

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

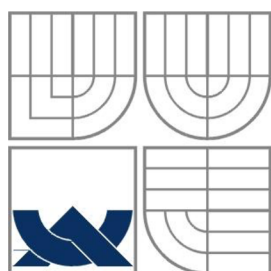
GENERÁTOR PRO MĚŘENÍ POTLAČENÍ ZVLNĚNÍ NAPĚŤOVÝCH  
STABILIZÁTORŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

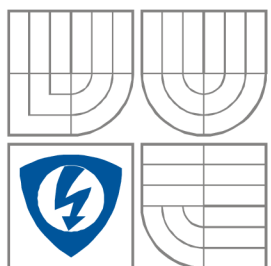
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JIŘÍ NEKOVÁŘ

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS**

# **GENERÁTOR PRO MĚŘENÍ POTLAČENÍ ZVLNĚNÍ NAPĚŤOVÝCH STABILIZÁTORŮ**

**GENERATOR FOR RIPPLE REJECTION MEASUREMENT OF VOLTAGE REGULATORS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE**

**AUTHOR**

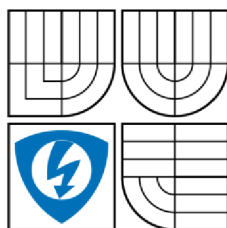
**JIŘÍ NEKOVÁŘ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

**SUPERVISOR**

**Ing. JIŘÍ ŠEBESTA, Ph.D.**

**BRNO 2010**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Jiří Nekovář  
**Ročník:** 3

**ID:** 106668  
**Akademický rok:** 2009/2010

## NÁZEV TÉMATU:

### Generátor pro měření potlačení zvlnění napěťových stabilizátorů

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou měření potlačení zvlnění napěťových stabilizátorů. Provedte koncepční rozbor vhodného výkonového generátoru pro měření potlačení zvlnění napěťových stabilizátorů včetně integrace měřicích přístrojů (ss. složka napětí, ef. hodnota střídavé složky napětí, kmitočet střídavé složky). Navrhněte kompletní zapojení generátoru a jeho mechanické řešení.

Navrhněte desku plošných spojů generátoru pro měření potlačení zvlnění napěťových stabilizátorů, ověřte jeho funkčnost a proveďte měření jeho charakteristik. Upravte příslušnou laboratorní úlohu v předmětu BNEZ s využitím vámi navrženého a realizovaného generátoru.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ŠEBESTA, J. Napájení elektronických zařízení - laboratorní cvičení. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007.

[2] KREJČIŘÍK, A. Napájecí zdroje I. Praha: BEN - technická literatura, 1996.

**Termín zadání:** 8.2.2010

**Termín odevzdání:** 28.5.2010

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**  
*Předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je návrh kompletního zapojení, mechanického řešení a sestavení generátoru, který bude využíván společně s osciloskopem a milivoltmetrem s pásmovými propustmi k měření potlačení zvlnění napětových stabilizátorů. Obvodové zapojení představuje výkonový napětový generátor s nízkou výstupní impedancí. V jednotlivých kapitolách jsou popsány části generátoru včetně integrovaných měřicích přístrojů (ss. složka napětí, ef. hodnota střídavé složky napětí a kmitočet střídavé složky). U sestaveného generátoru byla ověřena funkčnost a následně byly změřeny jeho parametry. Z důvodu vylepšení vlastností čítače kmitočtu byly některé jeho původní obvodové části nahrazeny (hradlovací obvod, reset a rozšíření rozsahu).

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Generátor

Měření napětových stabilizátorů

Potlačení zvlnění napětových stabilizátorů

Výkonový generátor

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor's thesis is the design of complete circuitry, mechanical solutions and build of generator, which will be use with oscilloscope and millivoltmeter with pass-bands for measure the suppression of ripple voltage stabilizers. Circuit is power voltage generator with low output impedance. The individual chapters describe the generator including the integration of measuring instruments (DC voltage, effective AC voltage and frequency AC voltage). Functionality of the assembled generator was tested and subsequently the parameters was measured. Properties of frequency counter were improved replacing original circuit parts (gate circuit, reset and extension of range).

## **KEYWORDS**

Generator

Measurement of voltage regulators

Power generator

Ripple rejection of voltage regulators

NEKOVÁŘ, J. *Generátor pro měření potlačení zvlnění napěťových stabilizátorů.*  
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních  
technologií, 2010. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Generátor pro měření potlačení zvlnění napěťových stabilizátorů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>ix</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>x</b>
<b>ÚVOD</b>	<b>1</b>
<b>1 PŘENOS ZVLNĚNÍ SS NAPĚŤOVÝCH STABILIZÁTORŮ</b>	<b>2</b>
1.1 Určení přenosu zvlnění SSN.....	2
1.2 Princip měření potlačení zvlnění .....	3
<b>2 CELKOVÉ ZAPOJENÍ GENERÁTORU</b>	<b>4</b>
2.1 Blokové schéma zapojení generátoru .....	4
<b>3 GENERÁTOR</b>	<b>5</b>
3.1 Popis integrovaného obvodu XR2206 .....	5
3.2 Nastavení generátoru .....	6
<b>4 NAPÁJECÍ ZDROJ</b>	<b>7</b>
4.1 Symetrické napájecí zdroje $\pm 8\text{V}$ , $\pm 15\text{V}$ .....	7
4.1.1 Popis zapojení napájecího zdroje $\pm 8\text{V}$ a $\pm 15\text{V}$ .....	8
4.2 Zdroj stabilizovaného napětí $+28\text{V}$ .....	9
4.3 Zdroj stabilizovaného napětí $+9\text{V}$ .....	9
<b>5 REFERENČNÍ ZDROJ</b>	<b>9</b>
5.1 Integrovaný obvod TL 431 .....	9
5.1.1 Návrh obvodu pro nastavení ss složky napětí .....	10
<b>6 VÝSTUPNÍ OBVOD</b>	<b>10</b>
6.1 Popis výstupního obvodu .....	10
<b>7 MĚŘENÍ KMITOČTU</b>	<b>11</b>
7.1 Popis funkce čítače kmitočtu .....	11
7.2 Nastavení doby čítání IO 4553 .....	12
7.3 Dělička kmitočtu .....	13
<b>8 MĚŘENÍ STEJNOSMĚRNÉ SLOŽKY NAPĚTÍ</b>	<b>13</b>

8.1	Popis přípravku pro měření stejnosměrné složky napětí .....	13
8.2	Změna napěťového rozsahu měřicího modulu ss napětí.....	14
8.3	Kalibrace nastaveného napěťového rozsahu.....	14
<b>9</b>	<b>MĚŘENÍ STŘÍDAVÉ SLOŽKY NAPĚTÍ</b>	<b>15</b>
9.1	Měření střídavých napětí .....	15
9.2	Popis zapojení pro měření efektivní hodnoty střídavé složky napětí .....	16
<b>10</b>	<b>MECHANICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>17</b>
10.1	Mechanická konstrukce .....	17
10.2	Uspořádání čelního panelu generátoru .....	17
<b>11</b>	<b>OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI</b>	<b>18</b>
11.1	Nastavení výstupního kmitočtového rozsahu generátoru .....	18
11.2	Nastavení tvaru sinusového průběhu .....	18
11.3	Ověření funkce a kalibrace čítače kmitočtu.....	19
11.4	Kalibrace napěťového rozsahu nízkofrekvenčního usměřovače pro měření AC složky .....	19
11.5	Úprava zapojení čítače kmitočtu.....	22
11.6	Parametry realizovaného generátoru .....	24
<b>12</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>25</b>
	<b>Literatura</b>	<b>26</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>27</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>28</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Stabilizátor stejnosměrného napětí jako dvojbran. ....	3
Obr. 1.2: Principiální blokové schéma pro určení přenosu zvlnění (převzato z [6]).	3
Obr. 2.1: Blokové schéma zapojení generátoru. ....	4
Obr. 3.1: Blokové schéma XR2206 (převzato z [1]). ....	6
Obr. 3.2: Schéma zapojení generátoru (upraveno [6]). ....	7
Obr. 4.1: Schéma zapojení zdroje (upraveno [6]). ....	8
Obr. 5.1.1: Schéma zapojení regulátoru ss složky napětí (převzato z [6]). ....	10
Obr. 6.1: Schéma zapojení výstupního obvodu (převzato z [6]). ....	11
Obr. 7.1: Schéma zapojení čítače kmitočtu (upraveno [13]). ....	12
Obr. 7.2: Zapojení obvodu děličky kmitočtu. ....	13
Obr. 9.1: Schéma zapojení usměrňovače (převzato z [11]). ....	16
Obr. 10.1: Přední panel generátoru. ....	17
Obr. 11.1: Průběh napětí na výstupu generátoru. ....	19
Obr. 11.2: Výstupní průběh napětí generátoru pro kmitočty 100 Hz. ....	20
Obr. 11.3: Výstupní průběh napětí generátoru pro kmitočty 1 kHz. ....	21
Obr. 11.4: Výstupní průběh napětí generátoru pro kmitočty 10 kHz. ....	21
Obr. 11.5: Výstupní průběh napětí generátoru pro kmitočty 100 kHz. ....	22
Obr. 11.6: Zpožďovací obvod pro zápis do střadače čítače a reset. ....	23
Obr. 11.7: Krystalem řízený generátor pro kmitočty 1 Hz (převzato z [14]). ....	23
Obr. 11.8: Obvod indikující zvýšení kmitočtového rozsahu čítače. ....	23
Obr. 11.9: Výstupní průběh kmitočtu 1 Hz krystalem řízeného oscilátoru. ....	24

## SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1: Funkce jednotlivých vývodů integrovaného obvodu XR 2206 (převzato z [1]).	5
Tab. 12.1: Kmitočtové rozsahy realizovaného generátoru (měřeno osciloskopem Agilent 54624A)	18
Tab. 12.2: Parametry realizovaného generátoru	24

# ÚVOD

Jedna ze základních vlastností stabilizátorů je potlačení zvlnění napětí na výstupu. Pro tento účel se využívá sériové zapojení spojitých stabilizátorů a spínaných zdrojů. Spojitý stabilizátor musí co nejvíce potlačit zvlněné napětí na jeho vstupu a zároveň měnit hodnotu činitele potlačení zvlnění, která může být závislá na odebíraném proudu a kmitočtu potlačovaného signálu.

Základní částí generátoru pro měření potlačení zvlnění napětí je integrovaný obvod XR2206 – monolitický generátor funkcí. Tento obvod generuje kvalitní signál sinusového průběhu. Neměnné hodnoty nastavované stejnosměrné složky napětí jsou zajištěny s využitím napěťového referenčního integrovaného obvodu TL431. Signály z nízkofrekvenčního generátoru sinusového průběhu a referenčního zdroje jsou sečteny pomocí rozdílového zesilovače s velkým vstupním odporem. Vzniklý stejnosměrný průběh napětí se superponovanou střídavou složkou je na výstupu generátoru zesílen výkonovým operačním zesilovačem OPA547T.

Generátor pro měření zvlnění napěťových stabilizátorů obsahuje ovládací prvky, kterými je možno nastavit hodnoty stejnosměrné složky napětí a efektivní hodnoty střídavé složky napětí včetně jejího kmitočtu. Aktuálně nastavené hodnoty je možné odečítat na zobrazovacích panelech sestavených ze sedmisegmentových LED displejů. Napěťové rozsahy voltmetrů jsou neměnné, pouze je možné volit ze tří rozsahů čítače kmitočtu. Tento popisovaný generátor bude použit pro laboratorní výuku v předmětu BNEZ – *Napájení elektronických zařízení* k měření přenosu zvlnění několika typů napěťových stabilizátorů.

# 1 PŘENOS ZVLNĚNÍ SS NAPĚŤOVÝCH STABILIZÁTORŮ

## 1.1 Určení přenosu zvlnění SSN

Stabilizátory stejnosměrného napětí (SSN) jsou dvojbrany (obvykle trojpolý) splňující následující funkční i konstrukční vlastnosti

1. SSN má nepatrný (ideálně nulový) přenos změn vstupního napětí na výstup.

Obvod s nepatrným přenosem zvlnění.

$$P = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}; I_2 = konst. \quad (-; V, V, A) \quad (2.1)$$

kde  $P$ ..... přenos zvlnění (-)

Popisovaný parametr zajišťuje necitlivost SSN na kolísání vstupního napětí.

Přenos zvlnění se často vyjadřuje logaritmickou formou v decibelech.

$$P_{dB} = 20 \cdot \log P \quad (dB, -) \quad (2.2)$$

Jsou-li stabilizátory (převážně integrované) kvalitně realizovány, dosahují hodnoty přenosu zvlnění stabilizátoru přes 80 dB. Vyjádření v jednotkách dB je uvažováno bez ohledu na znaménko. Definovaný vztah (2.1) nic neříká o rychlosti změny vstupního napětí. Tato změna může být velice pomalá související třeba se změnami síťového napětí, vybíjení zdroje atd., ale může to být i zvlnění způsobené nedokonalou filtrací zdroje (brum, zvlnění na síťové nebo pracovní frekvenci atp.) Obecně je přenos zvlnění kmitočtově závislý, a proto je důležitá jeho hodnota i na dosti vysokých kmitočtech řádu stovek kHz.

Poměrný přenos zvlnění  $P'$  zahrnuje i přenos stejnosměrných napětí.

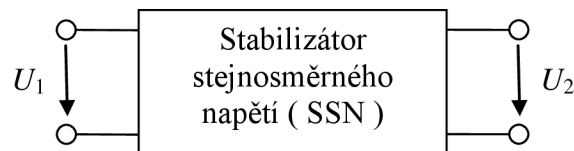
$$P' = \frac{\Delta U_2 / U_2}{\Delta U_1 / U_1}; I_2 = konst. \quad (-, V, V, A) \quad (2.3)$$

Převrácenou hodnotou činitele zvlnění  $P$  je tzv. činitel stabilizace  $S$

$$S = \frac{1}{P} \quad (-; -) \quad (2.4)$$

2) SSN má nepatrný (ideálně nulový) vnitřní (výstupní) odpor

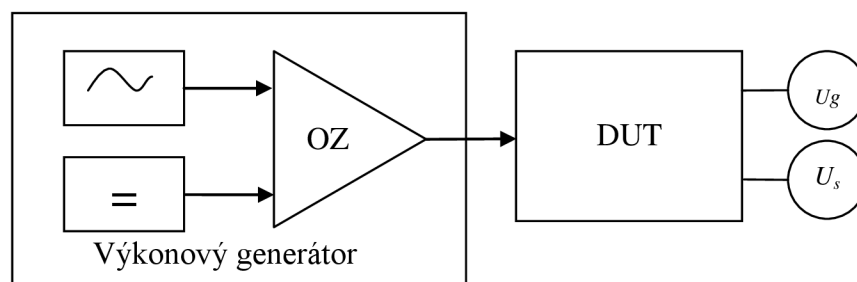
Pomocí tohoto parametru lze zajistit necitlivost výstupního napětí na změny odebíraného proudu. Výstupní odpor může při vyšších kmitočtech mít povahu i impedance a u kvalitních výkonových obvodů dosahuje výrazně pod  $1 \Omega$  i  $m\Omega$ . SSN se blíží k ideálnímu zdroji napětí.



Obr. 1.1: Stabilizátor stejnosměrného napětí jako dvojbran.

## 1.2 Princip měření potlačení zvlnění

Ze sestaveného výkonového generátoru je přiváděno na vstup stabilizátoru napětí, u kterého lze měnit velikost stejnosměrné složky, amplitudu střídavé složky a její kmitočet. Výstupní proud stabilizátoru je možné nastavit pomocí odporové zátěže připojené na jeho výstup. Hodnota přenosu zvlnění se vypočte podle vztahu (2.1) nebo v dB (2.2) ze změřených efektivních hodnot napětí na vstupu a výstupu měřeného stabilizátoru.

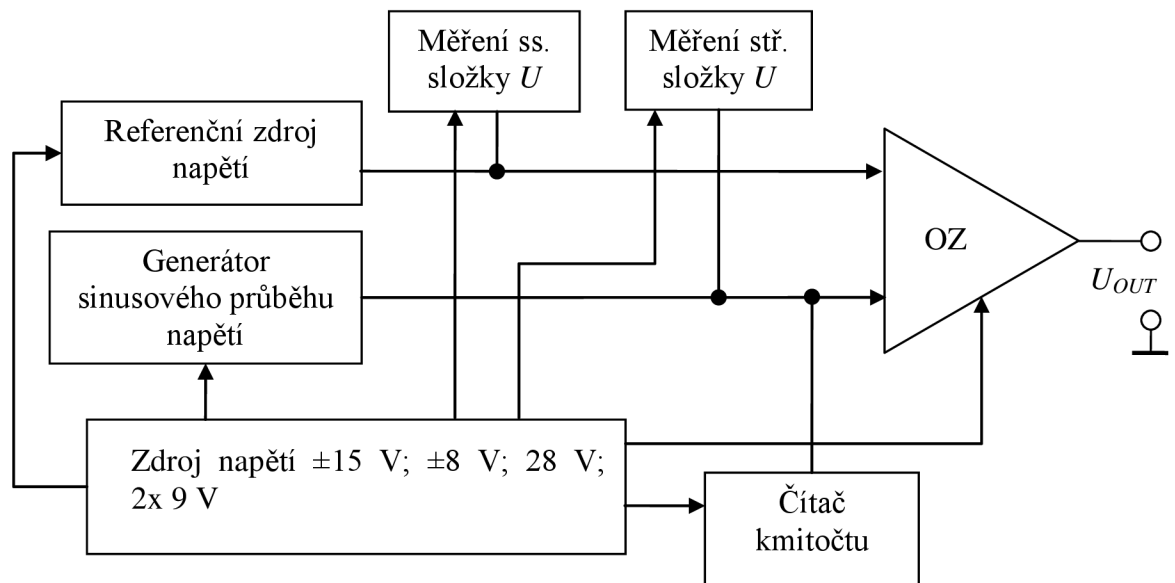


Obr. 1.2: Principiální blokové schéma pro určení přenosu zvlnění (převzato z [6]).

