

**VŠB - Technická Univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Měření spotřeby energie u nelineárních spotřebičů**

**Measurement of Energy Consumption of Non-  
linear Appliances**

Student:

Marek Pavela

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladimír Král, Ph.D.

Ostrava 2012/2013

## Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Pavela**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Měření spotřeby energie u nelineárních spotřebičů**  
**Measurement of Energy Consumption of Non-linear Appliances**

Zásady pro vypracování:

1. Metodika měření, normy
2. Specifika měření spotřeby nelineárních spotřebičů
3. Měřicí přístroje pro měření spotřeby nelineárních spotřebičů
4. Praktické měření na vybraných spotřebičích

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Moravec, M. Měření a zpracování informací. Skriptum. Praha: FEL ČVUT Praha, 1991. ISBN 8001004635, 9788001004630  
[2] Dreschler, R. Měření elektrické energie. Praha: SNTL Praha, 1966  
[3] Kocourek, P. a kol. Číslicové měřicí systémy. Praha: ČVUT Praha, 1994  
[4] ČSN EN 50564. Elektrická a elektronická zařízení pro domácnost a kanceláře - Měření spotřeby energie nízkého příkonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 36 1060

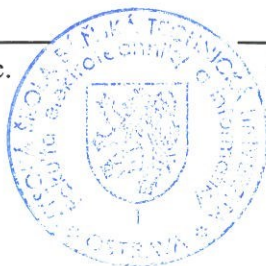
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


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

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Šnášel, CSc.  
děkan fakulty

**Prohlášení studenta:**

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

V Ostravě dne 7.5.2013

.....*Davelle*.....

podpis studenta

**Abstrakt:**

Cílem této bakalářské práce je změřit spotřebu energie u vybraných nelineárních spotřebičů, pomocí různých měřících zařízení. Jedná se o přímou metodu měření energie, pomocí vybraných měřících přístrojů. Jako nelineární spotřebič mi poslouží odporová zátěž. K dispozici mám i nelineární zátěž v podobě (Graetzova můstku s kapacitami a stmívač), jenž má za příčinu vyšší harmonické. Jednotlivé měřicí přístroje rozeberu a porovnáám mezi sebou, dle schopnosti měření a cenové dostupnosti. Měření proběhne na laboratoři E105 pod dohledem vedoucího bakalářské práce.

**Abstract:**

The aim of this thesis is to measure the energy consumption of selected non-linear appliances, by using different measuring devices. This is a direct method of measuring the energy use of selected measuring instruments. As a non-linear appliance will serve me resistor rheostat. I have also non-linear load in the form of (Graetz bridge with capacities and dimmer), which is the cause of the higher harmonics. Individual measuring instruments will be analyzed and compared each other according to the capability of measuring and price affordability. Measurements will be performed on laboratory E105 under the supervision of the leader of the thesis.

**Klíčová slova:**

Voltcraft, Düwi, Monitor distribučních sítí, Elcom síťový analyzátor 330, Činitel harmonického zkreslení

**Keywords:**

Voltcraft, Düwi, Monitor distribution networks, Elcom network analyzer 330, Total harmonic distortion

## Seznam použitých symbolů

C	( $\mu\text{F}$ )	kapacita
$\cos\varphi$	(-)	účinník
HDO		hromadné dálkové ovládání
$I_{\text{rms}}$	(mA)	efektivní hodnota proudu
$I_z$	(A)	maximální proud odporové zátěže
nn		nízké napětí
P	(W)	příkon
PF	(-)	powerfactor (výkonový faktor)
R	( $\Omega$ )	odpor odporové zátěže
S	(VA)	zdánlivý výkon
THD	(%)	činitel harmonického zkreslení
THDU	(%)	činitel harmonického zkreslení napětí
U	(V)	napětí
vn		vysoké napětí
vvn		velmi vysoké napětí

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Elektroměr</i> .....	7
<i>Obr. 2: Voltcraft</i> .....	10
<i>Obr. 3: Düwi</i> .....	11
<i>Obr. 4: Monitor distribučních sítí MDS-U</i> .....	13
<i>Obr. 5: Přístroj ENA 330</i> .....	15
<i>Obr. 6: Časový průběh proudu lineární zátěží</i> .....	17
<i>Obr. 7: Časový průběh proudu nelineární zátěží</i> .....	18
<i>Obr. 8: Schéma zapojení</i> .....	18
<i>Obr. 9: Zapojení měřících přístrojů a zátěží</i> .....	19
<i>Obr. 10: Zapojení Voltcraftu a Düwi</i> .....	19

## Seznam grafů

<i>Graf 1: Kompatibilita pohotovostního režimu spotřebičů s limity nařízení EK 1275/2008</i> .....	3
<i>Graf 2: Spotřeba elektriny v ČR (1993-2012)</i> .....	5
<i>Graf 3: Predikce spotřeby elektrické energie</i> .....	5
<i>Graf 4: Závislost naměřeného příkonu na činitelu harmonického zkreslení</i> .....	21
<i>Graf 5: Závislost naměřeného příkonu na činitelu harmonického zkreslení</i> .....	22
<i>Graf 6: Porovnání příkonů v třech bodech měření</i> .....	23
<i>Graf 7: Závislost naměřeného příkonu na činitelu harmonického zkreslení</i> .....	25
<i>Graf 8: Závislost chyby na činitelu harmonického zkreslení</i> .....	26

## Seznam tabulek

<i>Tab. 1: Zapojení zátěže 1 a stmívače</i> .....	20
<i>Tab. 2: Zapojení zátěže 2 a stmívače</i> .....	20
<i>Tab. 3: Zapojení zátěže 2 a Graetzova můstku s kapacitami</i> .....	21
<i>Tab. 4: Zapojení zátěže 1 a Graetzova můstku s kapacitami</i> .....	22
<i>Tab. 5: Zapojení zátěže 2 a stmívače</i> .....	23
<i>Tab. 6: Zapojení zátěže 2 a stmívače</i> .....	24
<i>Tab. 7: Chyba měření příkonu v závislosti na ENA 330</i> .....	25

# Osnova bakalářské práce

1	Úvod bakalářské práce .....	1
2	Elektrická energie .....	2
2.1	Historie měření energie.....	2
2.2	Spotřeba energie v pohotovostním režimu.....	2
2.3	Nařízení komise 1275/2008 .....	3
2.4	Spotřeba elektrické energie .....	4
2.5	Elektroměry.....	6
2.6	Metody měření .....	6
3	Měřicí přístroje .....	10
3.1	Voltcraft.....	10
3.2	Düwi .....	11
3.3	MDS-U (Monitor distribučních sítí – napětí).....	12
3.4	ENA 330 (Elcom Network Analyzer) .....	14
4	Měření nelineárních spotřebičů.....	17
4.1	Rozbor měření .....	17
4.2	Popis měření.....	18
4.3	Zapojení .....	18
4.4	Naměřené hodnoty.....	20
4.5	Závěr měření .....	27
5	Závěr .....	27
6	Literatura .....	28

# 1 Úvod bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je změřit spotřebu energie u vybraných nelineárních spotřebičů, pomocí různých měřících zařízení.

Tato bakalářská práce se skládá ze třech částí. První část popisuje celkový rozbor elektrické energie včetně popisu jednotlivých metod měření energie. Druhá část je zaměřena samotnými měřicími přístroji. Každý přístroj je stručně popsán a jsou uvedeny jeho technické parametry. Třetí část popisuje samotné měření. Všechna naměřená data jsou uvedena v tabulkách, ze kterých jsou následně vypracovány příslušné grafy.

Měření proběhlo na laboratoři E105 pod dohledem vedoucího bakalářské práce.



## 2 Elektrická energie

### 2.1 Historie měření energie

Zhruba do konce 80 let minulého století se elektrická energie měřila za pomoci mechanických indukčních elektroměrů, které pracovali na Ferrarisově principu posuvného magnetického pole. V současné době nejdou tyto elektroměry, v rámci možností, nijak zdokonalit, nebo vylepšit.

Proto se před 20 lety začaly používat elektronické elektroměry, které pracují na principu využití elektronických součástek. Tyto elektroměry se nazývají statické, jelikož neobsahují žádné pohyblivé součástky. Zpočátku sloužily, kvůli své přesnosti, převážně při měření vysokého a velmi vysokého napětí. V současné době jsou statické elektroměry vybaveny moderními součástkami a lze tak měřit jakákoliv velikost napětí.

### 2.2 Spotřeba energie v pohotovostním režimu

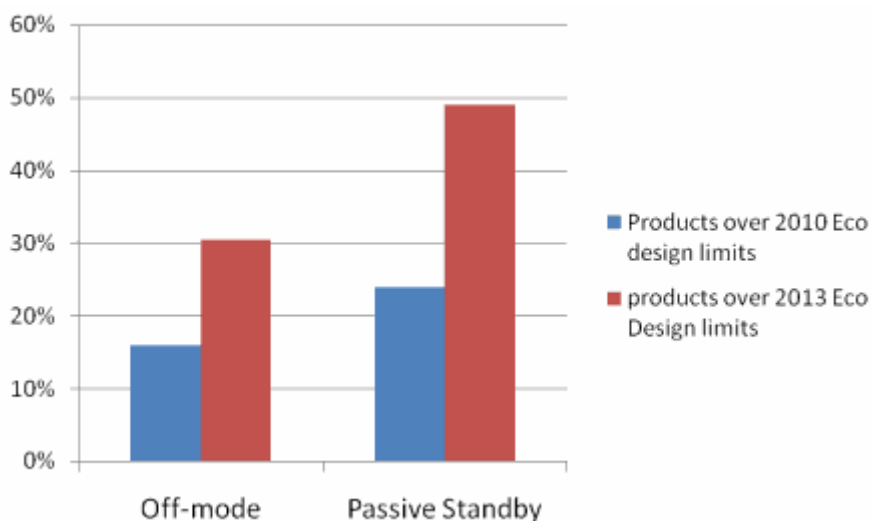
Je-li spotřebič zapojen v síti, ale nevykonává svou hlavní funkci, nachází se v takzvaném pohotovostním režimu, neboli “standby“ režimu. Přesnou definici pohotovostního režimu lze stěží popsat, neboť většina spotřebičů má nyní více než jeden takový režim (např. režim “eko“ spánku). Názory, pro určení přesné definice pohotovostního režimu, se tedy liší.

