

# Modelování měření elektrického výkonu v prostředí Excel

Modelling of electric output  
measurement in Excel

Gabriela Kociánová

Bakalářská práce  
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická



Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval/a samostatně a použitou literaturu jsem citoval/a.

Ve Zlíně, 07. 06. 2005

.....

jméno diplomanta

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá výzkumem měření dynamické obrobiteľnosti materiálů. Využívá se nepřímé metody měření elektrického výkonu. Požadavky na toto měření vyžadují specifický přístup z pohledu citlivosti a přesnosti. Bylo použito řešení realizující funkci součinu napětí a proudu pomocí moderních analogových obvodů v zapojení jako násobička. Prototyp zařízení byl sestaven, ověřován a kalibrován. Byl sestaven matematický model měření tohoto prototypu obvodu v programu Excel, v němž byla provedena simulace měření, při níž se hledal optimální stav parametrů zesílení dílčích zesilovačů z pohledu rozsahu a citlivosti pro případné sestavení nového prototypu obvodu.

## **Abstract**

This thesis deals with research on measurement of dynamic material shipping. It makes use of indirect method measuring electric output. This measurement places high demand on specific attitude towards sensitivity and accuracy. There was used solution making use of voltage and current product with help of modern analogue circuit connected as a multiplier. Prototype of such facility was constructed, tested and calibrated. Mathematic model of this prototype measurement was created in Excel in which simulation was done. Optimal state of amplifying parameters of given amplifiers was searched as to extent and sensitivity for possible new prototype circuit construction.

# OBSAH

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ÚVOD.....</b>                                                                    | <b>6</b>  |
| <b>1 MĚŘENÍ VÝKONU (VŠEOBECNĚ) .....</b>                                            | <b>8</b>  |
| 1.1 MĚŘENÍ VÝKONU STEJNOSMĚRNÉHO PROUDU .....                                       | 8         |
| 1.2 MĚŘENÍ VÝKONU STŘÍDAVÉHO PROUDU .....                                           | 8         |
| 1.2.1 Měření činného výkonu .....                                                   | 10        |
| 1.2.2 Měření jalového výkonu.....                                                   | 10        |
| 1.2.3 Měření zdánlivého výkonu .....                                                | 10        |
| <b>2 PŘÍSTROJE A OBVODY PRO MĚŘENÍ VÝKONU .....</b>                                 | <b>11</b> |
| 2.1 DYNAMICKÉ PŘEVODNÍKY .....                                                      | 11        |
| 2.2 STATICKÉ PŘEVODNÍKY .....                                                       | 13        |
| <b>3 PROTOTYP OBVODU PRO MĚŘENÍ MALÝCH VÝKONŮ .....</b>                             | <b>14</b> |
| 3.1 SNÍMAČ NAPĚTÍ.....                                                              | 15        |
| 3.2 SNÍMAČ PROUDU .....                                                             | 15        |
| 3.3 NÁSOBIČKA .....                                                                 | 16        |
| 3.4 PŘEVOD EFEKTIVNÍ HODNOTY VÝKONU.....                                            | 17        |
| <b>4 MĚŘENÍ PRO OVĚŘENÍ A KALIBRACI PROTOTYPU OBVODU .....</b>                      | <b>19</b> |
| 4.1 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ PROTOTYPU OBVODU .....                                       | 22        |
| <b>5 MODEL MĚŘENÍ V PROGRAMU EXCEL.....</b>                                         | <b>23</b> |
| 5.1 ROZDĚLENÍ PROTOTYPU OBVODU – BOD 1 .....                                        | 23        |
| 5.2 ROZDĚLENÍ PROTOTYPU OBVODU – BOD 2 .....                                        | 24        |
| 5.3 ROZDĚLENÍ PROTOTYPU OBVODU – BOD 3 .....                                        | 24        |
| 5.4 ROZDĚLENÍ PROTOTYPU OBVODU – BOD 4 .....                                        | 24        |
| 5.5 ROZDĚLENÍ PROTOTYPU OBVODU – BOD 5 .....                                        | 25        |
| 5.6 OPRAVA MODELU MĚŘENÍ V PROGRAMU EXCEL .....                                     | 25        |
| 5.6.1 Výsledky měření obvodu v jednotlivých bodech pro zátěž 15W .....              | 26        |
| <b>6 ÚPRAVA PROTOTYPU OBVODU (ZMĚNA PARAMETRŮ ZESÍLENÍ DÍLČÍCH ZESILOVAČŮ).....</b> | <b>27</b> |
| 6.1 POSUNUTÍ ROZSAHU MĚŘENÍ OD NAPĚTÍ 0V PŘI VÝKONU 0W .....                        | 27        |
| 6.2 ZMĚNA PARAMETRŮ DÍLČÍCH ZESILOVAČŮ .....                                        | 27        |
| 6.2.1 Zvětšení rozsahu a citlivosti měření .....                                    | 27        |
| 6.3 UKÁZKA MODELU MĚŘENÍ V PROGRAMU EXCEL .....                                     | 29        |
| 6.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MODELU MĚŘENÍ.....                                         | 31        |
| <b>7 NEJISTOTY MĚŘENÍ.....</b>                                                      | <b>32</b> |
| 7.1 STANDARDNÍ NEJISTOTA TYPU A .....                                               | 32        |
| 7.2 STANDARDNÍ NEJISTOTA TYPU B .....                                               | 33        |
| 7.3 KOMBINOVANÁ NEJISTOTA.....                                                      | 34        |
| 7.4 NEJISTOTA ROZŠÍŘENÁ.....                                                        | 34        |
| <b>ZÁVĚR.....</b>                                                                   | <b>35</b> |
| <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>                                                | <b>37</b> |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>                                                          | <b>38</b> |
| <b>SEZNAM TABULEK .....</b>                                                         | <b>39</b> |
| <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>                                                           | <b>40</b> |

## ÚVOD

V praxi existuje celá řada úkolů, která stojí před problémem jak měřit malé nebo velmi malé výkony. Tyto výkony nelze měřit běžnými dynamickými nebo statickými wattmetry, protože tyto přístroje mají rozsahy pouze pro velké hodnoty výkonů. Jedním z těchto úkolů, který se zabývá problémem měření malých výkonů, je určení vhodnosti obrábění daného obráběného materiálu (dynamická obrobitelnost materiálu).

Řezný odpor při opracování materiálů je možné určit na základě analytických závislostí, které vyžadují znalost geometrických a kinematických veličin řezného procesu. Tato metoda není však příliš přesná, proto byla zvolena metoda nepřímého měření řezných odporů pomocí změn příkonu pohonné jednotky, z kterého se dá určit i řezná síla.

Byl sestaven prototyp měřícího obvodu, na kterém bylo provedeno měření pro různé druhy a velikosti zátěže. Tyto naměřené hodnoty byly porovnány s hodnotami teoretickými. Dále byl vytvořen matematický model měření tohoto prototypu obvodu v programu Excel, v němž byla provedena simulace měření, při níž se hledal optimální stav parametrů zesílení dílčích zesilovačů z pohledu rozsahu a citlivosti.

V první kapitole se práce zabývá rozdělením výkonu na výkon stejnosměrného a střídavého proudu a dále na složku činnou, jalovou, zdánlivou a určením metody měření pro určitý druh výkonu.

Druhá kapitola je věnována přístrojům pro měření výkonů. I když tento úkol nelze měřit běžnými dynamickými a statickými wattmetry, jak již bylo řečeno dříve, bylo vhodné, zmínit se o nich pro ucelený obraz této problematiky.

Třetí kapitola popisuje schéma prototypu obvodu pro měření malých výkonů.

Čtvrtá kapitola je věnována vlastnímu měření. Jsou zde zaznamenány naměřené hodnoty a graf měření. V závěru této kapitoly je vyhodnocení měření daného prototypu obvodu.

Pátá kapitola se týká matematického modelu vytvořeného v programu Excel. Popisuje rozdělení obvodu pro daný model.

Šestá kapitola se zabývá změnami, které jsou díky zjištění z matematického modelu v programu Excel doporučovány pro případné sestavení nového prototypu obvodu.

V sedmé kapitole je zmínka o nejistotách měření a popisuje jednotlivé druhy nejistot. Následuje závěr a seznam použité literatury.

Celá simulace v programu Excel je dodána k této práci jako příloha na CD nosiči. V této práci je pouze ukázka provedení modelu měření v programu Excel a graf znázorňující teoretické hodnoty simulující naměřené hodnoty při různých změnách obvodu.

## 1 MĚŘENÍ VÝKONU (VŠEOBECNĚ)

Měření výkonu patří k nejčastějším měřením. Elektrický výkon představuje jeden ze základních údajů o provozovaném elektrickém spotřebiči. Měření výkonu dělíme podle měřené proudové soustavy na měření výkonů stejnosměrného proudu a na měření výkonu střídavého proudu. I když je zvykem říkat, že měříme výkon nějakého elektrického spotřebiče, jde zpravidla o měření jeho příkonu.

### 1.1 Měření výkonu stejnosměrného proudu

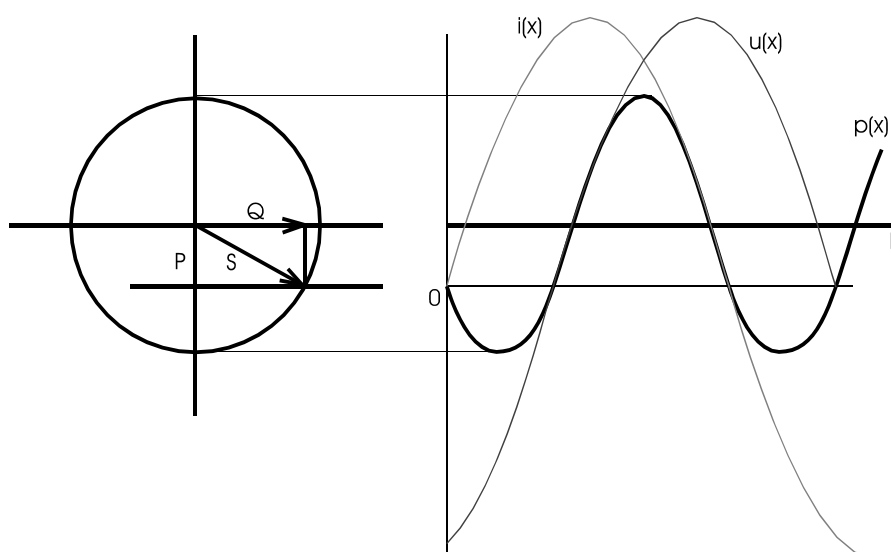
V obvodu napájeném ze stejnosměrného zdroje je výkon odebíraný zátěží:

$$P = U \cdot I \quad (\text{W}) \quad (1)$$

Měření výkonu stejnosměrného proudu se provádí buď přímou metodou elektrodynamickými wattmetry (né ferodynamickými) nebo nepřímou metodou voltmetrem a ampérmetrem (měříme napětí a proud zátěže). Z naměřených hodnot určíme pomocí matematických vztahů, které jsou vyjádřením fyzikálního zákona, výkon. Velmi často se dává přednost nepřímé metodě měření.

### 1.2 Měření výkonu střídavého proudu

Při měření střídavého proudu rozlišujeme měření činného (P), jalového (Q) nebo zdánlivého (S) výkonu.



Obr. 1. Složky výkonu střídavého proudu

Okamžitá hodnota výkonu střídavého proudu je:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \text{ (W)} \quad (2)$$

Střední hodnota výkonu střídavého proudu za periodu je:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \text{ (W)} \quad (3)$$

kde  $u(t)$  ..... okamžitá hodnota napětí (V)

$i(t)$  ..... okamžitá hodnota proudu (A)

Jsou-li průběhy proudu a napětí harmonické s fázovým posuvem  $\varphi$ , definujeme střední hodnotu okamžitého výkonu jako činný výkon:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (W)} \quad (4)$$

kde  $U$  ..... efektivní hodnota napětí (V)

$I$  ..... efektivní hodnota proudu (A)

$\cos \varphi$  ..... účinník (-)

Jalový výkon je pro harmonický signál definován:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (Var)} \quad (5)$$

Zdánlivý výkon je definován:

$$S = U \cdot I \text{ (VA)} \quad (6)$$

Pro harmonické průběhy proudu a napětí platí:

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

Jsou-li napětí a prou neharmonické, platí:

$$S^2 > P^2 + Q^2 \text{ (VA)} \quad (8)$$

Činný výkon neharmonických signálů je definován jako součet harmonických složek:

$$P = U_0 \cdot I_0 + \sum_{k=1}^{k=n} U_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k \text{ (W)} \quad (9)$$

Dále rozlišujeme měření výkonu podle počtu fází soustavy (jednofázová, třífázová soustava).

