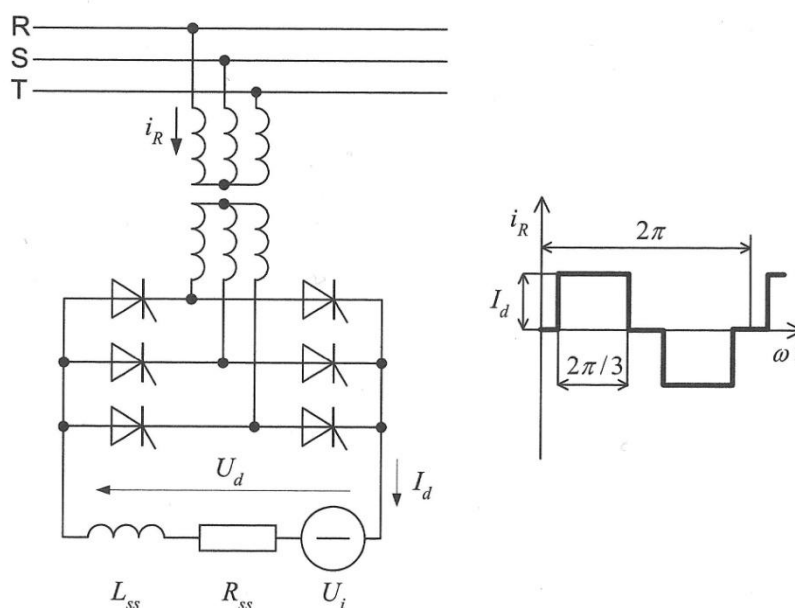
Mezi hlavní znečišťovatele sítě patří:

### 1.2.1 Usměrňovače a měniče

Jsou obvykle součástí vstupního napájení domácích spotřebičů nebo spotřebičů z oblasti informačních technologií, jako jsou monitory, televizory, počítače apod. Při zapojení usměrňovačů na napájecí síť jsou zdrojem vyšších harmonických, jelikož představují nelineární zátěž, z čeho plyne že, i při odběru sinusového napětí, obsahuje proud na napájecí straně kromě základní harmonické také vyšší harmonické. U těchto usměrňovačů nás zajímá zejména to, jakého řádu tyto harmonické jsou a jaká je velikost proudu. Pro zjištění těchto požadavků si zavedeme idealizované podmínky činnosti:

- *napájecí soustava je symetrická, řízení měniče je ve všech fázích symetrické,*
- *na vstupu usměrňovače je napětí sinusové*
- *indukčnost ve stejnosměrném obvodu je  $L_{ss} \rightarrow \infty$ ,*
- *zkratový výkon napájecí soustavy  $S_k \rightarrow \infty$ , tj. vstupní indukčnost  $L_{vs} \rightarrow 0$ ,*
- *zanedbáme ztráty usměrňovače.*

K určení velikosti proudů vyšších harmonických předpokládejme dále třífázový usměrňovač v můstkovém zapojení a měničový transformátor zapojený jako hvězda – hvězda (Obrázek 1.4).



Obrázek 1.4 Řízený třífázový usměrňovač, idealizovaný průběh odebíraného proudu, převzato z [1]

Provedením Fourierovy analýzy odebíraného proudu  $i_R$  dostáváme vztah:

$$i_R(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d (\sin \omega_1 t - \frac{1}{5} \sin 5\omega_1 t - \frac{1}{7} \sin 7\omega_1 t + \frac{1}{11} \sin 11\omega_1 t + \dots) \quad (1.2.1.1)$$

Rozborem tohoto vztahu dostáváme, že průběh obsahuje jen harmonické proudy určitých řádů  $h$ :

$$h = kp \pm 1, \quad (1.2.1.2)$$

kde  $k$  je celé číslo a  $p$  je pulznost usměrňovače. Harmonické, splňující podmínky této rovnice se též nazývají jako charakteristické harmonické, jelikož necharakteristické a meziharmonické u idealizovaných průběhů nemohou vzniknout. K určení velikosti proudu  $h$ -té harmonické, můžeme využít vzorec, jinak také označován jako amplitudový zákon:

$$I_h = \frac{1}{h} \cdot I_1 \quad (1.2.1.3)$$

Jelikož se jedná o jednovlnné harmonické průběhy, tak tento vztah platí i pro efektivní hodnoty harmonických proudů. V praxi jsou většinou tyto výpočty za zjednodušených podmínek dostatečné.

V praxi nejvíce užívanými měniči a usměrňovači jsou jednofázové měniče pro elektrická zařízení SMPS (switch-mode power supplies), neboli spínané zdroje a trojfázové šestipulzní usměrňovače s diodovými nebo tyristorovými můstky ve spojení s kondenzátorem, jejich hlavní výhodou je, že jsou levné, ale naopak nevýhodou je jejich generování velkého množství harmonických, hlavně 5., 7. a 11. To se dá částečně omezit zapojením dvanáctipulzního usměrňovače, pomocí dvou šestipulzních usměrňovačů k sobě připojených paralelně. Tudiž se navzájem budou rušit a v tomto zapojení se budou výrazněji generovat pouze 11. a 13. harmonická.

## 1.2.2 Zářivky, kompaktní žárovky, plynové výbojky a domácí spotřebiče

Oproti klasickým žárovkám, nejsou zářivky, kompaktní žárovky a plynové výbojky čistě odporovým spotřebičem, ale mají charakter kapacitního spotřebiče, navíc velikost jalového výkonu mnohdy převyšuje činný výkon. Pro dekompenzaci jalového výkonu kapacitního

charakteru, se používá tlumivka, která je zdrojem hlavně 3., 5. a 7. harmonické proudy, proto nemůže být odebíraný proud nikdy sinusový, jako je tomu právě u žárovek.

U zářivek a výbojek je zdrojem harmonických proudů výboj plynu, který má charakteristiku srovnatelnou s obloukovým výbojem. Tato světelná zařízení jsou zdrojem 15 až 20% třetí harmonické.

Domácí spotřebiče, obsahují vyšší harmonické hlavně proto, že obsahují měniče, usměrňovače nebo spínané zdroje, které jsou hlavními zdroji vyšších harmonických v domácnostech (viz. kapitola 1.2.1 Usměrňovače a měniče).

Tuto problematiku řešila norma ČSN 333442, která je momentálně nahrazena normou ČSN EN 61000-3-2, která stanovuje všeobecné požadavky a mezní hodnoty pro zařízení. Tato norma popisuje oblast spotřebičů o kmitočtu 50Hz a napětí 220/380V, 230/400V a 240/415V, způsobující generování harmonických proudů nízkých řádů. Dále tato norma stanovuje přípustnou velikost jednotlivých harmonických a také popisuje tvar proudové vlny.

### 1.2.3 Transformátory

U transformátorů je vznik vyšších harmonických zapříčiněn nelineární charakteristikou magnetizačního toku a proudu. U třífázových transformátorů jsou možnosti zapojení hvězda – hvězda bez vyvedeného uzlu, v tomto zapojení obsahují vyšší harmonické pouze sekundární fázová napětí, sdružená napětí a proudy je neobsahují. V zapojení hvězda – hvězda s vyvedeným uzlem naopak obsahují vyšší harmonické pouze sekundární proudy ve fázích. U zapojení trojúhelník – hvězda se harmonické uzavírají v primárním vinutí a naopak v zapojení hvězda – trojúhelník jsou vyšší harmonické uzavřeny v sekundárním vinutí. Ve všech těchto zapojení se uzavírají 3. harmonické + jejich liché násobky.

### 1.2.4 Obloukové pece (EOP)

Patří mezi největší zdroje rušení v síti, díky svým velkým výkonům. Spektrum proudu vyšších harmonických je v rozsahu od desetin Hz až po stovky kHz, což je způsobeno dynamickým charakterem procesu tavby. Velké potíže jsou dále způsobeny subharmonickými frekvencemi v rozmezí 6 a 20 Hz, uplatňující se při vzniku flickeru, kolísání napětí a nerovnoměrnosti odběru proudu. Bohužel velikost produkovaných harmonických proudů se dá určit, až po zhotovení EOP a následným naměřením, proto se při návrhu EOP vychází z měření obdobných pecí, které již jsou v provozu. K napájení obloukové pece se používají transformátory zapojené jako trojúhelník – hvězda, z důvodu zabránění proniknutí nulové

složky frekvencí do napájecí sítě, zejména u třetí, šesté, deváté atd. harmonické. Vzhledem k nesymetrii EOP stejně pronikají harmonické frekvence o násobku tří do sítě.

Kapitola 1.2 Zdroje vyšších harmonických proudů byla zpracována na základě použitých zdrojů [2], [7], [10], [11], [13].

### 1.3 Problémy způsobené harmonickými proudy v elektroinstalacích

V elektroinstalacích a napájecích sítích způsobují harmonické proudy problémy rozdílných charakterů, jejich následky a řešení jsou velice rozdílné a vyžadují individuální přístup. Prováděná měření sloužící k řízení vlivů harmonických v elektroinstalacích, nemusí vždy vést k redukci harmonického zkreslení, způsobeného napájecí sítí a naopak.

#### 1.3.1 Přetížení středního vodiče

V trojfázové síti jsou napětí vůči sobě posunuta o  $120^\circ$ , a jsou – li všechny fáze stejně zatíženy, proud protékající středním vodičem je nulový. Problém nastává v okamžiku, když jednotlivé fáze nejsou stejně zatíženy, pak ve středním vodiči protéká proud, který je výsledkem vektorového součtu fázových proudů. Pokud se ve středním vodiči o stejném zatížení fází proud základní harmonické neprojeví, neznamená to, že zde nejsou proudy vyšších harmonických. Například proudy třetí harmonické a jejich násobky ( $3n$ ) se ve středním vodiči sčítají. V tomto případě 70% proudu třetí harmonické v každé fázi má za následek 210% hodnoty fázového proudu ve středním vodiči. Případové studie v komerčních budovách potvrzují, že proud středním vodičem dosahuje 150% až 210% hodnoty fázového proudu.