Spotřeba v pohotovostním režimu je nedílnou součástí spotřeby elektrické energie v domácnostech a v průmyslu. V lednu 2010 se Evropská komise rozhodla snížit spotřebu energie v pohotovostním režimu u spotřebičů v domácnostech a průmyslu. Požadavky jsou snížit do roku 2020 spotřebu elektrické energie v tomto režimu o téměř 75%.

Po celé Evropě probíhá projekt (SELINA), v rámci nějž bude ve 12 evropských zemích změřena spotřeba energie u více než 6 000 spotřebičů.

## 2.3 Nařízení komise 1275/2008

Ve dne 17. prosince 2008 vzniklo Nařízení komise 1275/2008. Toto nařízení udává maximální pohotovostní spotřebu všech elektronických spotřebičů na trhu na 1W. Roku 2013 došlo ke snížení tohoto limitu na 0,5W. V roce 2009 se dělal průzkum spotřebičů, které by splňovaly požadavky tohoto nařízení. Z následujícího grafu je vidět, jaké procento spotřebičů splňuje požadavky tohoto nařízení.



Graf 1: Kompabilita pohotovostního režimu spotřebičů s limity nařízení EK 1275/2008

Do roku 2020 by mělo Nařízení komise snížit současnou pohotovostní spotřebu elektřiny až o 73%. Jsou zde i nemalé potíže. Nařízení komise se netýká stávajících spotřebičů. U starších spotřebičů je pohotovostní režim v desítkách W a obměna zařízení může trvat několik let.

### Měření:

Spotřebu elektrické energie určí spolehlivé, přesné a opakovatelné měření, které se provede s ohledem na obecně uznávanou současnou technologii. Měření příkonu v hodnotě 0,50 W a více se provedou s mírou nejistoty rovnou 2 % nebo méně při 95 % úrovni spolehlivosti. Měření příkonu v hodnotě nižší než 0,50 W se provedou s mírou nejistoty nanejvýš 0,01 W při 95 % úrovni spolehlivosti.[1]

### **Informace, které budou poskytovat výrobci:**

Pro účely posuzování shody, musí technická dokumentace obsahovat tyto prvky:

a) Pro každý pohotovostní režim nebo vypnutý stav:

- hodnoty spotřeby elektrické energie vyjádřené ve wattech zaokrouhlené na dvě desetinná místa,
- použitá metoda měření,
- popis způsobu, kterým byl zvolen nebo naprogramován režim spotřebiče,
- sled kroků, které vedou k dosažení režimu, ve kterém zařízení mění režimy automaticky,
- případné poznámky týkající se provozu zařízení;[1]

b) Zkušební parametry pro měření:

- okolní teplota,
- testovací napětí vyjádřené ve voltech (V) a kmitočet vyjádřený v hertzech (Hz),
- celkové harmonické zkreslení elektrické rozvodné soustavy,
- informace a dokumentace o přístrojovém vybavení, nastavení a obvodech použitých pro elektrické zkoušení;[1]

### **Referenční hodnoty:**

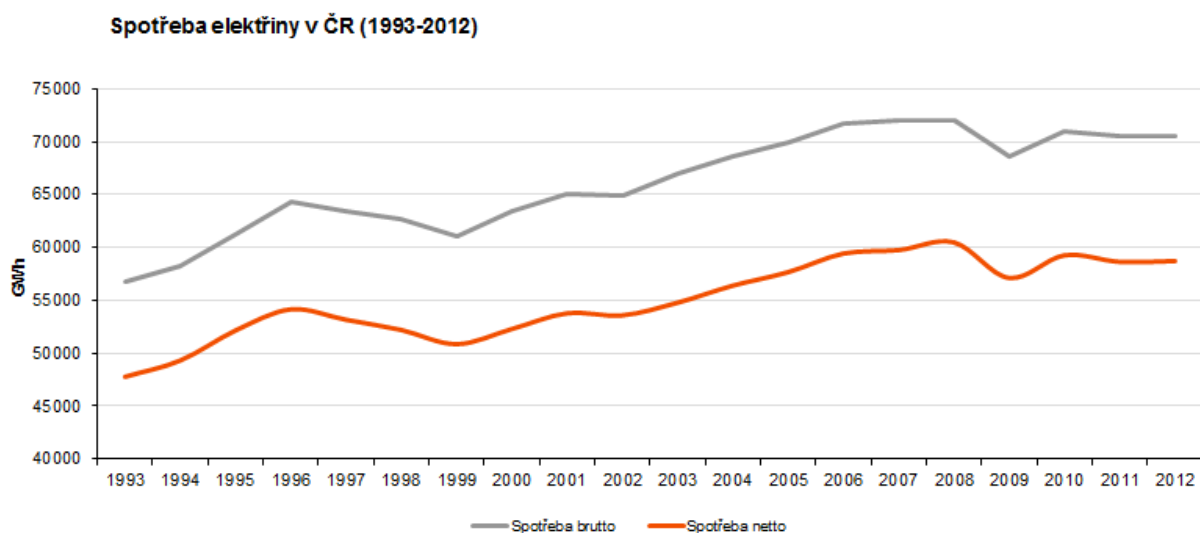
Vypnutý stav: 0 W–0,3 W s vypínačem „hard off“ („hardwarovým“ vypínačem) na primární straně v závislosti mimo jiného na parametrech, které se týkají elektromagnetické kompatibility podle směrnice 2004/108/ES.

Pohotovostní režim – funkce opětovné aktivace: 0,1 W.

Pohotovostní režim – zobrazování informací nebo indikace stavu: jednoduché displeje a LED s nízkou spotřebou energie 0,1 W, větší displeje (např. displeje hodin) vyžadují více energie.[1]

## **2.4 Spotřeba elektrické energie**

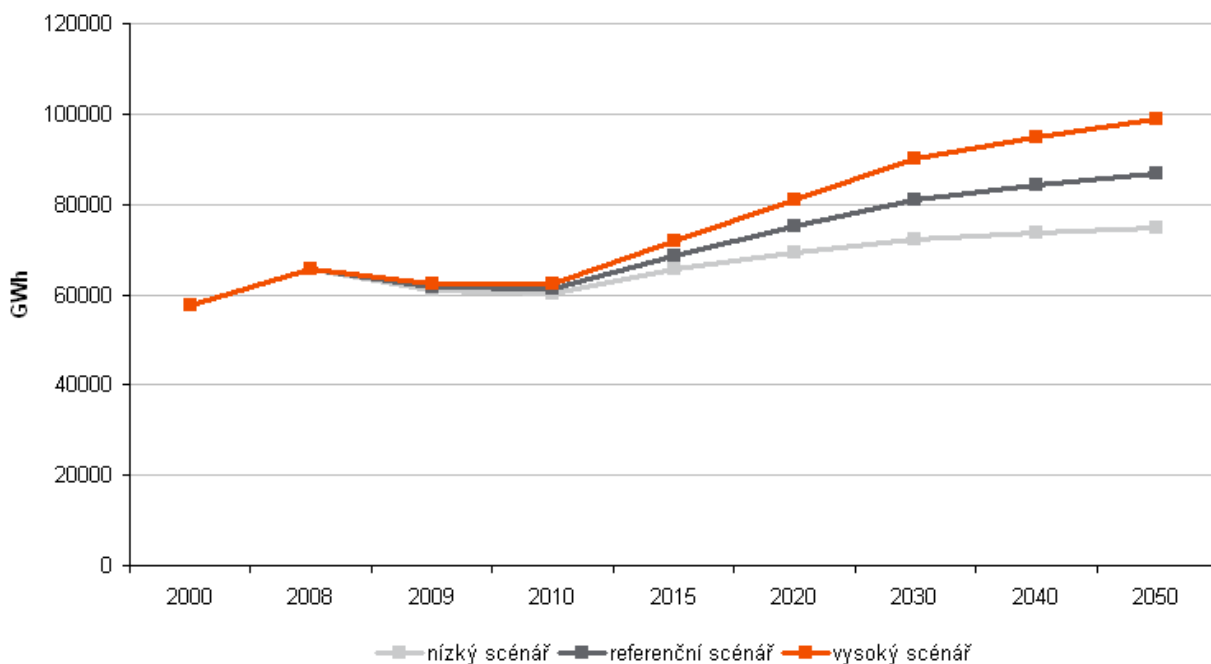
Spotřeba elektrické energie rok od roku stoupá, v důsledku užíváním starších neefektivních spotřebičů, i nárůstem používaných elektrických spotřebičů. Důsledkem může být i nárůst populace. V současné době jsou domácnosti vybaveny řadou vyspělých spotřebičů. Z grafu 2 je vidět nárůst spotřeby energie v České republice za posledních 20 let. Do tohoto grafu spadají i průmyslové domy. Hodnoty udává skupina ČEZ.