DUT (Device Under Test) – Testované zařízení (stabilizátor napětí)

## 2 CELKOVÉ ZAPOJENÍ GENERÁTORU

### 2.1 Blokové schéma zapojení generátoru



Obr. 2.1: Blokové schéma zapojení generátoru.

Blokové schéma generátoru se skládá z následujících částí:

- 1) Napájecí zdroj napětí – slouží k přeměně střídavého síťového napětí na dílčí stejnosměrná napětí pro napájení jednotlivých částí generátoru.
- 2) Generátor – vytváří sinusový průběh napětí s možností nastavení požadované amplitudy výstupního napětí včetně jeho kmitočtu.
- 3) Referenční zdroj – zdroj napětí pro nastavení stejnosměrné složky (DC offset) výstupního napětí.
- 4) OZ – výkonová část generátoru složená ze soustavy operačních zesilovačů, kde dochází k sečtení signálu z nízkofrekvenčního generátoru a referenčního zdroje.

- 5) Měření ss složky napětí – tento blok tvoří modul ss. voltmetru, který zobrazuje nastavenou hodnotu stejnosměrné složky napětí (DC offset).
- 6) Měření stř. složky napětí – skládá se z modulu ss. voltmetru a usměrňovače, který převádí střídavou hodnotu sinusového napětí na stejnosměrnou hodnotu odpovídající efektivní hodnotě vstupního sinusového napětí.
- 7) Měření kmitočtu – čítač s třemi měřícími rozsahy kmitočtu, které jsou přepínány společně se změnou nastavení výstupního kmitočtového rozsahu generátoru.

## 3 GENERÁTOR

### 3.1 Popis integrovaného obvodu XR2206

Jádro tohoto generátoru tvoří integrovaný obvod XR 2206 – monolitický generátor funkcí.

Popisovaný obvod je schopný generovat kvalitní signál trojúhelníkového, sinusového a obdélníkového průběhu. Výstupní signál může být modulován kmitočtově i amplitudově. Podle výrobce EXAR [1] je kmitočtový rozsah od 0,01 Hz do 1 MHz, rozmítání v poměru až 2 000 : 1 s minimálním vlivem na zkreslení.

#### Technické údaje

Kmitočtový rozsah: 0,01 Hz až 1 MHz

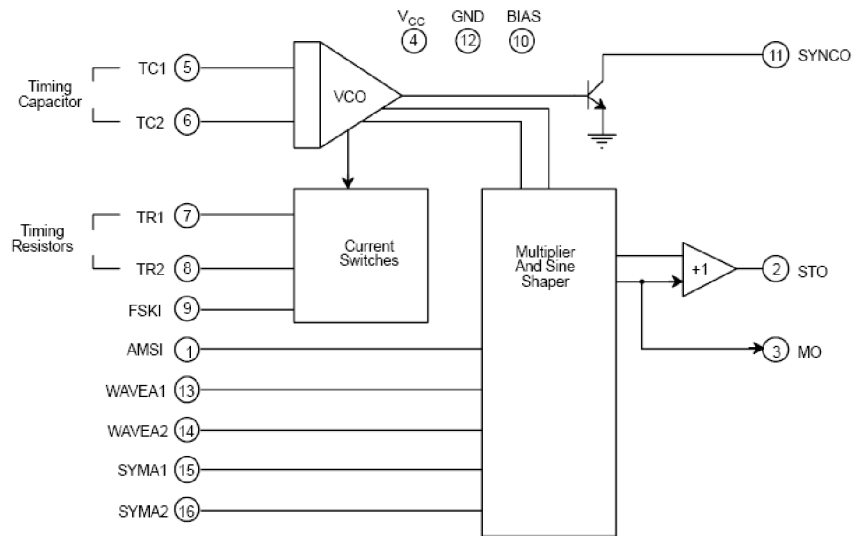
Typický teplotní drift:  $20 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Rozsah napájecího napětí: 10 až 26 V

#### Funkce jednotlivých vývodů integrovaného obvodu XR 2206:

1	vstup pro řízení AM
2	výstup trojúhelník a sinus na impedanci asi 600 $\Omega$
3	korekce ss nesymetrie a řízení úrovně výstupu trojúhelník a sinus
4	+ $U_{CC}$ , napájení v rozmezí 10 až 26 V
5, 6	časovací kondenzátor $C_1$ k nastavení kmitočtu
7	časovací rezistor $R_{t1}$ – proudová regulace kmitočtu $f_1$
8	časovací rezistor $R_{t2}$ – proudová regulace kmitočtu $f_2$
9	program. volba $f_1$ nebo $f_2$
10	výstup referenčního teplotně stabilizovaného napětí 3 V
11	výstup obdélníkového signálu (otevřený kolektor)
12	zem (nula napájení)
13, 14	nastavení tvaru sinusového průběhu (vnějším rezistorem, $R = 220 \Omega$ )
15, 16	nastavení symetrie výstupu odporovým trimrem – trojúhelník a sinus

Tab. 3.1: Funkce jednotlivých vývodů integrovaného obvodu XR 2206 (převzato z [1]).

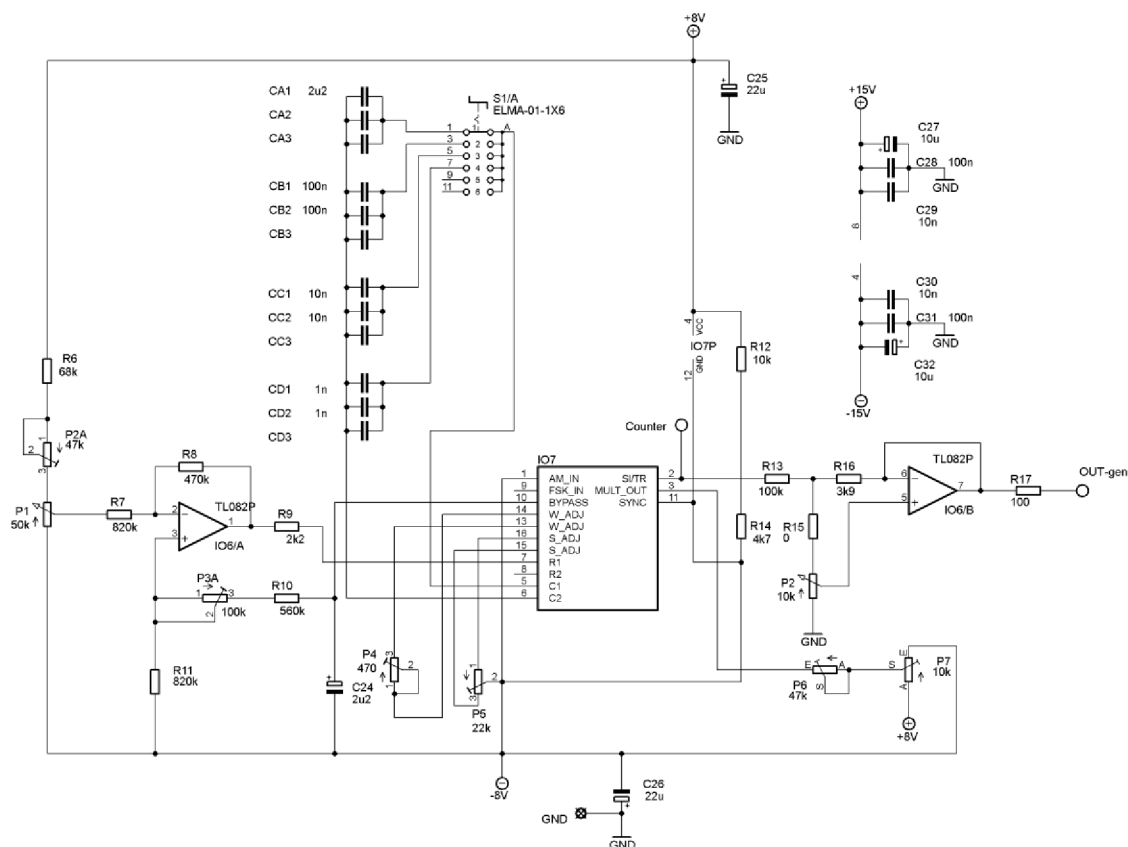


Obr. 3.1: Blokové schéma XR2206 (převzato z [1]).

## 3.2 Nastavení generátoru

Podle zvoleného kmitočtového rozsahu je mezi vývody 5 a 6 IO7 připojen přepínačem S1 jeden z časovacích kondenzátorů  $CA = CA1 + CA2 + CA3$  až  $CD = CD1 + CD2 + CD3$ . Jemná změna kmitočtu je zajištěna obvodem proudové regulace, zapojené na vývod 7 IO7 z výstupu OZ (IO6/A) přes rezistor R9. Přeběhem R7 je připojen invertující vstup tohoto OZ na proměnné napětí, odebírané z potenciometru P2. Rezistory R7 a R8 určují nastavený zisk IO6/A. Napětí na běžci potenciometru P2, vztaženo k vývodu 12 IO7, je v rozmezí asi 0 až 5,5 V. Na výstupu 8 IO6/A se získává inverze tohoto napětí v rozmezí 3 až 0 V. Neinvertující vstup IO6/A je připojen na dělič z rezistorů R10, R11 a trimru P3 u vývodu 10 IO7, na kterém je referenční, teplotně stabilizované napětí 3 V (vztaženo opět k vývodu 12). Referenční napětí filtruje kondenzátor C24. Maximální kmitočet generátoru se nastavuje trimrem P2A a minimální pomocí trimru P3A. Zapojí-li se rezistor s odporem asi 220 Ω mezi vývody 13 a 14 IO7, změní se trojúhelníkový průběh výstupního napětí na průběh sinusový. Jakékoliv parazitní kapacity u těchto vývodů mohou však způsobit změnu tvaru sinusovky. Mezi vývody 13 a 14 obvodu IO7 je připojen trimr P4, pomocí kterého se nastavuje nejmenší zkreslení (nejvěrnější tvar sinusového průběhu). Rezistory R13 a R14 je určena nulová stejnosměrná složka na výstupu. Obvod IO6/B je zapojen jako koncový sledovač. Amplituda výstupu se jemně reguluje potenciometrem P2. Na vývod 3 IO7 jsou zapojeny trimry P6 a P7, které slouží k nastavení nulových stejnosměrných složek a shodných mezivrcholových úrovní sinusového napětí. Shodná mezivrcholová úroveň sinusového průběhu se nastavuje trimrem P6 a stejnosměrná úroveň trimrem P7. Symetrie se nastavuje na nejvěrnější tvar mezi vývody 15 a 16 IO7 trimrem P5 [7].





Obr. 3.2: Schéma zapojení generátoru (upraveno [6]).

## 4 NAPÁJECÍ ZDROJ

### 4.1 Symetrické napájecí zdroje $\pm 8V$ , $\pm 15V$

Postup návrhu stabilizátoru je s použitím třisvorkového stabilizátoru s pevným výstupním napětím nejjednodušší. Jejich aplikace nevyklučuje možnost získání pevného nebo nastavitelného napětí. Pomocí těchto stabilizátorů je možno získat různě velké kladné i záporné napětí.

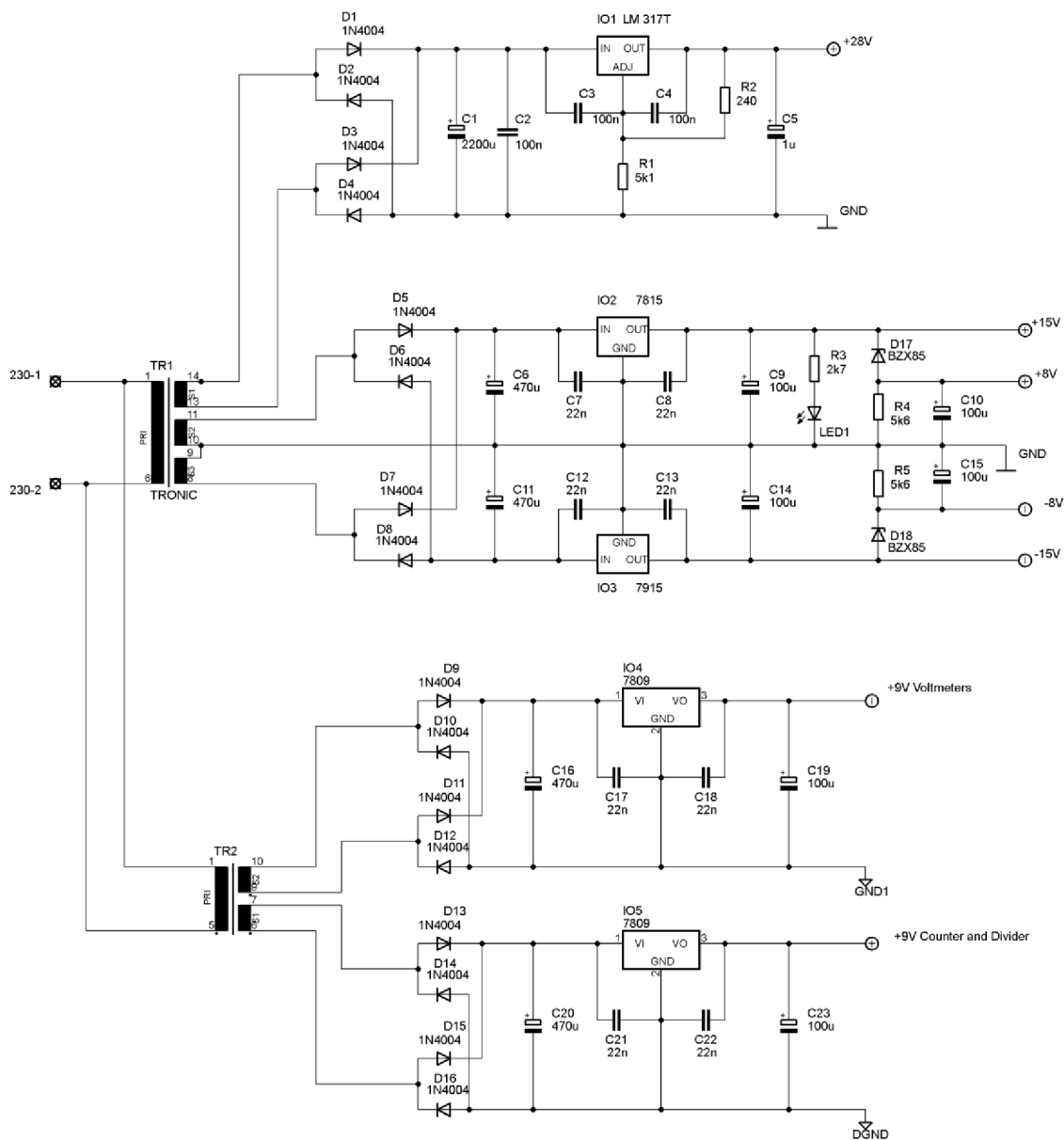
#### 1) Výhody těchto stabilizátorů:

- jednoduchá aplikace,
- vnitřní proudové omezení a tepelná pojistka,
- sestavený obvod nevyžaduje nastavení
- nízká cena

#### 2) Nevýhody těchto stabilizátorů:

- výstupní napětí nemusí být nastaveno přesně

- k dispozici jsou jen dané hodnoty výstupního napětí a proudu,
- získání vyšší proudové zatížitelnosti stabilizátorů je nejsnadnější než u jiných typů stabilizátorů[5]



Obr. 4.1: Schéma zapojení zdroje (upraveno [6]).

#### 4.1.1 Popis zapojení napájecího zdroje $\pm 8\text{ V}$ a $\pm 15\text{ V}$

Symetrický zdroj napětí  $\pm 15\text{ V}$  napájí operační zesilovače a usměrňovač, je odolný proti krátkodobému zkratu. Pro napájení integrovaného obvodu generátoru XR2206 je toto napětí sníženo pomocí Zenerových diod na  $\pm 8\text{ V}$ . Integrovaný obvod XR2206

nevyžaduje kvalitně stabilizované napájecí napětí, protože obsahuje interní zdroj referenčního napětí.

Použitý transformátor má společné sekundární vinutí 2 x 18 V. Zapojení obsahuje dvoucestný usměrňovač D5 až D8, filtrační kondenzátory C6 a C11 a blokovací C7, C8, C12 a C13 [6].

## 4.2 Zdroj stabilizovaného napětí +28 V

Zdroj napětí  $\pm 28$  V je sestaven ze třísvorkového stabilizátoru LM 317T. Schéma zapojení (Obr. 5.1) i nastavení výstupní hodnoty napětí je převzat z [6].

## 4.3 Zdroje stabilizovaného napětí +9 V

Pro potřebu odděleného napájení měřicích přístrojů byly do obvodu přidány dva shodné +9 V zdroje napětí.

Jeden ze zdrojů +9 V napájí čítač společně s děličkou kmitočtu. Oba obvody mají společnou zem DGND, která je spojena se zemí generátoru GND až na jeho výstupu.

Druhý napájecí zdroj +9V napájí oba panelové voltmetry. Tyto voltmetry mají společnou zem GND1 oddělenou od ostatních částí obvodu generátoru a spojenou se zemí GND až na výstupu generátoru.

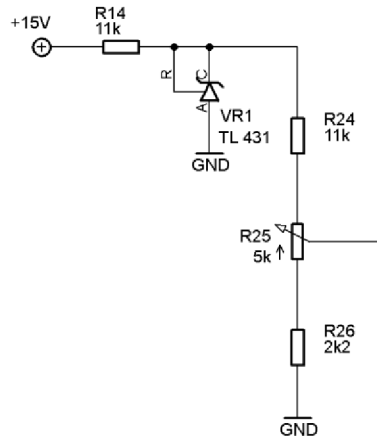
# 5 REFERENČNÍ ZDROJ

## 5.1 Integrovaný obvod TL 431

Pro zajištění neměnné hodnoty nastavované stejnosměrné složky napětí je použit napěťový referenční integrovaný obvod TL 431 od výrobce Texas Instruments [12]. Pomocí referenčního vstupu lze nastavovat výstupní napětí tohoto třísvorkového regulátoru. Vnitřní referenční napětí obvodu je  $U_{REF} = 2,5$  V. Hodnota napětí  $U_{AK,MAX} = 36$  V. Tato hodnota je dána maximálním napětím  $U_{CET}$  a výkonovou ztrátou (oteplením) celého obvodu. Referenční napětí musí být v průběhu stabilizace mezi vstupem REF a anodou. Vzroste-li napětí  $U_{KA}$ , vzroste následně i napětí mezi vstupem REF a anodou. Toto napětí je přiváděno na vstup invertujícího OZ, a proto při jeho vzrůstu se zvýší i výstupní napětí OZ, více se otevře tranzistor T a zmenší se odpor jeho dráhy C-E. Dělicí poměr se změní (tvořený rezistorem R a odporem dráhy C-E) a výstupní napětí  $U_2 = U_{CET}$  poklesne a dále se sníží i napětí mezi anodou a referenčním vstupem REF referenčního obvodu [6].