### 1.2.1 Měření činného výkonu

Nejčastěji potřebujeme měřit činný výkon. Ten se měří převážně přímou metodou elektronickými wattmetry nebo wattmetry s elektrodynamickým ústrojím. Existuje i nepřímé metody měření činného výkonu. Mezi nepřímé metody patří měření výkonu třemi voltmetry. Tato metoda je vhodná pro měření malých výkonů na malých impedancích. Zapojení je vhodné k měření výkonů automatickými měřicími systémy. Do série se zátěží je zapojen rezistor  $R_E$  známé hodnoty, řádově shodné se zátěží. Pak činný výkon zátěže lze určit z údajů voltmetrů a velikosti rezistoru. Další metodou nepřímého měření je měření výkonu třemi ampérmetry. Tato metoda je vhodná pro měření malých činných výkonů na velkých impedancích. Stejně jako předešlá metoda je při použití číslicových přístrojů snadno přizpůsobitelná pro automatizovaná měření.

Při měření v třífázové síti záleží na konfiguraci sítě (jestli je obecná nebo souměrná, jestli zátěž je obecná nebo souměrná a jestli má přístupový nulový vodič). Podle konfigurace sítě měříme činný výkon podle Blondelova teorému (v  $n$ -vodičové soustavě můžeme změřit činný výkon zátěže nejméně  $(n-1)$  wattmetry) nebo pomocí Aronova zapojení a pak pomocí výpočtů určíme celkový výkon třífázové sítě.

### 1.2.2 Měření jalového výkonu

U některých objektů potřebujeme znát kromě činného výkonu i výkon jalový. Ten měříme buď přímo pomocí varmetrů (wattmetr upravený pro přímé měření jalového výkonu – natočí se napětí na napěťové cívice o  $90^\circ$  proti napětí na zátěži), nebo ho můžeme určit po vypočtení účinníku  $\cos \varphi$  a stanovení fázového posunu  $\varphi$  z naměřených hodnot činného a zdánlivého výkonu.

Při měření v třífázové souměrné síti se souměrnou zátěží je možno použít modifikaci Aronova zapojení. U obecné zátěže se použijí tři wattmetry a pak součet údajů podělený  $\sqrt{3}$  dává celkový výkon.

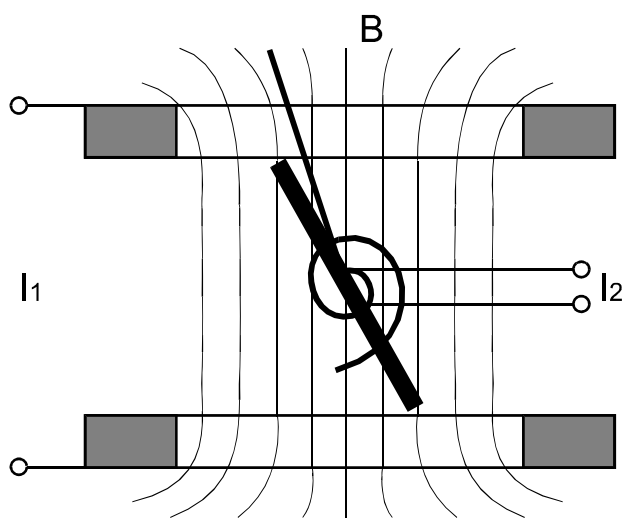
### 1.2.3 Měření zdánlivého výkonu

Zdánlivý výkon lze měřit nepřímou metodou pomocí střídavého ampérmetru a voltmetru.

## 2 PŘÍSTROJE A OBVODY PRO MĚŘENÍ VÝKONU

### 2.1 Dynamické převodníky

Tyto přístroje se používají k měření stejnosměrných i střídavých veličin. Využívají sil působících mezi pevnou a pohyblivou cívkou, které jsou protékány proudem. Jde-li o vzduchové cívky, nazývá se ústrojí elektrodynamické, prochází-li magnetický tok pevné cívky feromagnetickým obvodem, v jehož mezeře je umístěna otočná cívka, jde o ústrojí ferodynamické.



Obr. 2. Princip elektrodynamického měřícího ústrojí

V elektrodynamických wattmetrech je pevná cívka zapojena v sérii se zatěžovací impedancí  $Z$  a nazývá se pevná cívka. Otočná cívka je připojena paralelně k zátěži a nazývá se napěťová cívka. S napěťovou cívkou je sériově zapojen předřadný rezistor, který určuje napěťový rozsah wattmetru.

Pro moment platí:

$$M_p = \frac{1}{R_n} \cdot f(\beta) \cdot P \quad (10)$$

Pro výchylku wattmetru platí:

$$\alpha = \frac{1}{R_n} \cdot f(\beta) \cdot P = \frac{1}{k_w} \cdot P \quad (d) \quad (11)$$

kde  $k_w$  je konstanta wattmetru:

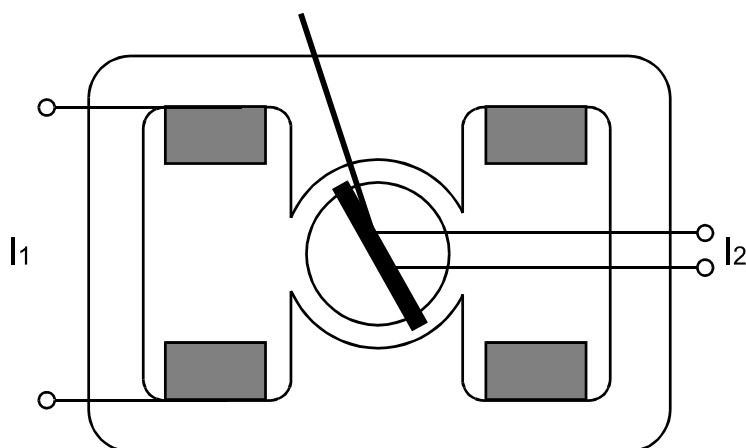
$$k_w = \frac{U_n I_n (\cos \varphi)_n}{\alpha_{\max}} \quad (\text{W/d}) \quad (12)$$

Výchylka při stejnosměrném napájení zátěže je úměrná  $\alpha \approx UI$  a závisí i na polaritě napětí a proudu. V případě střídavého napájení zátěže se výchylka ustálí na střední hodnotě součinu okamžitých hodnot napětí a proudu  $\alpha \approx \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt = U_{ef} I_{ef} \cos \varphi$ , což je činný

výkon

(i zde závisí polarita výchylky na směru proudu a napětí).

Elektrodynamické wattmetry se vyrábějí jako laboratorní přístroje (s třídou přesnosti až 0,2 nebo 0,1) a rozvaděčové přístroje (třída přesnosti 1,5 a 2,5)



Obr. 3. Princip ferodynamického měřícího ústrojí

Ferodynamické wattmetry mají menší přesnost a omezenější frekvenční rozsah (používají se pouze pro 50 Hz a 60 Hz), ale jsou méně citlivé na vnější magnetické pole. Jejich feromagnetický obvod totiž působí jako účinné magnetické stínění. Používají se také jako registrační wattmetry (v zapisovačích), protože mají velký pohybový moment.

**Tyto přístroje však nemůžeme použít pro naše měření, neboť mají rozsahy pro velké hodnoty výkonů.**

## 2.2 Statické převodníky

Statické převodníky jsou vlastně zapojení elektronických obvodů pro měření napětí, proudu a posuvu jejich fází a pro následný matematický výpočet výkonu. Měřicí algoritmus používá metody pulzně šířkové modulace. Předností statických převodníků je jednoduchost, nepoužívání rotačních a mechanických částí, provozní spolehlivost a vyšší třída přesnosti až 0,15.

### 3 PROTOTYP OBVODU PRO MĚŘENÍ MALÝCH VÝKONŮ

Byl sestaven prototyp obvodu a jeho schéma, který mi byl předán pro vytvoření matematického modelu obvodu a případných změn obvodu při řešení z pohledu rozsahu a citlivosti.

Prototyp obvodu pro nepřímé měření řezných odporů, který je zobrazen na obr. 4 vychází ze vztahu, že celkový elektrický příkon  $P_c$  se rovná součtu výkonu ztrát pohonné jednotky  $P_p$  a výkonu spotřebovaného na obrábění  $P_o$ :

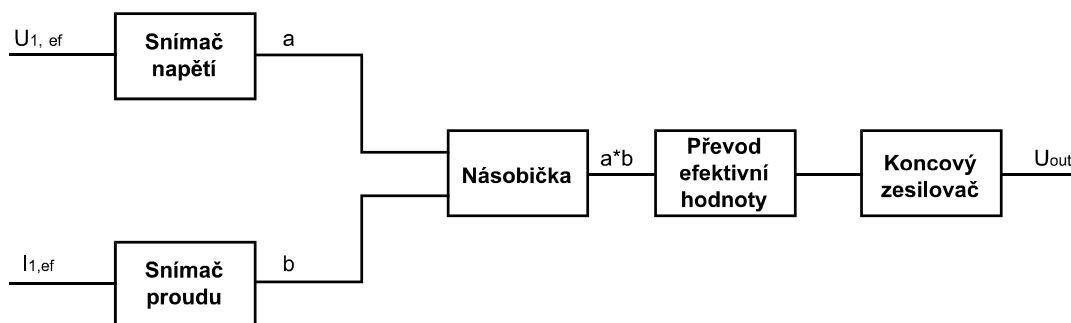
$$P_c = P_p + P_o = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (W)} \quad (13)$$

k konstanta přepočtu (-)

U efektivní hodnota napájecího napětí (V)

I efektivní hodnota proudu (A)

$\Phi$  fázový posun (rad)

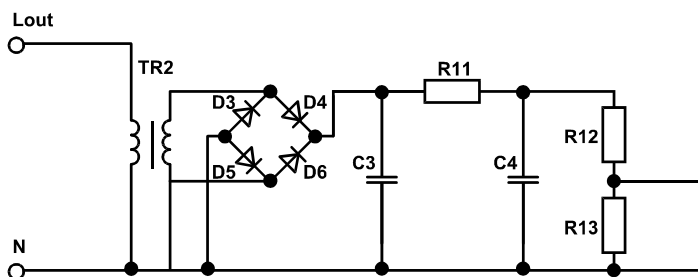


Obr. 4. Blokové schéma obvodu

Vstupní fázové napětí a proud prochází přes snímače napětí a proudu do násobičky, pak dále přes obvod pro převod hodnoty efektivního sinusového napětí na hodnotu stejnosměrné napětí a nakonec prochází přes koncový zesilovač, kde je signál upraven na výstupní unifikovaný signál  $U_{out}$  s rozsahem 0 až 10 Vss. Toto výstupní napětí je úměrné měřenému střídavému efektivnímu výkonu. Fázový posuv je zanedbán.

### 3.1 Snímač napětí

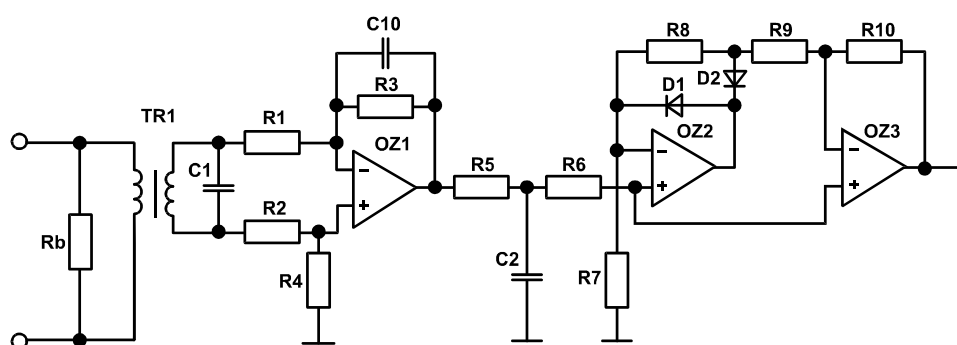
Vstupní napětí je odděleno a transformováno na transformátoru  $TR_2$ , dále je signál usměrněn můstkovým zapojením na napětí  $U_U$ , které je úměrné hodnotě efektivního napětí  $U_{ef}$ , které přes odporový dělič vstupuje do násobičky.



