

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

Měření činného výkonu a odebrané energie zátěže s pulzním řízením a nelineárního charakteru

Measurement of Active Power and Energy consumption Loads with PWM kontrol and Nonlinear charakter

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Kosellek**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika

Téma: **Měření činného výkonu a odebrané energie zátěže s pulsním řízením a nelineárního charakteru**
Measurement of Active Power and Energy Consumption Loads with PWM Control and Nonlinear Character

Zásady pro vypracování:

1. Měření spotřeby nelineárních spotřebičů
2. Měření spotřeby zátěže s pulzním odběrem
3. Měřicí přístroje

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Haasz, V., Sedláček, M. Elektrická měření. Přístroje a metody. 2.vyd. Praha: ČVUT Praha, 2003
- [2] Kocourek, P. a kol.: Číslicové měřicí systémy. Praha: ČVUT Praha, 1994
- [3] Převodníky elektrických veličin - Metra Blansko. [cit. 2014-11-25]. Dostupné z <http://metrablansko.cz/cs/panelove-a-rozvadecove-pristroje-prevodniky/prevodniky-elektrickych-velicin.html>
- [4] EGÚ Brno, a.s. [cit. 2014-11-25] Dostupné z <http://www.egubrno.cz/sekce/s005/pristroje/mds/mds-u.html>
- [5] Přístroje - Elcom, a.s. [cit. 2014-11-25] Dostupné z <http://www.elcom.cz/cz/technologie/merici->

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

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Král, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

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

V Ostravě dne 4.5.2015

.....
Hoselka

podpis studenta

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce bylo změřit činný výkon a elektrickou energii na nelineárním spotřebiči pomocí vybraných měřicích zařízení. Jako nelineární zátěž obvodu jsem zvolil úspornou zářivku a laboratorní pec. Naměřené hodnoty jsem poté graficky vykreslil a popsal. Použité přístroje jsem porovnal podle technických parametrů, jejich přesnosti a spolehlivosti. Toto měření jsem zrealizoval v laboratoři EB 116 pod dohledem vedoucího bakalářské práce.

Abstract:

The aim of this study was to measure real power and energy on nonlinear spo-kept away by using the selected measuring device. As a nonlinear load circuit I chose saving lamp and laboratory furnace. He then measured values graphically portrayed and described. Used apparatus the I compared the technical parameters of accuracy and reliability. I realized this measurement in the laboratory EB 116 under the supervision of the thesis.

Klíčová slova:

Nelineární, pulzní, vyšší harmonické složky, činný výkon, elektrická energie, ENA 500, MDS-U, Voltcraft

Keywords:

Nonlinear pulse, higher harmonics, active power, electricity, ENA 500 MDS-U, Voltcraft

Seznam některých použitých symbolů

I_z	(A)	proud tekoucí zátěží
I_v	(A)	proud tekoucí voltmetrem
x_l	(Ω)	indukční reaktance
x_c	(Ω)	kapacitní reaktance
C	(μF)	kapacita
L	(H)	indukčnost
f	(Hz)	frekvence
$\cos \varphi_{ekv}$	(-)	skutečný účinník
$\cos \varphi$	(-)	účinník
R_{ss}	(Ω)	statický odpor
R_d	(Ω)	dynamický odpor
k	(-)	koeficient nesinusovosti
P	(W)	činný výkon
A	(Wh)	elektrická energie
t	(s)	čas
U	(V)	napětí
I	(A)	proud
NEM	(-)	nenaměřená hodnota
Flag	(-)	nenaměřená hodnota

Seznam obrázků

Obr. 1: Přímá metoda měření činného výkonu.....	2
Obr. 2: Nepřímá metoda měření činného výkonu	3
Obr. 3: Elektroměr.....	4
Obr. 4: Funkční schéma.....	14
Obr. 5: Schéma vstupního připojení.....	16
Obr. 6: Zapojení svorek.....	16
Obr. 7: MDS 10.....	17
Obr. 8: ENA 330	19
Obr. 9: Voltcraft	20
Obr. 10: Schéma zapojení	22
Obr. 11: Laboratoř EB 116.....	22

Seznam grafů

Graf 1: Voltampérová charakteristika lineárního a nelineárního charakteru.....	5
Graf 2: Voltampérová charakteristika nelineárního charakteru	7
Graf 3: Propojení dvou pracovních bodů jako tečna ke křivce	8
Graf 4: Zvolení hraničních bodů na přímce tečny pracovního bodu	9
Graf 5: Deformovaný sinusový proud.....	11
Graf 6: Časový průběh napětí a proudu s vyššími harmonickými složky proudu.....	21
Graf 7: Průběh činného výkonu měřený MDS-U	24
Graf 8: Průběh elektrické energie měřený MDS-U	24
Graf 9: Průběh činného výkonu při startu laboratorní pece.....	25
Graf 10: Průběh elektrické energie při startu laboratorní pece.....	25
Graf 11: Průběh činného výkonu při konstantní teplotě laboratorní pece měřený ENA 500	27
Graf 12: Průběh činného výkonu při konstantní teplotě laboratorní pece měřený MDS-U	27
Graf 13: Chyby měření u činného výkonu	28
Graf 14: Průběh činného výkonu u úsporné zářivky	29
Graf 15: Průběh elektrické energie u úsporné zářivky	29
Graf 16: Průběh činného výkonu u úsporné zářivky	29
Graf 17: Průběh elektrické energie u úsporné zářivky	30

Seznam tabulek

Tab. 1: Číslo svorkovnice a její funkce	16
Tab. 2: Naměřené veličiny při startu laboratorní pece	23
Tab. 3: Hodnoty spotřebované energie.....	23
Tab. 4: Elektrická energie u laboratorní pece při konstantní teplotě.....	26
Tab. 5: Činný výkon u laboratorní pece při konstantní teplotě	26
Tab. 6: Naměřené veličiny u úsporné zářivky	28
Tab. 7: Chyby činného výkonu	28

Obsah

1 Úvod bakalářské práce	1
2 Činný výkon a elektrická energie.....	2
2.1 Princip měření wattmetru a elektroměru	2
3 Vlastnosti nelineárních obvodů	5
3.1 Nelineární spotřebič.....	5
3.2 Nelineární charakter	6
3.3 Řešení nelineárních obvodů	7
3.4 Harmonická analýza	10
3.4.1 Matematický modul.....	10
3.4.2 Elektrotechnický modul	11
3.4.3 Zatížení vyššími harmonickými složkami.....	12
3.5 Filtry	13
3.5.1 Pasivní filtry	13
3.5.2 Aktivní filtry.....	13
3.6 Převodník činného výkonu.....	14
3.6.1 Převodník EW 2.2	15
4 Porovnání měřicích přístrojů	17
4.1 MDS-10	17
4.2 ENA 300.....	19
4.3 Voltcraft.....	20
5 Měření	21
5.1 Rozbor měření	21
5.2 Popis měření	22
5.3 Schéma zapojení.....	22
5.4 Naměřené hodnoty.....	23
5.4.1 Měření laboratorní pece při startu	23
5.4.2 Měření laboratorní pece při konstantní teplotě.....	26
5.4.3 Měření úsporné zářivky.....	28
5.5 Zhodnocení měření.....	31
6 Závěr.....	32
7 Literatura	33

1. Úvod bakalářské práce

Jedním z cílů této bakalářské práce, je zaměřit se na problematiku nelineárních obvodů, u kterých vznikají vyšší harmonické složky. Další částí mé práce je porovnat přístroje měřící elektrickou energii i činný výkon a během toho zohlednit, co ovlivňuje jejich přesnost. Pro názorné účely provedeme praktické měření, ve kterém si zvolíme podmínky tak, aby se obvod choval jako nelineární s vyššími harmonickými nebo lineární s pulzním řízením a vyneseme do tabulek a grafů pro porovnání.

2. Činný výkon a elektrická energie

2.1 Princip měření wattmetru a elektroměru

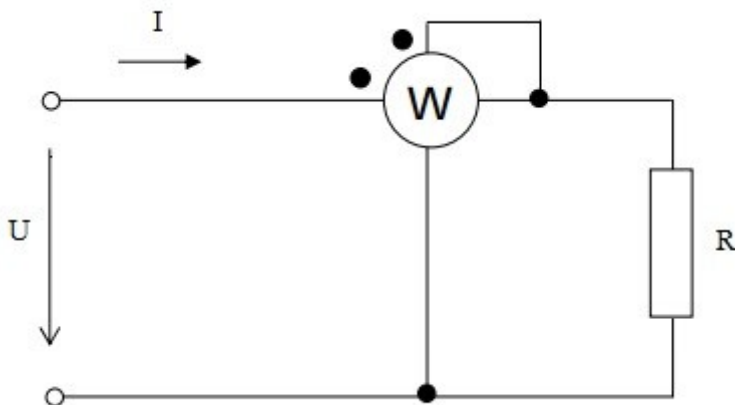
Popis a princip Wattmetru:

Elektrický výkon se v praxi nejčastěji měří elektrodynamickými wattmetry. Wattmetr se skládá ze dvou cívek. Proudová (také pevná) cívka se zapojuje do obvodu proudu, respektive sériově ke spotřebiči. Napěťová (také otočná) cívka se naopak zapojuje paralelně ke spotřebiči a je zapojena do obvodu pro měření napětí. Na napěťové cívce je připevněna ručička, která na stupnici ukazuje měřený elektrický výkon. Proud protékající proudovou cívkou vytvoří magnetické pole, které je úměrné protékajícímu proudu a jeho fázovému posunu. U napěťové cívky je konstrukčně omezený protékající proud většinou pomocí rezistoru. Elektromagnetická pole obou cívek se navzájem ovlivňují a v případě měření ve stejnosměrném obvodu je výsledná výchylka na stupnici úměrná napětí i proudu. Při měření výkonu ve střídavých obvodech lze elektrický výkon určit pomocí efektivních hodnot proudu, napětí a jejich vzájemného fázového posunu.

Základní rozdělení:

a) Přímá metoda

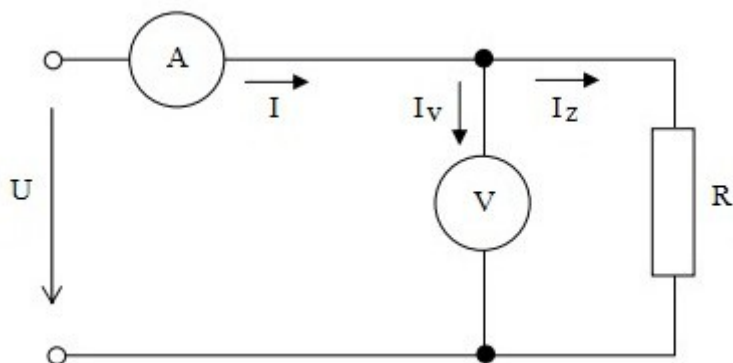
Měřicí metoda, při které se hodnota měřené veličiny získá přímo, pomocí měřicího přístroje bez potřeby dodatečného výpočtu. Metoda je založená na funkčním vztahu mezi měřenou veličinou a ostatními veličinami vlastního měření.