### 5.1.1 Návrh obvodu pro nastavení ss složky napětí

Regulátor pro nastavení ss složky napětí je sestaven z napěťového děliče, pomocí kterého lze nastavit potenciometrem R25 napětí v rozmezí 0,3 – 1 V. Výstupní napětí z děliče je zesíleno soustavou operačních zesilovačů s celkovým zesílením  $A_U = 20$  tak, aby na výstupu generátoru bylo možné plynule regulovat hodnotu stejnosměrné složky napětí v rozsahu 6 V – 20 V. Návrh obvodu byl převzat z [6].



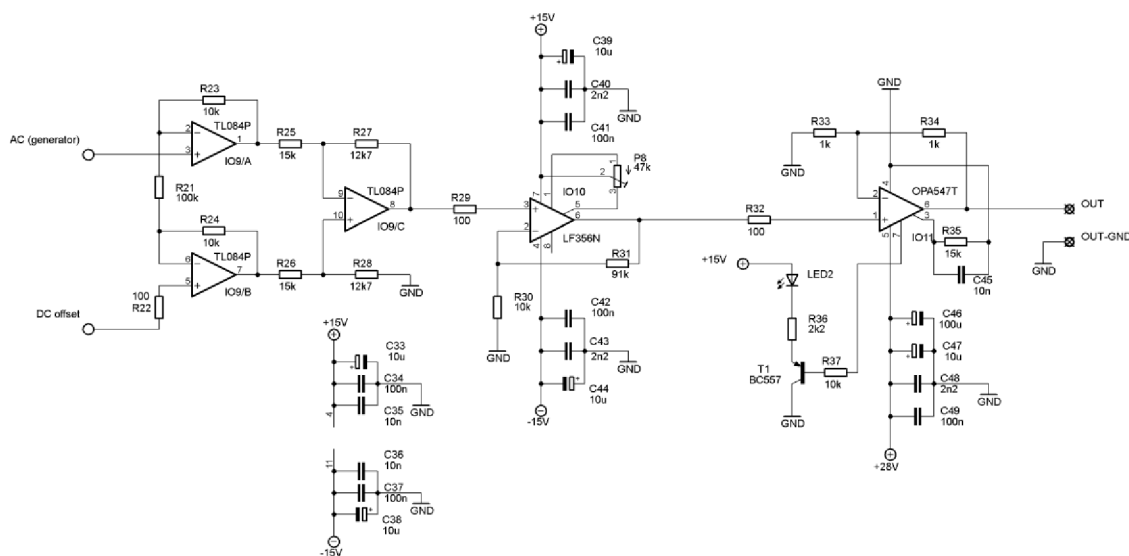
Obr. 5.1.1: Schéma zapojení regulátoru ss složky napětí (převzato z [6]).

## 6 VÝSTUPNÍ OBVOD

### 6.1 Popis výstupního obvodu

Výstupní obvod je složen ze tří bloků tak, aby bylo možné nastavit zesílení celé soustavy na hodnotu  $A_U = 20$ . První blok výstupního obvodu je rozdílový zesilovač s velkým vstupním odporem, který slouží k sečtení signálu z nízkofrekvenčního generátoru a referenčního zdroje. Jeho zesílení je nastaveno na hodnotu  $A_u = 1$  (sledovač). Druhým blokem je operační zesilovač zapojený v neinvertujícím zapojení se zesílením  $A_U = 10$ . Poslední blok tvoří výkonový operační zesilovač v neinvertujícím zapojení se zesílením  $A_U = 2$ , se kterým je možné dosáhnout velké šířky pásma [6].

Návrh celého zapojení výstupního obvodu včetně návrhu hodnot jednotlivých součástek byl převzat z [6].



Obr. 6.1: Schéma zapojení výstupního obvodu (převzato z [6]).

## 7 MĚŘENÍ KMITOČTU

### 7.1 Popis funkce čítače kmitočtu

Základem čítače je integrovaný obvod CMOS 4553. Popisovaný obvod čítá taktovací signál od 0 do 999. Na výstupních pinech obvodu je obsažena informace v BCD kódu, která je dekodována pomocí integrovaného obvodu CMOS 4543. Pro třímístný display lze vystačit pouze s jedním dekodérem, protože napájení zobrazovacích jednotek DIS1 až DIS3 (LED se společnou anodou) je multiplexováno pomocí signálů DS1 až DS3 z IO CMOS 4553 přes tranzistory T2 až T4.

Jako zdroj hradlovacího signálu je použit astabilní multivibrátor s časovačem NE556N. Takový multivibrátor má stabilitu kmitočtu přibližně 0,1 % s předpokladem provozu při pokojové teplotě a stabilizovaném napájecím napětím, což odpovídá rozlišovací schopnosti čítače. Pro větší přesnost je možné použít např. krystalem řízený oscilátor s předděličkou a integrovaným obvodem 4521.

Pomocí hradlovacího generátoru jsou produkovány široké impulsy úrovně H s velmi krátkými mezerami úrovně L (přes R49, R48 a P10 se pomalu nabíjí kondenzátor C58 do úrovně dvou třetin napájecího napětí a rychle vybíjí přes R49 do úrovně jedné třetiny napájecího napětí). Doba trvání  $T_H$  úrovně H, během níž IO16 čítá, je určena prvky

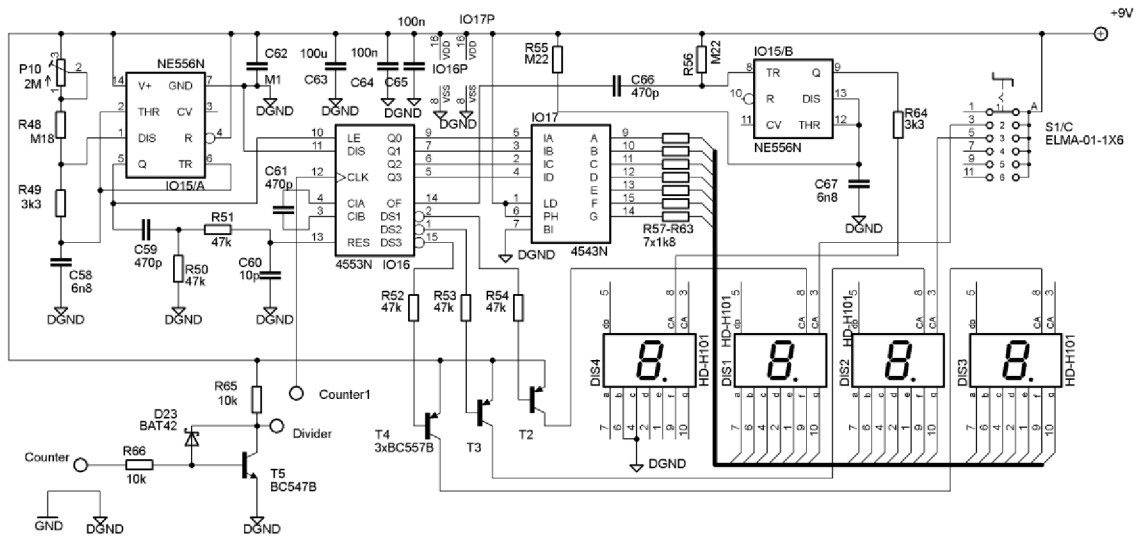
C58, R49, R48 a P10, které lze určit podle vztahu:

$$T_H = 0,697 \cdot C58 \cdot (R49 + R48 + k \cdot P10) \quad (s; F, \Omega) \quad (8.1)$$

kde  $k = 0$  až  $1$  ( $k$  je koeficient vyjadřující nastavení trimru P10). Hodnota koeficientu je volena podle požadovaného měřicího rozsahu 1 s, 0,1 s, 0,01s atd.

Je-li hodnota doby trvání úrovně H  $T_H = 1$  s je rozlišení čítače 1 Hz a maximální zobrazovaný kmitočet na třímístném displeji je 999 Hz, při  $T_H = 0,1$  s je rozlišení čítače 10 Hz a maximální zobrazovaný kmitočet na třímístném displeji je 9,99 kHz atd.

Vzhledem k tomu, že pro různé doby  $T_H$  nemá čítač nastaven konstantní počet měření za sekundu (optimální 3 až 5 měření za sekundu), ale že počet měření za sekundu přibližně odpovídá kmitočtu hradlovacího signálu  $f_H$  ( $f_H \approx 1/T_H$ ), jsou doby  $T_H$  kratší než 0,1 s nevýhodné, protože např. při  $T_H = 0,01$  s se vykoná za jednu sekundu téměř 100 měření a je-li necelistvý údaj na posledním místě displeje, dochází k současnému svitu dvou sousedních čísel [13].



Obr. 7.1: Schéma zapojení čítače kmitočtu (upraveno [13]).

## 7.2 Nastavení doby čítání IO 4553

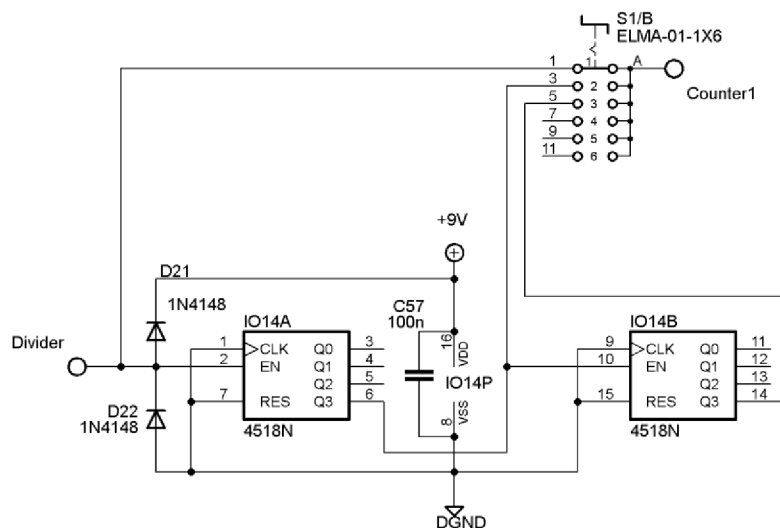
Široké impulsy logické úrovně H a velmi krátké mezery logické úrovně L jsou vytvářeny pomocí hradlovacího generátoru. Kondenzátor C58 se pomalu nabíjí přes R49, R48 a P10 do úrovně jedné třetiny napájecího napětí a rychle vybíjí přes R49 do úrovně jedné třetiny napájecího napětí. Hodnotami součástek C58, R49, R48 a P10 je určena doba  $T_H$  úrovně H, během které IO16 čítá.

Výpočet doby  $T_H$  čítání IO16 pro rozsah s rozlišením 100 Hz:

$$T_H = 0,697 \cdot C58 \cdot (R49 + R48 + k \cdot P10) = 0.697 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9} \cdot (3300 + 180 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^6) \cong \underline{\underline{0,01s}}$$

### 7.3 Dělička kmitočtu

Pro měření vyšších kmitočtů ( změna rozsahu čítače kmitočtu ) je před obvod čítače předřazena rychlá předdělička s integrovaným obvodem CMOS 4518. Popisovaný obvod obsahuje dvě sériově zapojené děličky deseti. Podle nastaveného rozsahu čítače kmitočtu pomocí otočného přepínače S1 není do obvodu zařazena žádná část obvodu děličky nebo jedna (  $f/10$  ) nebo obě (  $f/100$  ).



Obr. 7.2: Zapojení obvodu děličky kmitočtu.

## 8 MĚŘENÍ STEJNOSMĚRNÉ SLOŽKY NAPĚTÍ

### 8.1 Popis přípravku pro měření stejnosměrné složky napětí

Pro měření stejnosměrné složky napětí je použito 3 ½ místné LED panelové měřidlo PM129A [4]. Tento měřicí modul měří přímo hodnotu stejnosměrného napětí. Jeho použití se nachází v řadě aplikací např. voltmetr, ampérmetr, teploměr, PH metr, dB metr, wattmetr, měřič kapacity a v mnoha dalších průmyslových i domácích použití.

### 1) Přednosti měřícího modulu

citlivost 200 mV  
ss nesymetrické napájení  
volitelná desetinná tečka  
automatická indikace polarity  
zaručená nula při nulovém vstupním napětí  
vysoká vstupní impedance (min. 100 MΩ)

### 2) Parametry měřícího modulu

max. vst. napětí: 199,9 mV DC  
max. údaj LCD: 1999 s automatickou indikací polarity  
zobrazení: LED  
měřící metoda: integrovaný A/D převodník  
indikace přetížení: zobrazeno číslo "1"  
vzorkování: 2 – 3x vt.  
vst. impedance: min. 100 MΩ  
přesnost:  $\pm 0,5\%$  (23C $\pm$ 5C, RH max. 80%)  
napájecí proud: 60 mA  
desetinná tečka: volitelná propojkou  
napájení: 6 – 9 V DC (PM129A)  
rozměry: 68 x 44 mm

## **8.2 Změna napět'ového rozsahu měřícího modulu ss napětí**

Pro použití popisovaného 3 ½ místného LED panelového měřidla PM129A v navrhovaném generátoru je potřeba provést změnu rozsahu na 20 V. Pro zvolený rozsah se rozpojí propojka RB a nahradí se rezistorem o hodnotě  $R_B = 9.9 \text{ M}\Omega$ . Dále se nahradí rezistor RA hodnotou  $R_A = 100 \text{ k}\Omega$ . Pro dosažení správného zobrazení desetinné tečky v nastaveném napět'ovém rozsahu se rozpojí propojka P1 a následně spojí propojka P2.

## **8.3 Kalibrace nastaveného napět'ového rozsahu**

Měřící modul se připojí na stejnosměrné napájecí napětí 7 - 11 V s ohledem na správné připojení polarity. Pro zvolený napět'ový rozsah 20 V se připojí na vstup poloviční úroveň než je max. zobrazitelná hodnota (10,00 V pro rozsah 20,00 V) a následně se napět'ový rozsah zkalibruje pomocí přesného ss voltmetru tak, že správná zobrazená hodnota se nastaví trimrem  $P_k$  [4].



# 9 MĚŘENÍ STŘÍDAVÉ SLOŽKY NAPĚTÍ

## 9.1 Měření střídavých napětí

Střídavá napětí jsou charakterizována efektivní, střední a maximální hodnotou. Nejčastěji je požadováno měřit efektivní hodnotu, která udává výkonové vlastnosti měřeného signálu.

Efektivní hodnota sinusového napětí:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (\text{V}; \text{s}, \text{V}) \quad (10.1)$$

kde  $T$ ..... perioda měřeného signálu, (s)

$u(t)$ .....měřené napětí. (V)

Výpočet efektivní hodnoty dvoucestně usměrněného harmonického průběhu napětí:

$$U_{ef} = U_{\max} = U_{STŘ} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = U_{STŘ} \cdot k_t \quad (\text{V}; \text{V}, \text{V}, -) \quad (10.2)$$

kde  $U_{ef}$ ..... efektivní hodnota dvoucestně usměrněného napětí, (V)

$U_{\max}$ ..... maximální hodnota napětí, (V)

$U_{stř}$ ..... střední hodnota napětí, (V)

$k_t$ ..... činitel tvaru, přibližně  $k_t = 1,11$  (-)

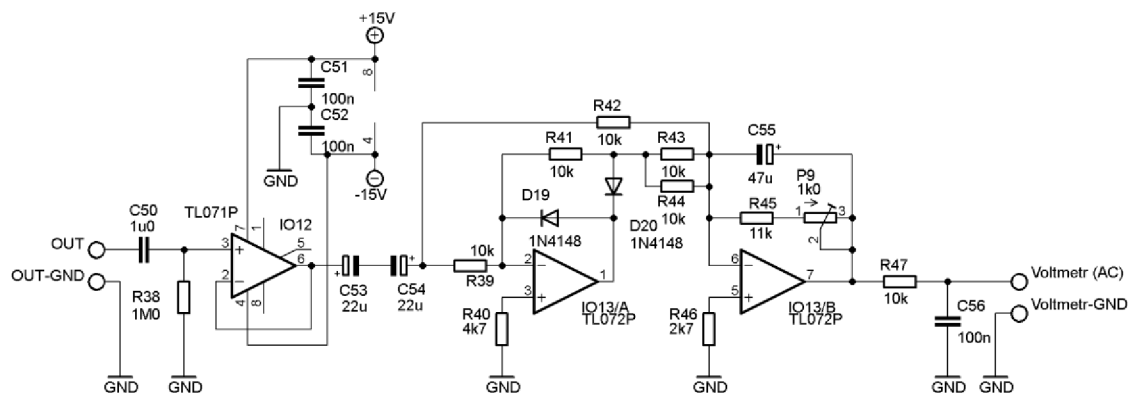
Střídavý číslicový voltmetr lze získat doplněním stejnosměrného číslicového voltmetru vhodným převodníkem. Převodníky jsou většinou realizovány operačními zesilovači. Střídavé napětí je nejprve usměrněno a následně převodník upraví jeho hodnotu tak, aby napětí měřené na ss voltmetru odpovídalo efektivní hodnotě měřeného napětí [3].