Pro řešení tohoto problému, se přistupuje, u samostatných vodičů k zvětšení průřezu středního vodiče na dvojnásobek, nebo k použití dvou paralelních vodičů o stejném průřezu jako vodiče fázové. U více žilových kabelů je situace složitější. Předpokládáme, že zatížení je symetrické, vyvážené a středním vodičem neprotéká žádný proud. Tedy jen třemi ze čtyř (nebo pěti) vodičů protéká proud, který kabel ohřívá. Poněvadž je zatížitelnost vodičů omezena hlavně jejich oteplením na maximální dovolenou teplotu, je zřejmé, že u kabelů zatěžovaných  $3n$  harmonickými proudy musí být jejich jmenovité zatížitelnosti změněny. Z toho vyplývá, že kabel bude zatěžován pěti jednotkami proudu, třemi ve fázových vodičích a dvěma ve středním vodiči, místo předpokládaných tří jednotek. Proto také musí být snížena jeho zatížitelnost přibližně na 60% jmenovité hodnoty.

### 1.3.2 Přehřátí transformátorů

Na transformátory hlavně působí ztráty vířivými proudy, které jsou v normálním zatížení okolo 10% ztrát při plném zatížení a rostou s kvadrátem řádu harmonických. U transformátoru zatíženého nelineární zátěží IT technologie budou celkové ztráty dvojnásobné, než ztráty s lineární zátěží. To způsobuje mnohem vyšší pracovní teplotu transformátoru a kratší životnost, která může být snížena ze 40 let až na 40 dní, ale jen málo transformátorů je plně zatíženo. Tohle hledisko musí být uvažováno při volbě zařízení.

### 1.3.3 Rušení při spínání vypínačů

Pokud je součet proudů ve fázových vodičích a ve středním vodiči mimo nastavené meze, tak proudové chrániče vypínají. Tyto chrániče mohou být harmonickými rušeny ze dvou důvodů. Jeden z důvodů je ten, že tyto elektromechanické zařízení nemusí sčítat korektně harmonické složky proudu a proto vypínají chybně. Druhá příčina může být způsobena zařízeními generující harmonické nebo spínací poruchy, které jsou filtrovány v napájecím obvodu zařízení. K tomuto účelu se používají filtry, se zapojenými kondenzátory mezi fázovými vodiči, středním vodičem a zemí, díky tomu teče malý proud do země (svodový proud). Dle norem musí být tento proud menší než 3,5mA. Obvykle je mnohem menší, ale pokud je zařízení připojeno pouze do jednoho obvodu může tento svodový proud způsobit vypnutí. Řešení tohoto problému je zapojením více obvodů, z nich každý napájí několik zátěží.

Při spínání miniaturních vypínačů je rušení způsobeno protékajícím proudem, který je větší než očekávaný dle výpočtů, nebo jednoduchým měřením právě vlivem harmonických. Mnoho měřících přístrojů neměří správně efektivní hodnoty, díky tomu mohou být hodnoty nesinusových proudů podhodnoceny až o 40%.

### 1.3.4 Přetěžování kompenzačních kondenzátorů

Využití kompenzačních kondenzátorů je ke kompenzaci fázového posunu zpožděného proudu při induktivní zátěži. Impedance kondenzátoru klesá s nelineární zátěží, zatím co impedance sítě (která je obecně induktivní) se stoupajícím kmitočtem zvětšuje. Proto zatížení kondenzátoru roste s harmonickými složkami vyšších řádů. Není – li kondenzátor individuálně dimenzován, může dojít k jeho poškození.

Dalším problémem kompenzačních kondenzátorů je rezonance jejich kapacity s indukčností napájecí sítě v blízkosti harmonických kmitočtů (výskyt těchto kmitočtů je ve

100Hz intervalech). V těchto případech se mohou objevit velké hodnoty napětí nebo proudů, které opět vedou k poškození kompenzačních jednotek.

Rezonancím se lze vyvarovat pomocí zapojení tlumivky (indukčnost) do série s kompenzačním kondenzátorem, aby celková impedance byla induktivní pro nejmenší výraznou harmonickou. Tohle zapojení omezuje harmonický proud tekoucí do kondenzátoru. Problém s velikostí sériové tlumivky, může nastat tehdy, když jsou přítomny harmonické nízkých řádů.

### **1.3.5 Skinefekt**

Je obvykle zanedbáván, protože se v základním kmitočtu téměř neobjevuje, spíše se projevuje při vyšších kmitočtech. U kmitočtů nad 350Hz (7. harmonická) a výše, způsobuje přídavné ztráty a oteplení vodiče. Při návrhu kabelů, musí projektanti uvažovat skinefekt, alespoň tam, kde se vyskytují vyšší harmonické proudy. K vyřešení tohoto problému mohou posloužit mnoha žilové kabely a vrstvené přípojnice, ale musí být kladen důraz na to, aby použitý systém přípojníc zamezil mechanickým rezonancím na harmonických kmitočtech.

Kapitola 1.3 Problémy způsobené harmonickými proudy v elektroinstalacích byla zpracována na základě použitých zdrojů. [5]

## **1.4 Omezení vyšších harmonických**

Distributor je povinen při dodávání elektrické energie se řídit normou ČSN EN 50160. Není-li deformováno generováno spotřebičem spotřebitele, musí distributor dodržet povolené zkreslení napětí u všech uživatelů tím, že zmenší deformaci napětí na každé napěťové úrovni zvětšením zkratového výkonu na straně napájení, nebo zařazením aktivních či pasivních filtrů.

Úplné odstranění vyšších harmonických z napájecí sítě je zcela nemožné. Proto se přistupuje k minimalizaci vyšších harmonických pomocí různých opatření, abychom tato opatření mohli podstoupit, je nutné nejdříve určit oblast zkreslení a kontrolovat náhodné změny, dále zjistit, zda zkreslení nezpůsobuje provoz určitého zařízení zapojeného v napájecím systému. Poté můžeme přistoupit ke korekci a ověření vhodnosti provedených zásahů.

Metody pro omezení vyšších harmonických můžeme rozdělit na 2 skupiny, metody zlepšení kvality elektrické energie bez pomoci a s pomocí přídavných zařízení.

### 1.4.1 Bez pomoci přídavných zařízení

- **Zesílení a rekonstrukce vlastní sítě**

Pro nelineární spotřebiče by měl spotřebitel vytvořit samostatnou síť vyvedenou do společného napájecího bodu (PCC) s dvojnásobným průměrem středního vodiče. Dále pro lineární spotřebiče vytvořit také vlastní síť, napájenou také z PCC, přičemž tato síť může být projektována dle tradičních způsobů. Tímto se zajistí to, že proud nelineárních spotřebičů se nedostane na vstup lineárních spotřebičů a zamezí se deformaci napětí na impedanci vnitřní sítě lineárních spotřebičů.

- **Zvětšení počtu fází**

Velmi používaný způsob pro omezení harmonických proudů, které jsou měniči generovány do napájecí sítě. K dosažením těchto vlastností je zapotřebí použít jeden ze dvou následujících způsobů:

1. použití napájecích transformátorů měničů se speciálním zapojením vinutí, které dovolují realizovat potřebný vícefázový režim práce měniče
2. zabezpečení takového režimu práce skupiny měničů, kde jednotlivé měniče mají menší počty fází, ale navenek se jeví jako vícefázové

- **Sériové a paralelní spojení usměrňovačů**

Tento způsob vede jak k eliminaci vyšších harmonických, tak ke zlepšení účinnosti první harmonické a např. i ke zvýšení pulznosti výstupního napětí. Například můžeme hovořit o tzv. vystřídaném řízení neboli postupném řízení sériově spojených usměrňovačů. Tato cesta ať už sériové nebo paralelní řazení vede k odfiltrování určitých harmonických ze spektra, např. zapojení dvanáctipulzního usměrňovače, zapojeného pomocí dvou šestipulzních usměrňovačů, díky tomuto spojení se generují výrazně jen 11. a 13. harmonická.

### 1.4.2 S pomocí přídavných zařízení

Tyto zařízení se využívají hlavně, když rušení přesáhne dovolenou úroveň, nebo není-li možný provoz elektrických zařízení a výrobce není schopen toto rušení potlačit. Pro snížení jalového výkonu se používají kompenzační zařízení, a pro potlačení harmonického zkreslení jsou to různé filtry. Jako přídavné zařízení se hlavně používají kondenzátory, tlumivky a jejich vhodné zapojení.



- **Pasivní filtry**

Konstruuji se tak, aby měli co nejmenší impedanci pro vyladěnou frekvenci, vůči ní se v napájecí síti jeví jako zkrat. Tohle řešení je vhodné jen za předpokladu, že filtr není přetěžován harmonickými proudy, tvořenými vnějšími nelineárními zařízeními.

Jsou to vlastně sériové LC filtry (sací obvod) naladěné na určitou frekvenci, vůči ní mají nulovou impedanci. Hlavním úkolem pasivních filtrů je zamezení vyšších harmonických, které by postupovali zpět do sítě. Při použití pasivních filtrů je zapotřebí větší průřez vodiče, protože dochází ke ztrátám energie, která je přeměněna v teplo.

- **Aktivní filtry**

Hlavním úkolem tohoto filtru je vyrobit harmonický sinusový proud pomocí elektronických prostředků. Elektronická výkonová část aktivního filtru je vlastně pulzně-šířkově modulovaný střídač, který je automaticky řízen mikroprocesorem a generuje nezbytný proud. Dále se přidává proti zkreslení ke zkreslenému proudu, díky němuž je výsledkem téměř sinusový proud.

V principu jsou to vlastně sériově nebo paralelně zapojené generátory proudu nebo napětí, tvořené můstkovým zapojením polovodičových spínačů. Vhodným zapojením filtru např. paralelním spojením do sítě dodává do místa zapojení zbytkovou křivku proudu. Zbytková křivka proudu je rozdíl mezi ideální sinusovou křivkou proudu v soufází s napěťovou křivkou a křivkou proudu odebíraného spotřebičem. Tímto způsobem docílíme odečtení těchto dvou křivek a v síti by se teoreticky měla vyskytovat pouze základní harmonická. Tento princip je velmi náročný, protože je zapotřebí neustálého řízení generátoru a dále je zapotřebí generátoru velkého výkonu, který může být také zdrojem vyšších harmonických.

- **Kompenzace účinníku pomocí kondenzátorů**

Využití hlavně ke kompenzaci jalového výkonu v místě připojení měniče, nebo v místě centrální kompenzace. Kondenzátor se také vůči vyšším harmonickým proudům jeví jako filtr. Při připojení kompenzačních kondenzátorů je důležité, aby nebyly trvale přetíženy a nedošlo k jejich poškození (viz. Kapitola 1.3.4 Přetěžování kompenzačních kondenzátorů). Tato metoda vede spíše k ovlivnění základní harmonické, než k odfiltrování vyšších harmonických.