Obr. 1: Přímá metoda měření činného výkonu

b) Nepřímá metoda

Druhá možnost jak měřit elektrický výkon, je metoda nepřímá. Do obvodu se zapojí ampérmetr a voltmetr. Ampérmetr měří nejen proud tekoucí zátěží I_Z , ale i proud tekoucí voltmetrem I_V . Proud, který protéká voltmetrem je malý a většinou ho můžeme zanedbat. Tato metoda spočívá v měření hodnot, které nám elektrický výkon nezměří, ale lze je dosadit do rovnice, ze které lze elektrický výkon spočítat.



Obr. 2: Nepřímá metoda měření činného výkonu

Popis a princip elektroměru

Elektrická energie je schopnost elektromagnetického pole konat elektrickou práci. Kromě jednotky joule se pro elektrickou energii v praxi používá jednotka kilowatthodina. Elektrická energie se měří přístrojem zvaným elektroměr.

Elektroměr je elektrický měřicí přístroj, který měří množství odebrané elektrické energie ze sítě. Obvykle bývá instalován distributorem elektrické energie u jeho odběratelů a na jeho základě probíhá stanovení i vyúčtování spotřebované elektrické energie. Elektroměry fungují jako dokonalé integrátory, integrují výkon v čase. Fungují na podobném principu jako wattmetry (napěťová a proudová cívka).

Základní rozdělení:

a) Přímá metoda

Tato metoda se používá spíše v domácnostech a v obvodech s menším odběrem elektrické energie. U této metody se využívá elektroměr, který rovnou ukazuje naměřenou energii.

b) Polopřímá metoda

Elektroměr měří napětí, ale procházející proud je měřen přes měřicí transformátor proudu. Tato metoda se využívá při nízkých napětích, kdy obvodem protéká velký proud.

c) Nepřímá metoda

Napětí i proud je měřen přes měřicí transformátory. Napětí a proud jsou tak vysoké, že není možné konstrukčně sestavit jeden přístroj – elektroměr, aby konstrukčně vydržel.

Po naměřeném napětí a proudu se dopočítá elektrický výkon. Pomocí stopky pak odečítáme čas a ze vztahu $W=P \cdot t$. U této metody je důležité znát vztah mezi Joulem a kilowatthodinou.

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \cdot \text{h} = 3600000 \text{ W} \cdot \text{s} = 3600000 \text{ J}$$

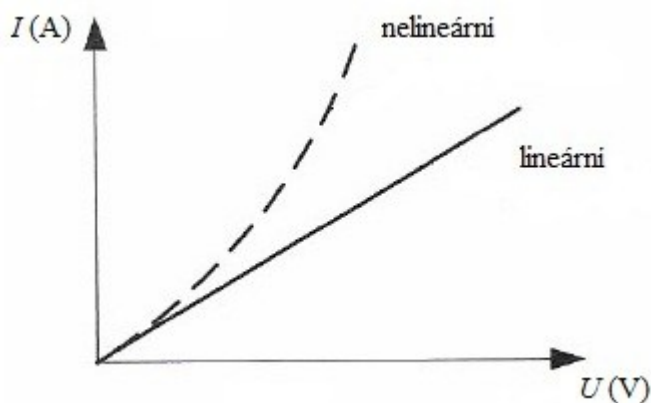


Obr. 3: Elektroměr

3. Vlastnosti nelineárních obvodů

3.1 Nelineární spotřebič

Každý nelineární prvek má určitou závislost základního parametru na procházejícím proudu nebo přiloženém napětí. Chování těchto prvků se většinou zkoumá pomocí volt-ampérové charakteristiky. Ta vykresluje přiložené napětí a proud, který prvkem protéká.



Graf 1: Voltampérová charakteristika lineárního a nelineárního charakteru

Důsledkem nelinearity je fázové zpoždění napětí vůči proudu a harmonické zkreslení. Způsobuje vznik vyšších harmonických složek k základnímu sinusovému signálu. Tyto složky jsou vždy násobkem frekvence základního signálu. Velikost jednotlivých vyšších harmonických složek se může lišit. A to zejména podle použitých zesilovacích prvků a typu obvodového zapojení. Jejich vliv je značně nežádoucí a jejich výskyt se udává činitelem harmonického zkreslení. Činitel harmonického zkreslení by měl být, co možno nejmenší.

Rozdělujeme:

a) jednofázové

- polovodičové měniče - elektrické regulované pohony, zařízení výpočetní techniky a elektroniky, zdroje nepřerušitelného napájení
- kompaktní zářivky
- elektrické obloukové pece
- svařovací stroje či nejrůznější elektrické domácí spotřebiče

b) trojfázové

- elektronické regulační pohony
- velké UPS jednotky

3.2 Nelineární charakter

Elektrické obvody nejsou složeny jen z elektrických odporů, ale z dalších prvků, které reagují na průběhy napětí rozdílným způsobem. Při uplatnění střídavých proudů a napětí sinusového průběhu se v obvodu, ve kterém je zařazena jenom indukčnost (zapojení cívky), proud zpožďuje za napětím. Ze vztahu pro impedanci, je třeba rozebrat veličinu ω .

$$\omega = 2\pi f$$

Kde f je kmitočet střídavého proudu a napětí v daném obvodu. Zapojíme-li do obvodu cívku, nastane opoždění proudu o 90° vůči napětí a můžeme tedy říct, že čím větší kmitočet je v daném obvodu, tím větší bude výsledná impedance a menší střídavý proud. Tato veličina se dá vyjádřit jako:

$$X_L = \omega L = 2\pi f \times L$$

Kde f je kmitočet střídavého proudu a napětí v daném obvodu. Obdobný případ je pro kapacitu. Při zapojení kondenzátoru nastává opoždění napětí o 90° vůči proudu. Můžeme tedy říct, že čím větší bude kmitočet v obvodu, tím menší bude výsledná impedance a větší střídavý proud.

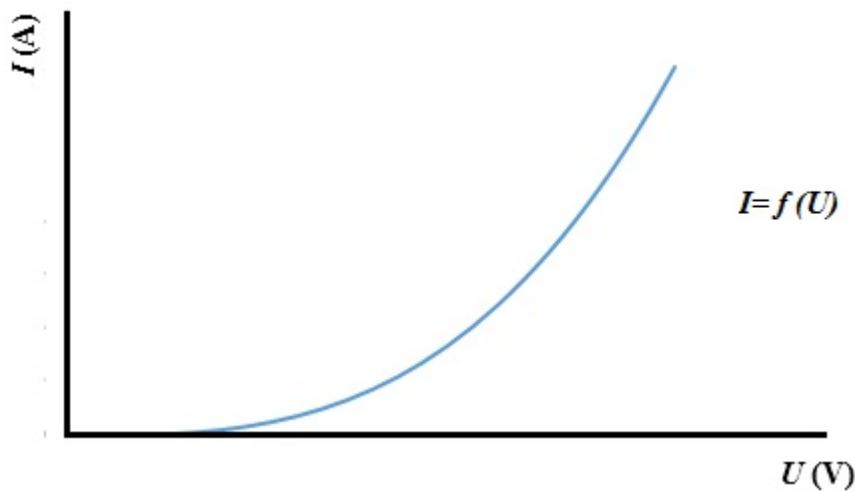
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f \times C}$$

To znamená, že čím vyšší kmitočet, tím větší je impedance daného obvodu, a tím menší je střídavý proud, který obvodem protéká. Obdobně, pokud do daného obvodu zařadíme kapacitní prvek C , neprochází takovým obvodem žádný stejnosměrný proud. Takový prvek průchod stejnosměrného proudu zadržuje. Ale naopak, čím větší je kmitočet takového obvodu, tím větší proud tímto obvodem protéká.

Zde si uvědomíme, proč je důležité řešit harmonické složky proudu a napětí. Jednotlivé harmonické složky proudů a napětí se liší právě frekvencí. Čím vyšší jsou harmonické složky proudů, tím více jsou induktivními reaktancemi zařazenými v obvodu tlumeny. Přitom, na druhou stranu, tím lépe procházejí kapacitními reaktancemi. Součty těchto harmonických složek, které vypočítáme (nebo je za nás vypočítá technika), jsou pak skutečné hodnoty proudů a napětí. Každý kmitočet bereme zvlášť, zvlášť ho také vyhodnocujeme. Dohromady pak jednotlivé složky složíme a získáme výsledné proudy i výsledná napětí na prvcích obvodu. Výrobce většinou nadefinuje jedno napětí, které odpovídá první harmonické složce napětí. Ke zpracování harmonické složky se používají zařízení (usměrňovače, tyristory, frekvenční měniče atd.), které osekají tuto základní vlnu, aby vznikl požadovaný průběh. Tento průběh se zdaleka nepodobá původnímu sinusovému průběhu základní harmonické složky, ale je složen z řady harmonických složek. Ve výsledku má pak odběr výseků ze základní harmonické složky napětí za následek i změnu základního harmonického napětí. Pak už se nejedná o čistě sinusový průběh napětí, ale o průběh deformovaný. Obvodem, který je tvořen nelineárními součástkami, protéká neharmonický proud i při harmonickém napájecím napětí (se sinusovým průběhem). Proud pak obsahuje vyšší harmonické složky (složky celkového proudu s násobnými kmitočty). Výkon tvořený vyššími harmonickými frekvencemi proudů a napětí je označován jako deformační výkon. Vedle kompenzace jalového výkonu je třeba filtrovat vyšší harmonické složky proudu. Deformační výkon způsobuje další navýšení zdánlivého výkonu. Výsledný účinník se pak označuje jako opravdový účinník $\cos \varphi_{ekv}$.

3.3 Řešení nelineárních obvodů

V praxi nelineární obvod měříme tak, že při naměřených proudech I (A) a napětích U (V) vykreslíme voltampérovou charakteristiku. Ta bude samozřejmě nelineárního charakteru.



Graf 2: Voltampérová charakteristika nelineárního charakteru

Na této charakteristice si zvolíme pracovní bod. Pracovní bod musí být zvolen tak, aby odpovídal podmínkám, při kterých má pracovat.

Existují dva typy pracovních bodů:

a) Statický pracovní bod

Statický (klidový) bod je bod V-A charakteristiky, při němž má svorkové napětí součástky a proud konstantní stejnosměrné hodnoty (U_p a I_p), kterým říkáme parametry.