## 9.2 Popis zapojení pro měření efektivní hodnoty střídavé složky napětí

Měřené napětí se připojí na vstup IN1. Na vstupu je připojen kondenzátor C50, který oddělí stejnosměrnou složku a propustí pouze střídavou hodnotu. Rezistor R38 zajišťuje stejnosměrnou hodnotu vstupu na hladině poloviny napájecího napětí a tím i vysokou citlivost přípravku. Vstupní odpor usměrňovače je určen hodnotou rezistoru R38. Následuje neinvertující zesilovač se zesílením 1 (sledovač), který je tvořen operačním zesilovačem IO12 (TL071). Kmitočtový rozsah tohoto operačního zesilovače 10Hz až cca 200 kHz je přijatelný. Následuje další oddělení střídavé složky dvojicí sériově zapojených kondenzátorů C53 a C54 se vzájemně přehozenou polaritou.

Usměrňovač je tvořen operačním zesilovačem IO13A v invertujícím zapojení, rezistorem R40 a diodami D19 a D20. Proto se při kladném napětí na vstupu usměrňovače objeví na výstupu záporné napětí. Při záporné půlplně je dioda D20 uzavřena a signál je veden pouze přes IO13B, který signál invertuje. Při kladné půlplně se dioda D20 otevře a na její anodě se objeví invertovaný vstupní signál. Na invertujícím vstupu IO13B (zapojený jako součtový invertující zesilovač) se sečte invertovaný signál z usměrňovače se vstupním. Signál z usměrňovače je více zesílen, a proto se na výstupu opět objeví kladné napětí.

Přesnost usměrňovače závisí na přesnosti rezistorů R39 až R43, a tudíž je použito paralelního spojení R42 a R43, aby byla výsledná hodnota přesně poloviční. Tuto výslednou absolutní hodnotu napětí je nutné vynásobit koeficientem přibližně 1,11, aby výsledná hodnota byla efektivní. Za tímto účelem je ve zpětné vazbě IO13B zapojen rezistor spolu s odporovým trimrem, který umožňuje výstupní hodnotu napětí upravit, aby stejnosměrný měřicí voltmetr ukazoval efektivní úroveň napětí o správné hodnotě. Rezistory zapojené na neinvertujících vstupech operačních zesilovačů snižují vliv proudové nesymetrie vstupů. Pro filtraci výstupního napětí jsou na výstupu zapojeny rezistor R47 a kondenzátor C56, kteří zlepšují přesnost měření na nižších kmitočtech a zabraňují pronikání napětíových špiček na vstup měřicího přístroje [11].



Obr. 9.1: Schéma zapojení usměrňovače (převzato z [11]).

# 10 MECHANICKÉ ŘEŠENÍ

## 10.1 Mechanická konstrukce

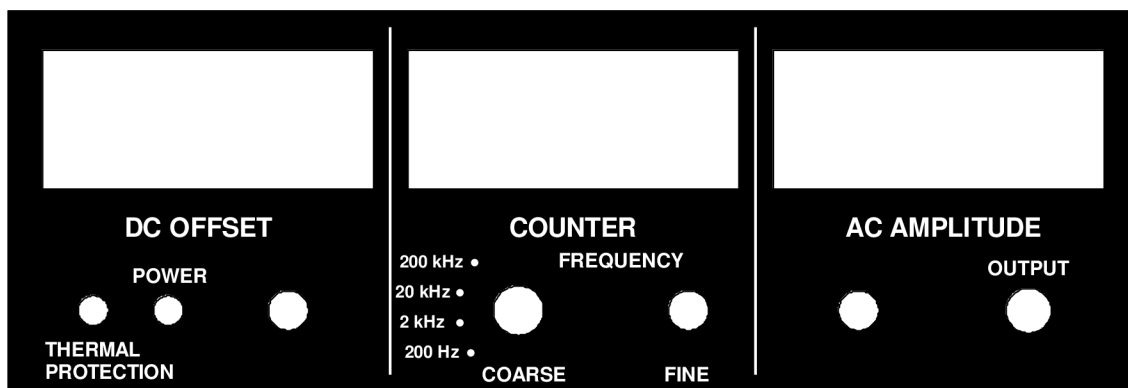
Realizovaný generátor je složen z jedné oboustranné desky plošných spojů s rozměry 221 x 173 mm a dále z oboustranné malé desky s rozměry 61 x 42 mm, která tvoří displej pro čítač kmitočtu. Deska plošných spojů generátoru je přišroubována pomocí čtyř plastových distančních sloupků ke dnu kovové přístrojové krabičky. Zadní strana generátoru obsahuje chladič (pro stabilizátory napětí a výkonový operační zesilovač), dvoupólový vypínač a síťovou zásuvku typu EURO konektor včetně integrovaného držáku na pojistku. Přední panel generátoru obsahuje dva voltmetry (pro měření AC složky a DC offset), displej čítače, ovládací prvky pro nastavení AC amplitudy, DC offset, kmitočet (FINE – jemně) a přepínač pro čtyři kmitočtové rozsahy (COARSE – hrubě). Dále přední panel obsahuje výstupní konektor BNC a dvě LED diody (zelená – napájení, červená – tepelná ochrana výkonového operačního zesilovače).

## 10.2 Uspořádání čelního panelu generátoru

Pro navržený generátor byla vybrána kovová přístrojová krabička[2]:

KK09-23251 s vnitřními rozměry 225 x 77 x 240 (š x v x d)

V čelním panelu kovové přístrojové krabičky byly vytvořeny obdélníkové otvory s rozměry 66 x 28 mm pro plastové rámečky dvou panelových voltmetrů a jeden prostřední stejných rozměrů pro sestavený displej čítače kmitočtu. Všechny ovládací prvky byly opatřeny trny proti protáčení při dorazu na konci jejich dráhy.



Obr. 10.1: Přední panel generátoru.

# 11 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI

## 11.1 Nastavení výstupního kmitočtového rozsahu generátoru

Po oživení obvodu generátoru bylo zapojení ponecháno více než 10 minut v provozu, aby došlo k ustálení jeho parametrů. Pro zvolené kmitočtové rozsahy generátoru byly předem vybrány a následně nastaveny (pomocí paralelní kombinace) časovací kondenzátory CAx až CDx na výslednou kapacitu odpovídající nastavenému kmitočtovému rozsahu. Počátek a konec stupnice zvoleného kmitočtového rozsahu by neměl začínat a končit mechanickým dorazem potenciometru. Souběh stupnice s naměřeným kmitočtem byl dosažen pomocí trimrů P2A a P3A. Pro realizovaný generátor byly vybrány kmitočtové rozsahy:

### Kmitočtové rozsahy generátoru

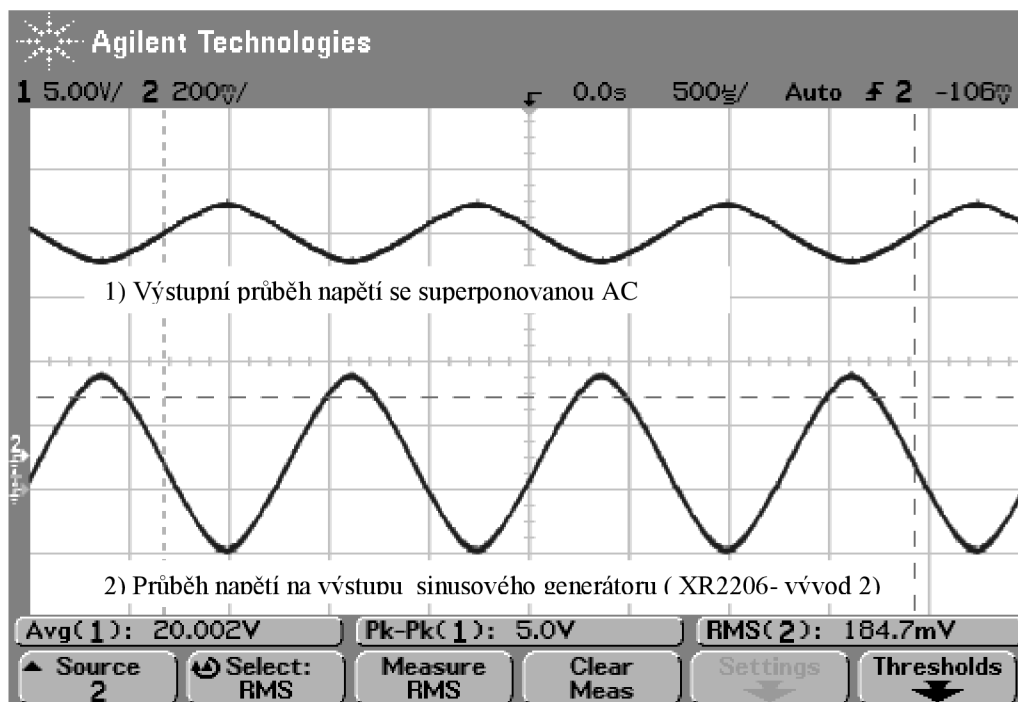
Nastavený rozsah	Změřený rozsah
20 Hz – 200 Hz	20,04 Hz – 214,6 Hz
200 Hz – 2 kHz	200,0 Hz – 2,141 Hz
2kHz – 20 kHz	2,024 kHz – 21,65 kHz
20kHz – 200 kHz	19,96 kHz – 203,7 kHz

Tab. 11.1: Kmitočtové rozsahy realizovaného generátoru (měřeno osciloskopem Agilent 54624A).

Při přepnutí rozsahu je horní a dolní kmitočet přibližně dekadickým násobkem sousedních rozsahů. Nejnižší základní rozsah je 20 Hz až 200 Hz.

## 11.2 Nastavení tvaru sinusového průběhu

Pomocí trimrů P4 a P5 je nastaven co nejvěrnější sinusový průběh zobrazovaný pomocí osciloskopu - lze kontrolovat pomocí měřiče zkreslení. Následně byly seřizeny mezivrcholové hodnoty sinusového napětí, včetně stejnosměrných složek – měřeno na výstupu IO6/B přes rezistor R17 [7].



Obr. 11.1: Průběh napětí na výstupu generátoru.

### 11.3 Ověření funkce a kalibrace čítače kmitočtu

Signál pro měření kmitočtu je odebírán přímo z výstupu IO7 XR2206 (vývod 2) a přiváděn na vstup tvarovacího obvodu, který tvoří pravoúhlý průběh. K výstupu tvarovacího obvodu je připojena rychlá předdělička s integrovaným obvodem CMOS 4518, která se zařazuje do obvodu společně s přepnutím odpovídajícího rozsahu generátoru pomocí otočného 4-polohového přepínače. Zároveň se současně s otočením přepínače rozsvítí desetinná tečka na odpovídajícím místě zobrazovací jednotky čítače.

Po ověření funkce čítače kmitočtu byl jeho rozsah zkalibrován. Tato kalibrace byla provedena pomocí čítače METEX MS-9170. Nastavení správné zobrazované hodnoty kmitočtu bylo provedeno nastavením hradlovací doby  $T_H$  pomocí trimru P10. Pro dlouhodobé udržení přesnosti by měl být odpor trimru P10 výrazně menší než odpor rezistoru R48 [13].

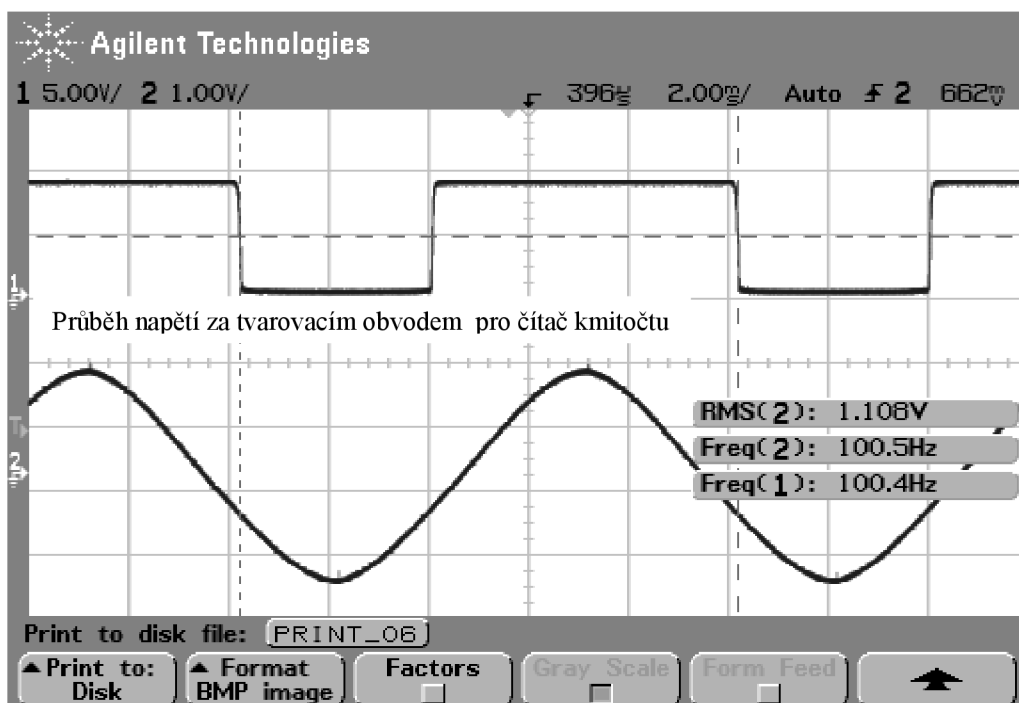
### 11.4 Kalibrace napěťového rozsahu nízkofrekvenčního usměrňovače pro měření AC složky

Pro správně zobrazované hodnoty efektivního napětí je třeba provést kalibraci napěťového rozsahu nízkofrekvenčního usměrňovače.

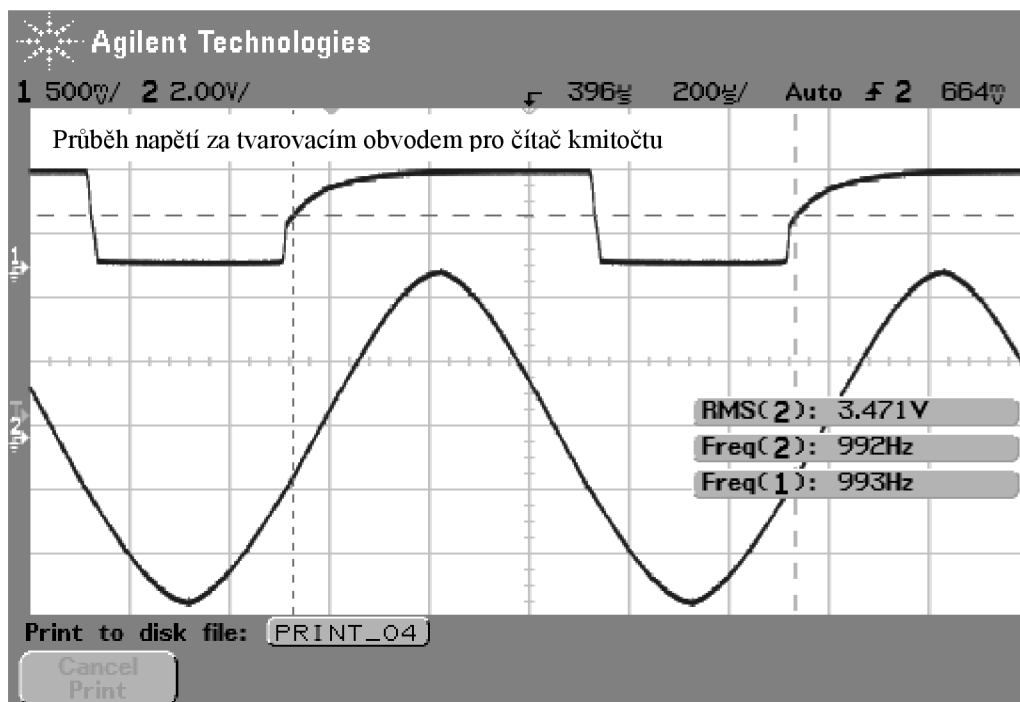
Přestože jsou v obvodu usměrňovače použity odpovídající hodnoty rezistorů pro potřebné zesílení IO13/B ( TL072 ), bylo třeba nastavit požadované zesílení IO13/B

pomocí trimru P9. Pro nastavení lze použít zdroj signálu o známé amplitudě ( respektive efektivní hodnotě ) s normovaným kmitočtem 1 kHz. Tento signál je přiveden na vstup usměrňovače, na výstupu je připojen voltmetr (kalibrovaný panelový voltmetr) a trimrem P9 je nastavena zobrazovaná velikost efektivního napětí na správnou hodnotu shodující se s velikostí efektivního vstupního napětí. Dolní mezní citlivost je dána nesymetrií vstupů. Popisovaný obvod usměrňovače je schopen měřit napětí od přibližně 20 mV [12].