Kapitola 1.4 Omezení vyšších harmonických byla zpracována na základě použitých zdrojů [1], [3], [7], [14].

## **1.5 Normy a elektromagnetická kompatibilita (EMC) v nízkofrekvenčním rušení**

Problematiku elektromagnetické kompatibility a rušení v sítích nízkého napětí popisuje norma ČSN EN 61000-3-2. Dále určuje maximální hodnotu harmonických způsobenou jedním zdrojem rušení a skutečná hodnota tohoto zdroje rušení ji nesmí přesáhnout. Tato norma také rozděluje domácí spotřebiče připojených na napájecí síť nízkého napětí a jejich vstup nepřesahující 16A do skupin:

- A. všechna zařízení nespádající do následujících tříd;
- B. přenosné elektrické nářadí;
- C. svítidla včetně stmívačů;
- D. elektrická zařízení pod 600W, jejichž proud má časový speciální časový průběh definovaný normou (tj. zařízení s usměrňovačem a kondenzátorem na vstupu).

Televizní přijímače užívající celo vlnné usměrňovače bez fázového řízení, se považují jako přijatelné i bez měření a vyhodnocení harmonických proudů, splňují-li, že jejich příkon nepřesáhne 165W za běžných provozních podmínek.

Mezní hodnoty harmonických složek napájecího proudu spotřebičů třídy A a B, jsou obsaženy v tabulce tabulce 1.2 a spotřebičů třídy C a D v tabulce 1.3.

Řád harmonické složky napájecího proudu h	Maximální dovolený proud [A]	
	Třída A	Třída B
Liché harmonické		
3	2,3	3,45
5	1,14	1,71
7	0,77	1,155
9	0,4	0,6
11	0,33	0,495
13	0,21	0,315
$15 \leq h \leq 39$	$0,15 \cdot h / 15$	$0,22 \cdot h / 15$
Sudé harmonické		
2	1,08	1,62
4	0,43	0,645
6	0,3	0,45
$8 \leq h \leq 40$	$0,23 \cdot h / 8$	$0,345 \cdot h / 8$

Tabulka 1.2 Mezní hodnoty harmonických složek napájecího proudu třídy A a B

Řád harmonické složky napájecího proudu h	Třída C	Třída D
	Maximální dovolený proud harmonické [%] (vstupního proudu základní harmonické)	Maximální dovolený proud harmonické na 1 W příkonu [mA/W]
2	2	
3	$30 \cdot PF$	3,4
5	10	1,9
7	7	1
9	5	0,5
11	3	0,35
13	3	0,296
$15 \leq h \leq 39$ (jen liché)	3	$3,85/h$

Tabulka 1.3 Mezní hodnoty harmonických složek napájecího proudu třídy C a D

Kapitola 1.5 Normy a elektromagnetická kompatibilita (EMC) v nízkofrekvenčním rušení byla zpracována na základě použitých zdrojů [2], [8].

## 2 Harmonická analýza

Pro jednodušší práci s periodickými, nebo alespoň z části periodickými neharmonickými signály, aplikujeme rozklad signálu na nekonečnou řadu složenou z konstanty a harmonických veličin o kmitočtech rovných přirozenému násobku základního kmitočtu. Právě tento rozklad se nazývá harmonická analýza a výsledkem rozkladu dostáváme nekonečnou řadu, která se nazývá Fourierova řada.

Kapitola 2 Harmonická analýza byla zpracována na základě použitých zdrojů [1], [7].

### 2.1 Základní vlastnosti Fourierovy řady

Funkci  $f(t)$  nazýváme periodickou, platí-li pro všechna  $t$  vztah:

$$f(t + T) = f(t). \quad (2.1.1)$$

Funkce  $f(t)$  musí splňovat tzv. Dirichletovy podmínky, což znamená, že v intervalu  $\langle 0; T \rangle$  funkce musí být konečná, jednoznačná, po částech spojitá a musí mít konečný počet maxim a minim. Fourierova řada periodické funkce  $f(t)$  s úhlovým kmitočtem  $\omega$  má tvar:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} [a_h \cos(h\omega t) + b_h \sin(h\omega t)]. \quad (2.1.2)$$

Fourierovy koeficienty jsou:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt, \quad (2.1.3)$$

$$a_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(h\omega t) dt, \quad (2.1.4)$$

$$b_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(h\omega t) dt \quad h = 1, 2, \dots \quad (2.1.5)$$

Další vlastnosti funkcí, se kterými se v praxi setkáváme, jsou:

- **Sudá funkce:**

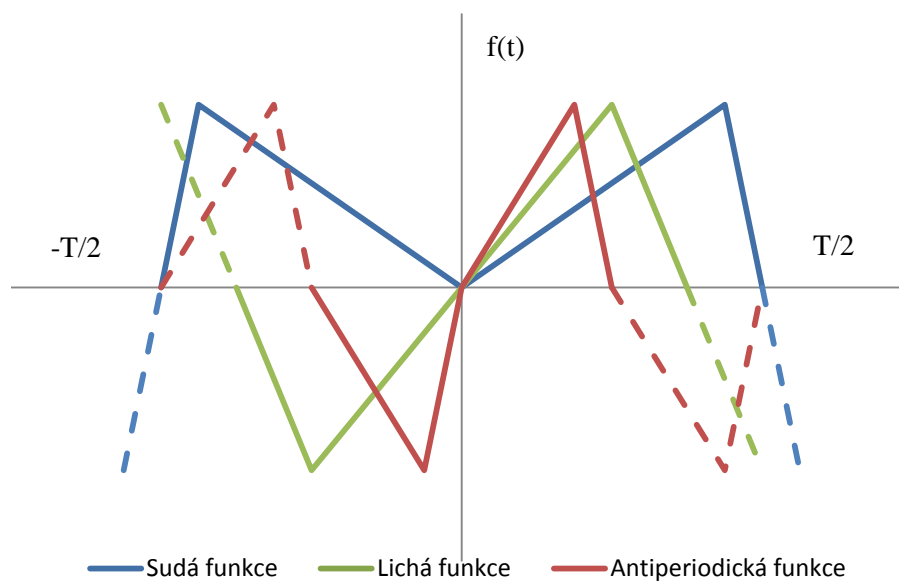
$f(-t) = f(t)$ . Graf je souměrný podle osy  $y$ . Fourierova řada obsahuje jen kosinové složky (Obrázek 2.1).

- **Lichá funkce**

$f(-t) = -f(t)$ . Graf je středově souměrný podle počátku. Fourierova řada obsahuje pouze sinové složky (Obrázek 2.1).

- **Antiperiodická funkce**

funkce obsahuje složky sinus a kosinus, které obsahují pouze koeficienty  $a_n, b_n$  s lichými indexy Fourierovy řady (Obrázek 2.1).



Obrázek 2.1 Speciální případy periodických funkcí [1]

Kapitola 2.1 Základní vlastnosti Fourierovy řady byla zpracována na základě použitých zdrojů [1], [2], [7].

## 2.2 Volba kmitočtu vzorkování

Důležitou roli v číslicovém zpracování signálu, hraje správná volba frekvence snímkování měřeného signálu. Jelikož  $h$ -tá spektrální čára odpovídá kmitočtu  $f_h = h/T_0$ , lze psát:

$$T_0 = T_v \cdot N = \frac{N}{f_v} \Rightarrow f_h = \frac{h}{T_v \cdot N} \quad (2.3.1)$$

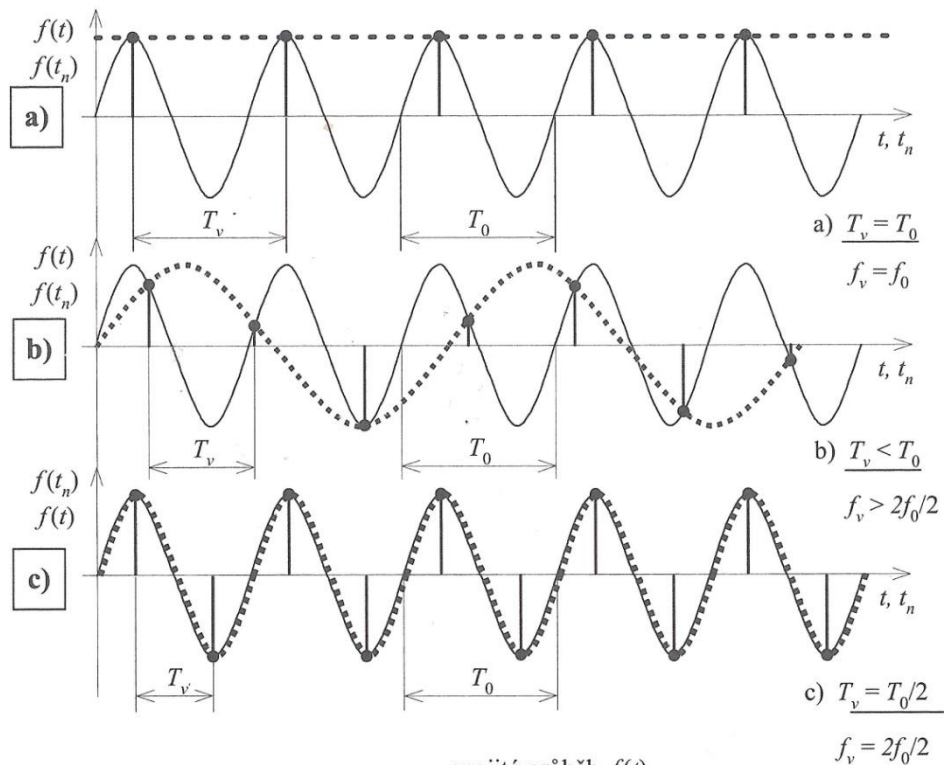
Dosazením za  $h = N$  dostáváme, že  $N$ -té spektrální čáře odpovídá kmitočet  $f_v$ :

$$f_N = \frac{N}{N \cdot T_v} = \frac{1}{T_v} = f_v. \quad (2.3.2)$$

Při volbě snímkovacího kmitočtu mohou nastat dva případy:

1. Dodržení Shannon-Kotělnikovova teorému, z čeho plyne dodržení podmínky:  
 $f_v > 2 \cdot f_m$ .
2. Nedodržení Shannon-Kotělnikovova teorému, kde  $f_v < 2 \cdot f_m$ ,  $f_m$  je maximální kmitočet ještě obsažený ve spektru.

Nesprávné určení vzorkovací frekvence vede ke vzniku aliasing efektu (Obrázek 2.2) – tzv. překrývání postraních pásem.