Obr. 5. Zapojení obvodu pro snímání napětí

### 3.2 Snímač proudu

Vstupní proud teče přes odporový bočník  $R_b$ . Bočník je přesný a stabilní odpor vřazený do obvodu, jeho hodnota musí být co nejmenší a musí mít nulovou indukčnost a kapacitu, aby jednak neovlivnil průtok proudu, jednak aby nezpůsobil zdánlivý odpor celého obvodu. Při průchodu měřeného proudu na něm vzniká úbytek napětí podle Ohmova zákona:  $U=IR$ . Toto střídavé sinusové napětí je odděleno a transformováno na transformátoru  $TR_1$ , dále tento signál prochází diferenciálním zesilovačem.



Obr. 6. Zapojení obvodu pro snímání proudu

Ze zesilovače vstupuje do dvoucestného usměrňovače, na jehož výstupu je napětí  $U_I$ , které je úměrné hodnotě efektivního proudu  $I_{ef}$ . Je to usměrňovač s jednotkovým přenosem

( $R_7=R_8=R_9=R$ ,  $R_{10}=2R$ ). Je-li vstupní napětí kladné,  $OZ_2$  je zapojen jako neinvertující zesilovač s jednotkovým přenosem a důsledkem činnosti  $OZ_3$  bude napětí stejné jako napětí přivedené na jeho neinvertující vstup. Je-li vstupní napětí záporné  $OZ_3$  pracuje jako neinvertující zesilovač u něhož na výstupu  $OZ_2$  platí:

$$\left(1 + \frac{R_8}{R_7}\right) U_{I3} = 2U_{I3} \text{ (V)} \quad (14)$$

Neinvertující vstupy  $OZ_2$  a  $OZ_3$  jsou na potenciálu  $U_{I3}$ , proto platí:

$$U_{I4} = -U_{I3} \text{ (V)} \quad (15)$$

Činnost usměrňovače pak je:

$$U_{I4} = |U_{I3}| \text{ (V)} \quad (16)$$

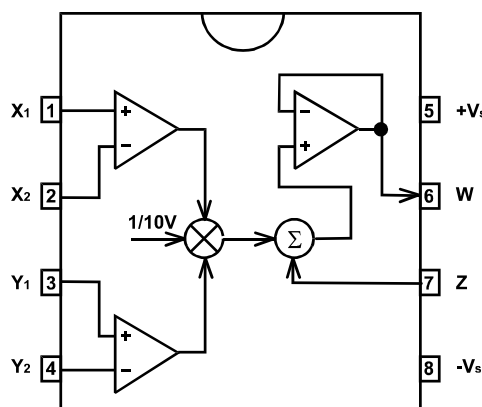
### 3.3 Násobička

Jedním z nejdůležitějších částí tohoto prototypu obvodu je analogová násobička.

Pro náš obvod byla vybrána čtyřkvadrantová násobička AD633JN od firmy ANALOG DEVICES. Je to násobička s velkou přesností a stabilitou pomocí laserového nastavování.

Výpočtová funkce této násobičky je:

$$W = \frac{(X_1 - X_2) \cdot (Y_1 - Y_2)}{10V} + Z \quad (17)$$



Obr. 7. Vnitřní schéma analogové násobičky AD633

### 3.4 Převod efektivní hodnoty výkonu

Pro převod používají analogové metody především zapojení s operačními zesilovači.

Pro střední hodnotu pro její obecný průběh platí:

$$Y_s = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt \quad (18)$$

Pro sinusový průběh platí:

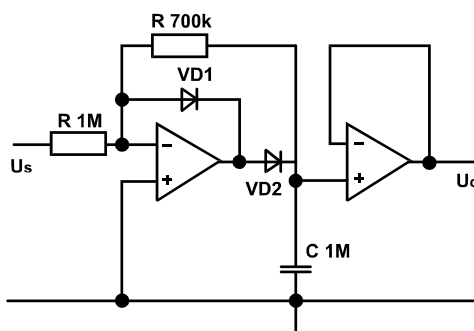
$$Y_s = \frac{2}{\pi} Y_{\max} \quad (19)$$

Pro efektivní hodnotu pro její obecný průběh platí:

$$Y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2 \cdot dt} \quad (20)$$

Pro sinusový průběh platí:

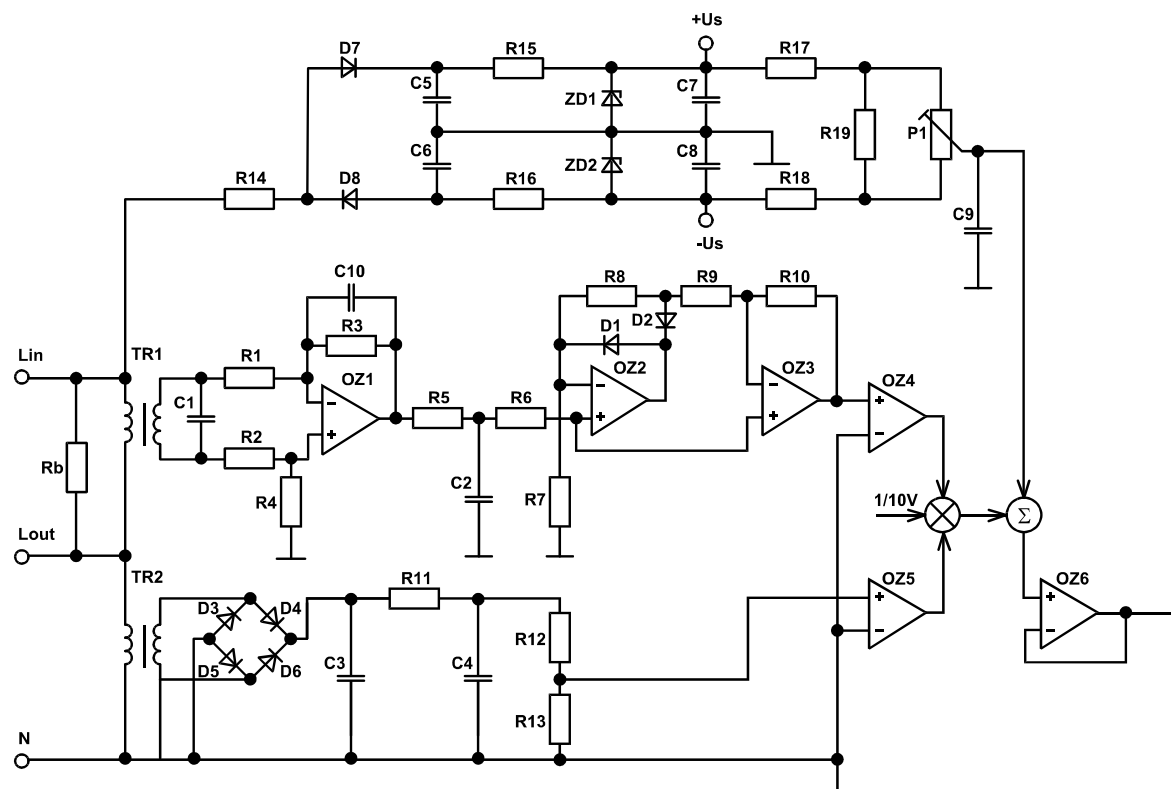
$$Y_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} Y_{\max} \quad (21)$$



Obr. 8. Zapojení pro měření efektivní hodnoty napětí

Koncový zesilovač používá běžné zapojení operačního zesilovače s invertujícím vstupem.

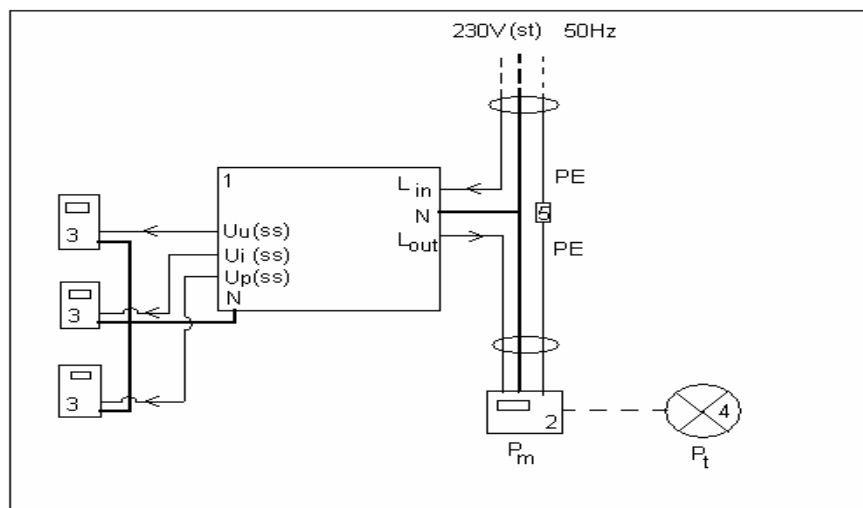
Fáze výstupního napětí je lineární oblasti zesílení otočena o  $180^\circ$  proti fázi vstupního napětí.



Obr. 9. Celkové schéma prototypu obvodu

## 4 MĚŘENÍ PRO OVĚŘENÍ A KALIBRACI PROTOTYPU OBVODU

Měření bylo prováděno podle blokového schéma na obr. 10 pro různé druhy a velikosti zátěže uvedené v Tab.II. Bylo provedeno 5 měření v laboratořích UTB ve Zlíně. Tyto výsledky měření jsem převzala pro další zpracování.



Obr. 10. Blokové schéma zapojení prototypu měření pro sérii měření

Tab. I: Legenda k Obr.10

| Blok číslo: | Popis:                                   |
|-------------|------------------------------------------|
| 1           | prototyp obvodu pro měření malých výkonů |
| 2           | Energy monitor EKM 265 (Nr.12 53 18)     |
| 3           | Sinometr M-830B (88CJ, E170709)          |
| 4           | výkonová zátěž                           |
| 5           | svorkovnice                              |

Tab. II: Velikost a druh použité zátěže  $P_M$

| Použitá značení: | Popis:                                                   |
|------------------|----------------------------------------------------------|
| $P_t$ (W)        | výkon zátěže daný výrobcem                               |
| $P_m$ (W)        | výkon zátěže naměřený                                    |
| $U_{p,ss}$ (V)   | ss napětí odpovídající ele. efektivnímu výkonu na zátěži |
| $U_{i,ss}$ (V)   | ss napětí odpovídající ele. efektivnímu proudu na zátěži |
| $U_{u,ss}$ (V)   | ss napětí odpovídající stř. napětí sítě                  |
| $L_{in}$         | fáze na vstupu                                           |
| $L_{out}$        | fáze na výstupu                                          |
| N                | pracovní nula                                            |
| PE               | zemnění                                                  |