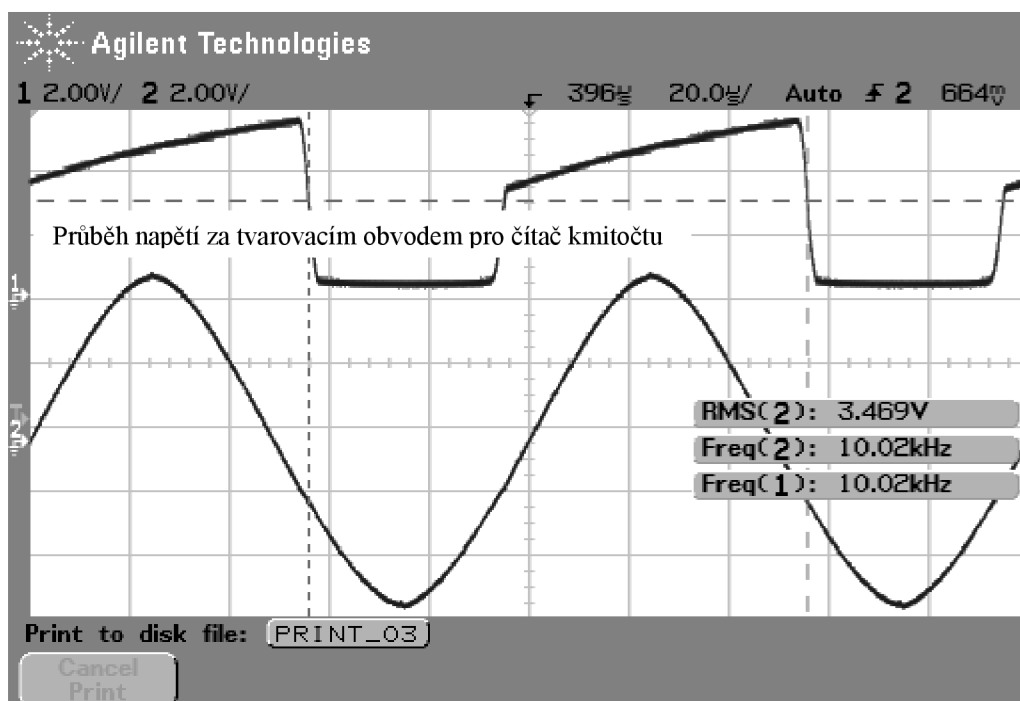
Změřené výstupní průběhy napětí generátoru XR2206 (vývod 2) a průběhy za tvarovacím obvodem čítače:



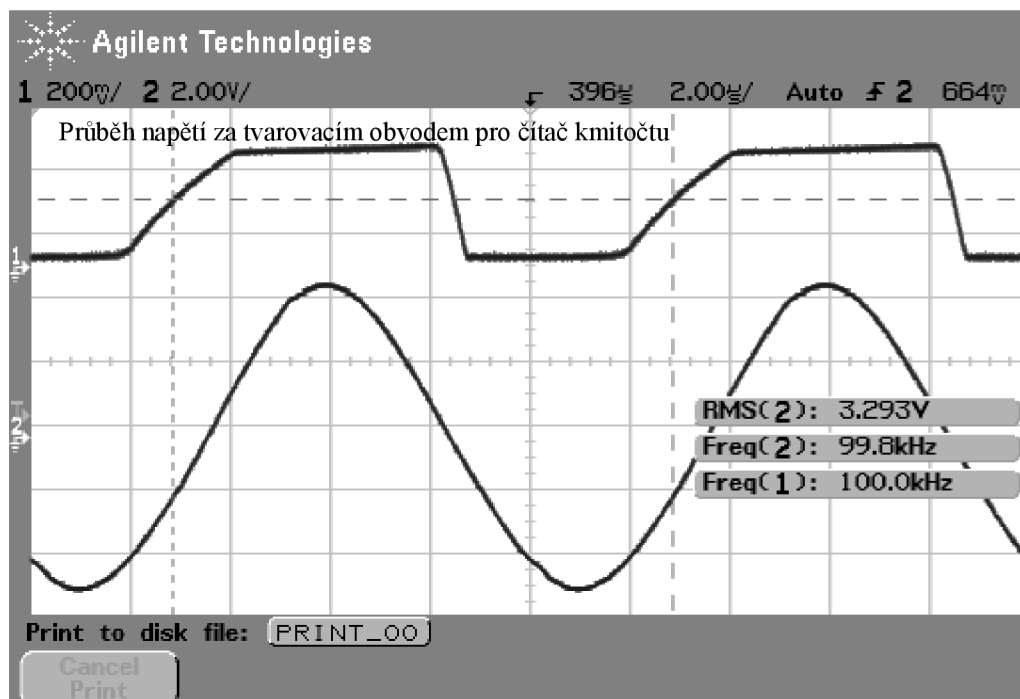
Obr. 11.2: Výstupní průběh napětí generátoru pro kmitočet 100 Hz.



Obr. 11.3: Výstupní průběh napětí generátoru pro kmitočet 1 kHz.



Obr. 11.4: Výstupní průběh napětí generátoru pro kmitočet 10 kHz.



Obr. 11.5: Výstupní průběh napětí generátoru pro kmitočty 100 kHz.

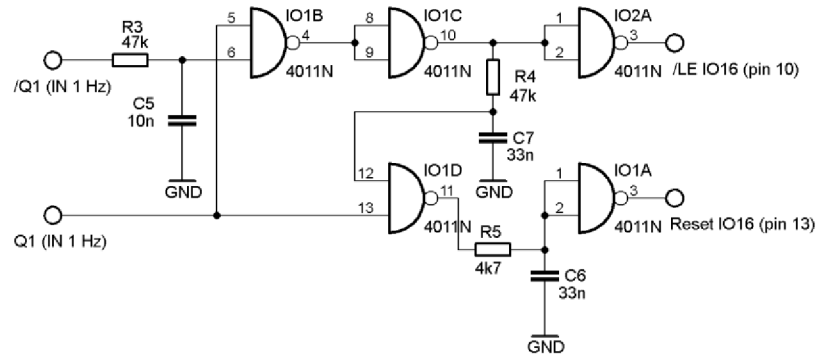
## 11.5 Úprava zapojení čítače kmitočtu

Pro přesnější měření kmitočtu byl původní hradlovací generátor (NE556C) v obvodu čítače kmitočtu nahrazen generátorem řízeným krystalem (Obr. 11.7). Tato úprava zvýšila stabilitu kmitočtu a odstranila výraznou závislost změny kmitočtu podle okolní teploty. Sestavený hradlovací generátor se skládá z integrovaného obvodu CMOS 4060, který generuje obdélníkový průběh kmitočtu 2 Hz, který je následně podělen děličkou sestavenou z integrovaného obvodu CMOS 4013, na jehož výstupu je obdélníkový průběh s kmitočtem 1 Hz. Tento výsledný kmitočt tvoří hradlovací dobu  $T_H$  pro nejnižší rozsah čítače kmitočtu 200 Hz.

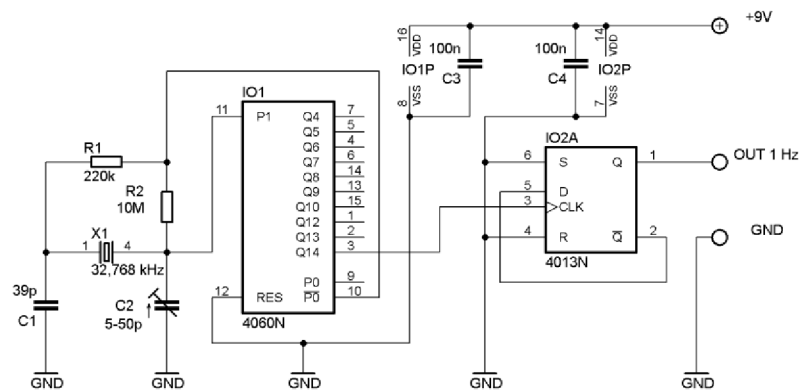
Vzestupnou hranou hradlovacího impulsu se stav čítače přepisuje do vnitřní paměti (střadače) IO16 (4553), ze kterého se se zobrazuje na displej. Od této vzestupné hrany hradlovacího pulsu se zároveň derivačním článkem C59, R50 vytváří impuls pro nulování čítače. Tento impuls je dále zpoždován integračním článkem R51, C60, aby se zajistilo, že zápis do střadače proběhne dříve než nulování[13].



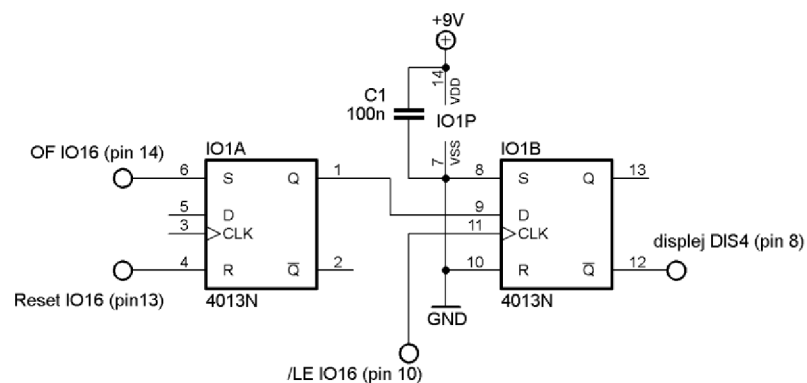
Z důvodu nedosažení požadovaných vlastností při hradlovací době 1 s byla tato část obvodu nahrazena následujícím zapojením:



Obr. 11.6: Zpoždovací obvod pro zápis do střadače čítače a reset.

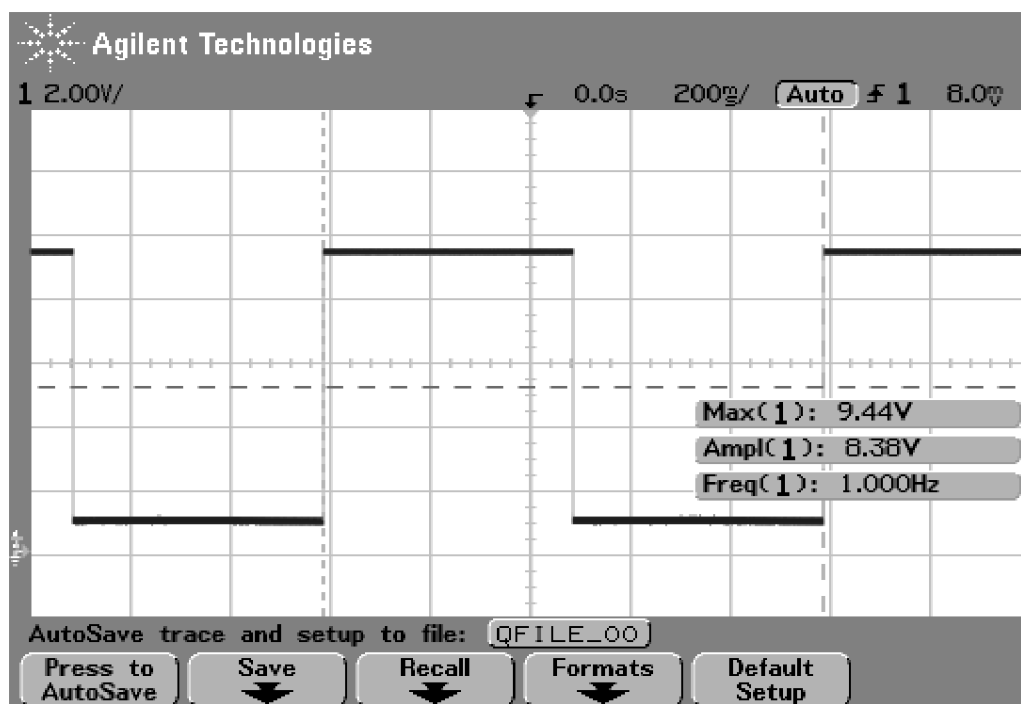


Obr. 11.7: Krystalem řízený generátor pro kmitočet 1 Hz (převzato z [14]).



Obr. 11.8: Obvod indikující zvýšení kmitočtového rozsahu čítače

Obvod indikace zvýšení rozsahu čítače byl nahrazen zapojením (Obr. 11.8) složeným ze dvou hradel (typu RS a D) integrovaného obvodu CMOS 4013. Signálem /LE se přepisuje stav log 1 na výstup (rozsvícení 1), došlo-li k přetečení čítače (signál OF – Overflow).



Obr. 11.9: Výstupní průběh kmitočtu 1 Hz krystalem řízeného oscilátoru

## 11.6 Parametry realizovaného generátoru

U sestaveného generátoru bylo dosaženo následujících parametrů:

Parametr	Hodnota
DC offset	6 V – 20 V
max. AC amplituda	5,5 V
Rozsah výstupního kmitočtu	20 Hz – 200 Hz
	200 Hz – 2 kHz
	2 kHz – 20 kHz
	20 kHz – 200 kHz
Výstupní proud	0,5 A

Tab. 11.2: Parametry realizovaného generátoru.

## 12 ZÁVĚR

Realizovaný generátor je určen pro měření zvlnění napěťových stabilizátorů společně s milivoltmetrem s pásmovými propustmi a osciloskopem, kterým se budou kontrolovat parametry výstupního napětí. Hodnoty ss. složky napětí a stř. složky napětí včetně jejího kmitočtu je možné nastavovat pomocí potenciometrů a odečítat ze sedmissegmentových LED displejů umístěných na předním panelu generátoru. Měřicí rozsah kmitočtu stř. složky napětí se mění společně s rozsahem kmitočtu generátoru pomocí otočného 4-polohového přepínače. Sestavený generátor je složen ze dvou oboustranných plošných spojů (generátor a měřicí displej čítače kmitočtu) vytvořených v návrhovém programu Eagle verze 5.

Z důvodu nedosažení potřebných parametrů byly některé části obvodu upraveny. Tyto úpravy byly otestovány na univerzální pájecí desce plošných spojů a spojeny s příslušnými obvody částmi generátoru.

Hradlovací obvod pro čítač složený z astabilního multivibrátoru s integrovaným obvodem NE555 byl nahrazen přesnějším krystalem řízeným generátorem s integrovaným obvodem 4060. Touto úpravou se zlepšila přesnost čítače kmitočtu a také se minimalizoval vliv okolní teploty na stabilitu kmitočtu hradlovacího obvodu.

Dále byl nahrazen obvod, který ze vzestupné hrany hradlovacího pulsu vytváří derivačním článkem C59, R50 a zpožďovacím integračním článkem R51, C60 impuls pro nulování čítače. Náhrada byla provedena pomocí zpožďovacího obvodu složeného z logických hradel NOR.

Poslední změnou byla úprava monostabilního klopného obvodu, který sloužil k rozšíření rozsahu čítače integrovaným obvodem CMOS 4013 (hradla RS a D).

Dosažené parametry realizovaného generátoru:

- Rozsah nastavení ss složky (DC offset): 6 – 20 V
- Maximální amplituda stř. složky (AC): 5,5 V
- Kmitočtový rozsah generátoru (4 stupně): 20 -200 kHz
- Výstupní proud: 0,5 A

Realizovaný generátor bude využíván v laboratorní výuce předmětu BNEZ (*Napájení elektronických zařízení*). Za tímto účelem byla upravena laboratorní úloha č.3 s názvem *Spojité stabilizátory napětí s diskrétními prvky*. Upravená laboratorní úloha je přiložena v příloze C na konci bakalářské práce.

# LITERATURA

- [1] Datasheetcatalog [online]. [cit 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/exar/XR2206v103.pdf>>.
- [2] EZK [online]. [cit 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <[http://www.ezk.cz/krabicky\\_kovove.htm](http://www.ezk.cz/krabicky_kovove.htm)>.
- [3] GESCHEIDTOVÁ, E., REZ, J., STEINBAUER, M. *Měření v elektrotechnice*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2002.
- [4] GM ELECTRONIC [online]. [cit 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/722/722-199/czn.722-199.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/722/722-199/czn.722-199.1.pdf)>.
- [5] KREJČÍŘÍK, A. *Lineární napájecí zdroje*. Praha: BEN – technická literatura, 2001.
- [6] MIKO, M. *Modul pro měření přenosu zvlnění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2004. 55s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.
- [7] NOVOTNÝ, B. Generátor funkcí – rozmitač. *Amatérské Radio*. 1992, č.12, s. 554-558.
- [8] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA, M. *Napájení elektronických zařízení – přednášky*. Skriptum FEKT VUT v Brně. MJ Servis Brno, 2003.
- [9] PUNČOCHÁŘ, J. *Operační zesilovače v elektronice*. Praha: BEN – technická literatura , 2002.
- [10] ŠEBESTA, J. *Napájení elektronických zařízení – laboratorní cvičení*, Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007.
- [11] SLÁNSKÝ, M. *Nízkofrekvenční usměrňovač k digitálnímu multimetru* [online]. 2007 [cit 2009-12-16]. Dostupný z WWW: <[http://michal.slansky.sweb.cz/data/nizkofrekvenzni\\_usmernovac\\_k\\_digitalnimu\\_%20multimetru/text.pdf](http://michal.slansky.sweb.cz/data/nizkofrekvenzni_usmernovac_k_digitalnimu_%20multimetru/text.pdf)>.
- [12] Texas Instruments [online]. [cit 2009-12-30]. Dostupný z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf>>.
- [13] VLČEK, J. Třímístný čítač kmitočtu. *Amatérské Radio*. 2009, č.3, s. 19-21.
- [14] WENDT, H. P. *My Nixie Clock Project* [online]. 2009 [cit 2010-5-24]. Dostupný z WWW: <[http://www.mcamafia.de/nixie/ncp\\_en/ncp.htm](http://www.mcamafia.de/nixie/ncp_en/ncp.htm)>.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

$P$	Přenos zvlnění
$P_{dB}$	Přenos zvlnění v logaritmické míře
$P'$	Poměrný přenos zvlnění
$T$	Perioda měřeného signálu
$T_H$	Doba trvání úrovně H
$T_L$	Doba trvání úrovně L
$U$	Efektivní hodnota napětí
$u(t)$	Okamžitá hodnota měřeného napětí

# SEZNAM PŘÍLOH

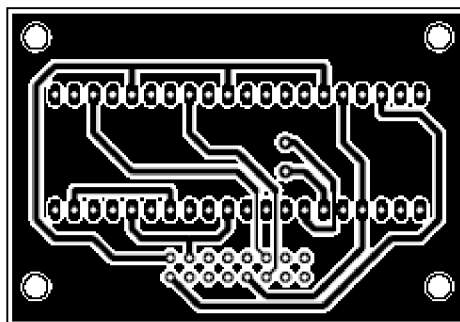
<b>A</b>	<b>Návrh zařízení .....</b>	<b>29</b>
A1	Obvodové zapojení .....	29
A2	Plošné spoje a osazovací plán displeje čítače kmitočtu .....	29
A3	Plošné spoje a osazovací plán generátoru .....	30
<b>B</b>	<b>Seznam součástek .....</b>	<b>33</b>
<b>C</b>	<b>Upravená laboratorní úloha .....</b>	<b>38</b>

# A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

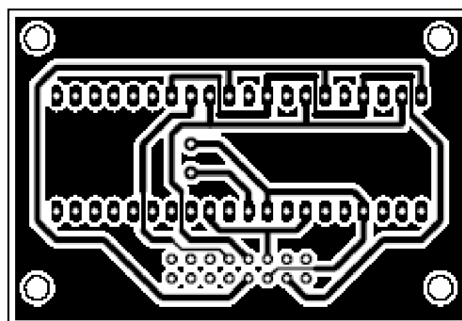
## A1 Obvodové zapojení

Celkové schéma navrženého obvodu je přiloženo na konci bakalářské práce (formát listu A3).