*Graf 2: Spotřeba elektřiny v ČR (1993-2012)*

**Predikce spotřeby elektrické energie v domácnostech:**

Predikce spotřeby elektřiny je tvořena dvěma sférami: výrobní a domácnosti. První sféra se odráží od predikcí ekonomického vývoje na makroekonomické úrovni, druhá sféra využívá demografických projekcí, zejména projekcí počtu domácností.



*Graf 3: Predikce spotřeby elektrické energie*

## 2.5 Elektroměry

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 a vyúčtování spotřebované elektrické energie.

Distributoři musí brát v potaz denní dodávky energie. Ve dne kdy se jedná o špičku a v noci kdy je přebytek. Proto zavedli různé sazby (tj. ceny za jednu kWh). Celkové množství odebrané energie v těchto obdobích nám měří vícesazbové elektroměry.

### **Elektroměry dále dělíme:**

podle druhu proudů (stejnoseměrný a střídavý proud).

podle duhu obvodu (jednofázových a třífázových obvodech)

podle principu činnosti (elektromechanické a elektrické)

**Elektromechanické elektroměry:** Tyto elektroměry využívají převodu výkonu na mechanickou otáčivou rychlost a jejich integritory jsou dekadická počítadla otáček. Využití převážně v energetice.

**Elektrické elektroměry:** Výhodou oproti elektromechanickým elektroměrům je možná komunikace elektroměrů za pomoci optických rozhraní, rozhraní RS232, RS 485.)

## 2.6 Metody měření

V dnešní době lze změřit spotřebu elektrické energie dvojnásobem

### **a) Přímá metoda:**

K přímému měření se používají elektroměry. Neboť elektroměry nám ukazují přímou velikost odebírané energie ze sítě. Z hlediska praktického měření energie v domácnostech je tato metoda praktičtější a užívanější než metoda nepřímá.



Obr.1: Elektroměr

### b) Nepřímá metoda:

Metoda nepřímého měření spočívá v tom, že neměříme přímou hodnotu energie, ale měříme veličiny, ze kterých pomocí výpočtu dosáhneme požadované hodnoty. Wattmetrem zjistíme požadovaný výkon a stopkami celková doba odběru elektrické energie. Součin výkonu a času je elektrická práce:

$$(W = P \cdot t). 1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 3600000 \text{ Ws} = 3600000 \text{ J}$$

### Převodníky elektrického výkonu

Jelikož výpočetní technika pro řízení výrobních procesů je dnes využita téměř všude je nutno převádět měřené veličiny na stejnosměrný signál. Pro praktická měření se používá převodníků, jejichž výstupní veličinou je stejnosměrné napětí nebo proud. Princip amplitudové šířkové modulace byl nejznámější ve využití počítačové technice. Tento princip byl velmi vhodný k měření efektivních hodnot napětí a proudů.

Převodníky (MT) jsou nyní konstruované jako samostatné, vestavěné do plastového pouzdra. Ve spodní části základního tělesa je umístěna zdrojová deska. Moderní obvodové řešení zdroje umožňuje obsáhnout celý rozsah napájecích napětí ve dvou rozsazích, dle volby zákazníka. Nové typy převodníků jsou dle možnosti vestavěné do plastového pouzdra s poloviční šířkou. Elektronické obvody jsou umístěny všechny na jedné desce plošného spojev SMT montáží. Tyto převodníky jsou také variantně řešeny bez vlastního zdroje s napájením po výstupní lince. Každý převodník obsahuje vstupní obvody pro galvanické oddělení vlastního měřicího obvodu a výstupní zesilovač pro převedení výstupního signálu na unifikovaný výstup. [2]

## Typy převodníků činného výkonu

**MTP 102-** převodník činného výkonu v jednofázové síti

*Popis funkce:* vstupní signály jsou galvanicky odděleny transformátory a zesíleny. Po vynásobení principem TDMmodulace je výsledný stejnosměrný signál vyfiltrován a zesílen na unifikovaný výstupní signál. Převodník je jednosystémový.[2]

*Podmínky použití:*

Rozsah měřeného proudu 0% až 120%  $I_n$ .

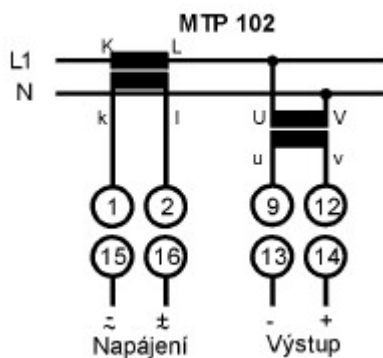
Rozsah měřeného napětí 50% až 120%  $U_n$ .

Popis svorek: široké pouzdro	1,2	vstup měřeného proudu
	9,12	vstup měřeného napětí
	13,14	výstupní signál (14 +)
	15,16	pomocné napájení AC, DC (16 +)
	3,4,5,6,7,8,10,11	nezapojeny

Spotřeba vstupů 1.10-3 VA/V, 3.10-2 VA/A

Typ převodní charakteristiky č.1;č.3;č.6;

Připojovací schéma převodníku:



**MTP 303-**převodník činného výkonu v třífázové třívodičové vyvážené síti

*Popis funkce:* vstupní signály jsou galvanicky odděleny transformátory a zesíleny. Po vynásobení principem TDMmodulace je výsledný stejnosměrný signál odpovídající výkonu v jedné fázi vyfiltrován a zesílen na unifikovaný výstupní signál. Převodník je jednosystémový. [2]

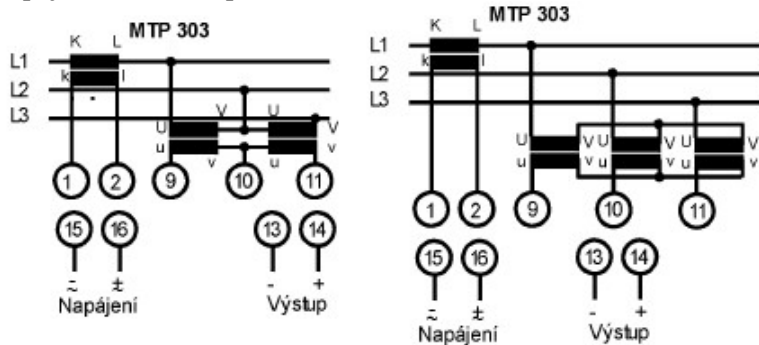
*Podmínky použití:*

Rozsah měřeného proudu 0% až 120%  $I_n$

Rozsah měřeného napětí 50% až 120%  $U$

Popis svorek: široké pouzdro	1,2	vstup měřeného proudu (fázového)
	9,10,11	vstup měřeného napětí (sdruženého)
	13,14	výstupní signál (14 +)

	15,16	pomocné napájení AC, DC (16 +)
	3,4,5,6,7,8,12	nezapojeny
Spotřeba vstupů	1.10-3 VA/V, 3.10-2 VA/A	
Typ převodní charakteristiky	č.1;č.3;č.6;	
Připojovací schéma převodníku:		



**MTP 313**-převodník činného výkonu v třífázové třívodičové nevyvážené síti

*Popis funkce:* vstupní signály jsou galvanicky odděleny transformátory a zesíleny. Po vynásobení principem TDMmodulace jsou výsledné stejnosměrné signály odpovídající výkonům v jednotlivých fázích vyfiltrovány, sečteny a zesíleny na unifikovaný výstupní signál. Převodník je dvousystémový v Aronově zapojení. [2]

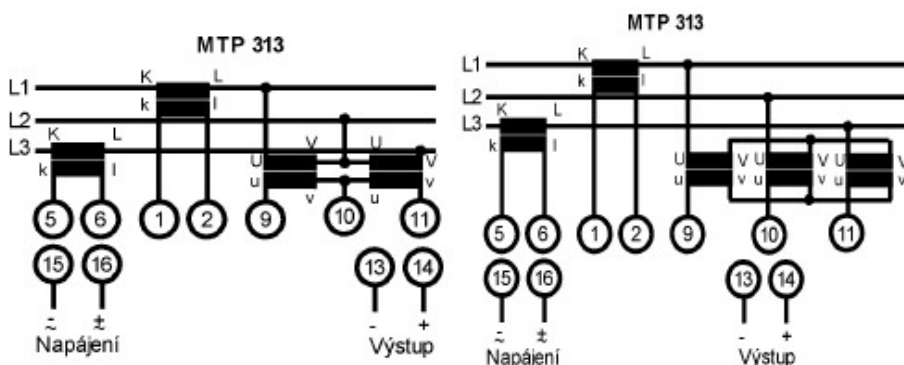
*Podmínky použití:*

Rozsah měřeného proudu	0% až 120% In
Rozsah měřeného napětí	50% až 120% Un
Popis svorek: široké pouzdro	1,2,5,6 vstup měřených proudů ( fázových)
	9,10,11 vstup měřeného napětí ( sdruženého)
	13,14 výstupní signál (14 +)
	15,16 pomocné napájení AC, DC (16 +)
	3,4,7,8,12 nezapojeny

Spotřeba vstupů 1.10-3 VA/V, 3.10-2 VA/A

Typ převodní charakteristiky č.1, č.3, č.6,

Připojovací schéma převodníku:





## 3 Měřicí přístroje

V této části kapitoly jsou podrobněji rozebrány všechna měřidla, která jsem měl v následujícím měření.

### 3.1 Voltcraft

Měřič spotřeby elektrické energie slouží k měření a analýze údajů o spotřebě elektrických přístrojů. Měřicí přístroj se zapojí jednoduše mezi zásuvku a elektrický přístroj a nevyžaduje žádnou další složitou instalaci. Provoz je spolehlivý jen s v domácnosti se standardní zásuvkou s ochranným kontaktem se jmenovitým napětím 230 V/AC. Max. jmenovitý výkon nesmí překročit 3500 W. Při přetížení se produkt může poškodit. Nesmí být dohromady zapojeno více přístrojů pro měření spotřeby el. energie. [4]

**Nepříznivé okolní podmínky pro voltcraft jsou:**

- Vlhko nebo vysoká vlhkost vzduchu,
- Prach a hořlavé plyny, páry nebo rozpouštědla,
- Bouřka resp. bouřkové podmínky jako silná elektrostatická pole atd.