Obrázek 2.2 Aliasing efekt – vznik nesprávnou vzorkovací frekvencí, převzato z [1]

$$T_v = T_0; f_v = f_0; f_v = f_m \text{ analyzovaná frekvence} = 0$$

$$T_v < T_0; f_v > f_0; f_v < f_m \text{ analyzovaná frekvence} < \text{skutečná frekvence}$$

$$T_v = T_0/2; f_v > f_0; f_v = 2f_m \text{ analyzovaná frekvence} = \text{skutečná frekvence}$$

Kapitola 2.2 Volba kmitočtu snímkování byla zpracována na základě použitých zdrojů [1].

## 3 Výpočet výkonů a poměrné hodnoty

### 3.1 Výpočet výkonů

Při předpokladu, že v místě připojení spotřebiče v rozvodném systému je napětí, které lze vyjádřit Fourierovou řadou:

$$u(t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_k(t), \quad (3.1.1.1)$$

kde

$$u_k = \sqrt{2}U_k \sin(k\omega t + \varphi_{uk}) \text{ a } u_0(t) = U_0. \quad (3.1.1.2)$$

Stejně tak můžeme vyjádřit proud spotřebiče:

$$i(t) = \sum_{l=0}^{\infty} i_l(t) \quad (3.1.1.3)$$

kde

$$i_l(t) = \sqrt{2}I_l \sin(l\omega t + \varphi_{il}) \text{ a } i_0(t) = I_0. \quad (3.1.1.4)$$

Po dosazení do vzorce pro okamžitý výkon dostaneme:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (3.1.1.5)$$

$$p(t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_k(t) \cdot \sum_{l=0}^{\infty} i_l(t) \quad (3.1.1.6)$$



Činný výkon, který je definován jako střední hodnota okamžitého výkonu:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} u_k(t) \cdot i_l(t) dt. \quad (3.1.1.7)$$

Můžeme zaměnit dvojitou sumaci s integrací

$$P = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} \int_0^T u_k(t) \cdot i_l(t) dt. \quad (3.1.1.8)$$

Výpočtem dostáváme:

Pro  $k = l = 0$ ;

$$\frac{1}{T} \int_0^T u_0(t) \cdot i_0(t) dt = \frac{U_0 \cdot I_0}{T} \int_0^T dt = U_0 \cdot I_0 = P_0 \quad (3.1.1.9)$$

Pro  $k = l \neq 0$ :

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \int_0^T u_k(t) \cdot i_l(t) dt &= \frac{1}{T} \sqrt{2} U_k \sqrt{2} I_l \int_0^T [\sin(k\omega t + \varphi_{uk}) \cdot \sin(l\omega t + \varphi_{il})] dt = \\ &= U_k \cdot I_l \cdot \cos \varphi_k, \end{aligned} \quad (3.1.2.1)$$

kde

$$\varphi_k = \varphi_{uk} - \varphi_{il}. \quad (3.1.2.2)$$

Pro  $k \neq l$ :

$$\frac{1}{T} \int_0^T u_k(t) \cdot i_l(t) dt = 0. \quad (3.1.2.3)$$

S využitím odvozených vztahů se dostáváme k:

$$P = P_0 + P_1 + P_2 \dots = \sum_{h=0}^{\infty} P_h = P_0 + \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \cos \varphi_h \quad (3.1.2.4)$$

Z výsledných vztahů vidíme, že činný výkon neharmonického napětí a proudu je roven součtu činných výkonů jednotlivých harmonických.

Jako pomocná veličina je z početních důvodů zavedený zdánlivý výkon, který je určen jako součin efektivních hodnot napětí a proudů (obdobně jako u harmonických proudů a napětí).

$$S = U \cdot I = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2} \cdot \sqrt{\sum_{l=0}^{\infty} I_l^2}. \quad (3.1.2.5)$$

Jalový výkon, který udává energii střídavě kmitající mezi zdrojem a spotřebičem:

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} Q_h = \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \sin \varphi_h. \quad (3.1.2.6)$$

Jelikož u neharmonických průběhů dochází k nerovnosti:

$$S^2 \geq P^2 + Q^2 \quad (3.1.2.7)$$

Zavádíme tzv. deformační výkon, který stejně jako výkon jalový představuje neúčinnou složku zdánlivého výkonu, tento výkon vyvolává nárůst ztrát v napájecí síti a snížení využitelnosti sítě a měniče. Proto nestačí uvádět pouze účinník definovaný jako  $\cos \varphi_1$ , ale je nutné určit i tzv. skutečný účinník  $\Lambda$  neboli faktor výkonu. (Power Factor označovaný jako PF). Deformační výkon tedy určíme jako:

$$D = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)}, \quad (3.1.2.8)$$

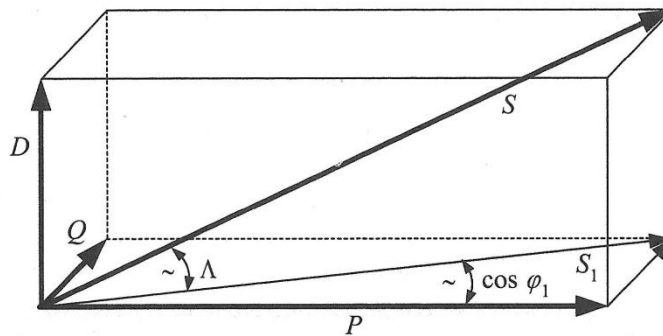
a skutečný účinník určíme jako:

$$\Lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (3.1.2.9)$$

na rozdíl od účinníku  $\cos \varphi_1$ , který spočítáme jako:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad (3.1.3.1)$$

Z výsledných vzorců pro výpočet výkonů, můžeme sestavit diagram složek výkonů. (viz. Obrázek 3.1.)



Obrázek 3.1 Diagram složek výkonů odebíraných ze sítě, převzato z [1]

Kapitola 3.1 Výpočet výkonů byla zpracována na základě použitých zdrojů [1], [2], [7].

### 3.2 Výpočet poměrných hodnot a celkového činitele zkreslení

Poměrné hodnoty využíváme hlavně pro posuzování velikosti harmonické. Tyto hodnoty jsou definovány jako poměr efektivní hodnoty  $h$ -té harmonické ku efektivní hodnotě základní harmonické. Tyto hodnoty můžeme udávat jako bezrozměrné číslo, nebo po vynásobení 100, je můžeme vyjádřit v procentech.

$$i_h = \frac{I_h}{I_1} [-], \quad (3.2.1)$$

$$i_{h\%} = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100 [\%]. \quad (3.2.2)$$

Další hodnotou, kterou u celkového spektra zavádíme k posouzení harmonických, je (celkové) harmonické zkreslení (THD) a definujeme ji jako:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_1} \cdot 100 [\%] \quad (3.2.3)$$

Tyhle definice obsahují veškeré frekvence obsažené ve sledovaném spektru, podle normy je nutné změřit 50 harmonických a pro výpočty stačí pouze 40 harmonických.

Kapitola 3.2 Výpočet poměrných hodnot a celkoví činitele zkreslení byla vypracována na základě použitých zdrojů [1], [2], [8].

## 4 Způsoby měření a vyhodnocení harmonických

Dnes můžeme pro měření a vyhodnocení harmonických použít 3 různé metody:

- ***Využití A/D převodníku a následné zpracování na počítači***

pro měření není potřeba nákladných zařízení a současně počítač můžeme využívat i pro jiné účely. Dnes se setkáváme se spousty A/D převodníků, které splňují požadavky pro měření harmonických. Pro využití tohoto způsobu je zapotřebí dokonalá orientace v problematice měření a analýzy harmonických, kompletní potřebného softwarového vybavení, které by mělo splňovat normy pro měření harmonických a A/D převodníku, což může být značnou nevýhodou.

- ***Využití osciloskopu***

dnes již s využitím digitálního osciloskopu. Dále je zapotřebí další zpracování pomocí přídavných funkcí osciloskopu (např. rychlá Fourierova transformace) nebo přenesením dat do počítače a dále zpracovávat. Nevýhoda tohoto způsobu je nemožnost analýzy v reálném čase. Důvodem je omezená paměť osciloskopu.

- ***Využití speciálních analyzátorů***

asi nejlepší způsob pro měření a vyhodnocování harmonických. Výhody tohoto způsobu jsou v měření více fází současně a měření harmonických průběhů v reálném čase. Nevýhoda je vysoká cena těchto přístrojů.

Kapitola 4 Způsoby měření a vyhodnocení harmonických byla zpracována na základě použitých zdrojů [1].

## 4.1 Měření odebíraných proudů vybraných zařízení a jejich zpracování

### 4.1.1 Úkol měření

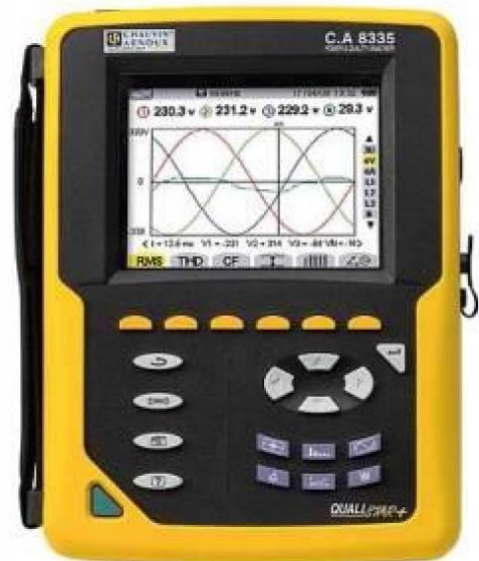
Úkolem tohoto měření bylo změřit průběhy odebíraných proudů vybraných zařízení, které jsou typické pro užití v domácnostech, kancelářích a průmyslu pomocí analyzátoru kvality elektrické energie. Toto měření jsme omezili spíše jen na měření kancelářských a domácích spotřebičů. Hlavním úkolem tedy bylo změřit průběhy vybraných spotřebičů, provést harmonickou analýzu, analýzu účinníku a harmonického zkreslení odebíraných proudů.

### 4.1.2 Popis měřicího přístroje

Naměřené a zpracované průběhy byly naměřeny pomocí analyzátoru jednofázových a třífázových sítí Chaurvin Arnoux C.A 8335 Qualistar Plus (Obrázek 5.1). Výhodou tohoto přístroje je měření a zobrazení průběhů v reálném čase a jejich následném vyfotografování do interní paměti. Do přístroje můžeme zaznamenat 50 průběhů, poté je nutné analyzátor kvality připojit k počítači přes USB port a průběhy pomocí nainstalovaného softwaru přenést do počítače a následně vymazat paměť přístroje.