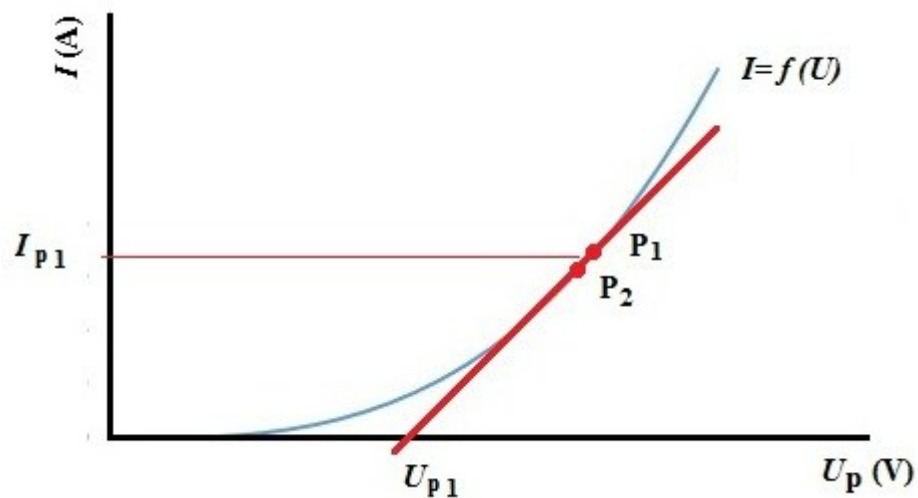
Pro takový bod volíme statický odpor součástky značený R_{ss} .

Statický odpor je odpor rezistoru, kdy při stejném napětí U_p prochází stejný proud I_p totožný s proudem, který prochází součástkou. Můžeme ho tedy spočítat pomocí klasického Ohmova zákona.

$$R_{ss} = \frac{U_p}{I_p}$$

U lineárního průběhu bude statický odpor R_{SS} pro všechny body stejný. U nelineárního průběhu bude odpor prezentovat pouze jediný bod charakteristiky.

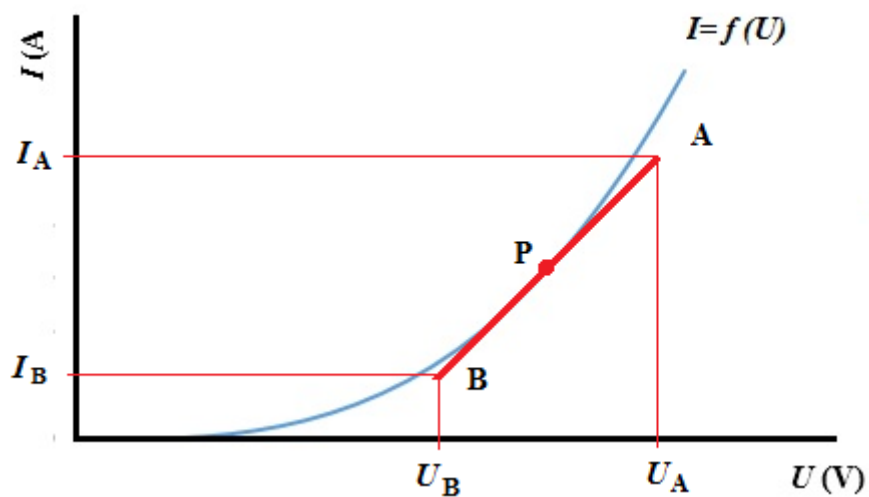
Cílem změření nelineárního průběhu je vybrat pracovní bod a k němu vytvořit tečnu k nelineární voltampérové charakteristice neboli zlinearizovat pracovní bod. Většinou je nelineární křivka složitá a nelze k ní udělat tečnu pomocí jednoho pracovního bodu. Volí se tedy větší počet pracovních bodů. Zvolíme si tedy pracovní body tak, aby byly blízko sebe (budou téměř totožné a tak téměř splynou do jednoho bodu). Propojením těchto bodů nám vznikne tečna křivky.



Graf 3: Propojení dvou pracovních bodů jako tečna ke křivce

b) Dynamický pracovní bod

Dynamický bod se provádí pomocí jednoho pracovního bodu. Tento bod proložíme tečnou na křivku charakteristiky a na ní si určíme dva hraniční body.



Graf 4: Zvolení hraničních bodů na přímce tečny pracovního bodu

Dynamický odpor poté vypočítáme:

$$R_d = \left(\frac{U_a - U_b}{I_a - I_b} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \right)$$

3.4 Harmonická analýza

V minulosti nebylo třeba tento problém řešit. K řízení se používalo Ward Leonardovo soustrojí. Po přechodu k tyristorovým měničům přišly tyto problémy a muselo se přijít na to, jak je řešit.

Teoreticky víme, že průběh napětí, které k nám přichází od dodavatelů, by měl mít nezdeformovaný sinusový průběh s konstantní amplitudou a frekvencí. Díky existujícím nelineárním spotřebičům dochází k nelineárnímu odběru, což znamená, že nelineární spotřebič odebírá nesinusový (neharmonický) zatěžovaný proud.

3.4.1 Matematický modul

K popsání tohoto problému se využívá matematický modul a tím je harmonická analýza. Aby bylo možno provést harmonickou analýzu, musí být splněny

Dirichletovy podmínky:

- funkce $f(x)$ je v daném intervalu omezená
- konečný počet nespojitostí 1. řádu a omezený počet minim a maxim

Vycházíme z obecného zápisu:

$$f(x) = f(x + 2\pi)$$

ze zápisu vyplývá, že je funkce periodická s periodou 2π

Pro rozepsání harmonického periodického signálu využíváme Furierovu transformaci, která se zapisuje:

$$f(x) = b_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(nx) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(nx)$$

kde:

b_0 - stejnosměrná složka

a_n, b_n - amplitudy harmonických složek

$$b_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\partial}^{\partial+2\pi} f(x) dx$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{\partial}^{\partial+2\pi} f(x) \sin(x) dx$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{\partial}^{\partial+2\pi} f(x) \cos(x) dx$$

3.4.2 Elektrotechnický modul

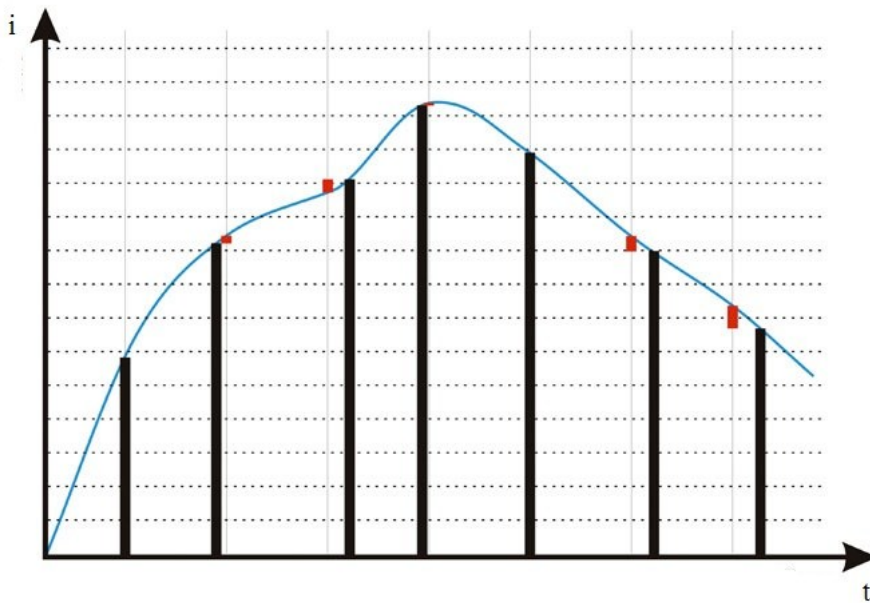
Matematický modul v elektroenergetice nelze použít, neboť využíváme jen sinusové členy. Proto jsme zvolili zápis nejen se sinusovým členem, ale s různými fázovými posuvy.

$$f(x) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(nx + \Psi_n)$$

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\Psi_n = \arctg \frac{b_n}{a_n}$$

Jestliže chceme popsat zdeformovaný sinusový signál, musíme dodržet Nyquistův-Shannonův teorém. Ten říká, že vzorkovací frekvence, musí být minimálně dvakrát větší, než je frekvence nejvyšší harmonické, kterou chceme analyzovat.



Graf 5: deformovaný sinusový proud

3.4.3 Zatížení vyššími harmonickými složkami

V dnešní době se bohužel nedá nelineárnímu odběru zabránit a proto má nelineární odběr určitou tolerovanou odchylku, ve které se smí pohybovat. Odběr toho nesinusového průběhu se dá nazvat deformací sinusové formy. Při těchto deformacích dochází ke zpětnému působení na síť s obsahem vyšších harmonických složek.

Abychom byli schopni určit odchylku a kvalitu odběru proudu, bere se rozsah frekvence do 2,5 kHz. Což odpovídá 50. harmonické složce. Mezi nejsilnější harmonické složky (největší deformace sinusovky) se označují 5. a 7. harmonická složka. Ta odpovídá rozsahu frekvence 250 Hz - 350 Hz.

U nesinusových průběhů se počítá koeficient nesinusovosti:

$$k = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}} * 100\%$$

kde:

- čitatel je bez první harmonické složky
- jmenovatel je v celém rozsahu

Veškeré průmyslové zařízení je přepočítané a dimenzované na jmenovitou frekvenci 50Hz. Vysokofrekvenční podíly, jež představují vyšší harmonické složky, zvyšují značně náklady. Jsou zde také vyšší ztráty u přenosových cest a větší náklady kvůli zatížení jalovým výkonem. Tyto ztráty vznikají díky frekvenčním závislostem impedance kondenzátorů a cívek. Dále vznikají větší tepelné zatížení používaných kabelů, které se musí předdimenzovat.

3.5 Filtry

Pro omezení vyšších harmonických, které působí zpětně do elektrické sítě, se v praxi využívají filtrační prvky.

Rozlišujeme dva typy:

- a) pasivní
- b) aktivní

3.5.1 Pasivní filtry

Mohou být:

- a) sériové
- b) paralelní
- c) sério-paralelní kombinace R, L, C

Máme dva druhy pasivních prvků:

- a) s velkou selektivitou - filtrují v malém rozsahu většinou pro jednu nebo dvě frekvence
- b) s malou selektivitou - filtrují ve velkém rozsahu, širokopásmové hornopropustné filtry

Sériové zapojení filtrů využíváme k paralelní rezonanci napětí, aby se nesnižovala úroveň signálu na určité frekvenci. Paralelní filtry používáme k sériové rezonanci proudu.

3.5.2 Aktivní filtry

Aktivní filtry používáme jako sériově či paralelně zapojené generátory, řízené vhodným regulovaným systémem tak, aby v dynamických stavech byla zajištěná požadovaná kompenzace nevhodných harmonických složek.

Zapojením zlepšujeme vlastnosti proudu, napětí nebo obojího.

rozdělujeme:

- a) selektivní - generátory příslušné harmonické v proti-fázi
- b) neselektivní - generátory zbytkové křivky

Sériové aktivní filtry, také integrační filtry, se používají k filtraci harmonických složek napětí. Chrání zátěž před sítí a využíváme je k úpravě napětí na požadovaný tvar. Nelze je použít pro úpravu sinusového proudu.