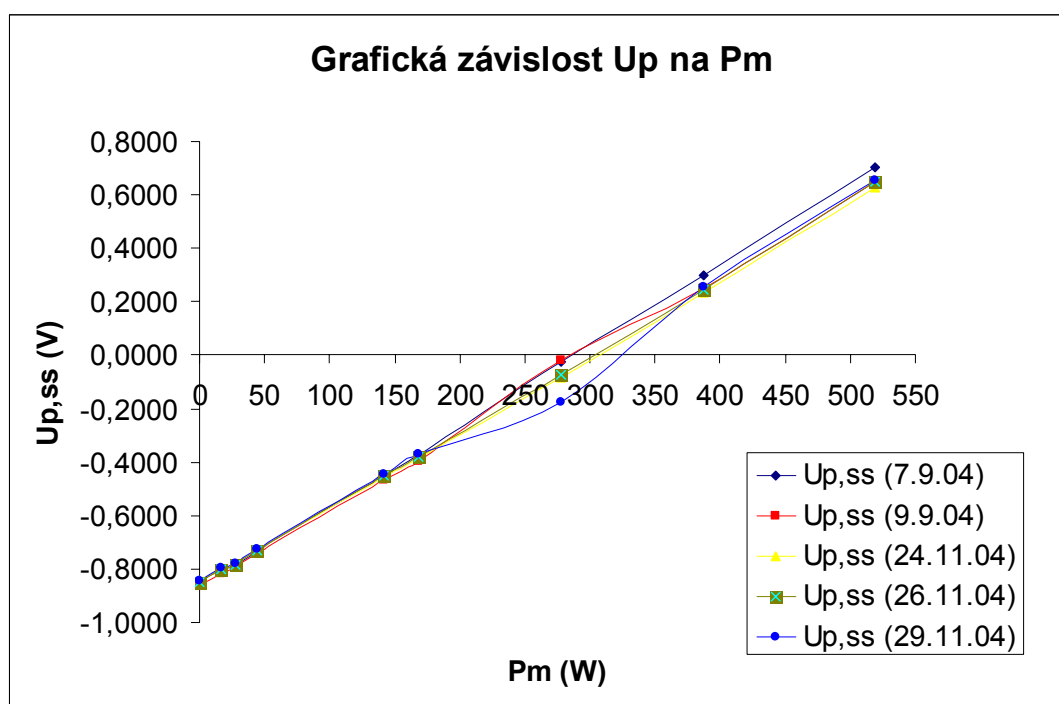
Tab. III: Průměrné naměřené hodnoty  $U_U$ ,  $U_I$  a  $U_P$  v závislosti na  $P_M$ 

| <b>Měření č. 1 – 07.09.2004</b>            |                                            |                                  |                                  |                                  |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Zátěž o výkonu <math>P_t</math> (W)</b> | <b>Zátěž o výkonu <math>P_m</math> (W)</b> | <b><math>U_{p,ss}</math> (V)</b> | <b><math>U_{i,ss}</math> (V)</b> | <b><math>U_{u,ss}</math> (V)</b> |
| 0                                          | 0                                          | -0,846                           | 0,046                            | 4,106                            |
| 15                                         | 16,8                                       | -0,8                             | 0,146                            | 4,086                            |
| 25                                         | 27,6                                       | -0,79                            | 0,196                            | 4,074                            |
| 40                                         | 44                                         | -0,73                            | 0,312                            | 4,08                             |
| 150                                        | 143                                        | -0,45                            | 1,01                             | 4,066                            |
| 175                                        | 170                                        | -0,374                           | 1,196                            | 4,052                            |
| 250                                        | 283,1                                      | -0,0223                          | 2,044                            | 4,07                             |
| 350                                        | 395,1                                      | 0,3008                           | 2,844                            | 4,056                            |
| 500                                        | 518                                        | 0,7014                           | 3,874                            | 4,048                            |
| <b>Měření č. 2 – 09.09.2004</b>            |                                            |                                  |                                  |                                  |
| <b>Zátěž o výkonu <math>P_t</math> (W)</b> | <b>Zátěž o výkonu <math>P_m</math> (W)</b> | <b><math>U_{p,ss}</math> (V)</b> | <b><math>U_{i,ss}</math> (V)</b> | <b><math>U_{u,ss}</math> (V)</b> |
| 0                                          | 0                                          | -0,8602                          | 0,04                             | 4,076                            |
| 15                                         | 16,5                                       | -0,8144                          | 0,14                             | 4,074                            |
| 25                                         | 27,3                                       | -0,7976                          | 0,19                             | 4,07                             |
| 40                                         | 43,4                                       | -0,7418                          | 0,306                            | 4,064                            |
| 150                                        | 141                                        | -0,464                           | 0,994                            | 4,044                            |
| 175                                        | 167,5                                      | -0,3944                          | 1,174                            | 4,038                            |
| 250                                        | 276                                        | -0,01944                         | 1,944                            | 4,028                            |
| 350                                        | 385                                        | 0,2528                           | 2,748                            | 4,024                            |
| 500                                        | 511                                        | 0,6504                           | 3,72                             | 4,048                            |
| <b>Měření č. 3 – 24.11.2004</b>            |                                            |                                  |                                  |                                  |
| <b>Zátěž o výkonu <math>P_t</math> (W)</b> | <b>Zátěž o výkonu <math>P_m</math> (W)</b> | <b><math>U_{p,ss}</math> (V)</b> | <b><math>U_{i,ss}</math> (V)</b> | <b><math>U_{u,ss}</math> (V)</b> |
| 0                                          | 0                                          | -0,8442                          | 0,05                             | 4,06                             |
| 15                                         | 16,8                                       | -0,8000                          | 0,146                            | 4,054                            |
| 25                                         | 27,1                                       | -0,7846                          | 0,2                              | 4,04                             |
| 40                                         | 43,4                                       | -0,7296                          | 0,326                            | 4,034                            |
| 150                                        | 140,5                                      | -0,4550                          | 1,02                             | 4,026                            |
| 175                                        | 167                                        | -0,3848                          | 1,208                            | 4,018                            |
| 250                                        | 274,5                                      | -0,0838                          | 1,972                            | 4,004                            |
| 350                                        | 383                                        | 0,2364                           | 2,764                            | 3,996                            |
| 500                                        | 519                                        | 0,6286                           | 3,768                            | 3,992                            |
| <b>Měření č. 4 – 26.11.2004</b>            |                                            |                                  |                                  |                                  |
| <b>Zátěž o výkonu <math>P_t</math> (W)</b> | <b>Zátěž o výkonu <math>P_m</math> (W)</b> | <b><math>U_{p,ss}</math> (V)</b> | <b><math>U_{i,ss}</math> (V)</b> | <b><math>U_{u,ss}</math> (V)</b> |
| 0                                          | 0                                          | -0,8498                          | 0,05                             | 4,056                            |
| 15                                         | 17                                         | -0,8018                          | 0,152                            | 4,038                            |
| 25                                         | 27,2                                       | -0,7858                          | 0,2                              | 4,034                            |
| 40                                         | 43,7                                       | -0,7288                          | 0,328                            | 4,026                            |
| 150                                        | 140,7                                      | -0,4524                          | 1,032                            | 4,006                            |
| 175                                        | 167,6                                      | -0,3784                          | 1,218                            | 4,002                            |
| 250                                        | 275,5                                      | -0,07222                         | 1,98                             | 3,99                             |
| 350                                        | 385                                        | 0,2466                           | 2,782                            | 3,984                            |
| 500                                        | 521                                        | 0,6482                           | 3,786                            | 3,982                            |
|                                            |                                            |                                  |                                  |                                  |

| Měření č. 5 – 29.11.2004 |                          |                |                |                |
|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Zátěž o výkonu $P_t$ (W) | Zátěž o výkonu $P_m$ (W) | $U_{p,ss}$ (V) | $U_{i,ss}$ (V) | $U_{u,ss}$ (V) |
| 0                        | 0                        | -0,8448        | 0,050          | 4,068          |
| 15                       | 17,1                     | -0,7948        | 0,152          | 4,062          |
| 25                       | 27,5                     | -0,7790        | 0,200          | 4,058          |
| 40                       | 44,1                     | -0,7242        | 0,326          | 4,052          |
| 150                      | 143,2                    | -0,4448        | 1,038          | 4,046          |
| 175                      | 169,9                    | -0,3710        | 1,228          | 4,040          |
| 250                      | 280                      | -0,17418       | 2,016          | 4,034          |
| 350                      | 389,2                    | 0,2540         | 2,810          | 4,014          |
| 500                      | 526                      | 0,6560         | 3,812          | 4,000          |

Tab. IV: Průměrné hodnoty  $U_P$  na zátěži  $P_M$ 

| průměr    | 7.9.2004       | 9.9.2004 | 24.11.2004 | 26.11.2004 | 29.11.2004 |
|-----------|----------------|----------|------------|------------|------------|
| $P_m$ (W) | $U_{p,ss}$ (V) |          |            |            |            |
| 0         | -0,8460        | -0,8602  | -0,8442    | -0,8498    | -0,8448    |
| 16,84     | -0,8000        | -0,8144  | -0,8000    | -0,8018    | -0,7948    |
| 27,34     | -0,7900        | -0,7976  | -0,7846    | -0,7858    | -0,7790    |
| 43,72     | -0,7300        | -0,7418  | -0,7296    | -0,7288    | -0,7242    |
| 141,68    | -0,4500        | -0,4640  | -0,4550    | -0,4524    | -0,4448    |
| 168,4     | -0,3740        | -0,3944  | -0,3848    | -0,3784    | -0,3710    |
| 277,82    | -0,0223        | -0,01944 | -0,0838    | -0,07222   | -0,17418   |
| 387,46    | 0,3008         | 0,2528   | 0,2364     | 0,2466     | 0,2540     |
| 519       | 0,7014         | 0,6504   | 0,6286     | 0,6482     | 0,6560     |

Obr. 11. Grafické znázornění závislosti  $U_P$  na  $P_M$

## 4.1 Vyhodnocení měření prototypu obvodu

Toto zapojení prototypu obvodu pro malé výkony poukazuje na:

### ***Pozitiva***

- lineární charakteristiku závislosti  $V/V$

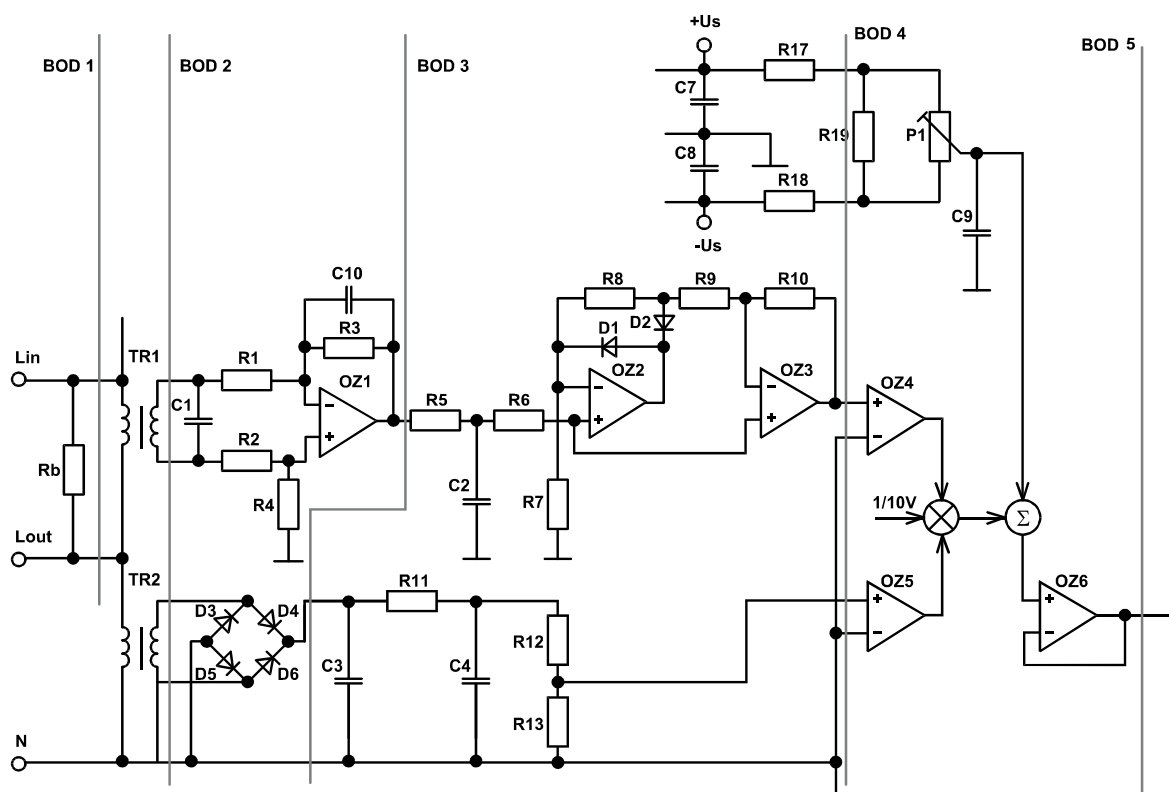
### ***Negativa***

- část zapojení pro měření napětí používá můstkové zapojení usměrnění, což nemusí dávat  $U_{ef}$ .
- rezistor  $R_{I4}$  silně hřeje
- výstup je v malém rozsahu (-0,8 do 0,8 V), není využito rozsahu +/- 10 V
- při napětí 0 V (oblast 250-300 W) je velký rozptyl výsledků měření

## 5 MODEL MĚŘENÍ V PROGRAMU EXCEL

Prototyp obvodu pro měření malých výkonů při měření v laboratoři vykázal určitá negativa, které budou vyžadovat změny provedení obvodu při dalším měření. Pro změnu obvodu bude využit návrh nového modelu měření, který byl vytvořen v programu Excel.