Obr. 2: Voltcraft

**Technické údaje:[4]**

Provozní napětí	230 V/AC 50/60 Hz
Max. výkon/proud	3500 W/15 A
Indikace měření výkonu	0,1 - 3500 W
Indikace spotřeby energie	0,000 - 9999 kWh

Displej	3 řádkový, v 1 řádce 4 místa
Oblast tarifu	0,000 - 9,999
Přesnost	5 - 3500 W ( $\pm 1\% + 1 \text{ Count}$ ) 2 - 5 W ( $\pm 5\% + 1 \text{ Count}$ ) < 2 W ( $\pm 15\% + 1 \text{ Count}$ )
Vyrovnávací baterie	3 V, CR1620
Okolní podmínky	10 - 50 °C/max. 90%rF (nekondenzující)
Provozní výška:	max. 2000 m (nad NN)
Hmotnost	cca 240 g
Rozměry (d $\times$ š $\times$ v)	164 x 82 x 83 (mm)
Kategorie přepětí	CAT II
Stupeň znečištění	2

Cena přístroje cca 1000 Kč.

### 3.2 Düwi

Přístroj pro měření elektrické energie slouží k monitorování a měření spotřeby elektrické energie a elektrické zátěže.

Měří elektrické napětí (V), proud (A), výkon (W), zdánlivý výkon (VA), frekvenci sítě (Hz) a výkonový faktor (PF). Zobrazuje také aktuální čas, dobu připojení a po zadání sazby za elektřinu také celkové náklady.



Obr. 3: Düwi

## Technické údaje: [5]

Napájení:	230 V~/ 50 Hz
Max. zatížení:	16 A, 3680 W
Rozsah napětí:	190-276 V AC, přesnost +/- 3 %
Rozsah měření proudu:	0,03-16 A, přesnost +/- 5 % max
Rozsah zobrazení spotřebované el.energie:	0-9999,9 kWh
Frekvenční rozsah:	45-65 Hz
Přesnost hodin:	max +/- 1 minuta/měsíc
Vlastní spotřeba:	<0,5 W
Rozsah provozních teplot	-10°C to +40°C
Záložní nabíjecí baterie	2 x 1,5 V (LR44A)
Česká zástrčka a zásuvka	

Cena přístroje cca 400-500 Kč

### 3.3 MDS-U (Monitor distribučních sítí – napětí)

Monitor MDS-U slouží k měření, předzpracování a zaznamenání hodnot napětí, proudů a účinků v sítích nn, vn, vvn. Umožňuje měření signálů obsažených v síťovém napětí, jejichž frekvence spadá do frekvenčního rozsahu HDO.

Za pomoci příslušných programů lze na počítači v prostředí WINDOWS zobrazit z měřených i vypočtených veličin jak časové průběhy, tak i jejich statistiky. Na počítači lze průběžně sledovat posloupnost vysílaných signálů HDO a vybraných dalších veličin.

MDS-U pracuje automaticky a je určený pro nepřetržitě měření veličin a sledování vysílání HDO. Změřené hodnoty jsou zaznamenávány do kruhové paměti (FEPRAM) s kapacitou 512 kB.

Jako své přednosti, které MDS-U uvádí, jsou malé rozměry (vhodné pro měření v energetice) a bezpečnost.



Obr.4: Monitor distribučních sítí MDS-U

**Měřené veličiny:[6]**

- 3 střídavá napětí
- 3 střídavé proudy
- 3 účinníky
- 1 teplota
- výpadky napájení
- 3 složky napětí o frekvenci HDO
- 1 složka napětí o frekvenci HDO
- maximální a minimální velikosti telegramů HDO až ve 3 fázích
- příjem telegramu HDO

**Vypočítané veličiny:[6]**

- činné výkony, výkony jalové induktivní i kapacitní
- činné energie, jalové induktivní a jalové kapacitní energie
- výpočet amplitudy a fáze proudu nulovým vodičem

**Rozsahy, přesnosti měření:[6]**

Napětí: měří TRMS

$$U_{jm} = 230 \text{ V} / 100\text{V}(\text{pouze MDS-U}) / 57,7\text{V}(\text{pouze MDS-U})$$

měřicí rozsah:  $0U_{jm} - 1,2 U_{jm}$

přesnost:  $1 \% U_{jm} + 1 \text{ digit}$ .

rozlišení: do  $0,8 U_{jm}$  je  $1 \text{ digit} = 2,24\text{V}$

od  $0,8 U_{jm}$  do  $1,2 U_{jm}$  je  $1 \text{ digit} = 0,56\text{V}$

pojistky napěťových vstupů jsou: F 200mA / 250V

Proud: měří TRMS

I<sub>jm</sub> podle použitého proudového snímače.

měřicí rozsah - 0 I<sub>maž</sub> 1,3 I<sub>jm</sub>

přesnost: 1 % + 1 digit.

rozlišení: - 1 digit = 0,52 % I<sub>jm</sub>

Měřicí klešťový transformátor MT PRYM

I<sub>jm</sub> = 1A, 5A, 30A, 150A

měřicí rozsah: 0 I<sub>jm</sub> - 1,3 I<sub>jm</sub>

přesnost: 1% I<sub>jm</sub>

Měřicí klešťový transformátor MT 100A, MT 300A, MT 600A, MT 1000A

měřicí rozsah: 0 I<sub>jm</sub> - 1,3 I<sub>jm</sub>

přesnost: 1% I<sub>jm</sub>

Rogowski snímač s redukcí 100A, 300A, 600A, 1000A

měřicí rozsah: 0 I<sub>jm</sub> - 1,3 I<sub>jm</sub>

přesnost: 1% I<sub>jm</sub>

Účinit: průměr z rozdílů osmi průchodů nulou napětí a proudu.

rozsah měření 0° až 359°

přesnost měření - 1 %

při napětí 0,8 U<sub>jm</sub> až 1,2 U<sub>jm</sub>

při proudu 0,1 I<sub>jm</sub> až 1,3 I<sub>jm</sub>

Cena přístroje cca 50 000Kč s kompletním příslušenstvím

### 3.4 ENA 330 (Elcom Network Analyzer)

ENA330 je součástí komplexního modulárního systému BK-ELCOM pro monitoring a analýzu kvality elektřiny v souladu s platnými normami. Moderní koncepce systému BK-ELCOM je založena na bázi technologie virtuální instrumentace. Základem analyzátoru je výkonné PC a firmware (softwarová aplikace). Zákazník si dle svých potřeb volí hardwarovou podobu přístroje a funkcionalitu firmwaru. Cílem modularity firmwaru a volitelného hardwaru je dosažení maximální užitné hodnoty pro konkrétního zákazníka při minimalizaci pořizovacích nákladů.[7]

Model ENA330 je kompaktní analyzátor kvality elektřiny bez displeje. Přístroj je vybaven čtyřmi napěťovými a proudovými vstupy. Proudů se měří nepřímou pomocí klasických proudových kleští s železným jádrem nebo flexibilních Rogowského cívek - AmpFLEX.[7]

Rozměry umožňují snadné uzavření přístroje v rozvaděčích. Přístroj se nastavuje z notebooku. Pro snadnou komunikaci s periferními zařízeními je přístroj vybaven rozhraními USB a Ethernet. Přístroj lze vybavit volitelným rozsahem paměti pro ukládání naměřených dat. Dle zvoleného ukládacího intervalu lze měřit a ukládat data nepřetržitě až několik měsíců.[7]



Obr.5: Přístroj ENA 330

#### **Technické údaje:[7]**

##### **Napět'ové vstupy**

Počet vstupů	4
Vstupní rozsahy	450V, 250V, 110V, 65V (RMS)
Šířka pásma	45Hz až 2,5kHz
Vstupní impedance	200kOhm, 10pF
Izolační pevnost	4,2kV RMS, 50Hz, 1min
Přesnost	+/-0,1%
Zapojení	1-fázové, 3-fázové, 3-fázové + N, hvězda, trojúhelník a Aron

##### **Proudové vstupy:**

Počet vstupů	4
Vstupní rozsah	dle použitých proudových kleští

Šířka pásma 45Hz až 2,5kHz

Přesnost +/-0,1%

**Hardware:**

Operační paměť 512MB RAM

Procesor Intel® Celeron® M

HDD CF 1GB

Rozhraní USB, Ethernet

A/D převodník 16 bitů

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

Napájení 180 až 265V AC, 47 až 63Hz

Příkon 20VA

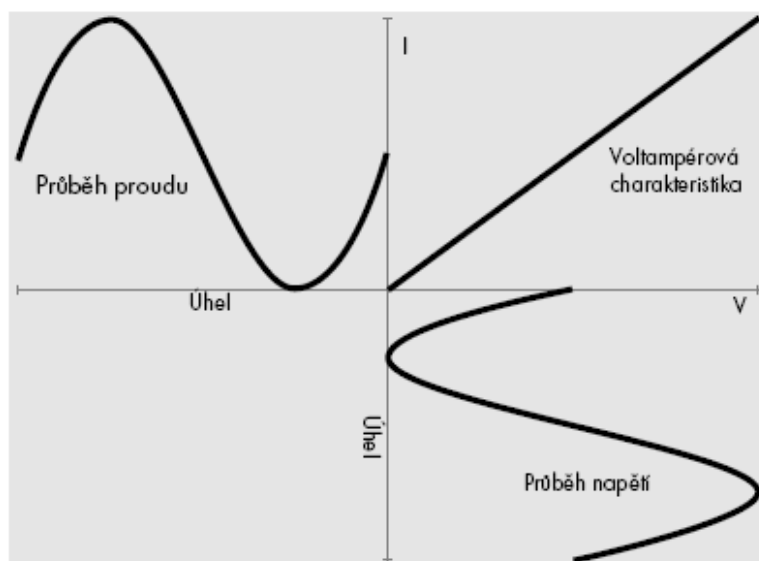
Cena přístroje cca 100 000Kč

## 4 Měření nelineárních spotřebičů

Cílem tohoto měření bylo porovnat vybrané měřicí přístroje v různých hodnotách příkonu. Hodnoty příkonu jsou nastavovány tak, aby se přiblížily k běžným spínaným zdrojům v domácnosti. Měření bylo spíše srovnávací, neboť jsem neměl k dispozici ideální zátěž, která by běžné spínané zdroje simulovala.