Hlavní funkce přístroje jsou:

- *měření AC napětí/proudů až do 1000V/6500A,*
- *měření DC napětí/proudů,*
- *měření proudu středního vodiče,*
- *harmonická analýza napětí, proudu a výkonu do 50. složky,*
- *měření činného, jalového a zdánlivého výkonu, energie celkového účinníku (power factor) a účinníku  $\cos \varphi$ ,*
- *měření rozběhových proudů, měření přechodových dějů*



Obrázek 4.1 Analyzátor kvality elektrické energie, převzato z [12]

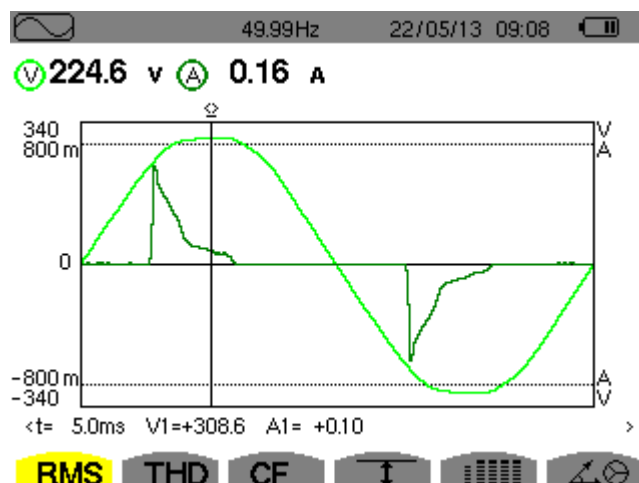
Přístroj obsahuje také volbu režimu měření, jako jsou režim Sledování měřených veličin, režim Harmonické, režim Výkon/Energie a režim Přechodové jevy/Rozběhový proud. Tyto režimy se volí, stejně tak jako nastavení způsobu zapojení a proudové senzory pro měření, před začátkem samotného měření.

#### 4.1.3 Postup měření

Na základě konzultace s vedoucím bakalářské práce Ing. Miloslavou Tesařovou, Ph.D. jsme navrhli a já poté zhotovil prodlužovací šňůru s vyvedeným fázovým vodičem. Tato prodlužovací šňůra zjednodušila celé měření, jelikož analyzátor kvality jsme nemuseli složitě přepojovat k ostatním spotřebičům, ale stačilo jen spotřebič zapojit do prodlužovací šňůry a zaznamenat průběh pomocí analyzátoru kvality elektrické energie (viz. Kapitola 4.2.1).

Před samotným měřením jsme museli nastavit analyzátor kvality elektrické energie. Po zapnutí analyzátoru jsme se pomocí tlačítka MENU dostali do nabídky, kde jsme vybrali konfiguraci zapojení a rozsahy proudové sondy. Zvolili jsme jednofázovou konfiguraci zapojení.

Prodlužovací šňůra byla zapojena do zásuvky 230V, na vyvedený fázový vodič byly připojeny kleště proudové sondy, do volné zdíčky prodlužovací šňůry jsme dále zapojili napěťové svorky analyzátoru kvality elektrické energie a nakonec jsme do další volné zdíčky u prodlužovací šňůry připojili spotřebič. Po připojení a zapnutí spotřebiče k prodlužovací šňůře, jsme na analyzátoru kvality elektrické energie zaznamenali průběhy napětí a proudu pod záložkou RMS (Obrázek 4.2).



Obrázek 4.2 Průběh kompaktní žárovky zobrazený na display analyzátoru kvality elektrické energie

V záložce THD je možnost zjistit jaké je celkové harmonické zkreslení napětí či proudu, pod záložkou CF nalezneme činitele výkyvu proudu nebo napětí, další záložka zobrazuje

maximální, průměrnou a minimální hodnotu proudu a napětí, dále také zobrazuje špičky proudu a napětí. Na předposlední záložce je současné zobrazení parametrů měřeného proudu a napětí (skutečná efektivní hodnota počítaná každou vteřinu, stejnosměrná složka, celkové harmonické zkreslení a činitel zkreslení) a pomocí poslední záložky můžeme zobrazit Fresnelův diagram.

Zobrazený průběh uložíme do paměti přístroje pomocí dlouhého stlačení hardwarového tlačítka se symbolem fotoaparátu, dokud se nám v levém rohu nezobrazí obrázek diskety, poté můžeme tlačítko pro uložení průběhu uvolnit. Po zaznamenání průběhu přejdeme k měření dalšího spotřebiče. Do paměti analyzátoru kvality elektrické energie můžeme uložit až 50 průběhů, poté se musí zaznamenané průběhy exportovat do počítače a následně vymazat.

#### **4.1.4 Export naměřených dat**

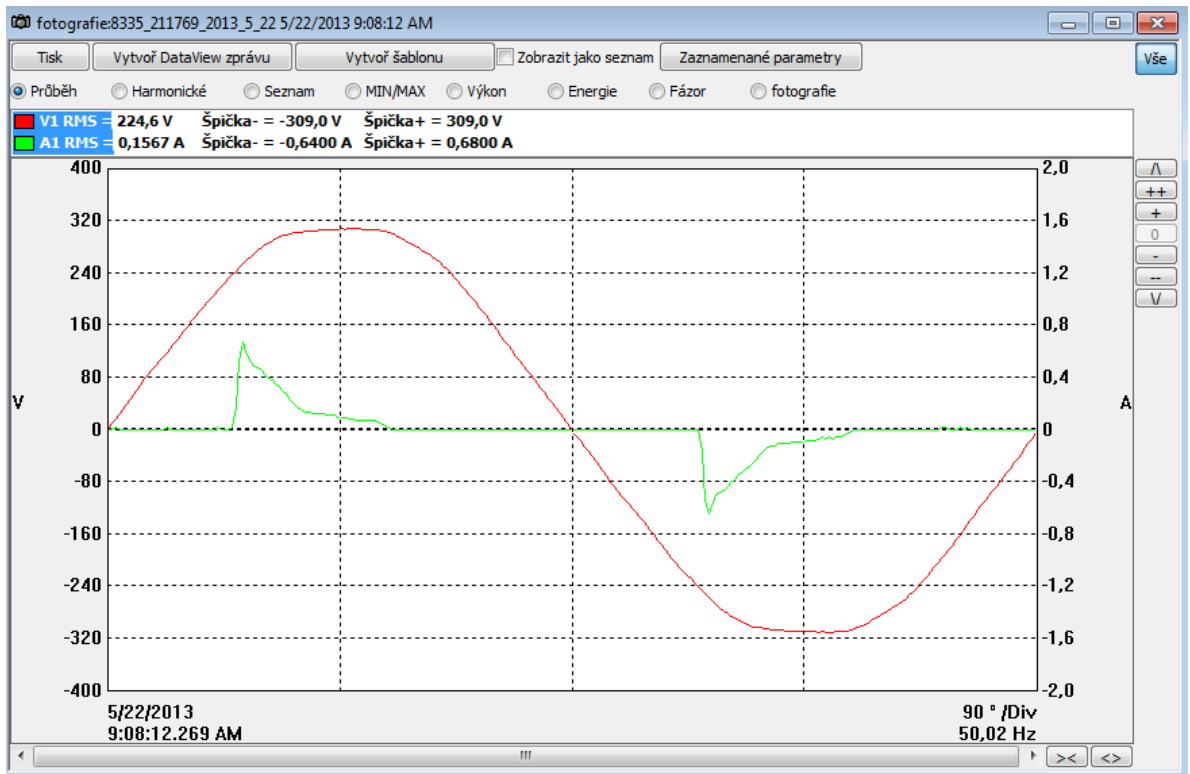
Po naměření průběhů všech spotřebičů, jsme připojili a exportovali naměřená data do notebooku pomocí USB rozhraní, s nainstalovaným softwarem DATA VIEW a POWER ANALYZER TRANSFER (Obrázek 4.3), dodaným k analyzátoru kvality elektrické energie, v tomto programu jsou funkce pro prohlížení průběhů jako na analyzátoru kvality elektrické energie obdobné a navíc tu jsou ještě funkce pro zpracování a vyhodnocení zprávy o zařízení. Dále jsme exportovali naměřená data do tabulky (Excel) programového balíku MS Office (Obrázek 4.4), kde každý přístroj byl uložen v jednom souboru jen pomocí dat, ze kterých jsem dále vytvořil grafy.

Tuto knihovnu průběhů jsem se snažil seřadit, tak aby dávala alespoň trochu smysl a seřadil jsem spotřebiče, podle využití nebo podobných naměřených průběhů (jako televize a monitory, audio, video a DVD přehrávače, světelné zdroje, odporové spotřebiče a další.) díky čemuž můžeme teď porovnávat průběhy spotřebičů mezi sebou.

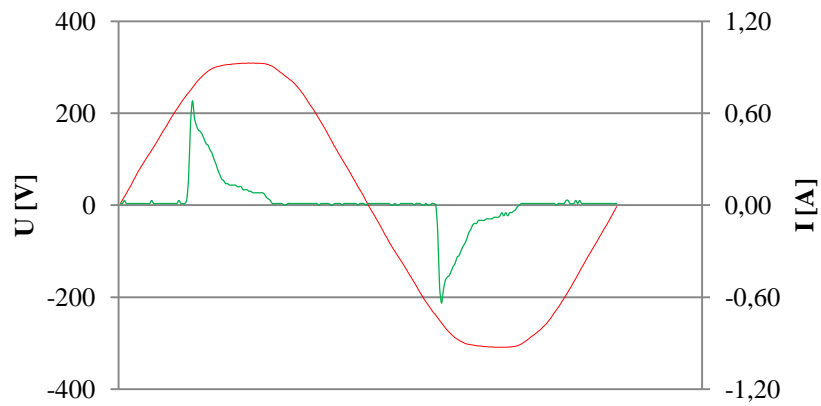
U výsledných průběhů (viz. Přílohy) si můžeme všimnout, že napětí je téměř dokonalý průběh sinus, s minimálním zkreslením (u většiny průběhů se pohybuje okolo 2%), naopak průběh proudu není u spotřebičů stejný. U odporových spotřebičů by v ideálním případě měl průběh proudu kopírovat průběh napětí, tudíž mít také sinusový průběh a v ideálním případě obsahovat pouze základní harmonickou složku. Naopak u ostatních spotřebičů, jako jsou například počítače, notebooky a televize, zkrátka přístroje, které obsahují spínané zdroje vidíme průběh proudu, nepřipomínající tvar sinus, ale jen takové dva pomyslné výběžky, které jsou typické pro jednofázový usměrňovač s vyhlazovacím kondenzátorem. Tyto



průběhy jsou velice zkreslené, což potvrzuje i vysoký činitel zkreslení  $THD_1$  a obsahují spoustu lichých harmonických složek.