Paralelní aktivní filtry, také derivační filtry, se používají k filtraci harmonických složek proudů. Chrání síť proti vlivům zátěže. Tyto filtry jsou schopny odstranit nežádoucí harmonické složky.

Kombinační aktivní filtry, tyto filtry jsou kombinací sériového a paralelního zapojení. Používají se k ochraně sítě a zátěže zároveň.

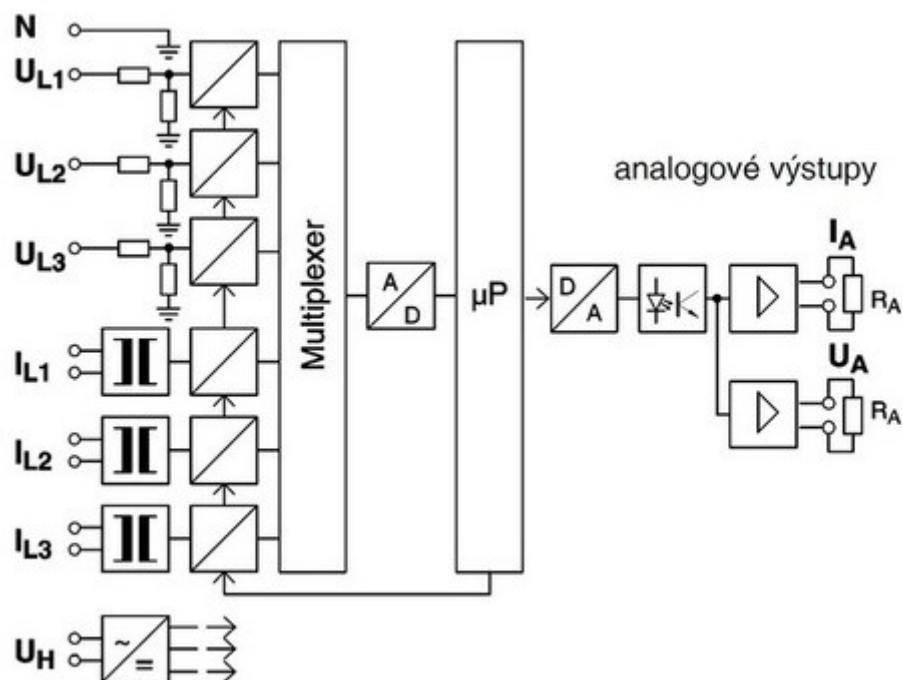
3.6 Převodník činného výkonu

Měřicí převodník výkonu převádí činný výkon (jednofázová střídavá síť) na vnučený stejnosměrný proud nebo vnučené stejnosměrné napětí. Tyto výstupní signály mohou být indikovány ukazovacím měřicím přístrojem, cejchovaným v jednotkách měřené veličiny nebo být použity pro průmyslové měření a regulaci.

Pokud se dodrží maximální, popřípadě minimální dovolená zátěž, může být připojeno i několik vyhodnocovacích přístrojů současně (ukazovací přístroj, regulátor, zapisovač atd.). Napájecí napětí se přivádí na samostatný vstup pomocného napájení. Vstup, výstup a pomocné napájení jsou vzájemně galvanicky odděleny. Výstupy jsou odolné proti zkratu a rozpojení.

Měniče proudových obvodů a děliče napět'ových větví snímají vstupní signály. Tyto signály jsou přivedeny přes multiplexer do A/D převodníku, který je převádí na digitální.

Koncové zesilovače dávají k dispozici unifikovaný vnučený stejnosměrný proud a vnučené stejnosměrné napětí, kde výstupy nesmí být propojeny. [11]



Obr. 4: Funkční schéma

3.6.1 Převodník EW 2.2

Technické parametry: [11]

Vstupní veličiny

Třída přesnosti

0,5 ($\pm 0,5$ % z koncové hodnoty)

Vstupní veličina

sinusový střídavý proud a sinusové střídavé napětí

Měřená veličina PE

činný výkon (jednofázová střídavá síť)

Jmenovité vstupní napětí U_{EN}

0-50 až 519 V

Jmenovitý vstupní proud I_{EN}

0-0,5 až 5 A

Provozní napětí

Max. 519 V

Měřicí rozsah

0- PN, -PN- 0

Kmitočtový rozsah

48-62 Hz

Příkon

25 mA - napěťový vstup

12x0,01 Ω - proudový vstup

Výstupní veličiny

Výstupní proud I_A

Vnucený stejnosměrný proud 0-20 mA

Jmenovitý proud I_{AN}

0-20 mA

Výstupní zátěž R_a

0-10 V/ I_{AN}

Omezení proudu

120% koncové hodnoty

Výstupní napětí U_a

vnucené stejnosměrné napětí 0-10 V

Jmenovité napětí U_{AN}

0-10 V nebo 2-10 V

Výstupní zátěž R_a

≥ 4 k Ω

Chyba zátěže

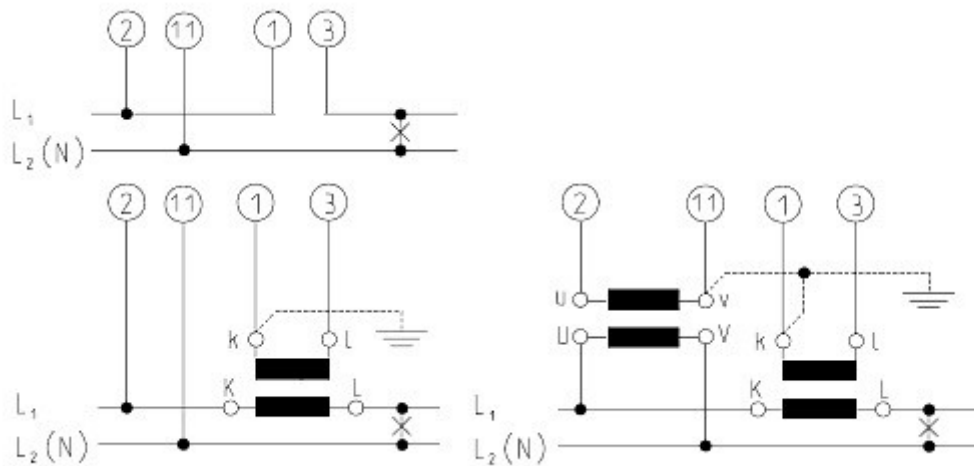
$\leq 0,1$ % při změně zátěže o 50 %

Zbytkové vlnění

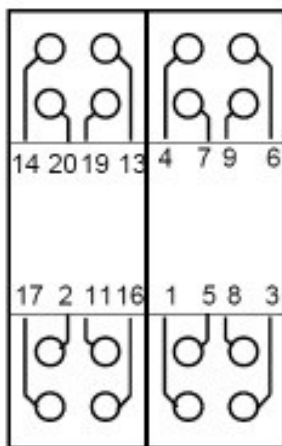
≤ 1 %_{eff}

Doba ustálení

≤ 500 ms



Obr.5: Schéma vstupního připojení převodníku EW 2.2



Obr.6: Zapojení svorek

Tab. 1: Číslo svorkovnice a její funkce

Číslo svorky	Funkce
1,3	$I_E L_1$ vstupní proud
2	$U_E L_1$ vstupní napětí
11	$U_E N$ vstupní napětí
13	$U_A (+)$ napěťový výstup
14	$U_A (-)$ napěťový výstup
19	$I_A (+)$ proudový výstup
20	$I_A (-)$ proudový výstup
16	$U_H L_1 (+)$ vstup pomocného napájení
17	$U_H N (-)$ vstup pomocného napájení

4. Porovnání měřicích přístrojů

4.1 monitor distribučních sítí - MDS 10

Monitor distribučních sítí MDS 10 v sobě spojuje vybrané funkce z praxe dlouhodobě osvědčených přístrojů EAM1 s funkcemi monitorů distribučních sítí a rozšiřuje tak nabídku monitorů řady MDS firmy EGÚ Brno, a.s. [8]



Obr. 7: MDS 10

Technické parametry: [8]

3x napětí (hladina 57,7 V, 100 V nebo 230 V)
4x proud nebo 3x proud a 1x teplota
Frekvence v rozsahu 45 Hz až 65 Hz
3x účinník
Činný, jalový a zdánlivý výkon
Přesnost měření 0,5 %

Napájení:

230 V
Příkon 1 VA

Komunikační rozhraní:

Galvanicky oddělené rozhraní USB
Galvanicky oddělené rozhraní RS-232

Parametry hardwaru:

Paměť programu typu FLASH s kapacitou 128 kB a možností aktualizace
Paměť pro ukládání časových průběhů měřených veličin s kapacitou 2048 kB
Rozsah měření napětí a proudů v rozsahu 0-130 % jmenovité hodnoty
Bezpečná opticky oddělená komunikační rozhraní USB a RS-232
Výpočet pravých efektivních hodnot napětí a proudů ze změřených vzorků
Měření 64 vzorků na periodu pro každý měřený proud a napětí
Možnost komunikace s proudovými snímači MT-flex (volitelně)
Obvod reálného času zálohovaný baterií
Volitelný alfanumerický displej 20x2 znaky
Hardwarové měření sdruženého a fázového napětí
10 bitový A/D převodník

Statistické funkce:

Plovoucí 15 minutové průměry napětí U_1, U_2, U_3 , proudů I_0, I_1, I_2, I_3 , účinníků a energií

Minutové histogramy $U_1, U_2, U_3, I_0, I_1, I_2, I_3$

Maxima proudů za dobu měření v jednotlivých fázích

Maximum součtu proudů ve fázích L_1, L_2, L_3 za dobu měření

Maximum a minimum napětí v jednotlivých fázích za dobu měření

Programovatelné relé

Sepnutí kontaktu relé při vybočení sledované veličiny (napětí, proudy, plovoucí čtvrt hodinová energie) mimo definovaný rozsah

Požizovací cena:

Cena se liší dle příslušenství. Chceme-li základní verzi MDS 10, zaplatíme:

Monitor MDS 10 – 25 000 Kč

Základní uživatelský software – 7 000 Kč

Základní příslušenství – 7 130 Kč

Celková cena za základní balíček – 39 130 Kč

4.2 ENA 330 (Kompaktní analyzátor kvality elektřiny)

Model ENA330 je kompaktní analyzátor kvality elektřiny bez displeje. Přístroj je vybaven čtyřmi napěťovými a proudovými vstupy. Proudů se měří nepřímo použitím klasických proudových kleští s železným jádrem nebo flexibilních Rogowského cívek - AmpFLEX. Model ENA330 obsahuje výkonné PC a záložní napájení pro přibližně jednu minutu provozu. [9]



Obr.8: ENA 330

Technické údaje:[9]