### 4.1 Rozbor měření

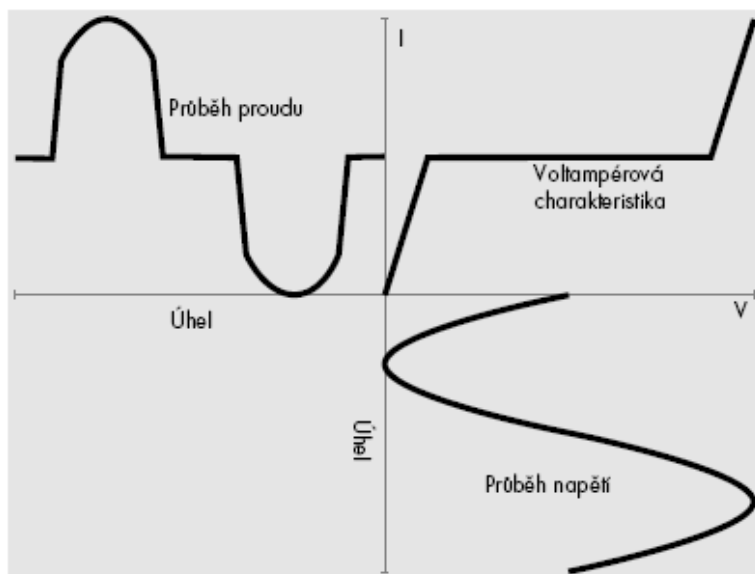
V ideálně „čistém“ elektrickém systému má proud i napětí tvar čisté sinusovky. V praxi jsou nesinusové proudy výsledkem průtoku proudu nelineární zátěží napájené sinusovým napětím. V jednoduchém obvodu, který obsahuje pouze lineární prvky odpor, indukčnost a kapacitu je proud, který jimi protéká úměrný napájecímu napětí (při konkrétní frekvenci), takže pokud napájecí napětí je sinusové bude protékat sinusový proud, tak jak ukazuje obr. 6. Voltampérová charakteristika zátěže vyjadřuje vztah mezi napájecím napětím a proudem, jak ukazuje obr. 6 pro lineární zátěž. Je třeba poznamenat, že pokud se v obvodu vyskytuje reaktanční prvek, bude mezi průběhem napětí a proudem fázový posun. Účinník je snížen, ale obvod je stále lineární.[8]



Obr. 6: Časový průběh proudu lineární zátěži

Obr. 7 ukazuje situaci, kdy zátěž je jednoduchý dvoucestný usměrňovač s kondenzátorem tak, jak je tomu u typického spínaného zdroje. V tomto případě protéká proud pouze tehdy, když napájecí napětí překročí napětí na kondenzátoru, tzn. blízko špičkové hodnoty sinusového napětí, tak jak ukazuje tvar voltampérové charakteristiky zátěže. Obvykle je voltampérová charakteristika zátěže pravděpodobně mnohem složitější, než je ilustrováno na příkladu. Může se zde objevit také asymetrie a hystereze, přičemž body zlomu a sklon se bude měnit v závislosti na zátěži.[8]





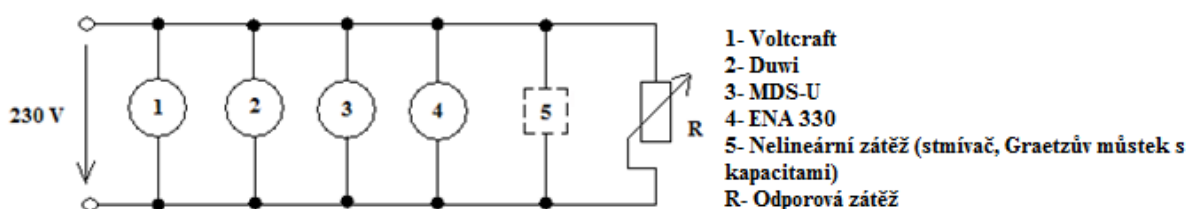
Obr.7: Časový průběh proudu nelineární zátěži

## 4.2 Popis měření

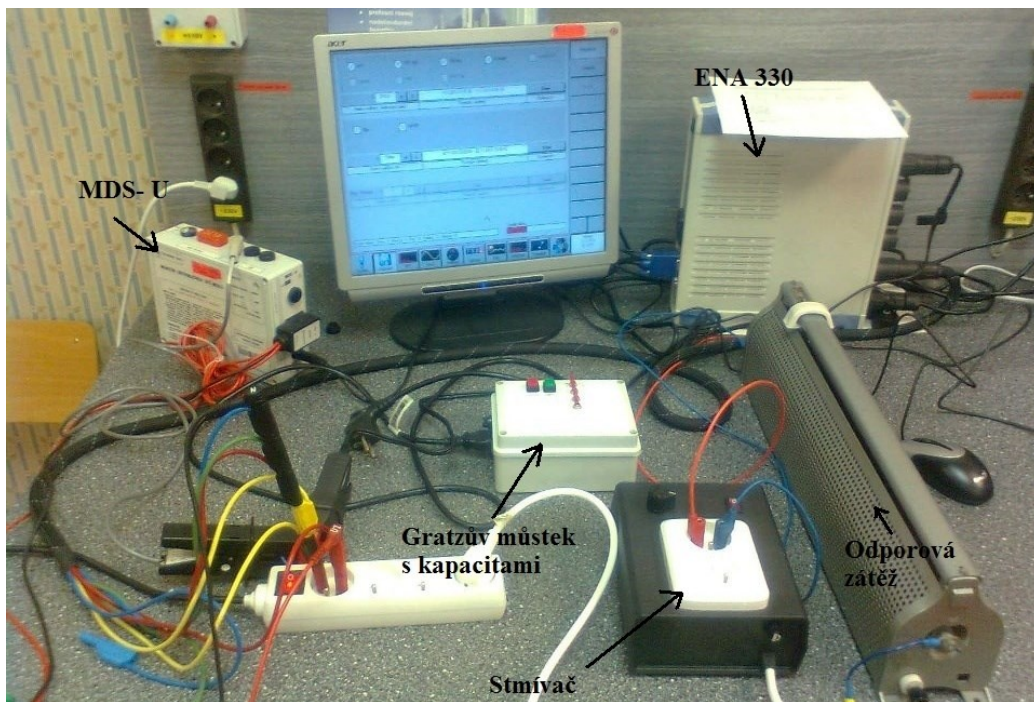
Úkolem bylo změřit nelineární odporovou zátěž (spotřebič) pomocí čtyř různých měřicích přístrojů (Voltcraft, Düwi, MDS-U a ENA330). Před odporovou zátěží byl zprvu připojen stmívač. Stmívač primárně slouží ke stmívání osvětlení. Přes spínací prvek (triak) propouští pouze část sinusovky. Tento princip je zdrojem vyšších harmonických.

V dalších částech měření byl stmívač nahrazen Graetzovým můstkem s kapacitami, které jsou spojeny paralelně. Tato nelineární zátěž má rovněž za příčinu vyšší harmonické. Oproti stmívači, který propouští část sinusovky, nelineární zátěž sinusovku deformuje. Simuluje tedy spínané napájecí zdroje.