Již změřenou laboratorní sestavu jsme si rozdělili na několik částí a pomocí matematických vztahů jsme postupně vypočítali teoretické hodnoty, které by se měly blížit hodnotám později naměřeným, v určitých bodech sestavy.



Obr. 12. Rozdělení prototypu obvodu pro matematický model

### 5.1 Rozdělení prototypu obvodu – bod 1

První výpočet byl proveden již před transformátorem  $TR_1$ , kdy vstupní proud  $I$  na odporovém bočníku  $R_b$  vyvolá úbytek napětí.

$$U_{I1} = I \cdot R_b \text{ (V)} \quad (22)$$

V části obvodu pro měření napětí  $U_U$  se zatím nic neděje.

$$U_{U1} = U_U \text{ (V)} \quad (23)$$

## 5.2 Rozdělení prototypu obvodu – bod 2

Další výpočet byl proveden za transformátory  $TR_I$  ( u části měření  $U_I$ ) a  $TR_2$  (u části měření  $U_U$ ).

$$U_{I2} = U_{I1} \cdot k_{TR1} \text{ (V)} \quad (24)$$

$$U_{U2} = U_{U1} \cdot k_{TR2} \text{ (V)} \quad (25)$$

kde  $k_{TR1}$  a  $k_{TR2}$  jsou přepočtové konstanty transformátorů

## 5.3 Rozdělení prototypu obvodu – bod 3

Další bod výpočtu byl dán za diferenciální zesilovač v části pro měření  $U_I$  a v části pro měření  $U_U$  je za můstkovým usměrňovačem.

$$U_{I3} = U_{I2} \cdot \frac{R_A}{R_B} \text{ (V)} \quad (26)$$

kde  $R_A=R_3=R_4$

$R_B=R_1=R_2$

$$U_{U3} = k_t \cdot U_{U2} \text{ (V)} \quad (27)$$

kde  $k_t$  ..... činitel tvaru pro převod efektivní hodnoty na střední hodnotu sinusového napětí (stejnoseměrnou složku), pro který platí:

$$k_t = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} \text{ (-)} \quad (28)$$

pak převod z efektivní hodnoty střídavého napětí na stejnosměrné napětí je:

$$U_{ss} = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ef} \text{ (V)} \quad (29)$$

## 5.4 Rozdělení prototypu obvodu – bod 4

Bod 4 se nachází těsně před vstupem hodnot  $U_I$  a  $U_U$  do násobičky, to znamená: v části pro měření  $U_I$  je za dvoucestným usměrňovačem a v části pro měření  $U_U$  je za odporovým děličem.

$$U_{I4} = \left| U_{I3} - \frac{R_F}{R_E} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{R_C}{R_D} \right) \cdot U_{I3} - U_{I3} \right] \right| \cdot k_t \text{ (V)} \quad (30)$$

kde  $R_C=R_D=R_E=R_7=R_8=R_9$

$$R_F = R_{I0}$$

$k_t$  ..... činitel tvaru pro převod efektivní hodnoty na střední hodnotu sinusového napětí (stejnoseměrnou složku), pro který platí:

$$k_t = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} \quad (-) \quad (31)$$

$$U_{U4} = U_{U3} \cdot \frac{R_{I3}}{R_{I1} + R_{I2} + R_{I3}} \quad (V) \quad (32)$$

## 5.5 Rozdělení prototypu obvodu – bod 5

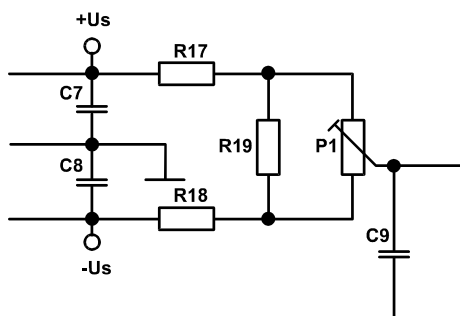
Poslední výpočet je proveden na výstupu z násobičky, kde je výstupem napětí  $U_P$

$$U_P = \frac{U_{U4} \cdot U_{I4}}{k} + Z \quad (V) \quad (33)$$

kde  $k = 10V$

$Z$  je napětí odporového děliče, pro které platí :

$$Z = I \cdot \left( \frac{R_{I9} \cdot P_1}{R_{I9} + P_1} + R_{I7} + R_{I8} \right) \quad (V) \quad (34)$$



Obr. 13. Odporový dělič

## 5.6 Oprava modelu měření v programu Excel

Po vytvoření matematického modelu bylo zjištěno, že naměřené hodnoty, které byly naměřeny v laboratořích UTB Zlín a mně byly dodány, se liší od hodnot vypočítaných z matematického modelu obvodu. Proto bylo provedeno měření v jednotlivých bodech obvodu, aby se vyhledala případná chyba. Toto měření bylo provedeno pouze se zátěží 15W. Ostatní zátěže nebyly k dispozici. Toto měření bylo opět provedeno v laboratořích UTB Zlín.

### 5.6.1 Výsledky měření obvodu v jednotlivých bodech pro zátěž 15W

Tab. V: Měření 23.5. 2005 se zátěží 15W

| $U_{I1} (\approx V)$ | $U_{I2}$ před $OZ_1 (\approx V)$ | $U_{I3} (\approx V)$ | $U_{I4} (ss, V)$ | $U_P (ss, V)$ |
|----------------------|----------------------------------|----------------------|------------------|---------------|
| 0,043                | 0,035                            | 0,134                | 0,114            | -0,96         |

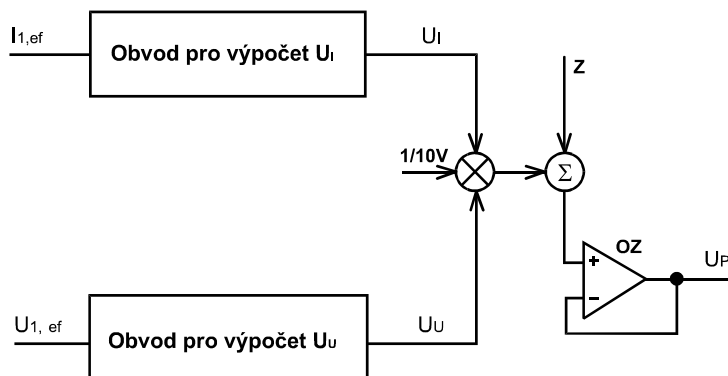
Hlavním rozdílem mezi vypočítanou hodnotou z matematického modelu a naměřenou hodnotou je převod  $U_{I1}$  na  $U_{I2}$ . Převodní konstanta transformátoru dána výrobcem je  $230/12 = 19,167$  V. Při měření se převodní konstanta  $k = 0,82$ , což je způsobeno tím, že transformátor je použit mimo jmenovitý režim. V obvodu je pouze z důvodu galvanického oddělení a převodu napětí pro malé proudy.

#### 1. simulace měření

Z naměřených hodnot jsme si vypočítali převodní konstantu pro každé provedené měření. Zjistili jsme, že převodní konstanta se pohybuje v rozmezí 0,77-0,83 (u 15W v předešlých měřeních 0,93-0,99). Z těchto hodnot jsme si udělali aritmetický průměr a ten jsme dosadili do matematického modelu. (viz přílohy)

#### 2. simulace měření

Neboť jsme neměli pro ostatní zátěže změřené hodnoty v jednotlivých bodech měření (byly změřeny pouze pro 15 W), nahradili jsme jednotlivé části obvodu bloky, kde jsme znali vstup a výstup a pomocí naměřených hodnot jsme vypočítali pouze převodní konstantu celého daného bloku.



Obr. 14. Schéma pro model měření v programu Excel pro ostatní výkony zátěže

## 6 ÚPRAVA PROTOTYPU OBVODU (ZMĚNA PARAMETRŮ ZESÍLENÍ DÍLČÍCH ZESILOVAČŮ)

### 6.1 Posunutí rozsahu měření od napětí 0V při výkonu 0W

Jak již bylo zmíněno dříve, jedním z negativ laboratorní sestavy byl výstup v malém rozsahu (od -0,8V do 0,8V), byl požadován rozsah unifikovaného signálu 0-10V.

Nejdříve bylo nutno sestavit obvod tak, aby výstup z násobičky  $U_P$  dosahoval při 0W hodnotu 0V. Toto bylo provedeno změnou hodnoty napětí sestavy s odporovým děličem  $Z$  z hodnoty  $Z \cong -0,87 \text{ V}$  (tato hodnota byla zjištěna z naměřených hodnot) na hodnotu  $Z \cong -0,0192 \text{ V}$ .

Pro lepší nastavování  $Z$  jsme změnili hodnoty rezistorů v odporovém děliči na  $R_{19}=2,2\text{k}\Omega$  a  $P1=1\text{k}\Omega$ . Díky této změně můžeme při napájecím napětí 12V měnit napětí na výstupu děliče pomocí trimru  $P1$  od -0,4V do + 0,4V.

### 6.2 Změna parametrů dílčích zesilovačů

Nyní se snažíme sestavit prototyp obvodu tak, aby bylo dosaženo požadovaného rozsahu a citlivosti. Nejdříve se budeme snažit změnit napětí  $U_I$  vstupující do násobičky, neboť změna závisí převážně na změně vstupního proudu. (vstupní napětí je konstantní).

#### 6.2.1 Zvětšení rozsahu a citlivosti měření

Dle výpočtů jsme zjistili, že bychom museli napětí  $U_I$  vstupující do násobičky zvětšit 6,5krát, abychom při 500W dosáhli  $U_P = 10\text{V}$ . Toto zvětšení však nelze provést, neboť při vstupním proudu  $I = 2,17\text{A}$  bychom dostali na výstupu zesilovače napětí  $U_I = 24,5\text{V}$  což je víc než napájecí napětí 12V, došlo by k nasycení zesilovače. Aby výstupní napětí zesilovače nepřesáhlo 12V (10V), můžeme napětí  $U_I$  zvětšit pouze 2,7krát.

$$U_P = \frac{U_U \cdot U_I}{10} + Z$$

$$10 = \frac{4 \cdot U_I}{10} - 0,0192$$

$$U_I \cong 24,648 \Rightarrow U_{I, \text{nové}} \cong 6,5\text{krát}$$

při 500W je  $U_I = 3,792V \rightarrow U_{I\text{nové}} = 24,648V \rightarrow$  nelze

$$U_I = 3,792V \rightarrow U_{I\text{nové}} = 3,792 \cdot 2,7 = 10,24V \rightarrow \text{lze}$$

Abychom zvětšili  $U_I$  2,7krát musíme změnit hodnoty rezistorů na diferenciálním zesilovači.

Můj návrh může např. vypadat takto:

$$R_A = R_3 = R_4 = 33 \text{ k}\Omega \rightarrow R_A = R_3 = R_4 = 39 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = R_I = R_2 = 10 \text{ k}\Omega \rightarrow R_B = R_I = R_2 = 4,3 \text{ k}\Omega$$

Touto změnou se zesílení zesilovače  $OZ_1$  změní z 3,3 na 8,3.

Abychom dosáhli  $U_P = 10V$ , bude nutné změnit i velikost napětí  $U_U$  vstupujícího do násobičky.