Napěťové parametry:

4x vstup napětí

Frekvence v rozsahu 45 Hz až 2,5 kHz

3x účinník

Činný, jalový a zdánlivý výkon

Přesnost měření 0,1 %

Izolační pevnost 4,2 kV RMS, 50 Hz, 1 min

Vstupní impedance 200 kOhm, 10 pF

Zapojení: 1-fázové, 3-fázové, 3-fázové + N, hvězda, trojúhelník, Aron

Proudové parametry:

4x vstup proudu

Frekvence v rozsahu 45 Hz až 2,5 kHz

Přesnost měření 0,1 %

Napájení:

180 až 265 V AC, 47 až 63 Hz

Příkon 20 VA

Komunikační rozhraní:

USB

Ethernet

Parametry hardwaru:

Operační paměť 512 MB RAM

Procesor Intel Celeron M

Harddisk 1 GB

A/D převodník 16 bitů

Vzorkovací frekvence 9600S/s, 19200S/s, 38400S/s

Cena

Přibližně 100 000 Kč

4.3 Voltcraft

Energy Logger 4000 zaznamenává spotřebu energie připojeného přístroje po dobu až 6 měsíců v interní paměti. Získaná data je možné pohodlně přenést pomocí běžné SD karty přenést do počítače k další analýze a archivaci. Přehledný grafický software zobrazuje vývoj nákladů až u 10 spotřebičů. Na třířádkovém displeji se zobrazuje vedle spotřeby energie také činný a zdánlivý výkon, účinník $\cos\phi$, proud, napětí a min./max. hodnoty. [10]



Obr. 9: Voltcraft

Technické parametry: [10]

Druh zobrazení

LCD

Maximální doba záznamu

4320 h

Třída přesnosti

$\pm (1 \% + 1 \text{ digit})$

Rozsah činného výkonu

1,5 až 3500 W

Rozsah zobrazení

0,001 až 9999 kWh

Frekvence

50 Hz

Vlastní spotřeba

1,8 W

Rozsah činného proudu

0,1 – 15 A

Provozní napětí

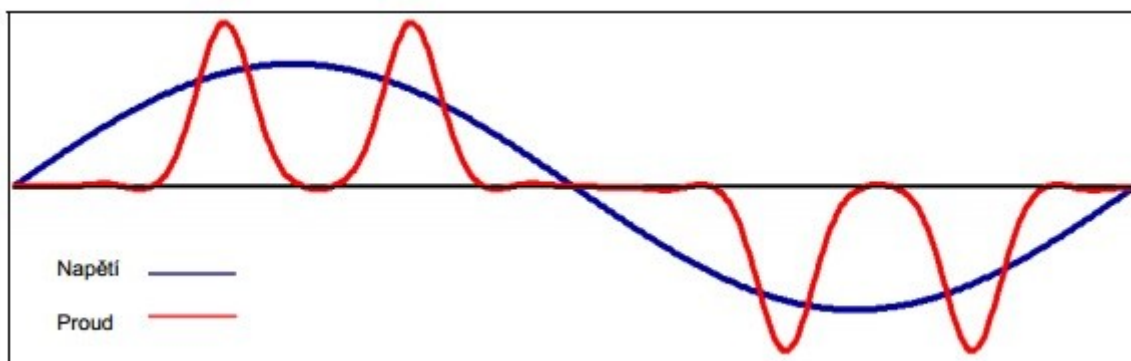
230 V

5. Měření

Cílem toho měření bylo pomocí tří měřících přístrojů změřit příkon i odebranou energii vybraných zátěží a porovnat data mezi danými měřicími přístroji. Tyto měřicí přístroje jsme připojili na nelineární obvod s výskytem vyšších harmonických složek, což byla úsporná zářivka a lineární zátěž s pulzním řízením, kterou byla laboratorní pec řízená PWM regulací.

5.1 Rozbor měření

Elektrické zátěže, které obsahují pouze rezistory, kapacitory a induktory lze nazvat lineární. Takové zátěže, připojené k síti se sinusovým průběhem, odebírají harmonický proud a napětí. V dnešní době jsou však ve většině spotřebičů zakomponovány polovodičové měniče, které mají vliv na jejich chování. Tyto zařízení odebírají ze sítě proud, který není harmonický, a tím dochází ke zkreslení napětí. Tento proud obsahuje ve svém spektru kromě základní harmonické složky, také složky s harmonickými vyššími řády. Tyto řady obsahují násobky základního kmitočtu (v síti 50 Hz). Toto chování pak má dopad na přesnost měřících přístrojů, selhávání citlivých zařízení a jiné.



Graf 6: Časový průběh napětí a proudu s vyššími harmonickými složkami proudu

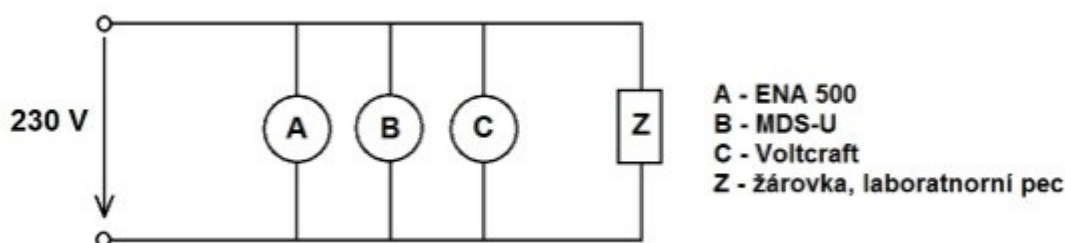
V dnešní době se již takřka neseťkáme s ideálním lineárním spotřebičem. Mezi nejčastější nelineární spotřebiče patří:

výpočetní technika, obloukové pece, kompaktní zářivky, téměř veškeré domácí spotřebiče, elektrické pohony a jiné.

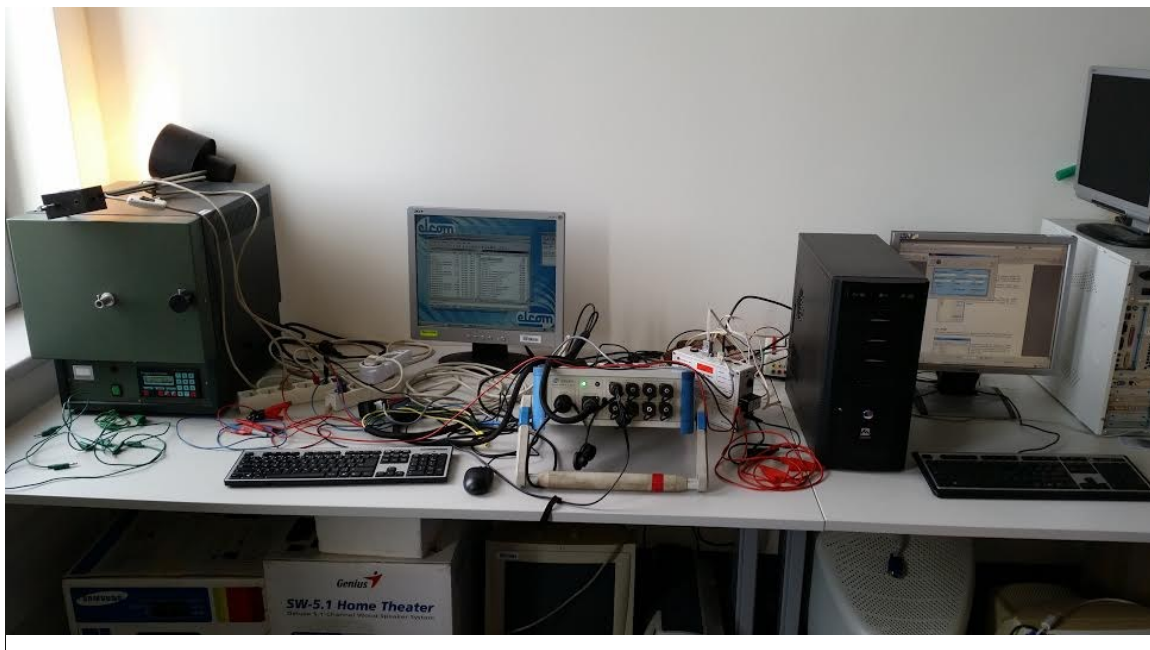
5.2 Popis měření

Cílem toho měření bylo prakticky změřit činný výkon a spotřebovanou energii na zátěži. K měření jsem použil tři měřicí přístroje. A to ENA 500, MDS-U a Voltcraft. ENA 500 a MDS-U sloužily jako měřicí přístroje se záznamem, kvůli vynesení grafů. Voltcraft sloužil jako univerzální měřicí přístroj, ze kterého jsem mohl odečítat okamžité hodnoty proudu, napětí, výkonu. Dále jsem na konci měření z voltcraftu odečetl výslednou spotřebovanou energii. Do měření jsem zahrnul úspornou žárovku, která představovala nelineární zátěž s vyššími harmonickými a laboratorní pec, která zastoupila nelineární zátěž s pulzním řízením. Úspornou žárovku, jsem měřil zhruba půl hodiny a na konci měření jsem z voltcraftu odečetl činný výkon a spotřebovanou energii. U ENA 500 a MDS-U jsem po skončení měření uložil data, pro jejich vyhodnocení. Laboratorní pec jsem měřil ve dvou časových etapách. První etapa začala při jejím startování, kdy jsem nastavil nahřívání pece na 500° C, po dobu 50 minut. Druhá etapa začínala po nahřátí na 500° C, regulátor udržoval konstantní teplotu. Měření trvalo asi 35 minut.

5.3 Schéma zapojení



Obr. 10: Schéma zapojení



Obr. 11: Laboratoř EB 116

5.4 Naměřené hodnoty

5.4.1 Měření laboratorní pece při jejím startu

Tato pec nám představuje nelineární zátěž s pulzním řízením. Pec jsem nastavil na 50 minut, kdy se nahřívala na 500 °C. Pro větší odběr této pece, bylo třeba změnit rozsah proudových kleští u MDS-U a to na 30 A. Přehodit rozsah jsem pak musel i v programu MDS-U na 30 A.

Díky pulznímu řízení, kde obvod řídila PWM regulace, jsme mohli dle hodnot rozpoznat, nezatížený stav pece, neboť hodnoty dosahovaly téměř jmenovitých hodnot.