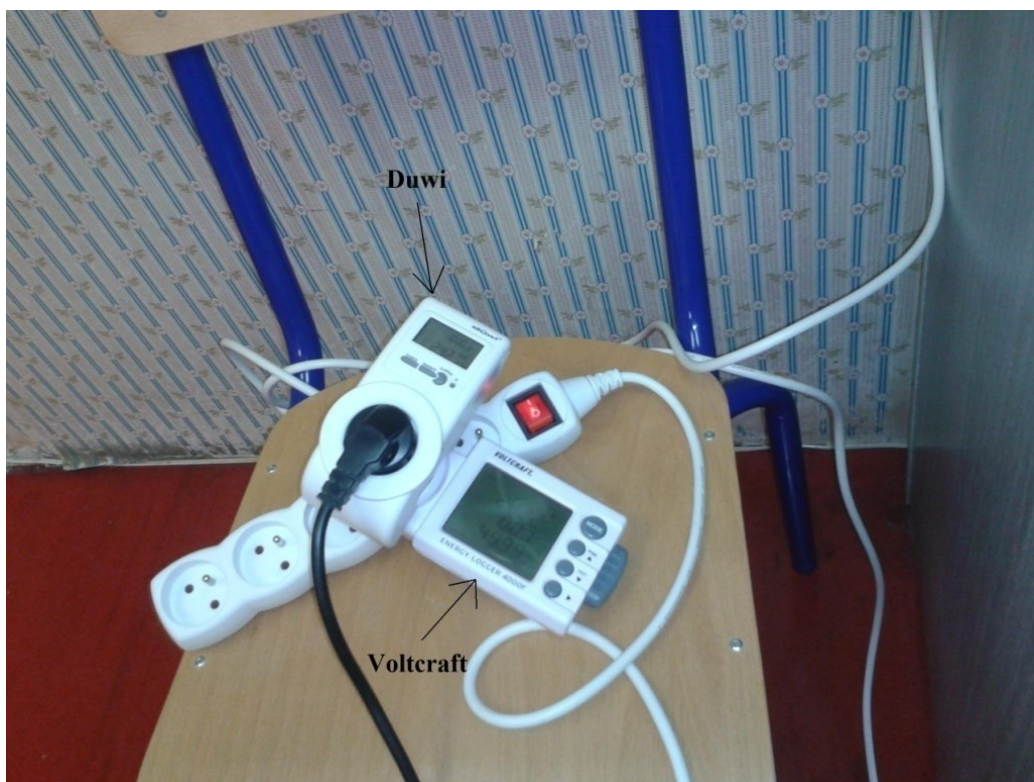
## 4.3 Zapojení



Obr.8: Schéma zapojení



*Obr.9: Zapojení měřicích přístrojů a zátěží*



*Obr.10: Zapojení Volcraftu a Duwi*

## 4.4 Naměřené hodnoty

Po dobu všech měření se napětí pohybovalo mezi 239-241 V. Celkové zkreslení napětí (THD-U) bylo 1,5-1,7 % zapříčiněné zkreslením školní sítě.

Zátěž 1	$I_z=0,25A$	$R=10k\Omega$
Zátěž 2	$I_z=0,4A$	$R=3,5k\Omega$

Tab.1: Zapojení zátěže 1 a smívače

	U	P	S	I <sub>rms</sub>	THD	cosφ	PF
	[V]	[W]	[VA]	[mA]	[%]	[-]	[-]
<b>Wolcraft</b>	240,3	7,64	14,42	60	-	-	0,53
<b>Düwi</b>	-	7	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	239,9	7,07	14,32	57	-	0,69	-
<b>ENA 330</b>	240,1	7,0	14,21	60,56	104,64	0,67	0,468

V první části měření jsem zapojil zátěž 1. V důsledku velkého odporu zátěže jsem nastavil hodnotu příkonu 7 W, aby nedocházelo k přetížení reostatu. Podle přístroje ENA 330 jsem tuto hodnotu, za pomoci smívače a odporové zátěže, vyladil.

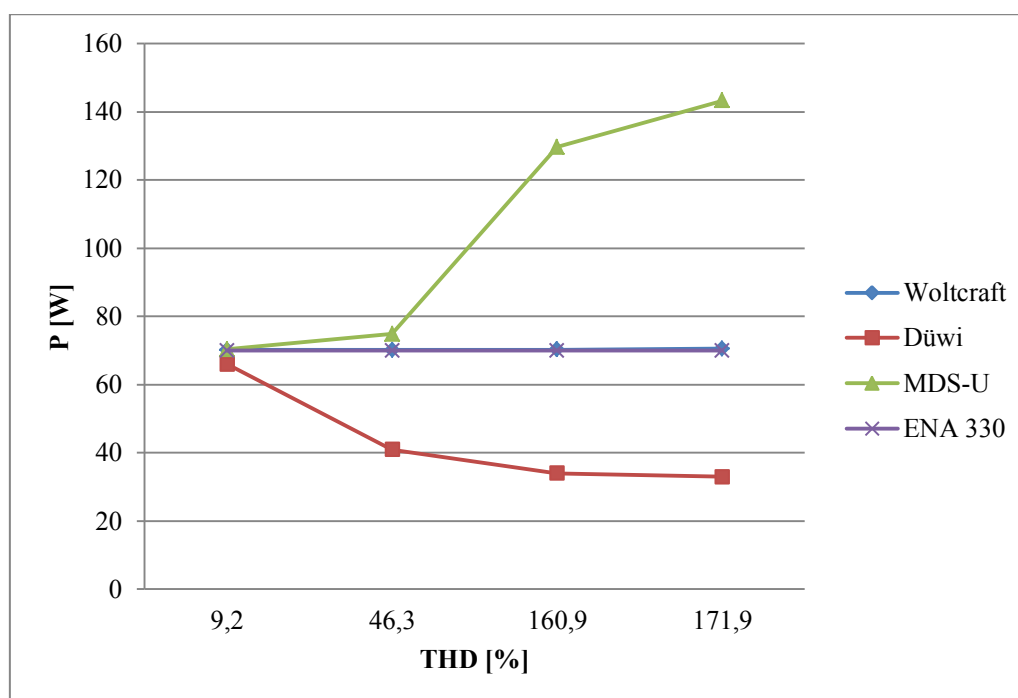
Tab.2: Zapojení zátěže 2 a smívače

	U	P	S	I <sub>rms</sub>	THD	cosφ	PF
	[V]	[W]	[VA]	[mA]	[%]	[-]	[-]
<b>Wolcraft</b>	241,0	70,88	93,27	387	-	-	0,76
<b>Düwi</b>	-	74	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	240,4	73,79	-49,14	368,7	-	0,83	-
<b>ENA330</b>	240,7	70	93,9	391,5	59,2	0,86	0,75

V další části měření jsem nahradil zátěž 1 zátěží 2. V důsledku nižšího odporu zátěže jsem nastavil vyšší hodnotu příkonu na 70 W a měření se provedlo stejně jak v předchozím bodě.

Tab.3: Zapojení zátěže 2 a Graetzova můstku s kapacitami

C	přístroje	U	P	S	Irms	THD	cosφ	PF
[μF]		[V]	[W]	[VA]	[mA]	[%]	[-]	[-]
0	Wolcraft	240,9	70,13	85,52	355	-	-	0,82
	Düwi	-	66	-	-	-	-	-
	MDS-U	240,4	70,31	-3,82	292,8	-	0,99	-
	ENA330	239,9	70	70,73	291,8	9,22	1	1
4,7	Wolcraft	240,9	70,13	85,52	355	-	-	0,82
	Düwi	-	41	-	-	-	-	-
	MDS-U	240,4	74,86	35,02	343,7	-	0,91	-
	ENA330	240,1	70	86,56	358,5	46,33	0,92	0,81
51,7	Wolcraft	241	70,25	141,22	565	-	-	0,49
	Düwi	-	34	-	-	-	-	-
	MDS-U	240,4	129,71	19,71	545,6	-	0,98	-
	ENA330	240,2	70	140,01	576,1	160,9	0,95	0,51
151,7	Wolcraft	240,8	70,56	143,99	598	-	-	0,49
	Düwi	-	33	-	-	-	-	-
	MDS-U	240,4	143,31	-10,52	597,8	-	1	-
	ENA330	240,2	70	137,06	603,9	171,9	1	0,49



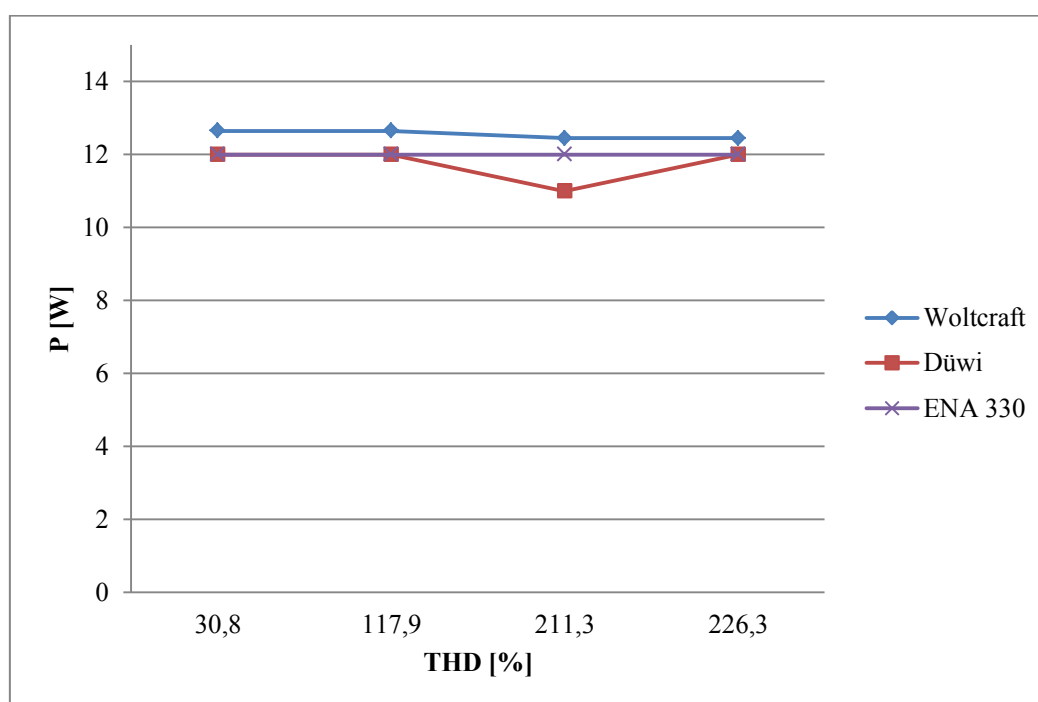
Graf 4: Závislost naměřeného příkonu na činitelu harmonického zkreslení

Ve třetí části měření jsem nechal zapojenou zátěž 2. Poté jsem nahradil stmívač Graetzovým můstkem s kapacitami. Po dobu všech měření v této části jsem udržoval na přístroji ENA 330 konstantní příkon 70 W. Pomocí přepínačů na Graetzově můstku jsem přidával hodnoty

paralelních kapacit, které mi deformovali sinusovku. V tab. 3 je vidět, že  $\cos\phi$  se pohybuje kolem jedničky. Z grafu je vidět velká nepřesnost u přístroje Düwi. Přístroj MDS-U nabývá nepřesností nárůstem kapacit neboli s nárůstem deformace sinusovky.