Obrázek 4.3 Průběh kompaktní žárovky zobrazený v programu Power Analyzer Transfer



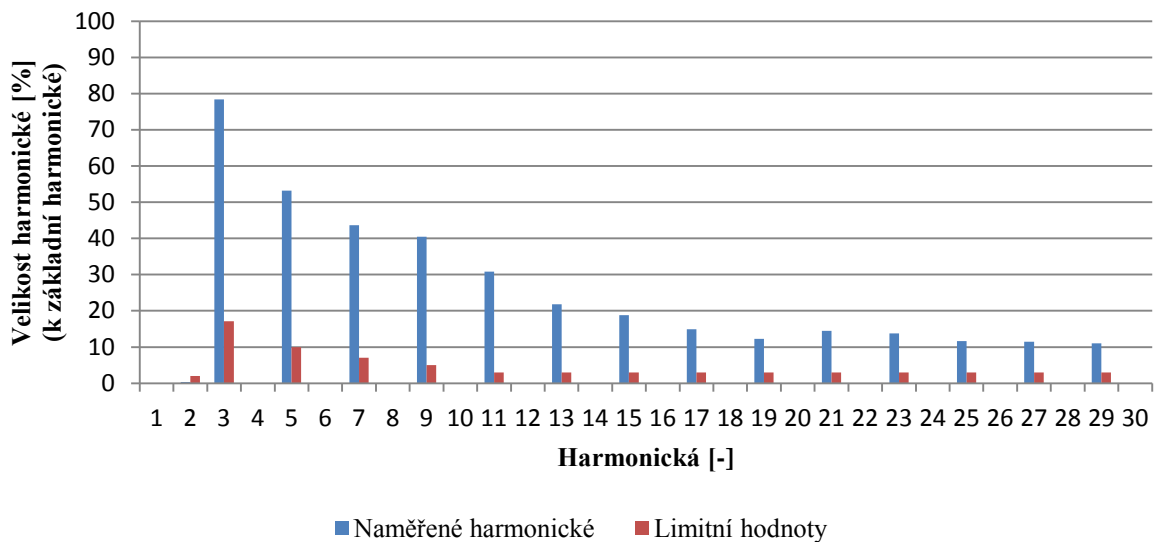
Obrázek 4.4 Průběh kompaktní žárovky vytvořený v programu Excel

#### 4.1.5 Seznam naměřených spotřebičů a vyhodnocení dle normy

ČSN EN 61000-3-2		
	Zařazení do tříd	Překračuje/Nepřekračuje Limity
CRT Televize Funai	D	Překračuje
CRT Televize Panasonic TX21S3TL	D	Překračuje
CRT C32Televize Panasonic TX32PL10L/M	D	Nepřekračuje
CRT Monitor Compaq	D	Překračuje
CRT Monitor DAEWOO 518x	D	Překračuje
CRT Monitor DAEWOO 523x	D	Překračuje
CRT Monitor Dell	D	Překračuje
LCD Monitor HP 1702	D	Překračuje
CRT Monitor Targa Visionary	D	Nepřekračuje
Notebook Dell	D	Překračuje
Stolní počítač 1	D	Překračuje
Stolní počítač 2	D	Překračuje
Data projektor HP	A	Nepřekračuje
Meotar Famulus	A	Nepřekračuje
Meotar	A	Nepřekračuje
Kopírka Minolta Dialta	A	Nepřekračuje
Tiskárna hp colorlasserjet CM	A	Nepřekračuje
Tiskárna HP	A	Nepřekračuje
DVD Kodak	D	Překračuje
DVD Sencor	D	Překračuje
Video přehrávač	D	Překračuje
Sony PS3	-	-
Rádio Panasonic Power Blaster	D	Překračuje
Žárovka Tesla 75W	C	Nepřekračuje
Sodíková výbojka	C	Nepřekračuje
Kompaktní žárovka Ecolite 25W	C	Překračuje
Rychlovarná konvice	A	Nepřekračuje
Fritovací hrnec Moulinex	A	Nepřekračuje
Infrazářič	A	Nepřekračuje
Žehlička Philips	A	Nepřekračuje
Odporový vaříč plotýnka spirálová	A	Nepřekračuje
Fén Rowenta	A	Nepřekračuje
Vysavač ETA 7400	A	Nepřekračuje
Vysavač Kärcher	A	Nepřekračuje
Ventilátor	A	Nepřekračuje
Holicí strojek Philips SENSOTOUCH	D	Překračuje
WI-FI	D	Překračuje
Mikrovlnná trouba	A	Nepřekračuje

Tabulka 4.1 Seznam měřených spotřebičů a vyhodnocení dle normy ČSN EN 61000-3-2

V tabulce 4.1 je vypsán seznam měřených zařízení a jejich následné zařazení do skupin, které určuje norma (viz. Kapitola 1.5). Zařízení byla poté zkontrolována podle tabulek limitních hodnot harmonických proudů pro určité skupiny a na základě tohoto zkontrolování vyneseno závěr, zda harmonické proudy překračují, či nepřekračují limitní hodnoty (viz. Obrázek 4.5)



Obrázek 4.5 Ukázka vyhodnocení harmonických, dle limitních hodnot normy ČSN EN 61000-3-2, pro třídu C (kompaktní žárovka 25W Ecolite)

## Závěr

Tato bakalářská práce by mohla posloužit jako podklad k měření a vyhodnocení proudů spotřebičů, jelikož jsem se zde snažil popsat veškeré základy této problematiky. Dále tato práce může posloužit jako knihovna, naměřených průběhů, které příkládám v příloze.

Dále bych chtěl zdůraznit, že vždy nemusí být nejlepší to nejúspornější, například jako se v poslední době staly velkým hitem úsporné, nebo kompaktní žárovky, které sice mají nižší odběr proudu než klasické žárovky, ale oproti klasickým žárovkám produkují vyšší harmonické proudy, které mohou zpětně působit na napájecí síť. Mezi největší znečišťovatele patří veškeré spotřebiče, které obsahují jakékoliv měniče, nebo usměrňovače proudu, mohou to být stolní počítače, notebooky, televize, záložní zdroje, nebo zmiňované kompaktní žárovky, zde bych opět odkázal na přílohy, kde pod položkou  $THD_I$  je vidět u každého přístroje celkové zkreslení proudu (nebo napětí  $THD_U$ ). Také stojí za povšimnutí, že většina přístrojů má podobný průběh proudu, což je způsobeno jednofázovým usměrňovačem, s vyhlazovacím kondenzátorem.

Naopak u odporových spotřebičů, u kterých by měla být zátěž čistě odporová, bychom měli dosáhnout celkového zkreslení proudu rovnému nule, a průběh proudové křivky by měl kopírovat křivku napětí. V knihovně naměřených průběhů ale vidíme, že to tak přesně není a proudová křivka není přesnou kopií křivky napětí, to je způsobeno zkreslenou křivkou napětí, která jak si můžeme všimnout, je také zkreslená a celkový činitel zkreslení napětí se také nerovná nule.

Vysoké znečištění sítě vyššími harmonickými může vést, ke špatnému chodu elektrických zařízení, nebo dokonce ke snížení životnosti izolací vodičů, nebo spotřebičů, proto je nutné, aby výrobci spotřebičů dbali na kvalitu svých výrobků. Důležité je, aby tyto výrobky byly odolné vůči rušení jinými spotřebiči a samy nebyly zdrojem rušení.

V tabulce naměřených spotřebičů (Tabulka 4.1) vidíme, že spousta spotřebičů překračuje limitní hodnoty harmonických proudů, definovaných normou ČSN EN 61000-3-2. Z tohoto hlediska jsou na tom nejlépe odporové spotřebiče, které neobsahují žádné, nebo minimum vyšších harmonických. Naopak nejhůře se projevují, spotřebiče obsahující na vstupu usměrňovač s kondenzátorem. Tyto zařízení mají největší činitele harmonického zkreslení THD a také většina z nich přesahuje limity stanovené normami.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KŮS, Václav. *Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 183 s. ISBN 80-730-0062-8.
- [2] České vysoké učení technické Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky: *Energetická rušení v distribučních a průmyslových sítích*. 1999
- [3] DÁN, András; SANTARIUS, Pavel; GAVLAS, Josef; KUŽELA, Miloslav: *Kvalita dodávané elektrické energie v sítích nízkého napětí*.
- [4] LANGGUTH, Wolfgang. *Kvalita elektrické energie: Uzemnění a EMC: Základy elektromagnetické kompatibility (EMC)* [online]. 2006 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: [http://www.medportal.cz/files/file/6\\_1\\_2.pdf](http://www.medportal.cz/files/file/6_1_2.pdf)
- [5] CHAPMAN, David. *Kvalita elektrické energie: Harmonické: Příčiny a účinky* [online]. 2001 [cit. 2013-01-5]. Dostupné z: [http://www.medportal.cz/files/file/3\\_1\(1\).pdf](http://www.medportal.cz/files/file/3_1(1).pdf)
- [6] HANZELKA, Zbigniev a Andrzej BIEN. *Kvalita elektrické energie: Harmonické: Meziharmonické* [online]. 2005 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: [http://www.medportal.cz/files/file/lpq\\_cz/3\\_1\\_1.pdf](http://www.medportal.cz/files/file/lpq_cz/3_1_1.pdf)
- [7] KŮS, Václav. *Výkonová elektronika*. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 1996, 84 s. ISBN 80-708-2272-4
- [8] KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE. *Vyhodnocení odebíraných proudů spotřebičů používaných v domácnostech a kancelářích* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2013-10-04]. Dostupné z: [http://www.kee.zcu.cz/files/laboratore/Uloha1-harmonicke\\_proudy.pdf](http://www.kee.zcu.cz/files/laboratore/Uloha1-harmonicke_proudy.pdf)
- [9] Odstraňování poruch v třífázových sítích pomocí analyzátorů kvality sítě řady FLUKE 430 [online]. 2005 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26301](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26301)
- [10] Zdroje a šíření harmonických [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/EMC/sylaby/5\\_Zdroje\\_a\\_sireni\\_harmonickych.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/EMC/sylaby/5_Zdroje_a_sireni_harmonickych.pdf)
- [11] Zlepšení síťového proudu spínaných zdrojů. [online]. [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=25302](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25302)
- [12] *Návod k obsluze měřicího přístroje*. Dostupné z: [http://www.kee.zcu.cz/files/laboratore/Manual\\_analyzator\\_PQ.pdf](http://www.kee.zcu.cz/files/laboratore/Manual_analyzator_PQ.pdf)
- [13] ŽÁK, František. *Vliv používání moderních světelných zdrojů na síť* [online]. [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=48394](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=48394)
- [14] VONDRÁŠEK, František. *Výkonová elektronika*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1994, 149 s. ISBN 80-708-2137-X.