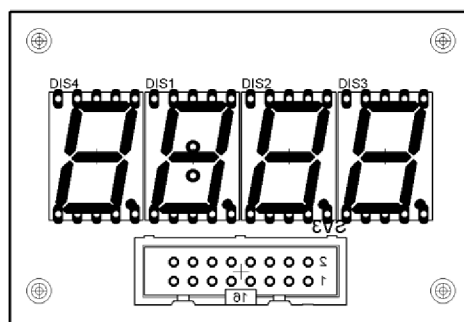
## A2 Plošné spoje a osazovací plán displeje čítače



Displej čítače - strana spojů – BOTTOM, rozměr 61 x 42 mm, měřítko M1:1

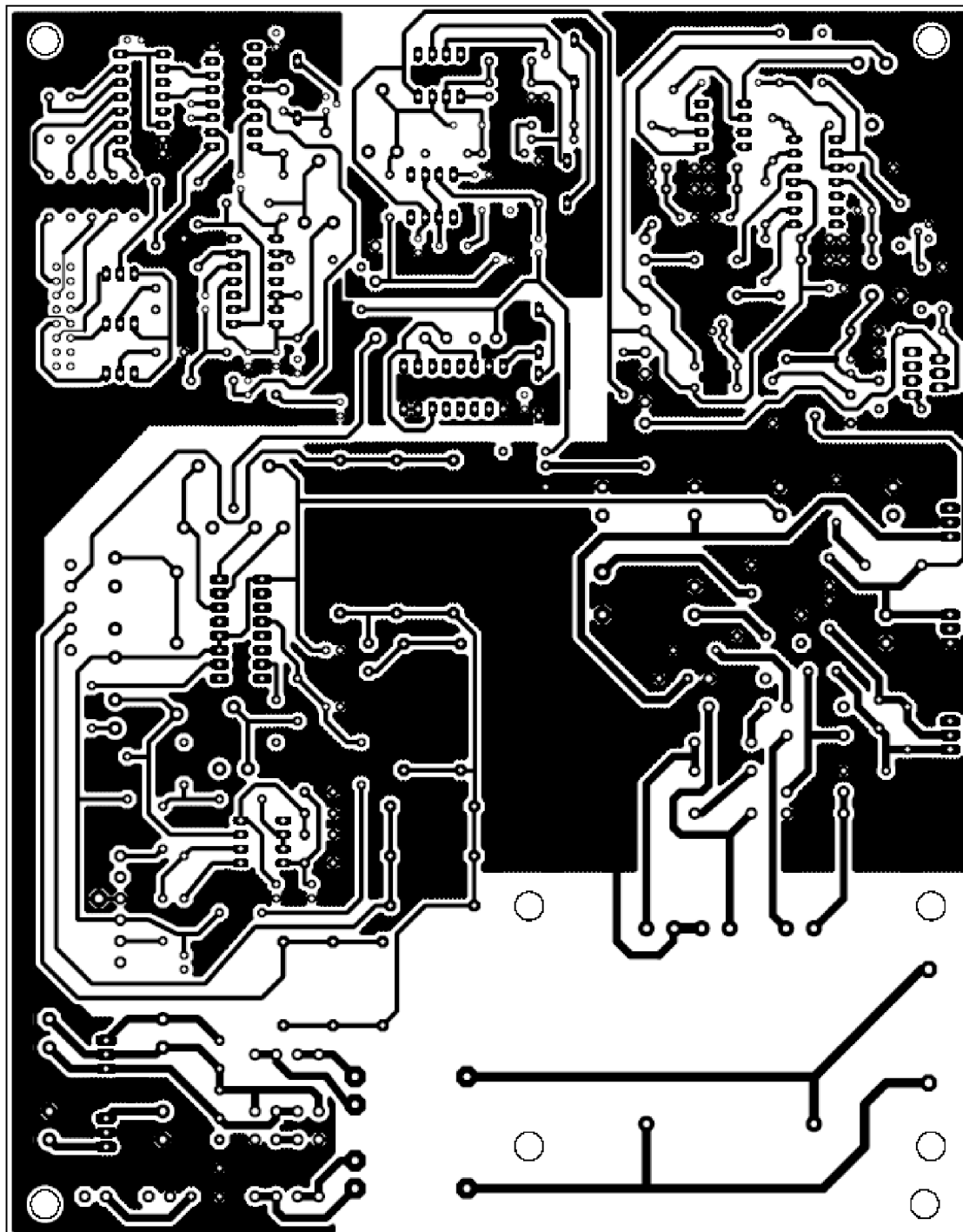


Displej čítače - strana součástek – TOP, rozměr 61 x 42 mm, měřítko M1:1



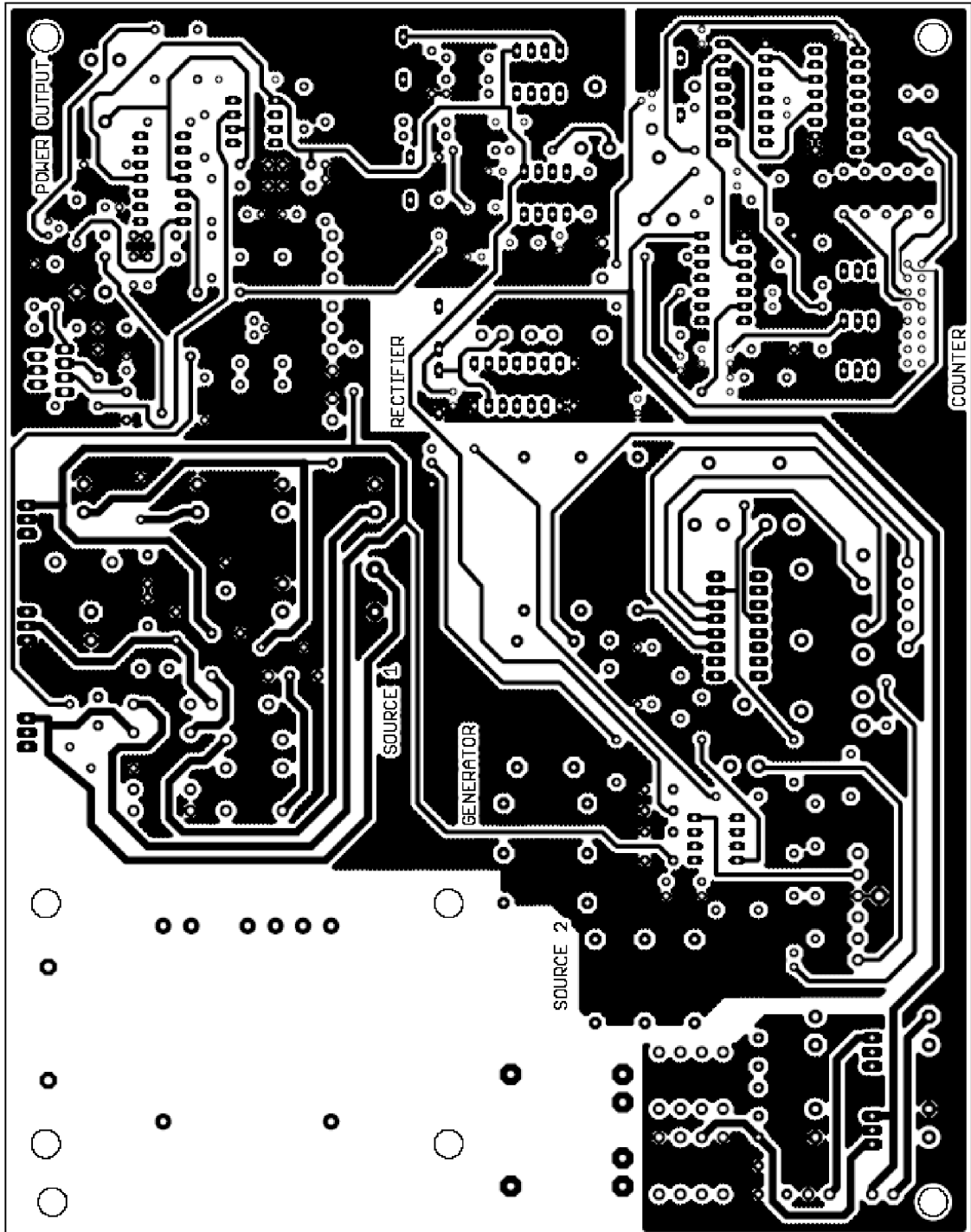
Osazovací plán displeje čítače

### A3 Plošné spoje a osazovací plán generátoru



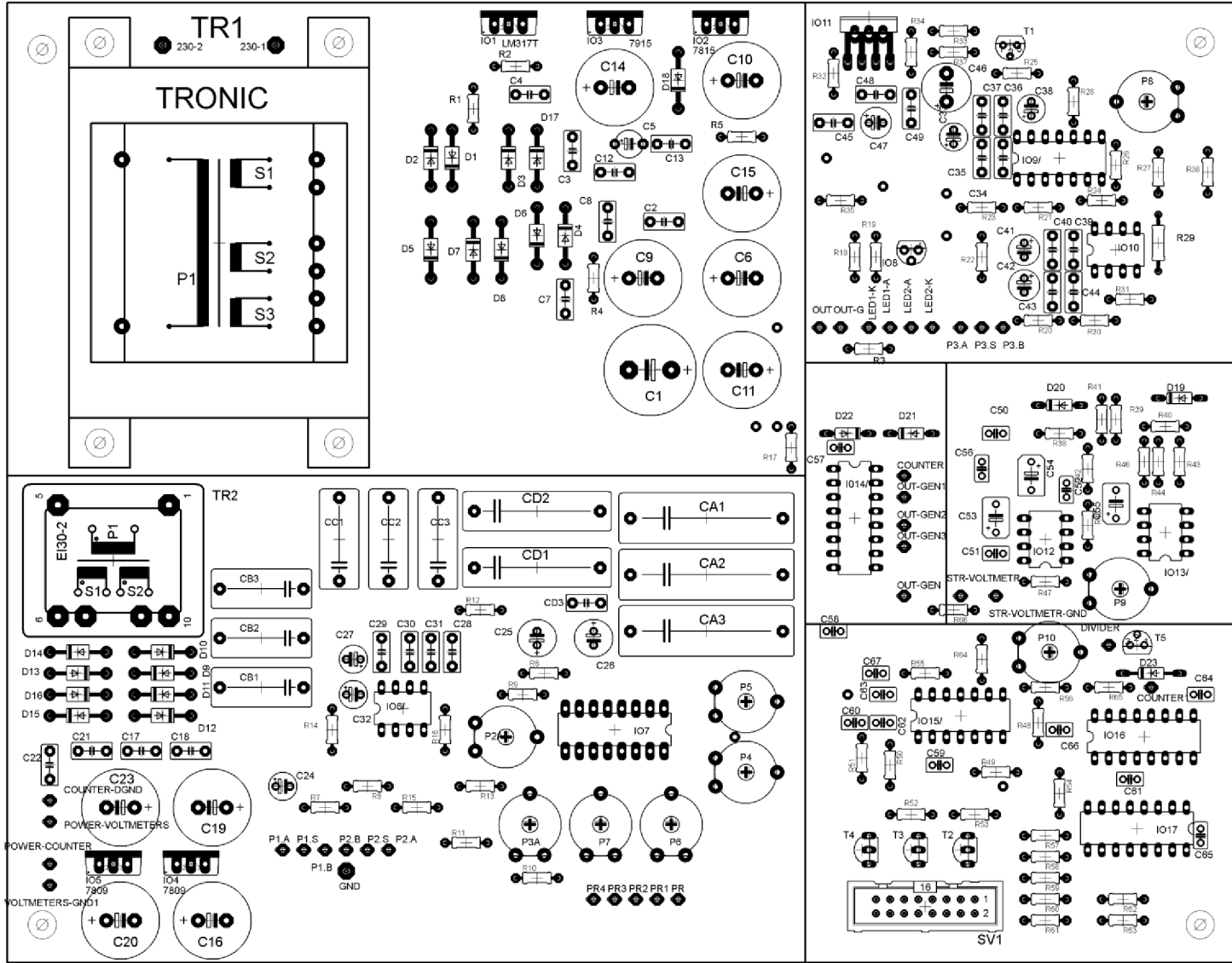
Generátor - strana spojů – BOTTOM, rozměr 221 x 173 mm, měřítko M1:1,15





Generátor - strana součástek – TOP, rozměr 221 x 173 mm, měřítko M1:1,15

Osazovací plán generátoru



## B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	2200u	B45181D	Elektrolytický kondenzátor
C2	100n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C3	100n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C4	100n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C5	1u	B45181D	Elektrolytický kondenzátor
C6	470u	B45181D	Elektrolytický kondenzátor
C7	22n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C8	22n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C9	100u	B45181D	Elektrolytický kondenzátor
C10	100u	B45181D	Elektrolytický kondenzátor
C11	470u	B45181D	Elektrolytický kondenzátor
C12	22n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C13	22n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C14	100u	B45181D	Elektrolytický kondenzátor
C15	100u	B45181D	Elektrolytický kondenzátor
C16	470u	E5-13	Elektrolytický kondenzátor
C17	22n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C18	22n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C19	100u	E5-13	Elektrolytický kondenzátor
C20	470u	E5-13	Elektrolytický kondenzátor
C21	22n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C22	22n	C050-030X075	Keramický kondenzátor
C23	100u	E5-13	Elektrolytický kondenzátor
C24	2u2	E5-6	Elektrolytický kondenzátor
C25	22u	E5-6	Elektrolytický kondenzátor
C26	22u	E5-6	Elektrolytický kondenzátor
C27	10u	E2,5-7	Tantalový kondenzátor
C28	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C29	10n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C30	10n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C31	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C32	10u	E2,5-7	Tantalový kondenzátor
C33	10u	E5-6	Tantalový kondenzátor
C34	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C35	10n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C36	10n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C37	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C38,C39	10u	E5-6	Tantalové kondenzátory

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C40	2n2	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C41	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C42	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C43	2n2	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C44	10u	E5-6	Tantalový kondenzátor
C45	10n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C46	100u	E5-6	Elektrolytický kondenzátor
C47	10u	E5-6	Elektrolytický kondenzátor
C48	2n2	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C49	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C50	1u0	C025-025X050	Elektrolytický kondenzátor
C51	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C52	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C53	22u	B45181B	Elektrolytický kondenzátor
C54	22u	B45181B	Elektrolytický kondenzátor
C55	47u	B45181B	Elektrolytický kondenzátor
C56	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C57	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C58	6n8	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C59	470p	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C60	10p	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C61	470p	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C62	M1	C025-025X050	rcl
C63	100u	C025-025X050	Elektrolytický kondenzátor
C64	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C65	100n	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C66	470p	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C67	6n8	C025-025X050	Keramický kondenzátor
CA1	2u2		Polyesterový kondenzátor
CA2	2u2		Polyesterový kondenzátor
CA3	2u2		Polyesterový kondenzátor
CB1	100n		Polyesterový kondenzátor
CB2	100n		Polyesterový kondenzátor
CB3	100n		Polyesterový kondenzátor
CC1	10n		Polyesterový kondenzátor
CC2	10n		Polyesterový kondenzátor
CC3	10n		Polyesterový kondenzátor
CD1	1n		Polyesterový kondenzátor
CD2	1n		Polyesterový kondenzátor
CD3	1n		Polyesterový kondenzátor
D1	1N4004	DO41-10	Dioda
D2	1N4004	DO41-10	Dioda
D3,D4	1N4004	DO41-10	Diody

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
D5	1N4004	DO41-10	Dioda
D6	1N4004	DO41-10	Dioda
D7	1N4004	DO41-10	Dioda
D8	1N4004	DO41-10	Dioda
D9	1N4004	DO41-10	Dioda
D10	1N4004	DO41-10	Dioda
D11	1N4004	DO41-10	Dioda
D12	1N4004	DO41-10	Dioda
D13	1N4004	DO41-10	Dioda
D14	1N4004	DO41-10	Dioda
D15	1N4004	DO41-10	Dioda
D16	1N4004	DO41-10	Dioda
D17	BZX85	DO41Z10	Dioda
D18	BZX85	DO41Z10	Dioda
D19	1N4148	DO35-7	Dioda
D20	1N4148	DO35-7	Dioda
D21	1N4148	DO35-7	Dioda
D22	1N4148	DO35-7	Dioda
D23	BAT42	DO35-10	Dioda
DIS1	HD-H101	HDSP-M	Sedmisegmentový displej
DIS2	HD-H101	HDSP-M	Sedmisegmentový displej
DIS3	HD-H101	HDSP-M	Sedmisegmentový displej
DIS4	HD-H101	HDSP-M	Sedmisegmentový displej
IO1	LM 317T	317TS	Stabilizátor napětí
IO2	7815	78XXS	Stabilizátor napětí
IO3	7915	79XXS	Stabilizátor napětí
IO4	7809	TO220	Stabilizátor napětí
IO5	7809	TO220	Stabilizátor napětí
IO6	TL082P	DIL08	Integrovaný obvod
IO7	XR2206	DIL16	Integrovaný obvod
IO8		TO92-CLP	Integrovaný obvod
IO9	TL084P	DIL14	Integrovaný obvod
IO10	LF356N	DIL08	Integrovaný obvod
IO11	OPA547T	TO220-7	Integrovaný obvod
IO12	TL071P	DIL08	Integrovaný obvod
IO13	TL072P	DIL08	Integrovaný obvod
IO14	4518N	DIL16	Integrovaný obvod
IO15	NE556N	DIL14	Integrovaný obvod
IO16	4553N	DIL16	Integrovaný obvod
IO17	4543N	DIL16	Integrovaný obvod
LED_1		LED5MM	LED dioda - zelená
LED_2		LED5MM	LED dioda - červená
P1; P2	50k; 10k	PC25	Potenciometry