### **1. Změnu $U_U$ provedeme změnou rezistorů v odporovém děliči $R_{12}$ , $R_{13}$ .**

Dle výpočtů jsme zjistili, abychom dosáhli  $U_P = 10V$  při výkonu 500W, je nutné změnit  $U_U$  vstupující do násobičky 2,4krát.

$$R = \frac{R_{13}}{R_{11} + R_{12} + R_{13}} = \frac{4700}{1200 + 6800 + 4700}$$

$$R = 0,37 \Rightarrow 2,4 \cdot 0,37 = 0,88\Omega$$

Abychom změnili odpor děliče 2,4krát je nutné vyměnit rezistory:

$$R_{12} = 6,8 \text{ k}\Omega \rightarrow R_{12\text{nový}} = 1,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_{13} = 4,7 \text{ k}\Omega \rightarrow R_{13\text{nový}} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Pak } R = 0,88\Omega \rightarrow U_U = 9,5V$$

### **2. Změnu $U_U$ provedeme změnou usměrnění pomocí operačního zesilovače místo můstkového zapojení.**

Operační zesilovač musí mít zesílení  $A = 2,4$ .

Po dosazení do vztahu pro výpočet  $U_P$ :

$$U_P = \frac{U_U \cdot U_I}{10} + Z$$

$$U_P = \frac{9,5 \cdot 10,24}{10} - 0,0192$$

$$U_P = 9,7V$$

### 6.3 Ukázka modelu měření v programu Excel

Tab. VI: Ukázka 1. simulace měření při nezměněných parametrech obvodu

| Výpočet při nezměněných parametrech obvodu |  |                      |  |                        |  |                   |  |                   |  |
|--------------------------------------------|--|----------------------|--|------------------------|--|-------------------|--|-------------------|--|
| konstanty                                  |  |                      |  |                        |  |                   |  |                   |  |
| odpor Rb (Ω)      0,7                      |  | R1=R2 (Ω)      10000 |  | R17=R18 (Ω)      10000 |  | R12 (Ω)      6800 |  | k (V)      10     |  |
| Ktr1      0,82                             |  | R3=R4 (Ω)      33000 |  | R19 (Ω)      22000     |  | R13 (Ω)      4700 |  | kt (V)      0,900 |  |
| Ktr2=230/12      0,052                     |  | (Ω)      10000       |  | P1 (Ω)      10000      |  | R11 (Ω)      1200 |  |                   |  |
|                                            |  | R10 (Ω)      20000   |  |                        |  |                   |  |                   |  |

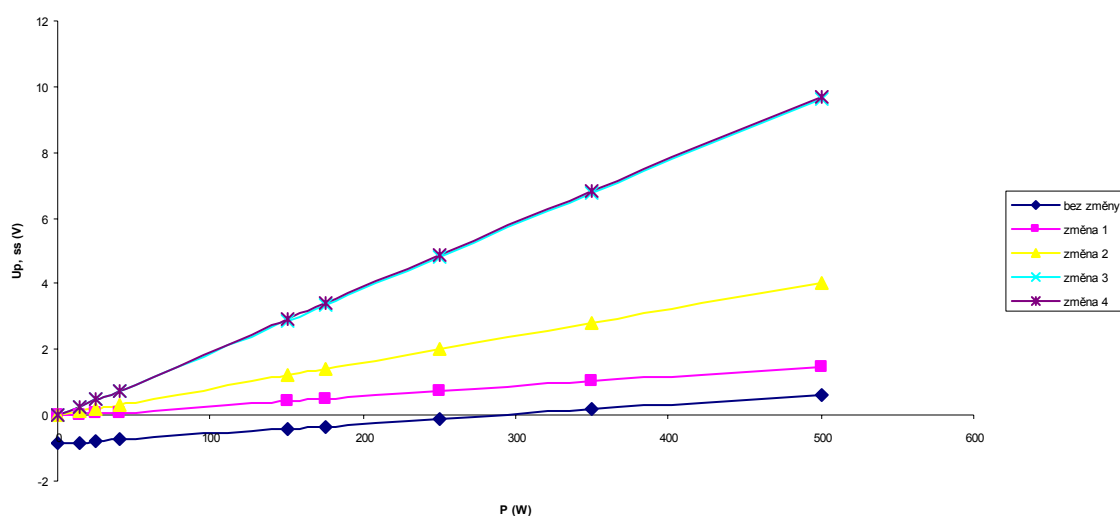
| výkon zátěže |                                | bod 1 | bod 2  | bod 3  | bod 4 | bod 5  |
|--------------|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|
|              | napětí děliče Z při Us=12V (V) |       |        |        | -0,87 | Up (V) |
|              | vstup. U (V)<br>230,000        |       | 11,960 | 10,768 | 3,985 |        |
| 0 W          | vstup. I (A)<br>0,000          | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | -0,870 |
| 15 W         | vstup. I (A)<br>0,065          | 0,046 | 0,037  | 0,123  | 0,111 | -0,826 |
| 25 W         | vstup. I (A)<br>0,109          | 0,076 | 0,063  | 0,206  | 0,186 | -0,796 |
| 40 W         | vstup. I (A)<br>0,174          | 0,122 | 0,100  | 0,330  | 0,297 | -0,752 |
| 150 W        | vstup. I (A)<br>0,652          | 0,456 | 0,374  | 1,235  | 1,112 | -0,427 |
| 175 W        | vstup. I (A)<br>0,760          | 0,532 | 0,436  | 1,440  | 1,296 | -0,354 |
| 250 W        | vstup. I (A)<br>1,087          | 0,761 | 0,624  | 2,059  | 1,854 | -0,131 |
| 350 W        | vstup. I (A)<br>1,522          | 1,065 | 0,874  | 2,883  | 2,596 | 0,164  |
| 500 W        | vstup. I (A)<br>2,170          | 1,519 | 1,246  | 4,110  | 3,701 | 0,605  |

Toto je pouze ukázka modelu měření v programu Excel při nezměněných parametrech obvodu, další modely měření pro postupné změny obvodu se nachází na CD, které je přiloženo k této diplomové práci.

Tab. VII: Ukázka 2. simulace měření v programu Excel pro výkon zátěže 25 W při blokovém schématu obvodu

| Výkon zátěže P = 25 W                             |                                                      |                         |                                          |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| Výpočet při nezměněném obvodu                     |                                                      |                         |                                          |
| vstupní proud (A)                                 | převodová konst. K1 obvodu pro měření U <sub>I</sub> | U <sub>I</sub> , ss (V) | U <sub>P</sub> , ss (V)<br><u>-0,795</u> |
| 0,109                                             | 1,670                                                | 0,182                   |                                          |
| vstupní napětí (V)                                | převodová konst. K2 obvodu pro měření U <sub>U</sub> | U <sub>U</sub> , ss (V) |                                          |
| 230                                               | 0,018                                                | 4,140                   |                                          |
| napětí děliče Z při U <sub>s</sub> =12V (V)       |                                                      | -0,870                  |                                          |
| Výpočet při změně napětí děliče Z                 |                                                      |                         |                                          |
| vstupní proud (A)                                 | převodová konst. K1 obvodu pro měření U <sub>I</sub> | U <sub>I</sub> , ss (V) | U <sub>P</sub> , ss (V)<br><u>0,056</u>  |
| 0,109                                             | 1,670                                                | 0,182                   |                                          |
| vstupní napětí (V)                                | převodová konst. K2 obvodu pro měření U <sub>U</sub> | U <sub>U</sub> , ss (V) |                                          |
| 230                                               | 0,018                                                | 4,140                   |                                          |
| napětí děliče Z při U <sub>s</sub> =12V (V)       |                                                      | -0,019                  |                                          |
| Výpočet při změně napětí děliče Z a změně K1      |                                                      |                         |                                          |
| vstupní proud (A)                                 | převodová konst. K1 obvodu pro měření U <sub>I</sub> | U <sub>I</sub> , ss (V) | U <sub>P</sub> , ss (V)<br><u>0,184</u>  |
| 0,109                                             | 4,509                                                | 0,491                   |                                          |
| vstupní napětí (V)                                | převodová konst. K2 obvodu pro měření U <sub>U</sub> | U <sub>U</sub> , ss (V) |                                          |
| 230                                               | 0,018                                                | 4,140                   |                                          |
| napětí děliče Z při U <sub>s</sub> =12V (V)       |                                                      | -0,019                  |                                          |
| Výpočet při změně napětí děliče Z a změně K1 a K2 |                                                      |                         |                                          |
| vstupní proud (A)                                 | převodová konst. K1 obvodu pro měření U <sub>I</sub> | U <sub>I</sub> , ss (V) | U <sub>P</sub> , ss (V)<br><u>0,467</u>  |
| 0,109                                             | 4,509                                                | 0,491                   |                                          |
| vstupní napětí (V)                                | převodová konst. K2 obvodu pro měření U <sub>U</sub> | U <sub>U</sub> , ss (V) |                                          |
| 230                                               | 0,043                                                | 9,890                   |                                          |
| napětí děliče Z při U <sub>s</sub> =12V (V)       |                                                      | -0,019                  |                                          |
| Výpočet při změně napětí děliče Z a změně K1 a K2 |                                                      |                         |                                          |
| vstupní proud (A)                                 | převodová konst. K1 obvodu pro měření U <sub>I</sub> | U <sub>I</sub> , ss (V) | U <sub>P</sub> , ss (V)<br><u>0,467</u>  |
| 0,109                                             | 4,509                                                | 0,491                   |                                          |
| vstupní napětí (V)                                | převodová konst. K2 obvodu pro měření U <sub>U</sub> | U <sub>U</sub> , ss (V) |                                          |
| 230                                               | 0,043                                                | 9,890                   |                                          |
| napětí děliče Z při U <sub>s</sub> =12V (V)       |                                                      | -0,019                  |                                          |

Toto je pouze ukázka modelu měření v programu Excel pro zátěž o výkonu 25W, modely měření pro ostatní zátěže se nachází na CD, které je přiloženo k této diplomové práci.



Obr. 15: Graf znázorňující 1. simulaci měření při různých změnách obvodu

## 6.4 Vyhodnocení výsledků modelu měření

Oba tyto modely měření poukazují na změny, které by bylo vhodné provést při sestavování nového prototypu:

- změna rezistoru  $R_{I9}$  a trimru  $P_I$  na výše vypočítané hodnoty ( $R_{I9} = 2,2 \text{ k}\Omega$ ,  $P_I = 1 \text{ k}\Omega$ )
- změna rezistoru  $R_I$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ( $R_3 = R_4 = 39 \text{ k}\Omega$ ,  $R_I = R_2 = 4,3 \text{ k}\Omega$ )
- změna rezistoru v odporovém děliči  $R_{I2}$ ,  $R_{I3}$  ( $R_{I2} = 1,5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{I3} = 20 \text{ k}\Omega$ )