## Přílohy

### Příloha 1 - Televize a monitory

	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Televize Funai / -  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 139,1  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 1,8  <b>cos φ [-]:</b> 0,99  <b>PF [-]:</b> 0,57  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Televize Panasonic/TX21S3TL  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 107  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,3  <b>cos φ [-]:</b> 0,99  <b>PF [-]:</b> 0,67  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Televize Panasonic/TX32PL10LM  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 73  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,98  <b>PF [-]:</b> 0,8  <b>Charakter:</b> Kapacitné</p>	

	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Compaq/ -  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 120  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 1,9  <b>cos φ [-]:</b> 0,98  <b>PF [-]:</b> 0,62  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Compaq/ -  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 81,9  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 0,39  <b>PF [-]:</b> 0,3  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Daewoo/518x  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 112,5  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,99  <b>PF [-]:</b> 0,64  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	

	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Daewoo/518x</p> <p><b>Stav:</b> Standby</p> <p><b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 82,7</p> <p><b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,3</p> <p><b>cos φ [-]:</b> 0,43</p> <p><b>PF [-]:</b> 0,33</p> <p><b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Daewoo/523x</p> <p><b>Stav:</b> Zapnuto</p> <p><b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 99,6</p> <p><b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1</p> <p><b>cos φ [-]:</b> 0,99</p> <p><b>PF [-]:</b> 0,7</p> <p><b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Daewoo/523x</p> <p><b>Stav:</b> Standby</p> <p><b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 61,8</p> <p><b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2</p> <p><b>cos φ [-]:</b> 0,31</p> <p><b>PF [-]:</b> 0,3</p> <p><b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	

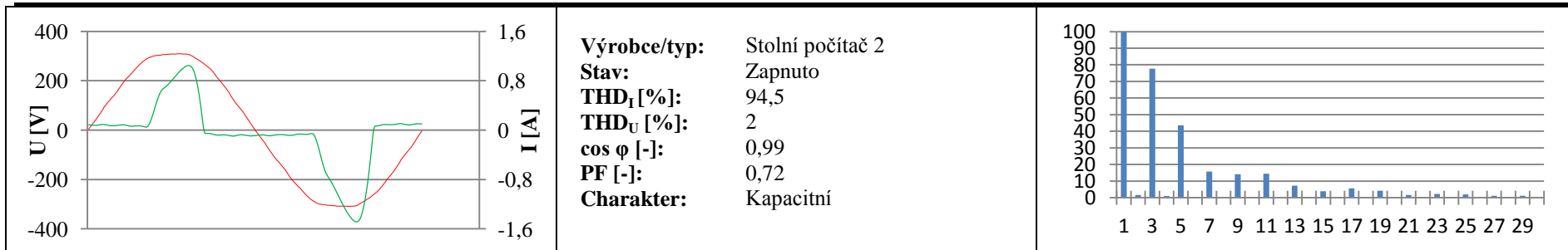


	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Dell/ -  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 126,1  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,97  <b>PF [-]:</b> 0,59  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Dell/ -  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 30,1  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,1  <b>PF [-]:</b> 0,1  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> LCD Monitor HP/1702  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 132,4  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1  <b>cos φ [-]:</b> 0,91  <b>PF [-]:</b> 0,54  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	

	<p><b>Výrobce/typ:</b> LCD Monitor HP/1702  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 24,3  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1  <b>cos φ [-]:</b> 0,06  <b>PF [-]:</b> 0,06  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Targa/Visionary  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 28,9  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,91  <b>PF [-]:</b> 0,88  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> CRT Monitor Targa/Visionary  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 13,3  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,03  <b>PF [-]:</b> 0,03  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	

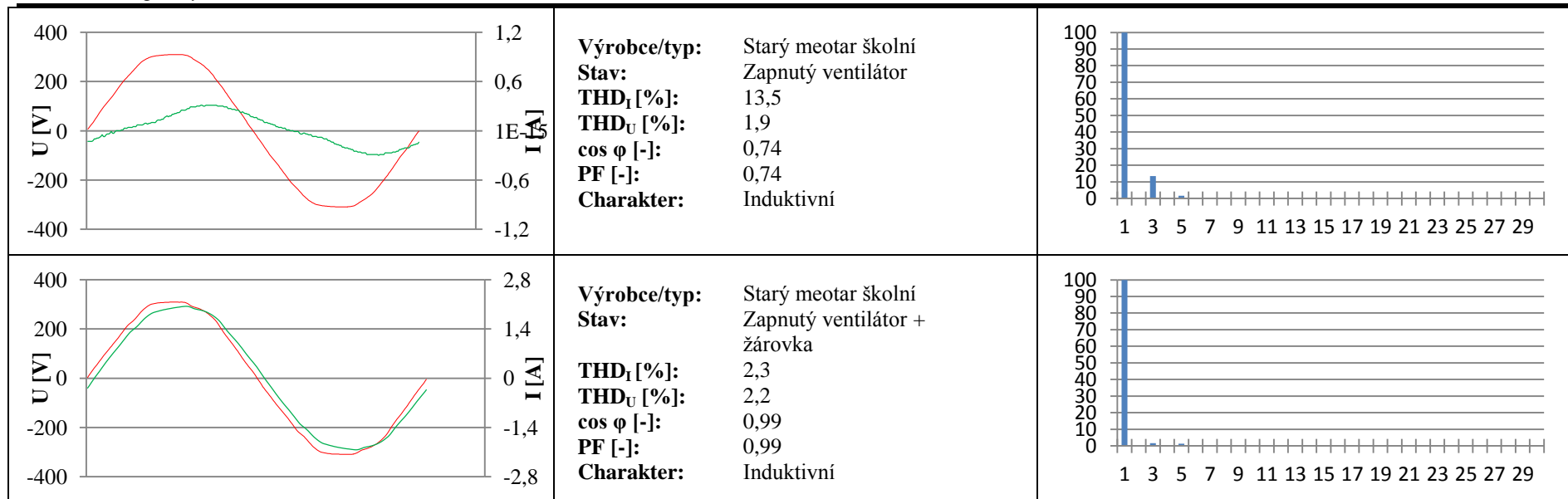
### Příloha 2 - Stolní počítače a notebooky

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Notebook Dell  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 145,2  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 0,97  <b>PF [-]:</b> 0,54  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Stolní počítač 1  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 135,9  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 0,98  <b>PF [-]:</b> 0,58  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Stolní počítač 1  <b>Stav:</b> Úsporný režim  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 224,3  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 0,4  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	



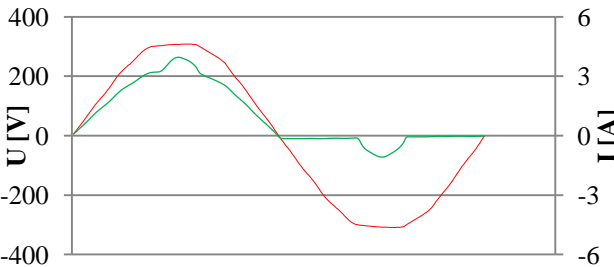
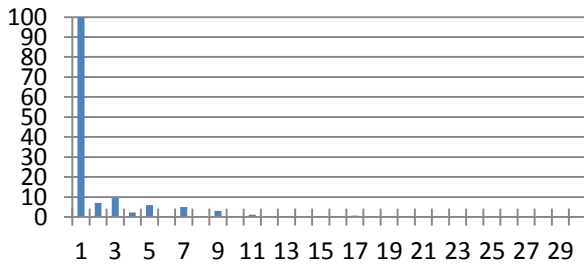
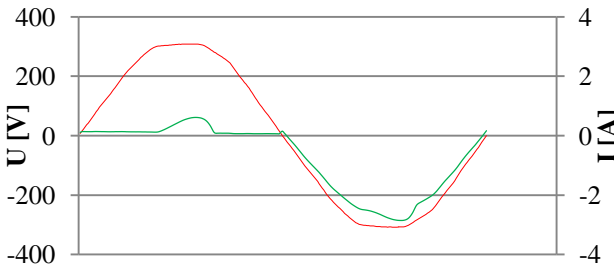
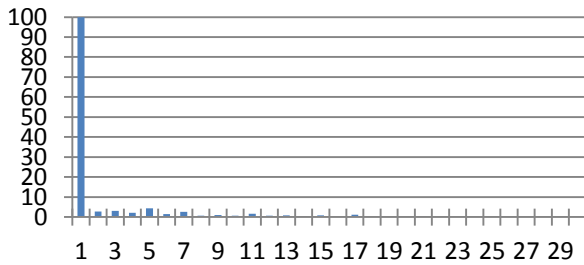
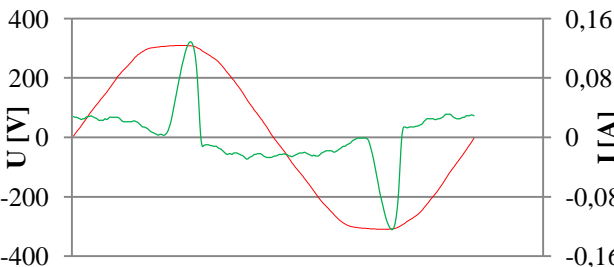
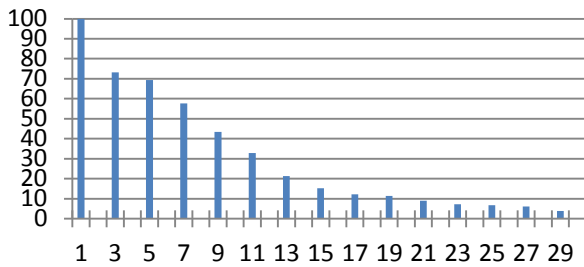
**Příloha 3 - Meotary a data projektorů**