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
P2A	47k	RTRIM3339P	Odporový trimr
P3	5k	PC25	Potenciometr
P3A	100k	RTRIM3339P	Odporový trimr
P4	470	RTRIM3339P	Odporový trimr
P5	22k	RTRIM3339P	Odporový trimr
P6	47k	LI10	Odporový trimr
P7	10k	LI10	Odporový trimr
P8	47k	RTRIM3339P	Odporový trimr
P9	1k0	RTRIM3339P	Odporový trimr
P10	2M	RTRIM3339P	Odporový trimr
R1	5k1	0204/30	Rezistor
R2	240	0204/29	Rezistor
R3	2k7	0204/28	Rezistor
R4	5k6	0204/27	Rezistor
R5	5k6	0204/26	Rezistor
R6	68k	0204/25	Rezistor
R7	820k	0204/24	Rezistor
R8	470k	0204/23	Rezistor
R9	2k2	0204/22	Rezistor
R10	560k	0204/21	Rezistor
R11	820k	0204/20	Rezistor
R12	10k	0204/19	Rezistor
R13	100k	0204/18	Rezistor
R14	4k7	0204/17	Rezistor
R15	0	0204/16	Drátová propojka
R16	3k9	0204/15	Rezistor
R17	100	0204/14	Rezistor
R18	11k	0204/13	Rezistor
R19	11k	0204/12	Rezistor
R20	2k2	0204/11	Rezistor
R21	100k	0204/10	Rezistor
R22	100	0204/9	Rezistor
R23	10k	0204/8	Rezistor
R24	10k	0204/7	Rezistor
R25	15k	0204/6	Rezistor
R26	15k	0204/5	Rezistor
R27	12k7	0204/4	Rezistor
R28	12k7	0204/3	Rezistor
R29	100	0204/2	Rezistor
R30	10k	0204/1	Rezistor
R31	91k	0204/0	Rezistor
R32	100	0204/1	Rezistor
R33	1k	0204/2	Rezistor

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R34	1k	0204/3	Rezistor
R35	15k	0204/4	Rezistor
R36	2k2	0204/5	Rezistor
R37	10k	0204/6	Rezistor
R38	1M0	0204/7	Rezistor
R39	10k	0204/7	Rezistor
R40	4k7	0204/7	Rezistor
R41	10k	0204/7	Rezistor
R42	10k	0204/7	Rezistor
R43	10k	0204/7	Rezistor
R44	10k	0204/7	Rezistor
R45	11k	0204/7	Rezistor
R46	2k7	0204/7	Rezistor
R47	10k	0204/7	Rezistor
R48	M18	0204/7	Rezistor
R49	3k3	0204/7	Rezistor
R50	47k	0204/7	Rezistor
R51	47k	0204/7	Rezistor
R52	47k	0204/7	Rezistor
R53	47k	0204/7	Rezistor
R54	47k	0204/7	Rezistor
R55	M22	0204/7	Rezistor
R56	M22	0204/7	Rezistor
R57	1k8	0204/7	Rezistor
R58	1k8	0204/7	Rezistor
R59	1k8	0204/7	Rezistor
R60	1k8	0204/7	Rezistor
R61	1k8	0204/7	Rezistor
R62	1k8	0204/7	Rezistor
R63	1k8	0204/7	Rezistor
R64	3k3	0204/7	Rezistor
R65	10k	0204/7	Rezistor
R66	10k	0204/7	Rezistor
S1			Přepínač 3 póly, 4 polohy
T1	BC557	TO92	Tranzistor PNP
T2	BC557B	TO92-EBC	Tranzistor PNP
T3	BC557B	TO92-EBC	Tranzistor PNP
T4	3xBC557B	TO92-EBC	Tranzistor PNP
T5	BC547B	TO92	Tranzistor NPN
TR1	2 x 18 V, 1 x 32 V	TRONIC	Transformátor
TR2	2 x 12 V	EI30-2	Transformátor

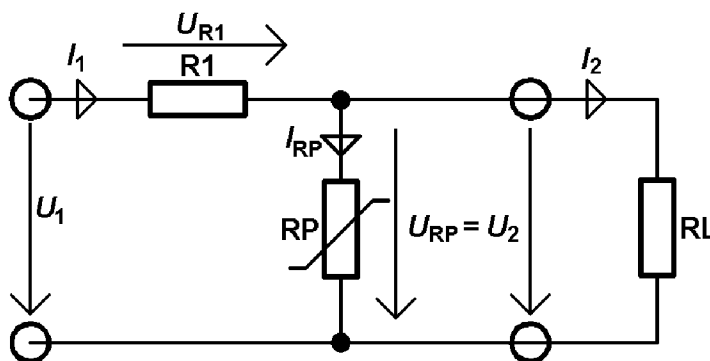
## C UPRAVENÁ LABORATORNÍ ÚLOHA

<b>BNEZ</b>	Č. úlohy 3	Spojité stabilizátory napětí s diskretními prvky	
Jméno:		Spolupracoval:	
Datum měření:		Hodnocení:	

### ÚVOD

Spojité stabilizátory napětí patří k základním typům stabilizačních obvodů napětí v elektronických zařízeních. Jejich značnou popularitu umocňuje především velmi atraktivní cena integrovaných forem stabilizátorů a minimum vnějších součástek, které jsou nutné pro jeho správnou činnost. Na obrázku 1 a 2 jsou naznačeny dva základní obvodové přístupy regulovaných spojitých stabilizátorů napětí.

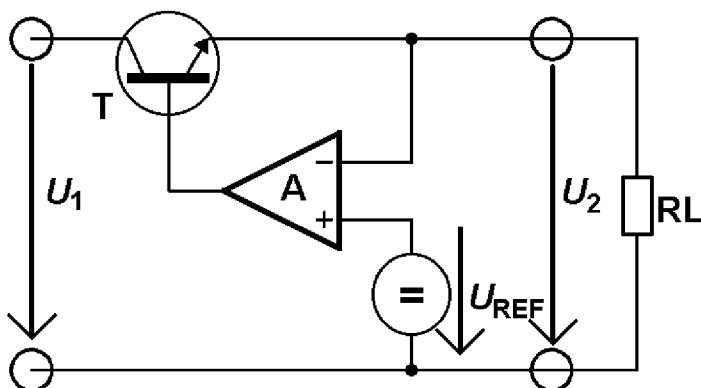
Prvním je parametrický stabilizátor (obr. 1), který využívá nelineární V-A charakteristiku vhodného dvojpólu RP (obvykle Zenerovy diody). Ta musí vykazovat velmi malý diferenciální odpor v oblasti stabilizovaného napětí a velký diferenciální odpor pro napětí menší než je požadovaná stabilizovaná hodnota. Nastavením vhodného pracovního proudu  $I_{RP}$  tímto prvkem docílíme, že napětí na jeho svorkách  $U_{RP}$  se při napájení ze zdroje proudu i při větších změnách pracovního proudu  $I_{RP}$  mění minimálně. Svorkové napětí uvažovaného nelineárního dvojpólu je pak výstupním stabilizovaným napětím. Zdroj proudu definuje napěťový zdroj  $U_1$  v sérii s vhodně voleným rezistorem R1. Nelineárním dvojpólem pro aplikaci v parametrickém stabilizátoru může být libovolná dioda zapojená v propustném směru (využitelná pracovní oblast je těsně za prahovým napětím V-A charakteristiky). Pro křemíkové diody je stabilizované napětí cca 0,7 V, pro germaniové 0,3 V, používají se i LED diody s prahovým napětím od 1,6 do 2,2 V v závislosti na spektru emitovaného světla. Vyšší požadovaná stabilizovaná napětí lze dosáhnout buď sériovou kombinací několika takových diod v propustném směru, nebo použitím Zenerovy diody zapojené v závěrném směru. Zenerovy diody jsou dvojpóly vykazující v závěrné části V-A charakteristiky nedestruktivní průraz (při dodržení dovolené výkonové ztráty na diodě). Průrazné napětí pak odpovídá stabilizovanému napětí na svorkách diody. Zenerovy diody se vyrábějí s průrazným napětím od jednotek V do cca 100 V v řadě E24 a pro různé výkonové ztráty od stovek mW do jednotek W. Pokud je potřeba jiné stabilizované napětí lze opět využít sériovou kombinaci několika Zenerových diod v závěrném směru, samozřejmě také v kombinaci s klasickými diodami polarizovanými v propustném směru.



Obr. 1. Principiální schéma spojitého parametrického stabilizátoru napětí



Na obrázku 2 je principiální schéma klasického sériového zpětnovazebního stabilizátoru napětí, který představuje zpětnovazební smyčku s akčním výkonovým členem (tranzistor T). Jeho pracovní bod je řízen rozdílovým napětím mezi výstupní svorkou a napětovou referencí. Prvek, který vytváří a zesiluje rozdílové napětí, se nazývá zesilovačem odchyly. Na akční člen mohou být kladeny značné požadavky s ohledem na výstupní proud, tepelné ztráty a proudové zesílení. Pro velké výstupní proudy se akční člen řeší Darlingtonovým zapojením tranzistorů, které však vykazuje větší teplotní závislost proudového zesílení. Náročné požadavky se nevyhýbají ani referenčním zdrojům napětí. Bude-li stabilizátor integrován v jednom pouzdře, musí referenční zdroj napětí vykazovat malou teplotní závislost, neboť při větších prouděch bude pouzdro integrovaného obvodu zahříváno tepelnými ztrátami na výkonovém akčním členu. Velmi důležitou podmínkou správné činnosti je dokonalé blokování, stabilizátor představuje zpětnovazební systém, u něhož může docházet ke kmitání.

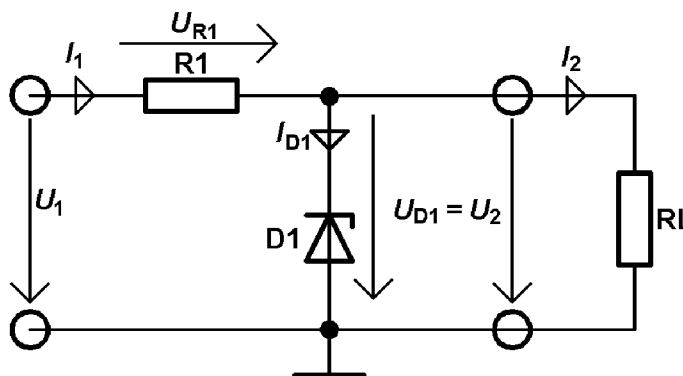


**Obr. 2.** Principiální schéma spojitěho zpětnovazebního stabilizátoru napětí

Často se vyskytují napáječe obsahující spínané stabilizátory, které mohou pracovat se spínacími frekvencemi i několika stovek kHz. Pro potlačení kmitočtových složek na výstupu se za spínané stabilizátory zařazují spojitě stabilizátory, které mohou tyto střídavé složky potlačit. Stejně tak v případě klasického spojitěho elektronického napájecího zdroje napájeného z elektrorozvodné sítě je nutno co nejvíce potlačit harmonické kmitočtové složky síťového kmitočtu, které vznikají za usměrňovačem. Velmi důležitým parametrem je tedy u spojitých stabilizátorů přenos zvlnění v závislosti na kmitočtu střídavé složky vstupního napětí.

Přípravek k této laboratorní úloze obsahuje čtyři spojitě stabilizátory napětí, dva parametrické a dva zpětnovazební (obr. 3 až 6). Pro konstrukci stabilizátorů jsou vesměs použity diskretní prvky (operační zesilovač, lze ve smyslu „obvodářském“ - významný funkční blok - považovat za diskretní prvek, byť je obvykle realizován integrovaným obvodem). Výstupní napětí všech stabilizátorů je navrženo na 12 V při výstupním proudu maximálně 100 mA a při vstupním ss napětí 16 V. Pokud je výstupní napětí nastavováno potenciometrem (nastavitelný dělič výstupního napětí) je výstupní napětí při výstupním proudu 100 mA nastavitelné v rozsahu cca (10 – 14) V.

Parametrický stabilizátor na obrázku 3 představuje základní aplikaci Zenerovy diody. Rezistor R1 musí být navržen tak, aby v případě plného zatížení (odporem RL teče proud 100 mA) byl proud Zenerovou diodou dostatečný a pracovní bod ležel v oblasti nízkého diferenciálního odporu. Druhou podmínkou pro volbu rezistoru R1 je dostatečná rezerva ztrátového výkonu na Zenerově diodě při výstupu naprázdno (proud  $I_{D1}$  je maximální).

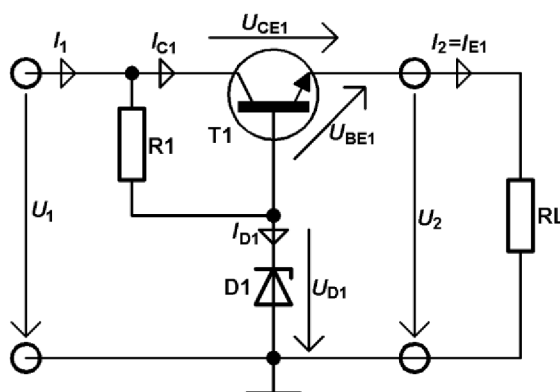


**Obr. 3.** Schéma zapojení parametrického stabilizátoru napětí se Zenerovou diodou (zkratka PsZD)

**Součástky parametrického stabilizátoru se Zenerovou diodou (PsZD):**

R1 68R/1W  
D1 KZ260/12V

Ve druhém zapojení (obr. 4) je do obvodu parametrického stabilizátoru se Zenerovou diodou přidán posilovací tranzistor, který podstatně (s proudovým zesilovacím činitelem tranzistoru) zmenší změnu proudu Zenerovou diodou  $I_{D1}$  při změně zátěže a stabilizátor bude vykazovat menší výstupní odpor (proud diodou je prakticky konstantní, cca 10 mA). Výstupní napětí je proti napětí na referenční Zenerově diodě  $U_{D1}$  zmenšeno o úbytek na přechodu báze-emitor  $U_{BE1}$  v propustném směru (cca 0,7 V). Pozor při nezatíženém výstupu nebo velmi malých výstupních proudech je úbytek  $U_{BE1}$  menší než 0,7 V a výstupní napětí je vyšší. Jakmile proud diodou báze-emitor překročí jistou hodnotu odpovídající prahovému napětí diody báze-emitor, je již chování stabilizátoru v závislosti na zatěžovacím odporu podstatně lepší, než u stabilizátoru se samotnou Zenerovou diodou (obr. 1).

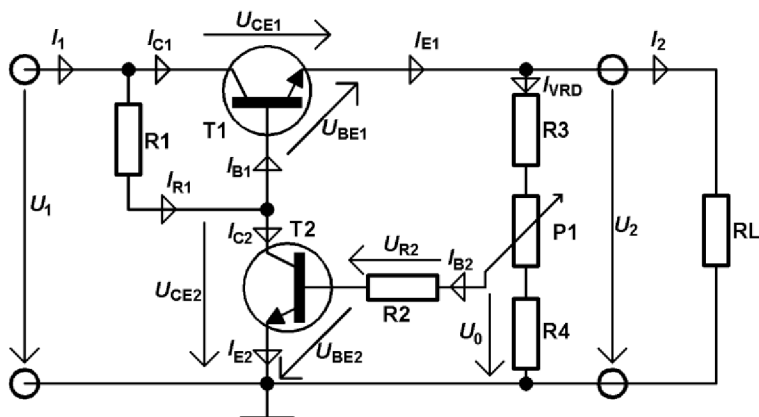


**Obr. 4.** Schéma zapojení parametrického stabilizátoru napětí se Zenerovou diodou a tranzistorovým akčním členem (zkratka PsT)

**Součástky parametrického stabilizátoru s tranzistorem (PsT):**

R1 330R/0.25W  
D1 KZ260/13V  
T1 KFY34

Třetí měřený stabilizátor (obr. 5) je tzv. zpětnovazební regulátor bez referenčního napětí. Výstupní napětí je stabilizováno vlivem zpětnovazební smyčky. Při poklesu výstupního napětí  $U_2$  poklesne i proud výstupním odporovým děličem  $I_{VRD}$  a v poměru děliče poklesne také napětí  $U_0$ . Dělič je navržen tak, aby minimálně zatěžoval emitorový výstup tranzistoru a proud  $I_{E1}$  byl prakticky totožný s proudem zátěži  $I_2$ . Tranzistor T2 se začne přivírat, což způsobí růst napětí  $U_{CE2}$  a otevírání tranzistoru T1. Výstupní napětí je dáno napětím  $U_{CE2}$  zmenšeným o úbytek na přechodu báze-emitor tranzistoru T1. Je zřejmé, že výstupní regulované napětí závisí jak na nastaveném poměru výstupního odporového děliče, tak i na vstupní napájecím napětí (obvodové prvky jsou počítány pro  $U_1 = 16V$ ).

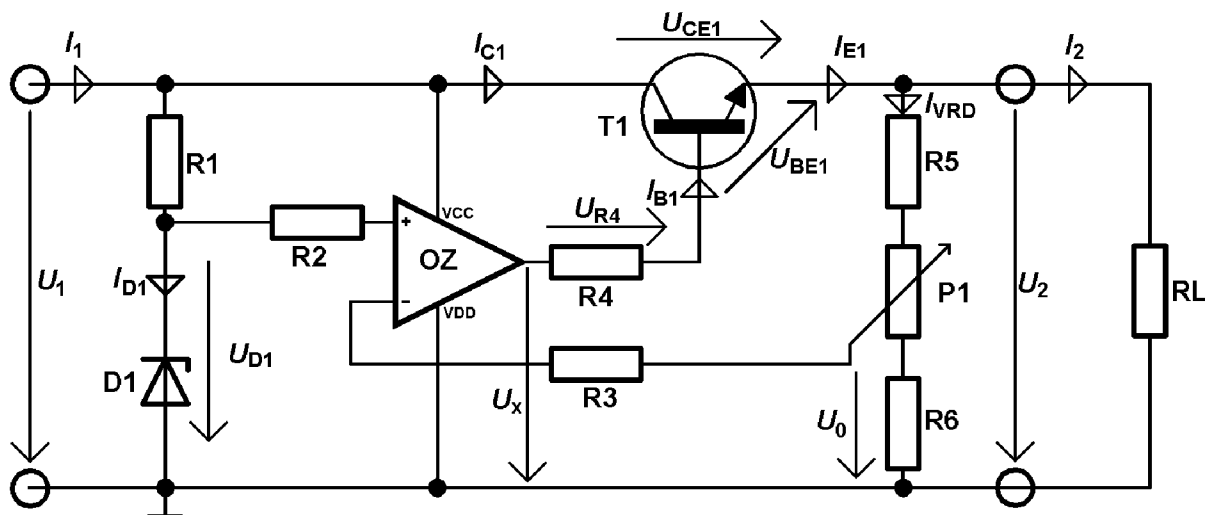


Obr. 5. Schéma zapojení zpětnovazebního stabilizátoru s tranzistorovým zesilovačem odchylky (zkratka ZsT)

#### Součástky zpětnovazebního stabilizátoru s tranzistorovým zesilovačem odchylky (ZsT):

R1	560R/0.25W
R2	470k/0.25W
R3	47k/0.25W
R4	47k/0.25W
P1	10k/N
T1	KFY34
T2	KC509

Poslední stabilizátor využívá v obvodu zesilovače odchylky operační zesilovač. Snímací napětí  $U_0$  je srovnáváno s referenčním napětím Zenerovy diody  $U_{D1}$ . Výstup operačního zesilovače a rezistor R4 představují řízený proudový zdroj, kterým je napájena (řízena) báze tranzistoru T1. Proudem báze  $I_{B1}$  je pak regulováno napětí  $U_{CE1}$ , které je rozdílovým napětím mezi vstupem a výstupem stabilizátoru. Rezistory R2 a R3 jsou ochranné a jejich ohmická hodnota se volí taková, aby nedocházelo k zatěžování referenčního obvodu se Zenerovou diodou a výstupního odporového děliče.