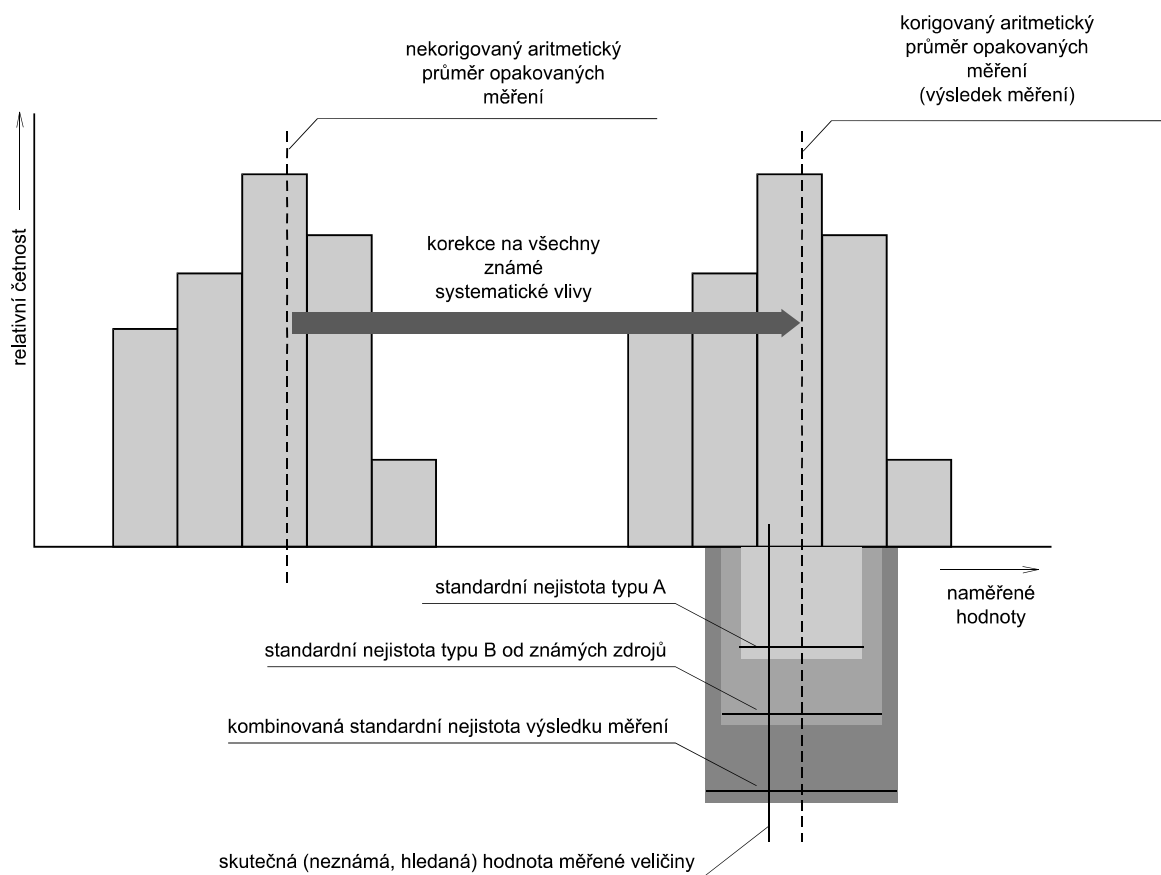
## 7 NEJISTOTY MĚŘENÍ

U měřicích přístrojů jsou udávány výrobci přesnosti měření, rozlišení, citlivosti, apod. Ne vždy jsou tyto pojmy vykládány jednoznačně, hlavně u měřicích přístrojů s digitálním vyhodnocením naměřených hodnot. K tomu přistupují ještě, v současné době používané, nejistoty měření, pracovní chyby, apod. Pojem nejistoty měření byl zaveden v letech 1981 - 85 na zasedání Mezinárodního výboru pro míry a váhy. V roce 1993 vydala Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) první příručku pro určování nejistot měření. Kromě teoretického obsahu a praktických ukázek výpočtu nejistot měření příručka nedoporučuje používat pojmy jako jsou chyba měření nebo správná hodnota měřené veličiny. V normě je prezentována měřená hodnota jako střední prvek souboru, který představuje měřenou veličinu a nejistotu měření jako parametr přiřazený k výsledku měření. Nejistota měření charakterizuje rozptýl hodnot, které lze pokládat za hodnotu veličiny, která je objektem měření. Parametrem (nejistotou měření) může být směrodatná odchylka nebo její násobek. Obecně představuje nejistota měření více složek. Některé složky mohou být získány ze statistického rozložení výsledku měření, jiné z předpokládaného pravděpodobnostního rozložení. Nejistoty měření vykazují všechny součásti měřicího řetězce: měřicí přístroje, měřicí metody, etalony, měřicí obvody, apod. Základní kvantitativní charakteristikou nejistoty měření je standardní nejistota.

Je označena symbolem  $u$  (anglicky uncertainty). Podle způsobu vyhodnocení lze rozdělit standardní nejistotu na nejistotu typu A a nejistotu typu B. Dále lze rozdělit standardní nejistoty na nejistoty přímých a nepřímých měřicích metod.

### 7.1 Standardní nejistota typu A

Standardní nejistota typu A je označována symbolem  $u_A$ . Je stanovena na základě statistické analýzy více opakovaných měření, podobně jako u náhodných chyb. Příčiny těchto nejistot jsou považovány za neznámé a při daném souboru měření s počtem měření jejich hodnoty klesají. Při vyhodnocení nejistoty typu A je vhodné mít k dispozici větší soubor naměřených hodnot. Obsahuje-li soubor měření např. pouze 10 hodnot a méně je standardní nejistota stanovena metodou A málo spolehlivá.



Obr. 16. Graf znázornění vztahu mezi výsledky opak. měření a nejistot měření

## 7.2 Standardní nejistota typu B

Standardní nejistota typu B s označením  $u_B$  je získána jiným způsobem než ze statistického vyhodnocení souboru měření. Vyhodnocuje se pro jednotlivé zdroje nejistot a je obdobou systematických chyb. Systematickou chybu je možno vyjádřit jako složku chyby měření, která zůstává při opakovaných měřeních stálá nebo se mění předvídatelným způsobem. Mezi systematické chyby lze zařadit chybu metody, chybu měřicího přístroje, vliv oteplení, chybu nuly, zesílení apod. Standardní nejistota typu B se určuje na základě údajů výrobců používané měřicí techniky, metodiky měření, zkušeností z předchozích měření, údajů získaných z kalibračních protokolů, nejistot referenčních údajů apod. Pokud je výsledné měření ovlivňováno více prvky ovlivňujícími celkový výsledek měření je standardní nejistota typu B určena výrazem zahrnujícím nejistoty jednotlivých prvků měřicího řetězce. Používáme-li např. měřicí přístroje v pracovních podmínkách je nejistota typu B určena z parametrů udaných výrobcem měřicího přístroje. V tomto případě je to nepřesnost měřicího přístroje (třída přesnosti u analogového vyhodnocení nebo přesnost

přístroje u vyhodnocení digitálního). Na základě získaných informací o přesnosti měřicího přístroje lze určit interval, ve kterém leží s velkou pravděpodobností měřená hodnota.

### 7.3 Kombinovaná nejistota

V mnoha praktických měření nelze stanovit výsledek měření na základě nejistoty typu A nebo nejistoty typu B. Sloučením obou výše uvedených nejistot dostaneme nejistotu kombinovanou která je označena symbolem  $u_C$

### 7.4 Nejistota rozšířená

V praktických výpočtech se setkáváme také s rozšířenou nejistotou, která je označována symbolem  $U(x)$ . Je definována jako součin kombinované standardní nejistoty a koeficientu rozšíření. U rozšířené nejistoty je nutné uvádět koeficient rozšíření, např.  $k = 2$  nebo  $k = 3$  ( koeficient je uváděn také např. v kalibračních listech). Pro normální (Gaussovo) rozložení odpovídá koeficientu  $k = 2$  pravděpodobnosti , že leží daná hodnota v předpokládaném intervalu 95%, pro  $k = 3$  je tento interval 99,7%.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo sestavení matematického modelu v programu Excel a pomocí něj najít optimální stav parametrů zesílení dílčích zesilovačů z pohledu rozsahu a citlivosti.

Při sestavování modelu byl použit prototyp měřicího obvodu s operačními zesilovači a integrovanou násobičkou signálů, na kterém bylo provedeno měření.

Výsledky měření poukazují na vhodnost použití navrženého obvodu pro měření výkonu pro výzkum odporů při opracování materiálů. Sestavený prototyp obvodu vykazuje pozitiva jako je linearita a vyhovující citlivost, ale i určitá negativa, které jsme se snažili v modelu měření odstranit.

### 1. varianta změny zapojení

Odstranění negativ:

*výstup byl v malém rozsahu (-0,8 do 0,8 V), nebylo využito rozsahu 0-10 V*

1. změna napětí  $Z = -0,0192\text{V}$  (původní  $-0,087\text{V}$ ) - napětí vstupující do násobičky

- změna rezistoru (pouze pro zlepšení nastavování)

$$R_{I9} = 2,2 \text{ k}\Omega \text{ (původní } R_{I9} = 22 \text{ k}\Omega)$$

$$P_I = 1 \text{ k}\Omega \text{ (původní } P_I = 10 \text{ k}\Omega)$$

2. změna zesílení zesilovače  $OZ_I$  na 8,3 (původní zesílení 3,3)

- změna rezistoru  $R_I = R_2 = 4,3 \text{ k}\Omega$  (původní  $R_I = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ )

$$R_3 = R_4 = 39 \text{ k}\Omega \text{ (původní } R_3 = R_4 = 33 \text{ k}\Omega)$$

3. změna velikosti odporu  $R$  odporového děliče  $R = 0,88\Omega$  (původní  $R = 0,37\Omega$ )

- změna rezistoru v odporovém děliči  $R_{I2} = 1,5 \text{ k}\Omega$  (původní  $R_{I2} = 6,8 \text{ k}\Omega$ )

$$R_{I3} = 20 \text{ k}\Omega \text{ (původní } R_{I3} = 4,7 \text{ k}\Omega)$$

*použití můstkového zapojení usměrnění pro měření napětí  $U_U$*

4. změnit můstkové zapojení v části obvodu pro měření napětí  $U_U$  za usměrňovač s operačním zesilovačem

**rezistor  $R_{14}$  silně hřeje**

5. nahradit jej transformátorem

## **2. varianta změny zapojení**

Další variantou by mohla být změna větve obvodu pro měření napětí  $U_U$ , větev obvodu pro měření napětí  $U_I$  by byla změněna podle varianty 1.

- změnit můstkové zapojení usměrnění za usměrňovač s operačním zesilovačem, který by kromě usměrnění i zesiloval (zesílení  $A = 2,4$ ) a pak by rezistory v odporovém děliči zůstaly na původních hodnotách ( $R_{I2} = 6,8 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{I3} = 4,7 \text{ k}\Omega$ ).

## **3. varianta změny zapojení**

Další varianta spočívá ve zvýšení zesílení po vynásobení  $U \cdot I$  (zesílení koncového zesilovače  $A = 6,5$ ). Při této variantě bychom pouze změnili napětí  $Z$  (napětí vstupující do násobičky) podle varianty 1 a ostatní hodnoty rezistorů by byly shodné s hodnotami rezistorů v měřeném prototypu obvodu.

Závěrem bych chtěla říct, že sestavený model měření v programu Excel se pouze snažil přiblížit skutečnému měření. Pro získání hodnot odpovídajících realitě, by bylo nutno započítat do tohoto matematického modelu všechny rušivé vlivy (šumy, nejistoty měření, atd.), což z technických důvodů není možné.

Sestavení nového prototypu obvodu a měření s tímto obvodem bude provedeno dodatečně.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### *Monografické publikace:*

- 1) HRUŠKA, F.: Technické prostředky automatizace VI. Snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky. UTB ve Zlíně, FT, září 2004, 107 s., ISBN 80-7318-026-X.
- 2) HAAS, Vladimír, SEDLÁČEK, Miloš: Elektrická měření, Přístroje a metody. 2. vyd., Praha: ČVUT, 2003, 337 s., ISBN: 80-01-02731-7.