Jmenovité hodnoty laboratorní pece:

$$P_N = 2000 \text{ W}$$

$$U_N = 230 \text{ V}$$

$$I_N = 10 \text{ A}$$

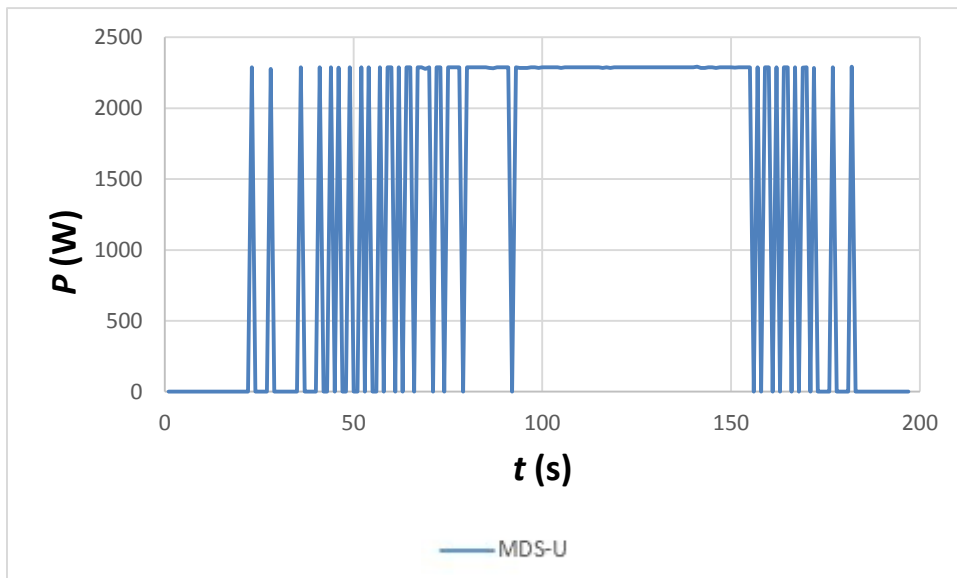
Tab. 2: Naměřené veličiny při startu laboratorní pece

Měřicí přístroj	I (A)	U (V)	P (W)	$\cos \varphi$ (-)
ENA 500	10,02	237,59	2313,3	1
MDS-U	9,95	230,15	2278,4	0,153
Voltcraft	13,34	238,63	2291,93	0,758

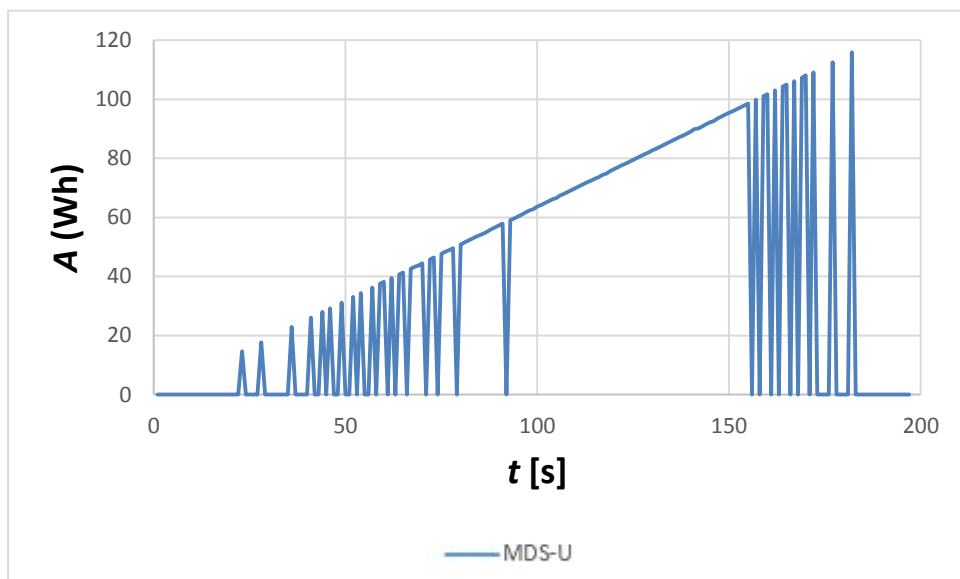
Tab. 3: Hodnoty spotřebované energie

Měřicí přístroj	A (Wh)
ENA 500	1340
MDS-U	2278
Voltcraft	1136

Pro vynesení grafu u MDS-U byla potřeba zaměnit oznámení NEM za 0 – což znamená, že MDS-U v danou chvíli nebyl schopen vypočítat $\cos \varphi$, neboť proud byl natolik malý, že jej MDS-U nebyl schopen naměřit. Z toho vyplývá, že při absenci $\cos \varphi$ nebyl měřicí přístroj schopen vypočítat ani činný výkon. Kvůli této úpravě jsem nevykreslil celý časový průběh, neboť kvůli častým propadům k 0 (NEM) byl graf velmi nepřehledný. Díky těmto nepřesnostem neodpovídá ani vypočtená spotřeba energie, která je téměř dvakrát větší než naměřili ENA 500 a Voltcraft.

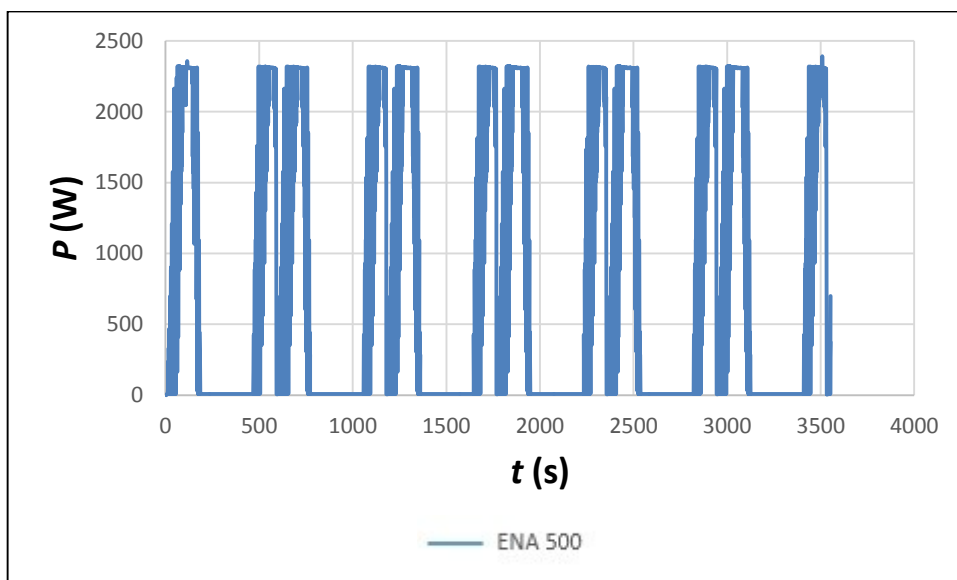


Graf 7: Průběh činného výkonu měřený MDS-U

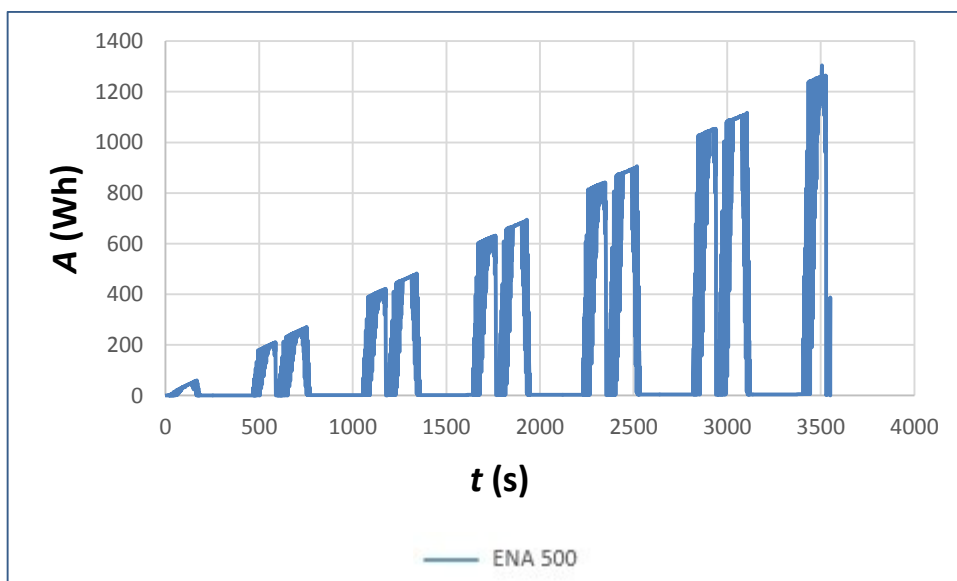


Graf 8: Průběh elektrické energie měřená MDS-U

Naopak ENA 500 se velmi osvědčila a v celé měřené době nezaznamenala žádnou chybu v měření nebo výpočtu, kde by bylo zaznamenáno „Flag“ a musel bych tuhle skutečnost nahrazovat nulou. Díky této spolehlivosti lze vynést přehledné grafy činného výkonu a spotřebované energie v celé době měření.



Graf 9: Průběh činného výkonu při startu laboratorní pece



Graf 10: Průběh elektrické energie při startu laboratorní pece

5.4.2 Měření laboratorní pece při chodu s konstantně udržovanou teplotou 500° C

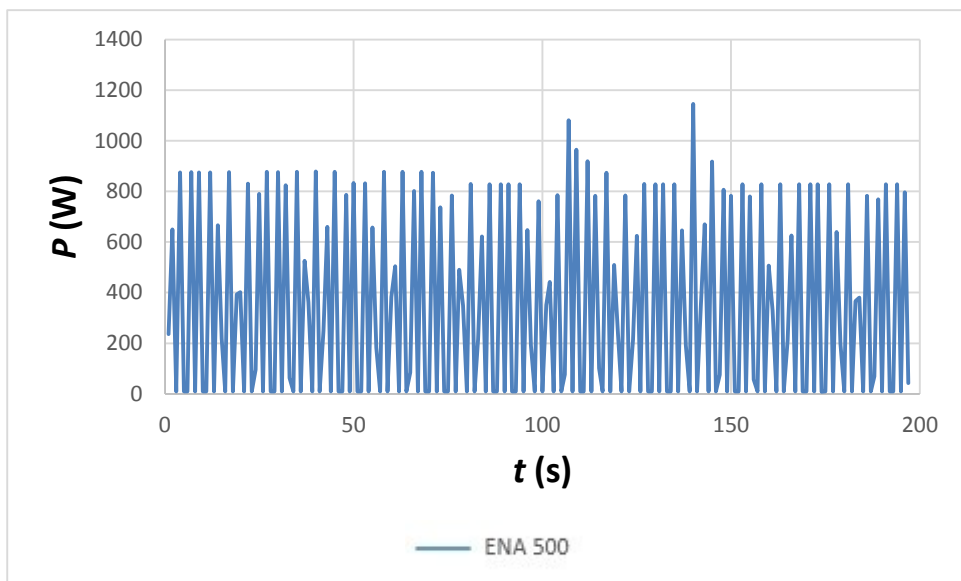
Po zahřátí pece na 500° C se teplota ustálila a mohl jsem provést měření laboratorní pece při konstantní teplotě. Pro větší odběr této pece, bylo třeba změnit rozsah proudových kleští u MDS-U a to na 30 A. Přehodit rozsah jsem pak musel i v programu MDS-U na 30 A. V tomhle měření je třeba porovnat zejména činný výkon. Jak vidíme u ENA 500 maximální naměřený činný výkon klesl. Naproti tomu maximální činný výkon naměřený MDS-U zůstal stále nad 2000 W, což odpovídá jmenovitým hodnotám laboratorní pece. Tato chyba vznikla u MDS-U zřejmě v převodníku a již podruhé jsme si mohli všimnout, že hodnotu kterou naměřil, byla téměř dvakrát větší. Je evidentní, že MDS-U dělá veliký problém měřit v obvodu, kde zátěž je pulzně řízená. Dále je nutné podotknout, že ENA 500 a MDS-U nejsou zcela přesně časově synchronizovány. Tím se tato chyba, kdy jsou hodnoty téměř dvakrát větší, může ještě rozšířit. Do tabulky s činným výkonem nelze zapsat hodnotu výkonu, protože nám Voltcraft nesloužil jako záznamový přístroj, ale jako měřicí přístroj pro okamžitý odečet veličin.