Tab. 4: Zapojení zátěže 1 a Graetzova můstku s kapacitami

C	přístroje	U	P	S	I <sub>rms</sub>	THD	cosφ	PF
[μF]		[V]	[W]	[VA]	[mA]	[%]	[-]	[-]
151,7	Wolcraft	241,0	12,45	30,36	126	-	-	0,41
	Düwi	-	12	-	-	-	-	-
	MDS-U	240,4	-	-	109	-	nem	-
	ENA330	240,3	12	30,5	128,9	226,3	1	0,49
51,7	Wolcraft	241,0	12,45	30,37	120	-	-	0,43
	Düwi	-	11	-	-	-	-	-
	MDS-U	240,4	-	-	109	-	nem	-
	ENA330	240,1	12	28,5	118,2	211,3	0,96	0,454
4,7	Wolcraft	241,0	12,65	19,05	79	-	-	0,68
	Düwi	-	12	-	-	-	-	-
	MDS-U	240,4	-	-	83	-	nem	-
	ENA330	240,2	12	19,4	80,1	117,9	1	0,622
0	Wolcraft	241,0	12,65	13,75	57	-	-	0,92
	Düwi	-	12	-	-	-	-	-
	MDS-U	240,4	-	-	57	-	nem	-
	ENA330	240,1	12	12,6	52,2	30,8	1	0,95

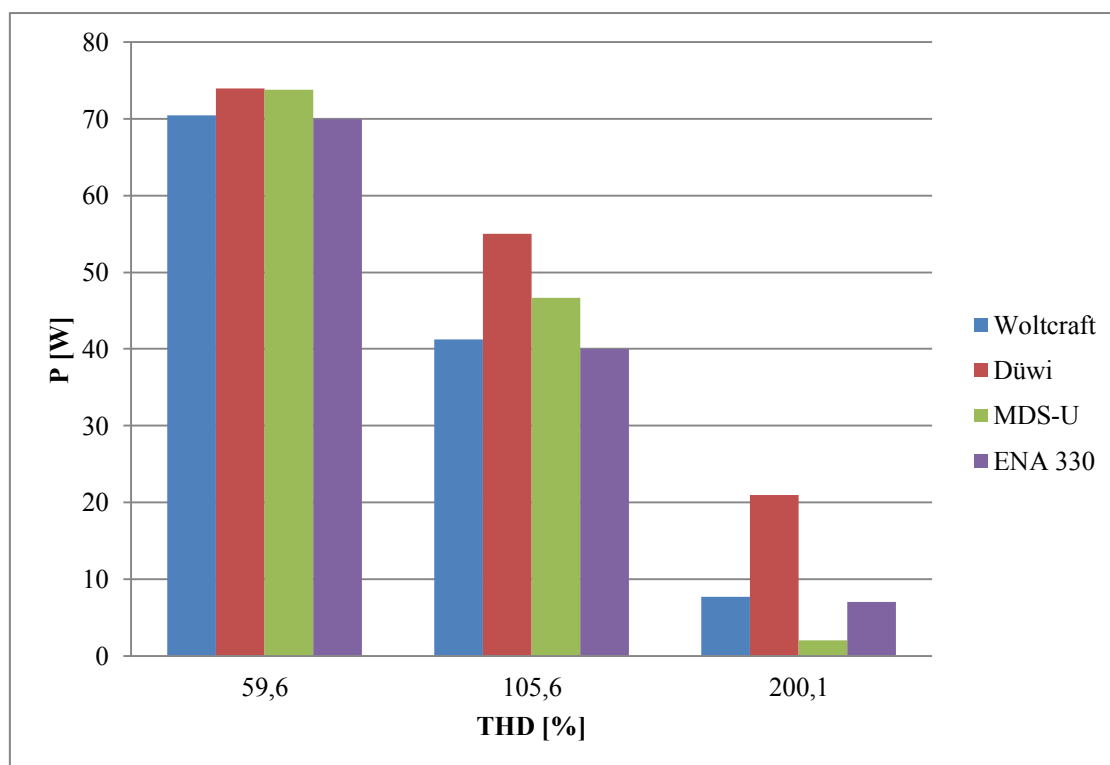


Graf 5: Závíslost naměřeného příkonu na činiteli harmonického zkreslení

V této části měření se měření provádělo stejně jako v předchozím bodě, s tím rozdílem, že jsem prohodil zátěž 2 za zátěž 1. Podle přístroje ENA 330 jsem snížil a udržoval konstantní příkon 12 W. Pomocí přepínačů na Graetzově můstku jsem snižoval kapacity až k nule. Stejně jako v předchozím měření se  $\cos\phi$  pohyboval v jedničce. Z grafu 5 lze vyčíst, že přístroj MDS-U nebyl schopen vypočítat hodnotu příkonu.

Tab.5: Zapojení zátěže 2 a stmívače

přístroje	U	P	S	Irms	THD	$\cos\phi$	PF
	[V]	[W]	[VA]	[mA]	[%]	[-]	[-]
<b>Wolcraft</b>	240,9	70,49	92,75	385	-	-	0,76
<b>Düwi</b>	-	74	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	240,4	73,79	-49,04	368,7	-	0,83	-
<b>ENA330</b>	240,5	70	93,9	389,3	59,6	0,86	0,74
<b>Wolcraft</b>	240,8	41,29	91,74	381	-	-	0,45
<b>Düwi</b>	-	55	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	240,4	46,68	-75,31	368,7	-	0,52	-
<b>ENA330</b>	240,5	40	93,8	387,3	105,6	0,62	0,42
<b>Wolcraft</b>	241,0	7,71	45,34	188	-	-	0,17
<b>Düwi</b>	-	21	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	240,4	1,99	-44,68	186	-	0,04	-
<b>ENA330</b>	240,5	7	46,3	192,5	200,1	0,34	0,14

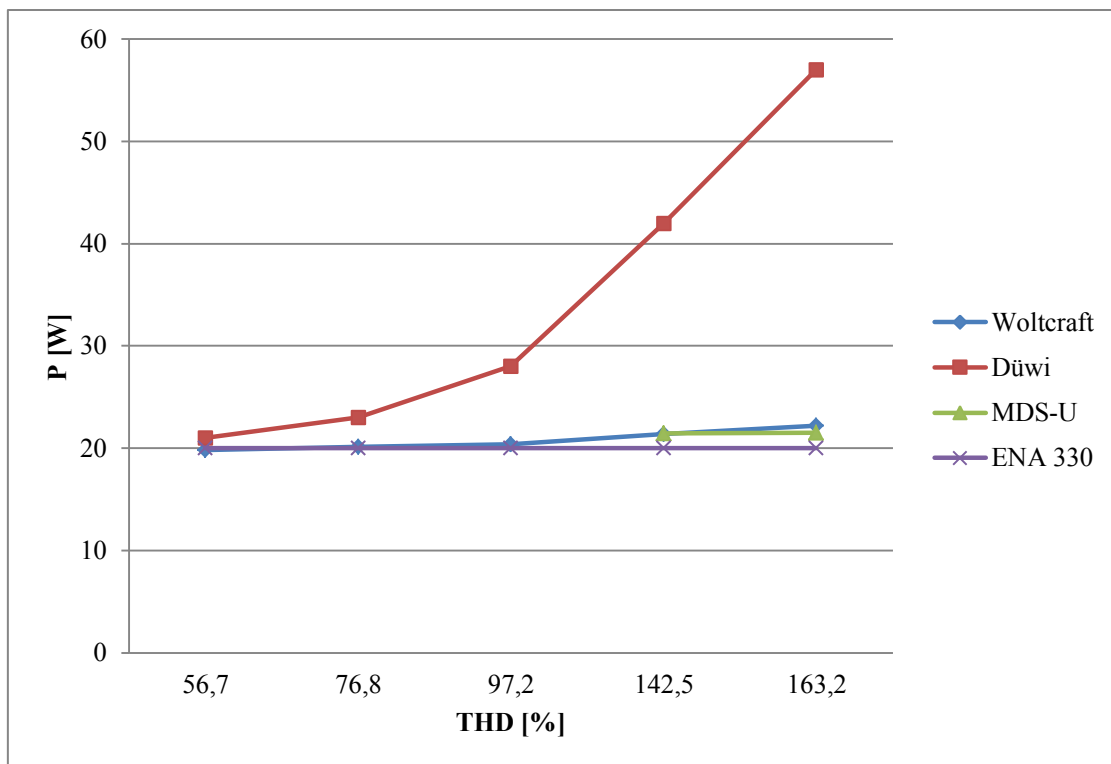


Graf 6: Porovnání příkonů v třech bodech měření

V páté části měření jsem Graetzův můstek s kapacitamihradil stmívačem. V tomto měření jsem nechal zapojenou odporovou zátěž 2. Podle přístroje ENA 330 jsem za pomoci odporové zátěže a stmívače nastavoval hodnoty (70, 40 a 7 W). Tyto hodnoty jsou běžné hodnoty u domácích spínaných zdrojů. Ze sloupcového grafu 6 je vidět, že při snižování příkonu a zvyšování THD dochází k velké nepřesnosti především u přístroje Düwi.