Obr. 6. Schéma zapojení zpětnovazebního stabilizátoru se zesilovačem odchyvky s operačním zesilovačem (zkratka ZVsOZ)

**Součástky zpětnovazebního stabilizátoru se zesilovačem odchyvky s operačním zesilovačem (ZsOZ):**

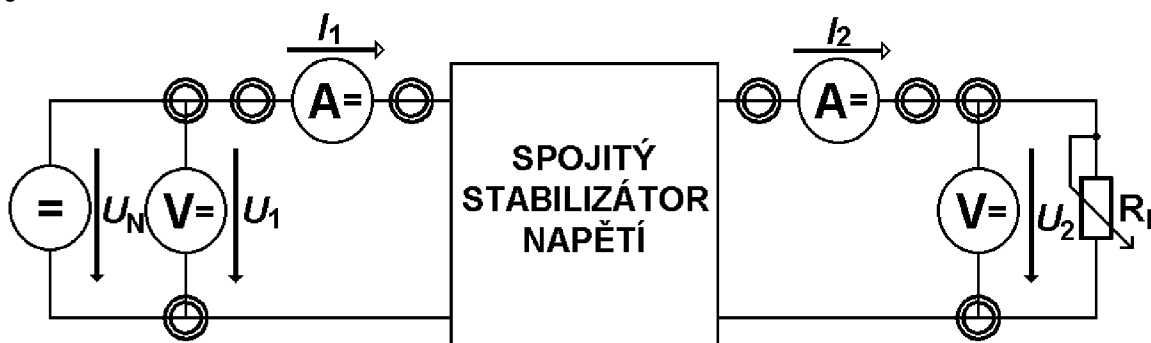
R1	1,0k/0.25W
R2	220k/0.25W
R3	220k/0.25W
R4	330R/0.25W
R5	47k/0.25W
R6	47k/0.25W
P1	10k/N
D1	KZ260/6V2
T1	KFY34
OZ	LM741

## ZADÁNÍ

1. Změřte statickou zatěžovací charakteristiku stabilizátorů s diskrétními prvky pro hodnotu výstupního napětí naprázdno 12 V (u nastavitelných zdrojů) v rozsahu výstupních proudů do 100 mA.
2. Ze statických zatěžovacích charakteristik stanovte výstupní (vnitřní) odpor stabilizátorů pro výstupní proud 50 mA.
3. Změřte přenos zvlnění všech čtyř stabilizátorů na kmitočtech 100 Hz, 1 kHz a 10 kHz pro výstupní proud 50 mA a výstupní napětí naprázdno 12 V (u obvodů s nastavitelným napětím).
4. Zhodnoťte a porovnejte vzájemně vlastnosti spojitých stabilizátorů.

## POKYNY K MĚŘENÍ A VYPRACOVÁNÍ PROTOKOLU

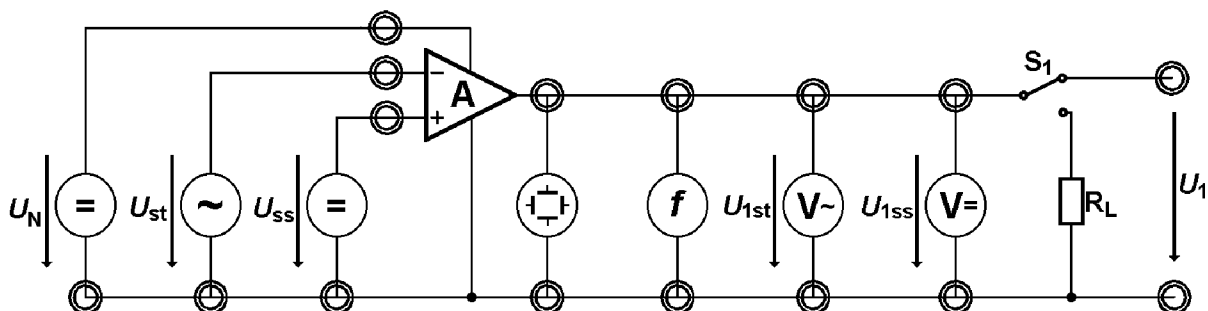
**Ad 1)** Zapojte přípravky s diskretními stabilizátory podle obrázku 7. Ampérmetry A1 a A2 připojujeme příslušný stabilizátor napětí ke vstupním napájecím svorkám a výstupním svorkám, k nimž se připojuje zátěž. Napětí laboratorního zdroje  $U_N$  nastavte na hodnotu 16 V. U zpětnovazebních stabilizátorů nastavte při odpojeném zatěžovacím odporu potenciometrem P1 na přípravku výstupní napětí stabilizátorů na 12 V. Připojení zpětnovazebního děliče do obvodu se provádí propojením příslušných svorek stabilizátorů a svorky  $BP_{VRD}$  na přípravku. Připojte zátěž (posuvný reostat) a změnou jejího odporu postupně nastavujte výstupní proudy stabilizátorů a odečítejte výstupní napětí stabilizátorů až do výstupního proudu 100 mA. Změřené zatěžovací charakteristiky  $U_2 = f(I_2)$  všech čtyř stabilizátorů vynesete do společného grafu.



**Obr. 7.** Měřící zapojení přípravků spojitých stabilizátorů napětí

**Ad 2)** Zjištění výstupního (vnitřního) odporu ze statických zatěžovacích charakteristik je velmi jednoduché. Uvažujte dvě vhodné sousední hodnoty proudů a napětí zatěžovací charakteristiky v okolí požadovaného výstupního proudu (50 mA). Využijte buďto měření v úkolu 1 nebo proveďte nové měření.

**Ad 3)** Pro měření závislosti přenosu zvlnění je použit generátor využívající výkonového operačního zesilovače, na jehož pozitivní vstup se přivádí stejnosměrná složka napětí z vnitřního zdroje o velikosti 16 V a na negativní vstup střídavá složka s efektivní hodnotou napětí z vnitřního generátoru asi 1 V. Zesílení výkonového operačního zesilovače je jedna a prezentuje tedy rozdílový zesilovač. Výstup výkonového operačního zesilovače představuje zdroj stejnosměrného napětí se superponovanou střídavou složkou (viz. obr. 8) s malou hodnotou vnitřního odporu. Výkonový operační zesilovač spolu s generátorem stejnosměrného napětí i generátorem střídavého harmonického napětí je vestavěn do společné přístrojové skříně, která je vybavena integrovanými měřicími přístroji (ss. složka napětí, ef. hodnota střídavé složky napětí, kmitočet střídavé složky). Hodnotu stejnosměrné a střídavé složky (ef. hodnotu) napětí na výstupu generátoru kontrolujeme stejnosměrným a střídavým voltmetrem umístěnými na čelním panelu generátoru, případně osciloskopem. Kmitočet střídavé složky nastavíme hrubě (COARSE) pomocí čtyřpólového přepínače (výběr ze čtyř rozsahů) a jemně potenciometrem (FINE). Aktuálně nastavenou hodnotu kmitočtu odečteme na displeji čítače (COUNTER) a kontrolujeme osciloskopem. Odchyly opravíme změnou stejnosměrného napětí zdroje a amplitudy napětí generátoru (na hodnotu stejnosměrné složky 16 V a střídavé asi 0,2 V ef.). Po nastavení superponovaného napětí a jeho kontrole osciloskopem připojujeme ke generátoru s výkonovým OZ postupně stabilizátory s diskretními prvky a měříme úroveň zvlnění stabilizovaného napětí pomocí milivoltmetru Grundig MV 100 se zabudovanými pásmovými propustmi. Zatěžovací proud nastavte 50 mA (stačí pro jeden stabilizátor, ostatní vzhledem k podobnému výstupnímu napětí a shodnému zatěžovacímu odporu není třeba měřit). Přenos zvlnění měříme pro kmitočty 100 Hz, 1 kHz a 10 kHz, pro něž musíme na milivoltmetru Grundig MV 100 nastavit příslušný pásmový filtr. Během měření je třeba vždy chvíli počkat na ustálení hodnoty a dát pozor na to, aby se frekvence střídavé složky vlivem nestability (RC oscilátor) neposunula z pásma propustnosti filtrů milivoltmetru. Ampérmetry při měření nahradte drátovou propojkou. Přenos zvlnění vyjadřujte v logaritmickech jednotkách.



Obr. 8. Zapojení napájecích obvodů pro měření přenosu zvlnění

Ad 4) Vzájemné souhrnné porovnání všech vlastností stabilizátorů provedte v závěru vhodnou formou a vyjádřete odborný názor z hlediska obvodového i aplikačního.

### POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE A POMŮCKY

- Laboratorní stabilizovaný zdroj ..... č. ....  
 Zdroj s výkonovým OZ a interním generátorem - účelová konstrukce pro měření přenosu zvlnění s integrovanými měřicími přístroji (ss. složka napětí, ef. hodnota střídavé složky napětí, kmitočet střídavé složky).  
 Digitální multimetr ..... č. ....  
 Digitální multimetr ..... č. ....  
 Milivoltmetr Grundig MV 100 ..... č. ....  
 Osciloskop ..... č. ....  
 Přípravek se spojitými stabilizátory napětí s diskretními prvky ..... č. ....  
 Reostat ..... č. ....  
 Propojovací šňůry

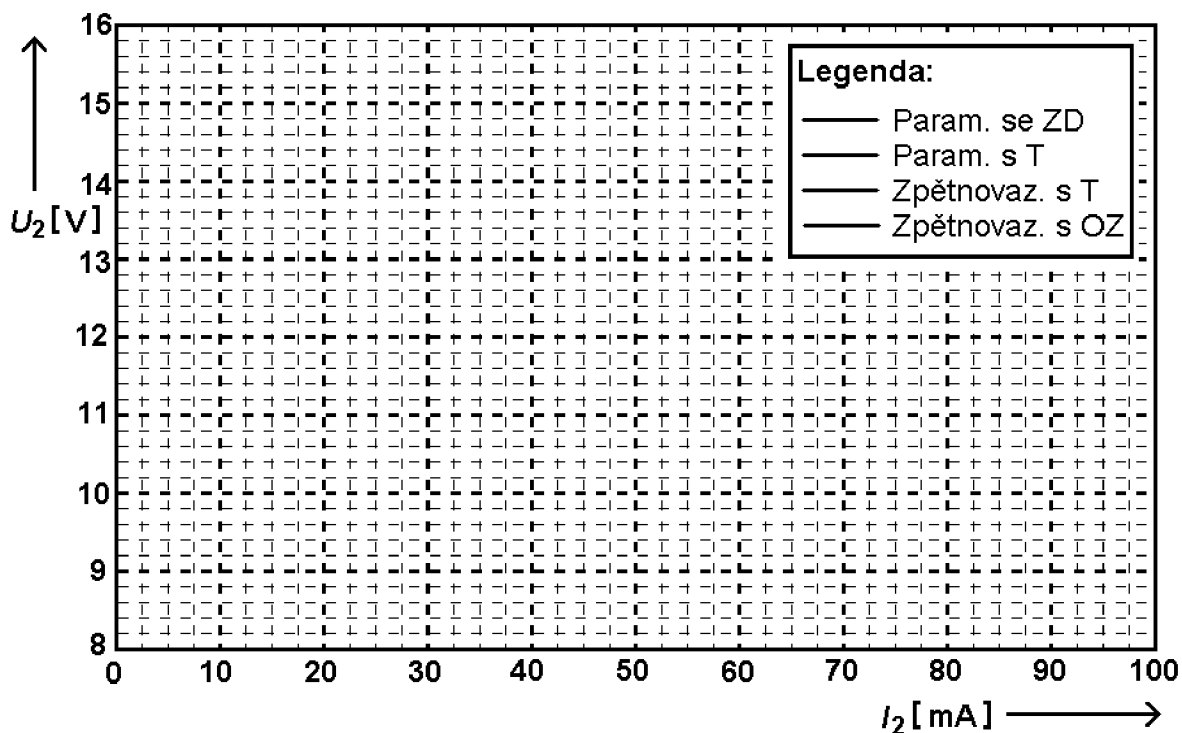
### VYPRACOVÁNÍ

Tab. 1. Statické zatěžovací charakteristiky stabilizátorů s diskretními prvky při  $U_1 = 16\text{ V}$

Stabilizátor	$I_2$ [mA]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1. PsZD	$U_2$ [V]											
2. PsT	$U_2$ [V]											
3. ZsT	$U_2$ [V]	12,00										
4. ZsOZ	$U_2$ [V]	12,00										

Tab. 2. Výstupní odpor stabilizátorů s diskretními prvky pro  $I_2 = 50\text{ mA}$  při  $U_1 = 16\text{ V}$

Stabilizátor	$I_{2a}$ [mA]	$U_{2a}$ [V]	$I_{2b}$ [mA]	$U_{2b}$ [V]	$R_d$ [ $\Omega$ ]
1. PsZD					
2. PsT					
3. ZsT					
4. ZsOZ					



Graf 1. Zatěžovací charakteristiky stabilizátorů s diskretními prvky při  $U_1 = 16$  V

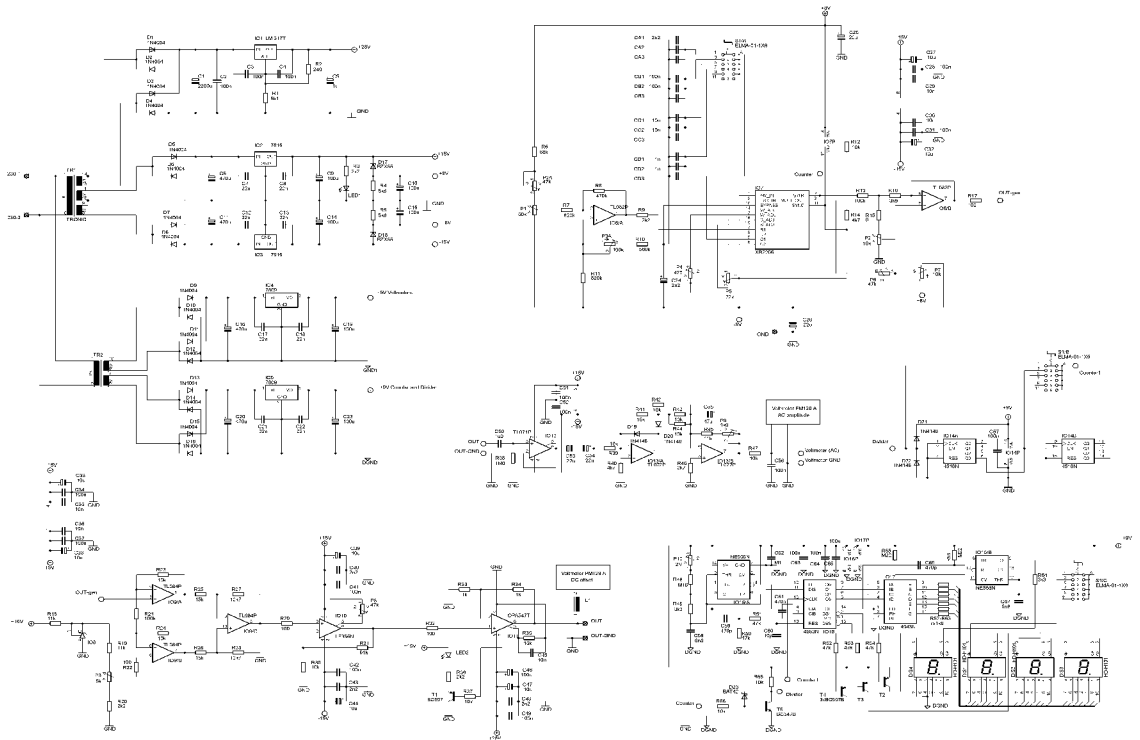
Tab. 3. Závislost přenosů zvlnění stabilizátorů z diskretních prvků na kmitočtu a typu stabilizátoru pro výstupní proud  $I_2 = 50$  mA, stejnosměrnou složku vstupního napětí  $U_{1ss} = 16$  V a střední hodnotu výstupního napětí  $U_{20} = 12$  V

Stabilizátor	1. PsZD			2. PsT			3. ZsT			4. ZsOZ		
	0,1	1	10	0,1	1	10	0,1	1	10	0,1	1	10
$f$ [kHz]	0,1	1	10	0,1	1	10	0,1	1	10	0,1	1	10
$U_{1stef}$ [mV]	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
$U_{2stef}$ [mV]												
$P$ [-]												
$P$ [dB]												

## ZÁVĚR

Tato laboratorní úloha byla převzata z [10] a upravena pro účely měření závislosti přenosu zvlnění napětí s popisovaným generátorem.

## A1 Obvodové zapojení



Pozn.: Schéma ve velikosti formátu listu A3 obsahuje soubor obvodove\_zapojeni.pdf