Tab. 4: elektrická energie u laboratorní pece při konstantní teplotě

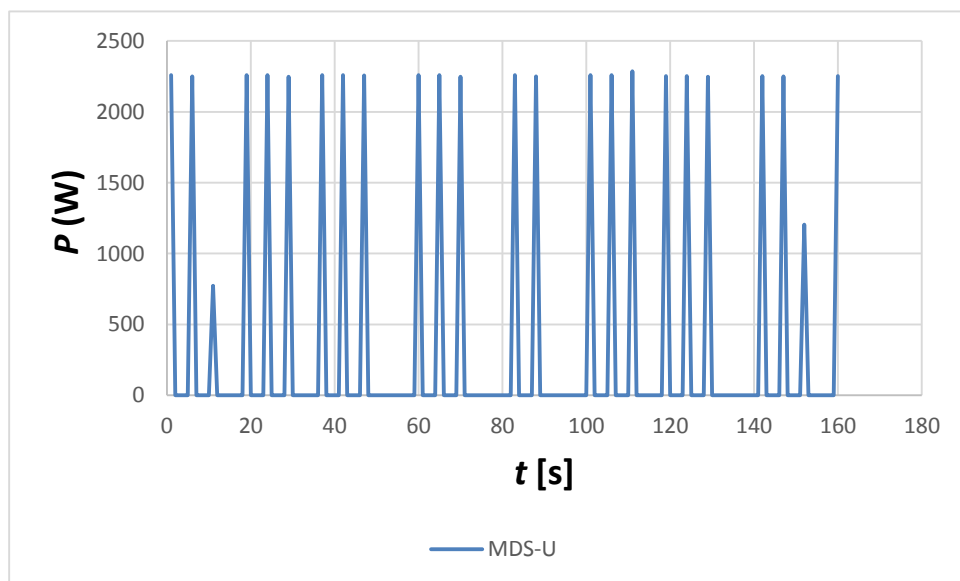
Měřicí přístroj	A (Wh)
ENA 500	182
MDS-U	1360
Voltcraft	167

Tab. 5: Činný výkon u laboratorní pece při konstantní teplotě

Měřicí přístroj	P (W)
ENA 500	1148,1
MDS-U	2292,2
Voltcraft	-



Graf 2: Průběh činného výkonu při konstantní teplotě laboratorní pece měřený ENA 500



Graf 12: Průběh činného výkonu při konstantní teplotě laboratorní pece měřený MDS-U

5.4.3 Měření úsporné zářivky

Při měření této úsporné zářivky, bylo potřeba ručně nastavit na přístroji MDS-U rozsah proudových kleští. Rozsah jsme zvolili 1 A, neboť zářivka má menší výkon. Při ponechání rozsahu 30 A, bychom naměřili takřka veškerý proud 0 A. V tabulce si můžeme všimnout, že opět MDS-U vypočetl téměř dvojnásobný činný výkon a elektrickou energii.

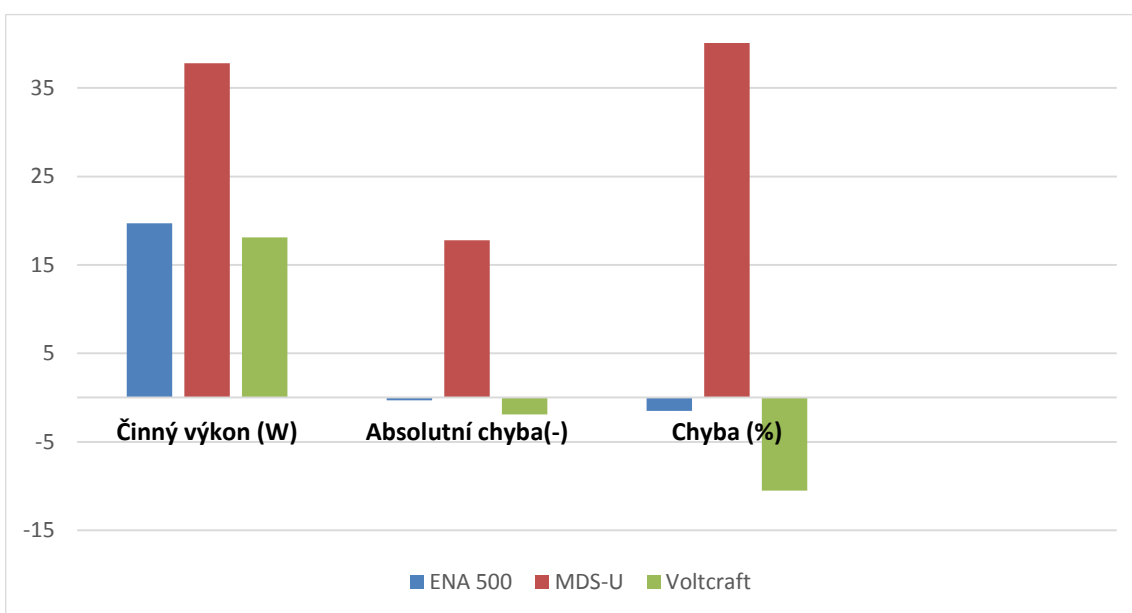
Tab. 6: Naměřené veličiny úsporné zářivky

měřicí přístroj	I (A)	U (V)	P (W)	$\cos \phi$ (-)	A (Wh)
ENA 500	0,166	243	19,7	0,776	7,12
DTS-U	0,172	240,98	37,8	0,93	14,137
Voltcraft	0,14	242,4	18,1	0,51	6

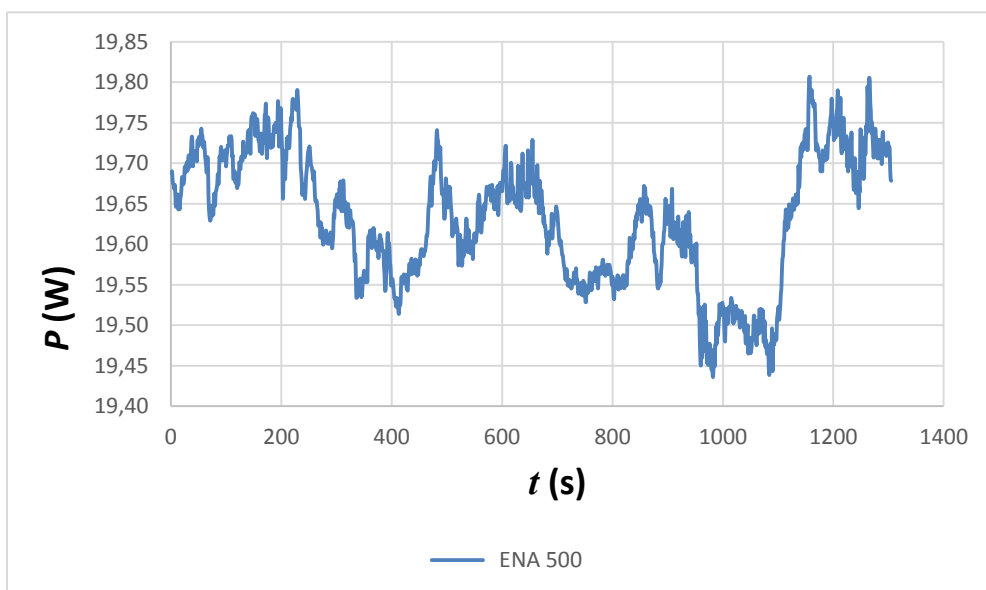
Kvůli takto vysokým rozdílům naměřeného činného výkonu mezi ENA 500 a MDS-U, dochází k velmi velkým chybám v měření.

Tab. 7: Chyby naměřeného činného výkonu oproti deklarovanému výrobcem

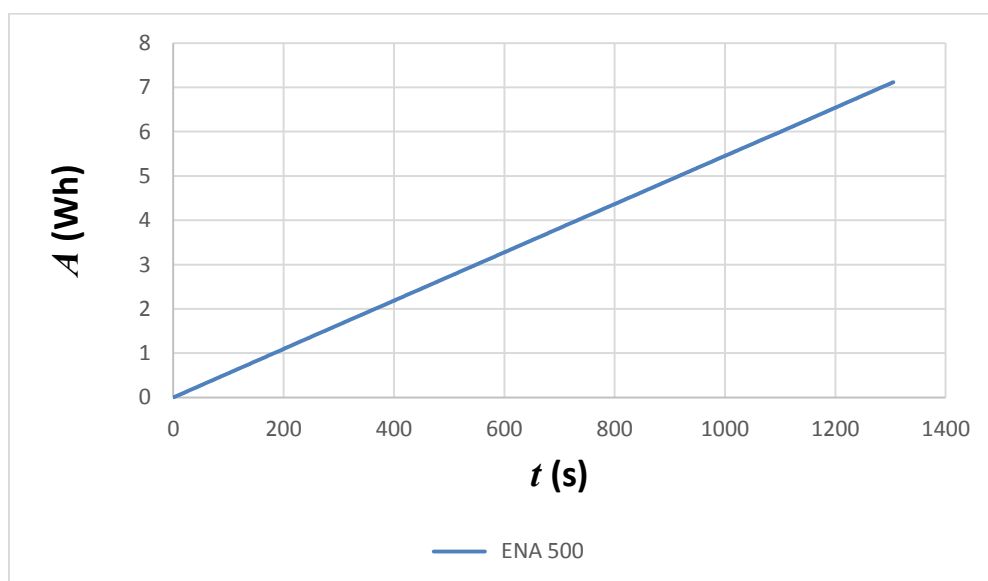
měřicí přístroj	P (W) daný výrobcem	P (W)	absolutní chyba (-)	relativní chyba (%)
ENA 500	20	19,7	-0,3	-1,5
MDS-U		37,8	17,8	47,09
Voltcraft		18,1	-1,9	-10,5