Tab. 6: Zapojení zátěže 2 a stmívače

přístroje	U	P	S	I <sub>rms</sub>	THD	cosφ	PF
	[V]	[W]	[VA]	[mA]	[%]	[-]	[-]
<b>Wolcraft</b>	240,9	22,22	105,8	439	-	-	0,21
<b>Düwi</b>	-	57	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	240,4	21,52	-98,34	418,3	-	0,22	-
<b>ENA 330</b>	240,8	20	108,9	439,4	163,2	0,40	0,20
<b>Wolcraft</b>	240,9	21,42	82,39	342	-	-	0,26
<b>Düwi</b>	-	42	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	240,4	21,48	-67,06	293,2	-	0,31	-
<b>ENA 330</b>	240,8	20	75,9	314,1	142,5	0,47	0,27
<b>Wolcraft</b>	240,9	20,39	39,99	166	-	-	0,51
<b>Düwi</b>	-	28	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	240,4	-	-	160	-	nem	-
<b>ENA330</b>	240,7	20	41,8	173,1	97,2	0,67	0,48
<b>Wolcraft</b>	241,0	20,14	33,02	137	-	-	0,61
<b>Düwi</b>	-	23	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	240,4	-	-	109	-	nem	-
<b>ENA330</b>	240,6	20	32,3	133,6	76,8	0,77	0,62
<b>Wolcraft</b>	241,0	19,81	27,51	114	-	-	0,72
<b>Düwi</b>	-	21	-	-	-	-	-
<b>MDS-U</b>	240,4	-	-	109	-	nem	-
<b>ENA330</b>	240,6	20	26,5	109,2	56,7	0,86	0,75



Graf 7: Závinnost naměřeného příkonu na činitelu harmonického zkreslení

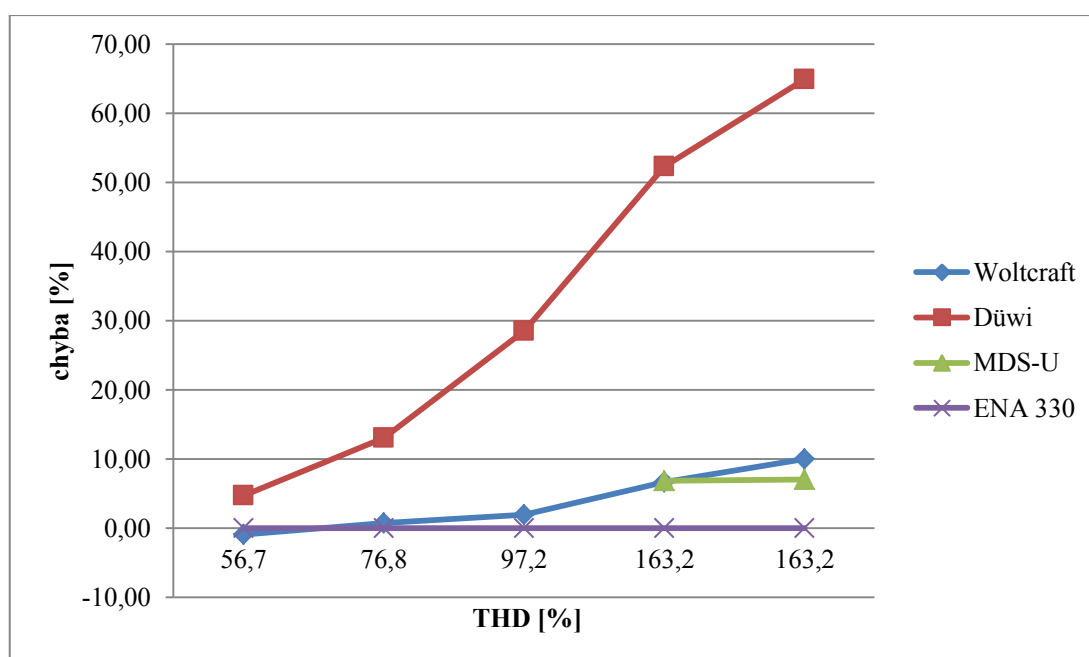
V poslední části měření jsem, opět za pomoci odporové zátěže a stmívače, udržoval na přístroji ENA 330 konstantní příkon 20 W. Z grafu 7 lze vyčíst, že s nárůstem činitele harmonického zkreslení dochází k nárůstu nepřesnosti u přístroje Düwi. Přístroj MDS-U není schopen při nižších harmonických vypočítat velikost příkonu.

Tab. 7: Chyba měření příkonu v závislosti na ENA 330

přístroje	P	absolutní chyba	chyba	THD
	[W]	[-]	[%]	[%]
<b>Wolcraft</b>	21,42	1,42	6,63	-
<b>Düwi</b>	42	22	52,38	-
<b>MDS-U</b>	21,48	1,48	6,89	-
<b>ENA 330</b>	20	0	0,00	142,5
<b>Wolcraft</b>	22,22	2,22	9,99	-
<b>Düwi</b>	57	37	64,91	-
<b>MDS-U</b>	21,52	1,52	7,06	-
<b>NA 330</b>	20	0	0,00	163,2
<b>Wolcraft</b>	20,39	0,39	1,91	-
<b>Düwi</b>	28	8	28,57	-



<b>MDS-U</b>	-	-	-	-
<b>NA 330</b>	20	0	0,00	97,2
<b>Wolcraft</b>	20,14	0,14	0,70	-
<b>Duwi</b>	23	3	13,04	-
<b>MDS-U</b>	-	-	-	-
<b>NA330</b>	20	0	0,00	76,8
<b>Wolcraft</b>	19,81	-0,19	-0,96	-
<b>Duwi</b>	21	1	4,76	-
<b>MDS-U</b>	-	-	-	-
<b>NA 330</b>	20	0	0,00	56,7



Graf 8: Závislost chyby na činitelu harmonického zkreslení

V této tab. 7 se nachází výpočet absolutní a chyby v %. Jako skutečná hodnota je hodnota přístroje ENA 330.

Příklad výpočtu: pro první řádek Wolcraft

$X_s$ - skutečná hodnota

Absolutní chyba:  $\Delta X = X_m - X_s = 21,42 - 20 = 1,42$   $X_m$ - měřená veličina

Chyba:  $\delta = \frac{\Delta X}{X_m} * 100 = \frac{1,42}{21,42} * 100 = 6,63\%$

## 4.5 Závěr měření

Přístroj ENA 330, díky své velké přesnosti, mi po dobu všech měření byl referenčním přístrojem, podle kterého jsem se řídil.

Z tabulkových hodnot a následných grafů lze vyčíst, že přístroj Voltcraft se nejvíce přiblížil k referenčním hodnotám přístroje ENA 330. V tab. 3 a4, kdy byla zapojena jako nelineární zátěž (Graetzův můstek s kapacitami), vidíme u přístroje Düwi, že s vyšší hodnotou příkonu a nárůstem činitele harmonického zkreslení se zvětšuje jeho nepřesnost měření. S nižším příkonem tomu tak není.

MDS-U měl při přítomnosti vyšších harmonických velké nepřesnosti. V tab.4 a částečně v tab. 6 je vidět, že u přístroje MDS-U není hodnota příkonu uvedena. Přístroj pravděpodobně v důsledku častého průchodu nulou, nebyl schopen tuto hodnotu vypočítat.

## 5 Závěr

Přístroje Voltcraft a Düwi jsou běžné měřicí přístroje, snadno ovladatelné a lehce dostupné na trhu v rámci cenové dostupnosti. Oba tyto přístroje jsou především komerčními přístroji. Díky své malé velikosti a snadnosti užití jdou snadno použít v každé domácnosti pro měření příkonu různých spotřebičů. V předchozím měření jsem zjistil, že přístroj Voltcraft je přece jen lepším přístrojem než Düwi. Má více funkcí a zabudovaný slot pro paměťovou kartu, díky které lze za pomoci počítače sledovat uložená data. Doba záznamu je po minutách. Düwi vzhledem svým parametrům a své přesnosti je spíše brán jako orientační měřicí přístroj. V předchozím měření jsem zjistil, že nabývá velikých nepřesností u vyšších harmonických hodnot

Přístroje MDS-U (monitor distribučních sítí) a ENA 330 (síťový analyzátor), jsou užívány především pro měření v elektroenergetice. Jejich cena se pohybuje v řádově desítkách tisíc korun. Jsou to přenosné měřicí přístroje, navíc vybavené příslušnými komponenty. Díky svým propojovacím kabelům lze přístroje propojit přímo s počítačem a zobrazovat měřené průběhy. Po nainstalování příslušného programu lze signál měřit, upravovat a ukládat.

## 6 Literatura

- [1] URL : <<http://www.eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:339:0045:0052:cs:PDF>>[cit. 2013-2-27]
- [2] URL: <<http://www.metra.cz/files/katalogy/metra-blansko-katalog-prevodniky-cz-120402.pdf>>[cit. 2013-2-20]
- [3] Dreschler, R.: *Měření elektrické energie*. SNTL 1966.
- [4] URL:<<http://www.e-voltcraft.cz/meric-spotreby-elektricke-energie-energy-logger-4000.k125335>>[cit. 2013-3-5]
- [5] URL: <<http://www.dum.prvni-bazar.cz/inz/meric-spotreby-dwi-27163-175538.html>>[cit. 2013-3-5]
- [6] URL: <<http://www.egubrno.cz/sekce/s005/pristroje/mds/mds-u.html>>[cit. 2013-3-6]
- [7] URL: <<http://www.elcom.cz/virtualni-instrumentace/produkty/bk-elcom/clanek/87-ena330.html>>[cit. 2013-3-10]
- [8] URL: <[http://www.medportal.cz/files/file/3\\_1\(1\).pdf](http://www.medportal.cz/files/file/3_1(1).pdf)>[cit. 2013-4-20]