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Data projektor HP/-  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 23,9  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1  <b>cos φ [-]:</b> 0,96  <b>PF [-]:</b> 0,94  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Data projektor HP/-  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 37,7  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 0,41  <b>PF [-]:</b> 0,3  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Meotar Famulus/-  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 8,4  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1  <b>cos φ [-]:</b> 0,97  <b>PF [-]:</b> 0,97  <b>Charakter:</b> Induktivní</p>	



### Příloha 4 - Tiskárny a kopírky

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Kopírka Konica Minolta/Dialta</p> <p><b>Stav:</b> Tisk</p> <p><b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 4,4</p> <p><b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,4</p> <p><b>cos φ [-]:</b> 1</p> <p><b>PF [-]:</b> 1</p> <p><b>Charakter:</b> Odporový</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Kopírka Konica minolta/Dialta</p> <p><b>Stav:</b> Standby</p> <p><b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 44,4</p> <p><b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,4</p> <p><b>cos φ [-]:</b> 0,88</p> <p><b>PF [-]:</b> 0,81</p> <p><b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Tiskárna HP/color laserjet CM</p> <p><b>Stav:</b> Tisk</p> <p><b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 43,5</p> <p><b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,3</p> <p><b>cos φ [-]:</b> 0,93</p> <p><b>PF [-]:</b> 0,77</p> <p><b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Tiskárna HP/color laserjet CM</p> <p><b>Stav:</b> Standby</p> <p><b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 13,7</p> <p><b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,3</p> <p><b>cos φ [-]:</b> 0,91</p> <p><b>PF [-]:</b> 0,75</p> <p><b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Tiskárna HP/- Tisk</p> <p><b>Stav:</b> Tisk</p> <p><b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 8,1</p> <p><b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,3</p> <p><b>cos φ [-]:</b> 0,97</p> <p><b>PF [-]:</b> 0,94</p> <p><b>Charakter:</b> -</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Tiskárna HP/- Standby</p> <p><b>Stav:</b> Standby</p> <p><b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 134,9</p> <p><b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2</p> <p><b>cos φ [-]:</b> 0,77</p> <p><b>PF [-]:</b> 0,46</p> <p><b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	



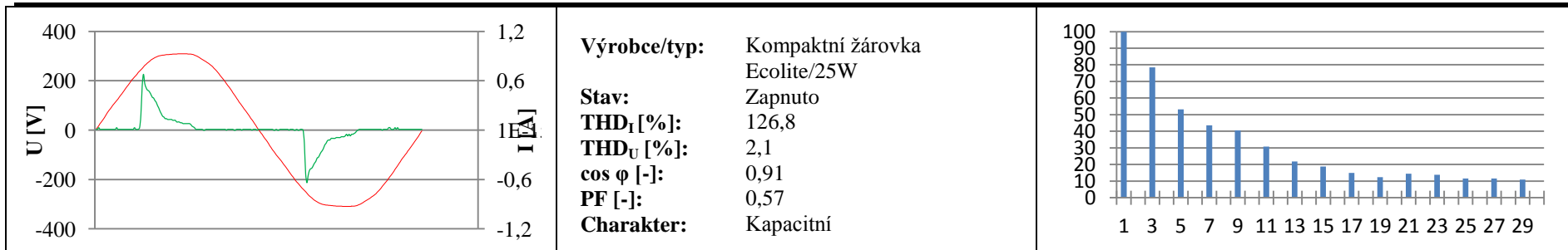
**Příloha 5 - Audio, video a DVD přehrávače**

	<p><b>Výrobce/typ:</b> DVD Kodak/-  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 205,4  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 0,43  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> DVD Sencor/-  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 169,2  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 0,49  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Video přehrávač/-  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 132,1  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,3  <b>cos φ [-]:</b> 0,9  <b>PF [-]:</b> 0,54  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Sony PS3/320GB  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 23  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,91  <b>PF [-]:</b> 0,88  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Rádío Panasonic/ Power Blaster  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 56  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1  <b>cos φ [-]:</b> 0,86  <b>PF [-]:</b> 0,8  <b>Charakter:</b> Induktivní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Rádío Panasonic/ Power Blaster  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 14  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 0,49  <b>PF [-]:</b> 0,48  <b>Charakter:</b> Induktivní</p>	

**Příloha 6 - Světelné zdroje**

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Tesla žárovka/75W  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 1,9  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 1  <b>Charakter:</b> Odporový</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Výbojka/sodíková  <b>Stav:</b> Náběh  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 14,5  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,92  <b>PF [-]:</b> 0,92  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Výbojka/sodíková  <b>Stav:</b> Ustálená  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 9,7  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 0,98  <b>PF [-]:</b> 0,97  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	

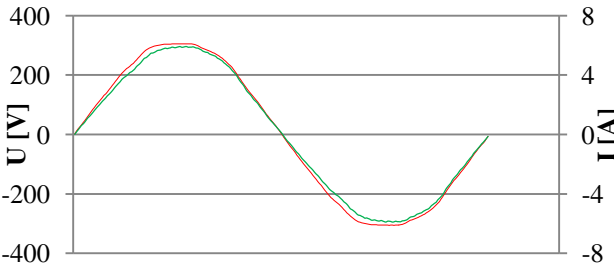
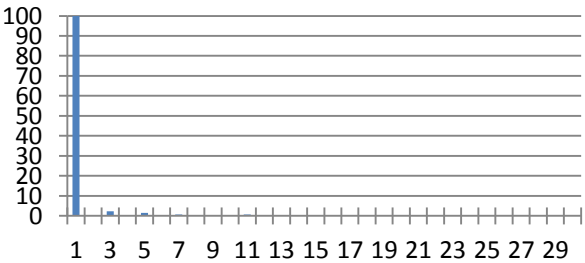
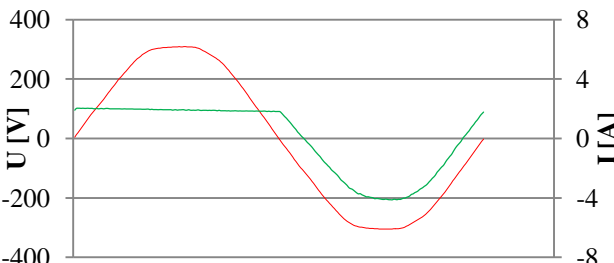
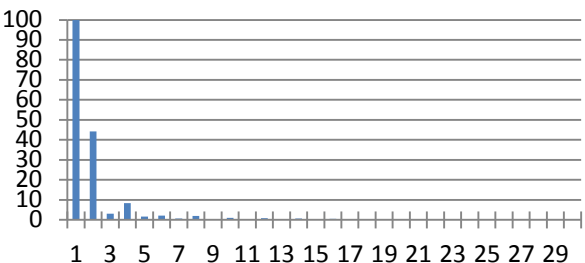
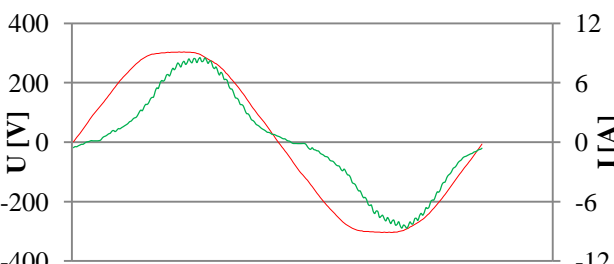
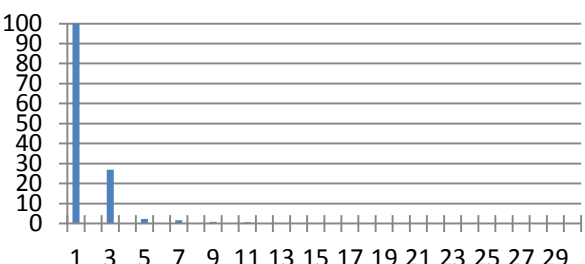


**Příloha 7 - Odporové spotřebiče**

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Rychlovarná konvice/-  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 2  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 1  <b>Charakter:</b> Odporový</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Fritovací hrnec Moulinex/-  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 1,9  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 1  <b>Charakter:</b> Odporový</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Infrazářič/-  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 2,2  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 1  <b>Charakter:</b> Odporový</p>	

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Žehlička Phillips /-  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 2  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 1  <b>Charakter:</b> Odporový</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Žehlička Phillips /-  <b>Stav:</b> Standby  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 22,6  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,08  <b>PF [-]:</b> 0,08  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Vaříč odporový/plotýnková spirála  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 2,1  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 1  <b>Charakter:</b> Odporový</p>	

**Příloha 8 – Motorické spotřebiče**

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Fén Rowenta/-  <b>Stav:</b> Zapnuto II. stupeň  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 2,9  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 1  <b>Charakter:</b> Odporový</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Fén Rowenta/-  <b>Stav:</b> Zapnuto I. stupeň  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 45,2  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 0,9  <b>Charakter:</b> Odporový</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Vysavač ETA/7400  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 27,3  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 0,97  <b>PF [-]:</b> 0,93  <b>Charakter:</b> Induktivní</p>	

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Vysavač Kärcher/-  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 8,8  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,2  <b>cos φ [-]:</b> 0,99  <b>PF [-]:</b> 0,99  <b>Charakter:</b> Induktivní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Ventilátor /-  <b>Stav:</b> Stupeň III. Plný výkon  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 2,3  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 1,9  <b>cos φ [-]:</b> 1  <b>PF [-]:</b> 1  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Ventilátor /-  <b>Stav:</b> Stupeň I.  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 7,9  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2  <b>cos φ [-]:</b> 0,93  <b>PF [-]:</b> 0,92  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	



**Příloha 9 - Ostatní elektronika**

	<p><b>Výrobce/typ:</b> Holicí strojek Philips / Sensotouch  <b>Stav:</b> Nabíjení  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 149,2  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1  <b>cos φ [-]:</b> 0,98  <b>PF [-]:</b> 0,53  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> WI-FI TP-link / WR741ND  <b>Stav:</b> Zapnuto  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 163,5  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,1  <b>cos φ [-]:</b> 0,98  <b>PF [-]:</b> 0,5  <b>Charakter:</b> Kapacitní</p>	
	<p><b>Výrobce/typ:</b> Mikrovlnná trouba /-  <b>Stav:</b> Ohřívání  <b>THD<sub>I</sub> [%]:</b> 52,6  <b>THD<sub>U</sub> [%]:</b> 2,4  <b>cos φ [-]:</b> 0,46  <b>PF [-]:</b> 0,42  <b>Charakter:</b> Induktivní</p>	