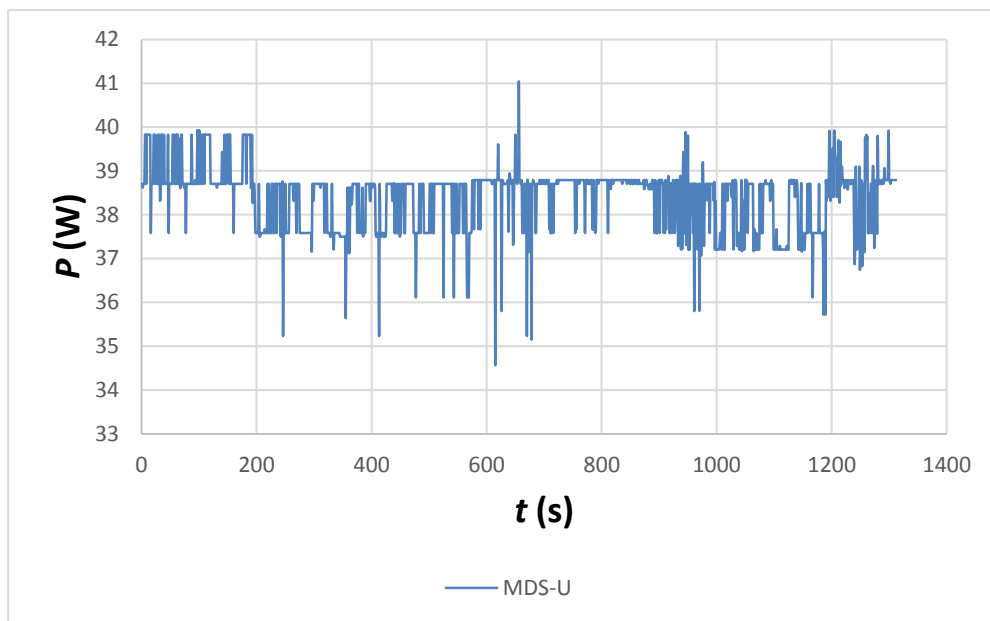
Graf 33: Chyby u měření činného výkonu



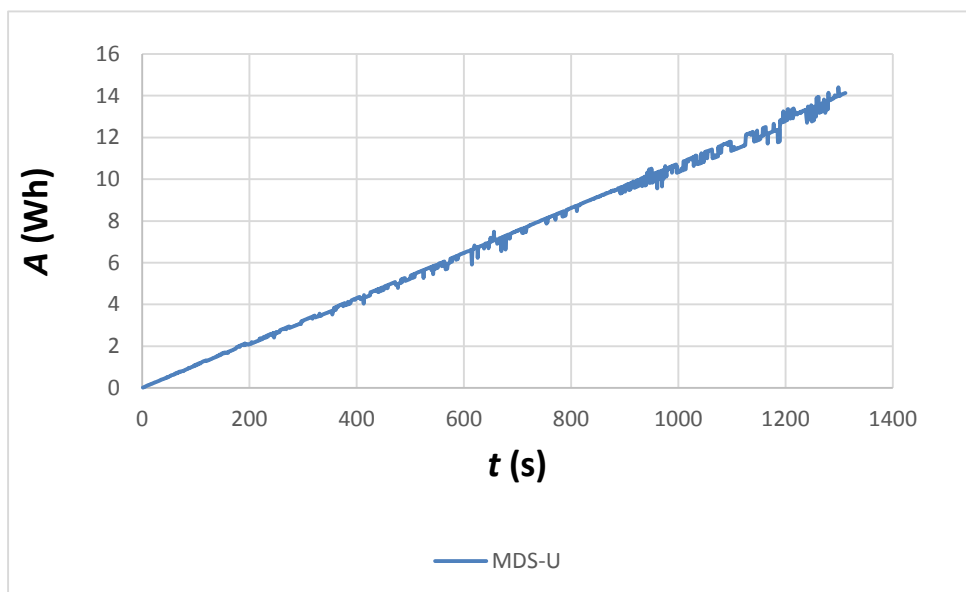
Graf 44: Průběh činného výkonu u úsporné zářivky



Graf 55: Průběh elektrické energie u úsporné zářivky



Graf 66: Průběh činného výkonu u úsporné zářivky měřený MDS-U



Graf 77: Průběh elektrické energie u úsporné zářivky měřený MDS-U

5.5 Zhodnocení měření

Cílem celého měření bylo zjistit, s jakou přesností měří vybrané měřicí přístroje za určitých podmínek. Dva z přístrojů a to ENA 500 a MDS-U jsou měřicí analyzátory a využíval jsem jejich schopnosti záznamu měření. Třetí měřicí přístroj Voltcraft jsem využíval jako spíše multimetr pro rychlé odečtení okamžitých hodnot a po skončení měření jsem z něj odečetl výslednou spotřebu elektrické energie.

První část měření byla změřit laboratorní pec při jejím startu, kdy nastavená teplota byla 500°C a doba nahřívání byla 50 minut. Laboratorní pec byla pulzně řízená a tudíž průběhy činného proudu a elektrické energie kolísají. Důvodem je PWM regulace, kde tyristor spínal a rozeplínal elektrický obvod pece. Ke jmenovitým hodnotám pece se neblíže přiblížil přístroj ENA 500. Ta se v celém měření projevila jako nejpřesnější přístroj. Do cenově srovnatelné skupiny ENA 500 se dá považovat i MDS-U. Ten však bohužel měl v lineárním obvodu, kdy zátěž byla pulzně řízená problémy. Při malých hodnotách proudu nebyl schopný vypočítat účinník a hlásil „neměřeno“, aby tedy bylo možné vykreslit grafy, nahradil jsem tuto hlášku číslicí 0. Kvůli téhle skutečnosti došlo k chybě a MDS-U naměřil téměř dvakrát větší elektrickou energii. Tato chyba mohla být zapříčiněna převodníkem napětí, proudu a nejspíš špatně naměřeným fázovým posunem mezi nimi. Oproti tomu měřicí přístroj Voltcraft, který se řadí do „levnějších“ přístrojů změřil činný výkon a elektrickou energii téměř jako ENA 500. Jediná veličina, které byla rapidně jiná, než naměřila ENA 500, byl účinník. Z několika měření je patrné, že za určitých hodnot účinníku udělá voltcraft operaci, kde nejspíš zprůměruje hodnotu účinníku. Jediné místo této části měření, kde se dá říct, že všechny měřicí přístroje uspěly, byli naměřené hodnoty při nezátěžení (viz Tab. 2). Značné odchylky pak byly v účinníku.

Druhá část měření se týkala stejné laboratorní pece, jako v první části. Rozdíl byl ten, že jsme danou pec měřili po zahřátí na 500°C . Měřili jsme tedy její chování při konstantní teplotě. Stejně jako v předešlém měření měl MDS-U značné problémy, a proto jsem opět nahradil hlášku „neměřeno“ za nulu. Vypočítaná elektrická energie přístrojem MDS-U byla opět chybná. Nebyl to však už „jen“ dvojnásobek, ale byla mnohokrát větší.

Třetí část měření se týkala úsporné žárovky, která byla zdrojem vyšších harmonických složek v obvodu. Všem třem měřicím přístrojům se podařilo veličiny změřit a žádný přístroj nevyhodnotil měření hláškou „neměřeno“. Vyskytla se zde opět výše uvedená chyba na straně MDS-U. Po předchozím měření bylo potřeba zmenšit rozsah proudových kleští MDS-U a to na hodnotu 1 A. Měřicí přístroj MDS-U opět naměřil na 20 W úsporné zářivce činný výkon 38,7 W. Znovu zde nastala chyba jeho převodníku činného výkonu. Abych poukázal na to, jak velké chyby mohou nastat při takto rozdílném měření, proto jsem vypočítal absolutní chybu a chybu měření. Zde opět nejlepších výsledků dosáhla ENA 500.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit vhodnost konkrétních měřicích přístrojů pro měření příkonu a odebrané energie. Snažil jsem se zde poukázat na dané měřicí metody a jejich principy. Dále jsem vypracoval nežádoucí účinky vyšších harmonických složek a jejich následné řešení v podobě filtrů. Při řešení nelineárních obvodů je potřeba znát matematické postupy ve formě harmonické analýzy. Ta nám umožňuje vypočítat velikosti střídavých a stejnosměrných složek v obvodu. V dnešní době je využívání převodníku samozřejmostí a jsou obsaženy téměř ve všech měřicích přístrojích. Nejdůležitější částí mé bakalářské práce bylo měření, kde jsem se přesvědčil, že ne vždy může dražší a modernější přístroj změřit dané veličiny správně. Oproti tomu měřicí přístroj Voltcraft, který je levnější a jednodušší, nám téměř dokonale posloužil.

7 Literatura

- [1] DRECHSLER, Richard. *Měření elektrické energie: celostátní vysokoškolská učebnice pro elektrotechnické fakulty*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 410 s.
- [2] KŮS, Václav. *Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 183 s. ISBN 80-7300-062-8.
- [3] KOCOUREK, Petr. *Číslicové měřicí systémy*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1994, viii, 336 s. ISBN 80-01-01109-7.
- [4] MORAVEC, Miroslav. *Měření a zpracování informací*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 1991, 118 s. ISBN 80-01-00463-5.
- [5] URL: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37250>
- [6] URL: <http://hidden.jstranky.cz/dat/pdf/JCU/04a_Metody_reseni_nelinearnich_obvodu.pdf>
- [5] URL: <[http://inter.elektronika.sweb.cz/1.htm#_d\)_Součástky_lineární](http://inter.elektronika.sweb.cz/1.htm#_d)_Soucastky_linearni)>
- [6] URL: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/images_laboratory/MPQ1/Lab_navydy/MPQ1_2010_U1.pdf>
- [7] URL: <http://www.danfoss.com/NR/ronlyres/21E1E605-F673-4FAD-B1BC-C8181FB4C86B/0/1webFinal_CS.pdf>
- [8] EGÚ BRNO, a.s. [online]. [přístup 12.4.2015]. Dostupné z: URL: <http://www.egubrno.cz/pdf/005/pristroje/mds/mds10_manual.pdf> [cit. 2015-04-12]
- [9] ELCOM, a.s. [online]. [přístup 13.4.2015]. Dostupné z: URL: <<http://www.elcom.cz/cz/produkty/merici-systemy/merici-systemy-pro-energetiku/pristroje/ena330>> [cit. 2015-04-13]
- [10] Voltcraft® [online]. [přístup 17.4.2015]. Dostupné z: URL: <<http://www.voltcraft.cz/meric-spotreby-elektricke-energie-energy-logger-4000.k125338>> [cit. 2015-04-17]
- [11] GHV Trading, spol. s r. o. [online]. [přístup 30.4.2015] URL: <<http://www.ghvtrading.cz/rozsvedcove-pristroje/prevodniky/vykonu/ew22.html>> [cit. 2015-04-28]