### *Příspěvek*

- 3) HRUŠKA, F., LUKOVICS, I.: VI. Mezinárodní vědecká konference "Strojárska technológia 2004". Dynamická obrobiteľnosť polymerných materiálov, Súľov, 29.-30. september 2004, ISBN 80-8070-300-0.
- 4) HRUŠKA, F., SKOČÍK, P.: Analogové měření elektrického efektivního příkonu (Nepřímé měření obrobiteľnosti)
- 5) HARWOT, L.: Odborná publikace – AMT měřící technika, spol s r. o., Elektroročenka 2005 – měřící přístroje

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1. Složky výkonu střídavého proudu .....                                      | 8  |
| Obr. 2. Princip elektrodynamického měřicího ústrojí .....                          | 11 |
| Obr. 3. Princip ferodynamického měřicího ústrojí .....                             | 12 |
| Obr. 4. Blokové schéma obvodu .....                                                | 14 |
| Obr. 5. Zapojení obvodu pro snímání napětí .....                                   | 15 |
| Obr. 6. Zapojení obvodu pro snímání proudu .....                                   | 15 |
| Obr. 7. Vnitřní schéma analogové násobičky AD633 .....                             | 16 |
| Obr. 8. Zapojení pro měření efektivní hodnoty napětí .....                         | 17 |
| Obr. 9. Celkové schéma prototypu obvodu .....                                      | 18 |
| Obr. 10. Blokové schéma zapojení prototypu měření pro sérii měření .....           | 19 |
| Obr. 11. Grafické znázornění závislosti $U_P$ na $P_M$ .....                       | 21 |
| Obr. 12. Rozdělení prototypu obvodu pro matematický model .....                    | 23 |
| Obr. 13. Odporový dělič .....                                                      | 25 |
| Obr. 14. Schéma pro model měření v programu Excel pro ostatní výkony zátěže .....  | 26 |
| Obr. 15: Graf znázorňující 1. simulaci měření při různých změnách obvodu .....     | 31 |
| Obr. 16. Graf znázornění vztahu mezi výsledky opak. měření a nejistot měření ..... | 33 |

**SEZNAM TABULEK**

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. I: Legenda k Obr.10 .....                                                                                   | 19 |
| Tab. II: Velikost a druh použité zátěže $P_M$ .....                                                              | 19 |
| Tab. III: Průměrné naměřené hodnoty $U_U$ , $U_I$ a $U_P$ v závislosti na $P_M$ .....                            | 20 |
| Tab. IV: Průměrné hodnoty $U_P$ na zátěži $P_M$ .....                                                            | 21 |
| Tab. V: Měření 23.5. 2005 se zátěží 15W .....                                                                    | 26 |
| Tab. VI: Ukázka 1. simulace měření při nezměněných parametrech obvodu .....                                      | 29 |
| Tab. VII: Ukázka 2. simulace měření v programu Excel pro výkon zátěže 25 W při<br>blokovém schématu obvodu ..... | 30 |

## **SEZNAM PŘÍLOH**

P I : Výpočet převodní konstanty transformátoru Ktr1

P II : Výpočet převodní konstanty transformátoru Ktr1- pokračování 1

P III : Výpočet převodní konstanty transformátoru Ktr1- pokračování 2

## P I: Výpočet převodní konstanty transformátoru Ktr1

| Výpočet převodní konstanty transformátoru pro zátěž 15W |                  |                    |         |                       |         |      |
|---------------------------------------------------------|------------------|--------------------|---------|-----------------------|---------|------|
| konstanty                                               |                  |                    |         |                       |         |      |
| odpor Rb ( $\Omega$ )                                   | 0,7              | R1=R2 ( $\Omega$ ) | 10000   | R7=R8=R9 ( $\Omega$ ) |         |      |
| kt (V)                                                  | 1,111            | R3=R4 ( $\Omega$ ) | 33000   | R10 ( $\Omega$ )      |         |      |
|                                                         |                  | zesílení OZ1       | 3,3     |                       |         |      |
| datum měření                                            | vstup. proud (A) | UI4 (V)            | UI3 (V) | UI2 (V)               | UI1 (V) | Ktr1 |
| 7.9.2004                                                | 0,073            | 0,146              | 0,162   | 0,049                 | 0,051   | 0,96 |
| 9.9.2004                                                | 0,072            | 0,140              | 0,156   | 0,047                 | 0,050   | 0,93 |
| 24.11.2004                                              | 0,073            | 0,146              | 0,162   | 0,049                 | 0,051   | 0,96 |
| 26.11.2004                                              | 0,074            | 0,152              | 0,169   | 0,051                 | 0,052   | 0,99 |
| 29.11.2004                                              | 0,074            | 0,152              | 0,169   | 0,051                 | 0,052   | 0,99 |
| 23.5.2005                                               | 0,065            | 0,114              | 0,127   | 0,038                 | 0,046   | 0,84 |

Ktr1  
0,95

| Výpočet převodní konstanty transformátoru pro zátěž 25W |                  |                    |         |                       |         |      |
|---------------------------------------------------------|------------------|--------------------|---------|-----------------------|---------|------|
| konstanty                                               |                  |                    |         |                       |         |      |
| odpor Rb ( $\Omega$ )                                   | 0,7              | R1=R2 ( $\Omega$ ) | 10000   | R7=R8=R9 ( $\Omega$ ) |         |      |
| kt (V)                                                  | 1,111            | R3=R4 ( $\Omega$ ) | 33000   | R10 ( $\Omega$ )      |         |      |
|                                                         |                  | zesílení OZ1       | 3,3     |                       |         |      |
| datum měření                                            | vstup. proud (A) | UI4 (V)            | UI3 (V) | UI2 (V)               | UI1 (V) | Ktr1 |
| 7.9.2004                                                | 0,120            | 0,196              | 0,218   | 0,066                 | 0,084   | 0,79 |
| 9.9.2004                                                | 0,119            | 0,190              | 0,211   | 0,064                 | 0,083   | 0,77 |
| 24.11.2004                                              | 0,118            | 0,200              | 0,222   | 0,067                 | 0,083   | 0,81 |
| 26.11.2004                                              | 0,118            | 0,200              | 0,222   | 0,067                 | 0,083   | 0,81 |
| 29.11.2004                                              | 0,120            | 0,200              | 0,222   | 0,067                 | 0,084   | 0,80 |

Ktr1  
0,80

| Výpočet převodní konstanty transformátoru pro zátěž 40W |                  |                    |         |                       |         |      |
|---------------------------------------------------------|------------------|--------------------|---------|-----------------------|---------|------|
| konstanty                                               |                  |                    |         |                       |         |      |
| odpor Rb ( $\Omega$ )                                   | 0,7              | R1=R2 ( $\Omega$ ) | 10000   | R7=R8=R9 ( $\Omega$ ) |         |      |
| kt (V)                                                  | 1,111            | R3=R4 ( $\Omega$ ) | 33000   | R10 ( $\Omega$ )      |         |      |
|                                                         |                  | zesílení OZ1       | 3,3     |                       |         |      |
| datum měření                                            | vstup. proud (A) | UI4 (V)            | UI3 (V) | UI2 (V)               | UI1 (V) | Ktr1 |
| 7.9.2004                                                | 0,191            | 0,312              | 0,347   | 0,105                 | 0,134   | 0,79 |
| 9.9.2004                                                | 0,189            | 0,306              | 0,340   | 0,103                 | 0,132   | 0,78 |
| 24.11.2004                                              | 0,189            | 0,326              | 0,362   | 0,110                 | 0,132   | 0,83 |
| 26.11.2004                                              | 0,190            | 0,328              | 0,364   | 0,110                 | 0,133   | 0,83 |
| 29.11.2004                                              | 0,191            | 0,326              | 0,362   | 0,110                 | 0,134   | 0,82 |

Ktr1  
0,81

## P II: Výpočet převodní konstanty transformátoru Ktr1- pokračování 1

| Výpočet převodní konstanty transformátoru pro zátěž 150W |  |                  |  |                    |  |  |
|----------------------------------------------------------|--|------------------|--|--------------------|--|--|
| konstanty                                                |  |                  |  |                    |  |  |
| odpor Rb (Ω) 0,7                                         |  | R1=R2 (Ω) 10000  |  | R7=R8=R9 (Ω) 10000 |  |  |
| kt (V) 1,111                                             |  | R3=R4 (Ω) 33000  |  | R10 (Ω) 20000      |  |  |
|                                                          |  | zesílení OZ1 3,3 |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |

| Výpočet převodní konstanty transformátoru pro zátěž 175W |  |                  |  |                    |  |  |
|----------------------------------------------------------|--|------------------|--|--------------------|--|--|
| konstanty                                                |  |                  |  |                    |  |  |
| odpor Rb (Ω) 0,7                                         |  | R1=R2 (Ω) 10000  |  | R7=R8=R9 (Ω) 10000 |  |  |
| kt (V) 1,111                                             |  | R3=R4 (Ω) 33000  |  | R10 (Ω) 20000      |  |  |
|                                                          |  | zesílení OZ1 3,3 |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |
|                                                          |  |                  |  |                    |  |  |

| Výpočet převodní konstanty transformátoru pro zátěž 250W |                  |         |              |         |         |              |  |       |
|----------------------------------------------------------|------------------|---------|--------------|---------|---------|--------------|--|-------|
| konstanty                                                |                  |         |              |         |         |              |  |       |
| odpor Rb (Ω)                                             |                  | 0,7     | R1=R2 (Ω)    |         | 10000   | R7=R8=R9 (Ω) |  | 10000 |
| kt (V)                                                   |                  | 1,111   | R3=R4 (Ω)    |         | 33000   | R10 (Ω)      |  | 20000 |
|                                                          |                  |         | zesílení OZ1 |         | 3,3     |              |  |       |
|                                                          |                  |         |              |         |         |              |  | Ktr1  |
|                                                          |                  |         |              |         |         |              |  | 0,79  |
| datum měření                                             | vstup. proud (A) | UI4 (V) | UI3 (V)      | UI2 (V) | UI1 (V) | Ktr1         |  |       |
| 7.9.2004                                                 | 1,231            | 2,044   | 2,270        | 0,688   | 0,862   | 0,80         |  |       |
| 9.9.2004                                                 | 1,200            | 1,944   | 2,159        | 0,654   | 0,840   | 0,78         |  |       |
| 24.11.2004                                               | 1,193            | 1,972   | 2,190        | 0,664   | 0,835   | 0,79         |  |       |
| 26.11.2004                                               | 1,198            | 1,980   | 2,199        | 0,666   | 0,839   | 0,79         |  |       |
| 29.11.2004                                               | 1.217            | 2.016   | 2.239        | 0.679   | 0.852   | 0.80         |  |       |

## P III: Výpočet převodní konstanty transformátoru Ktr1- pokračování 2

| Výpočet převodní konstanty transformátoru pro zátěž 350W |                  |                    |         |                       |         |      |
|----------------------------------------------------------|------------------|--------------------|---------|-----------------------|---------|------|
| konstanty                                                |                  |                    |         |                       |         |      |
| odpor Rb ( $\Omega$ )                                    | 0,7              | R1=R2 ( $\Omega$ ) | 10000   | R7=R8=R9 ( $\Omega$ ) |         |      |
| kt (V)                                                   | 1,111            | R3=R4 ( $\Omega$ ) | 33000   | R10 ( $\Omega$ )      |         |      |
|                                                          |                  | zesílení OZ1       | 3,3     |                       |         |      |
| datum měření                                             | vstup. proud (A) | UI4 (V)            | UI3 (V) | UI2 (V)               | UI1 (V) | Ktr1 |
| 7.9.2004                                                 | 1,718            | 2,844              | 3,159   | 0,957                 | 1,203   | 0,80 |
| 9.9.2004                                                 | 1,674            | 2,748              | 3,052   | 0,925                 | 1,172   | 0,79 |
| 24.11.2004                                               | 1,665            | 2,764              | 3,070   | 0,930                 | 1,166   | 0,80 |
| 26.11.2004                                               | 1,674            | 2,782              | 3,090   | 0,936                 | 1,172   | 0,80 |
| 29.11.2004                                               | 1,692            | 2,810              | 3,121   | 0,946                 | 1,184   | 0,80 |

Ktr1  
0,80

| Výpočet převodní konstanty transformátoru pro zátěž 500W |                  |                    |         |                       |         |      |
|----------------------------------------------------------|------------------|--------------------|---------|-----------------------|---------|------|
| konstanty                                                |                  |                    |         |                       |         |      |
| odpor Rb ( $\Omega$ )                                    | 0,7              | R1=R2 ( $\Omega$ ) | 10000   | R7=R8=R9 ( $\Omega$ ) |         |      |
| kt (V)                                                   | 1,111            | R3=R4 ( $\Omega$ ) | 33000   | R10 ( $\Omega$ )      |         |      |
|                                                          |                  | zesílení OZ1       | 3,3     |                       |         |      |
| datum měření                                             | vstup. proud (A) | UI4 (V)            | UI3 (V) | UI2 (V)               | UI1 (V) | Ktr1 |
| 7.9.2004                                                 | 2,252            | 3,874              | 4,303   | 1,304                 | 1,576   | 0,83 |
| 9.9.2004                                                 | 2,222            | 3,720              | 4,132   | 1,252                 | 1,555   | 0,80 |
| 24.11.2004                                               | 2,257            | 3,768              | 4,185   | 1,268                 | 1,580   | 0,80 |
| 26.11.2004                                               | 2,265            | 3,786              | 4,205   | 1,274                 | 1,586   | 0,80 |
| 29.11.2004                                               | 2,287            | 3,812              | 4,234   | 1,283                 | 1,601   | 0,80 |

Ktr1  
0,81

|      |             |
|------|-------------|
| Ktr1 | <u>0,82</u> |
|------|-------------|