

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Přírodovědecká fakulta**

**Bakalářská práce**

**Elektronické zařízení pro zobrazování  
dat z manometru MKS Baratron**

**Martin Maděra**

Školitel: Mgr. Martin Čada, Ph.D.

**České Budějovice 2011**

Maděra M.(2011): Elektronické zařízení pro zobrazování dat z manometru MKS Baratron. (Electronic device for displaying data from the manometer MKS Baratron. Bc. Thesis, in Czech) – 35 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

**Anotace:**

Cílem práce je návrh a realizace zdroje stejnosměrného napětí  $\pm 15$  V pro napájení kapacitního manometru MKS Baratron. Součástí zařízení je také realizace jednoduchého voltmetru s 5-ti místným displejem ukazujícím elektrické napětí (tlak plynu) na výstupu MKS Baratron.

**Annotation:**

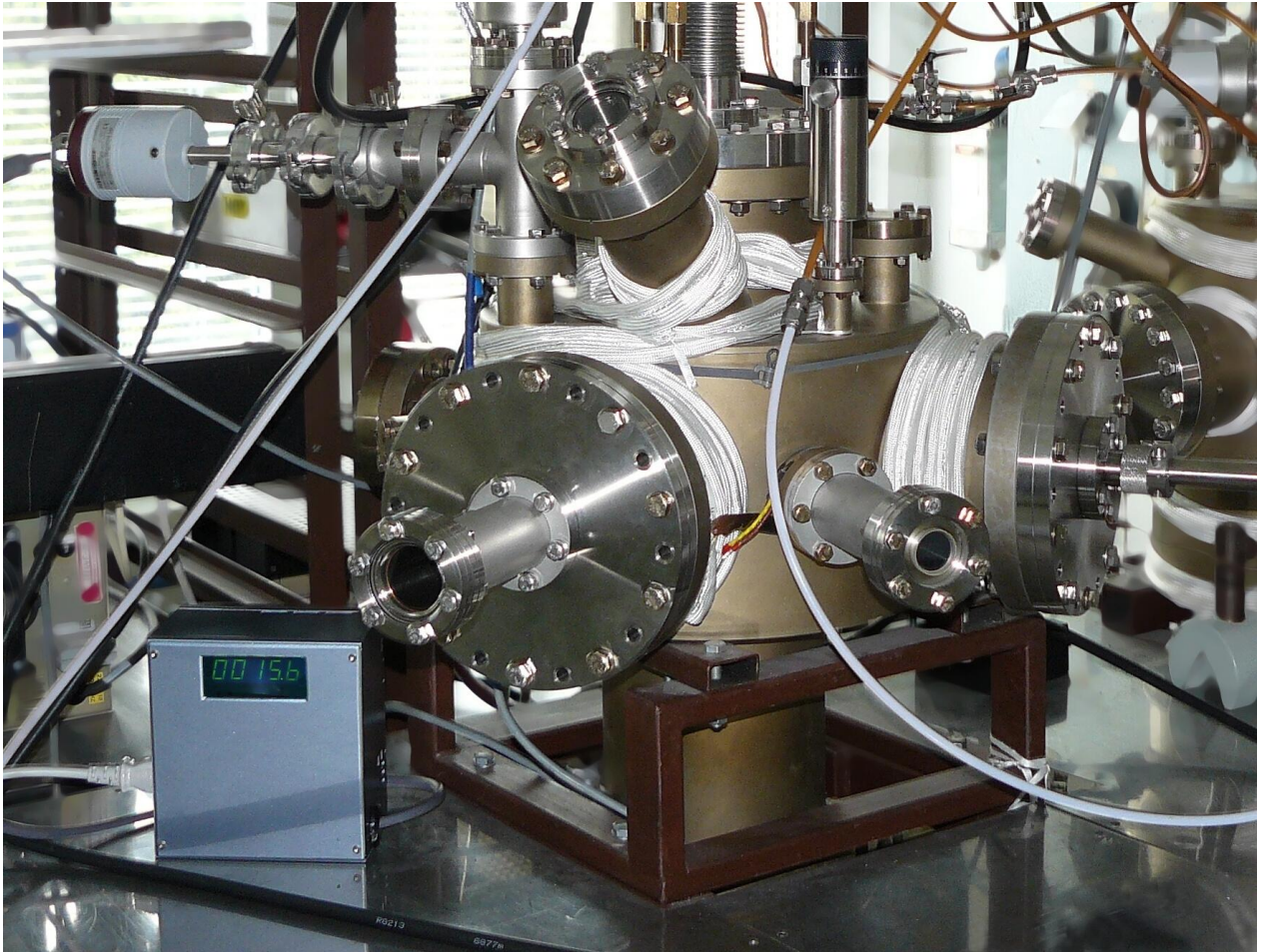
The aim of this work is the design and implementation of the DC voltage source of  $\pm 15$  V power supply capacitance manometer MKS Baratron. The facility is also implementing a simple voltmeter with a 5-digit display showing voltage (pressure) on the output MKS Baratron.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích 25.4.2011

.....  
Martin Maděra



**Poděkování:**

Děkuji touto formou Mgr. Martinu Čadovi, Ph.D. a Doc. PaedDr. Petru Adámkovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a pomoc při vypracování této bakalářské práce.

## Obsah:

<b>1.</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	HISTORIE A SOUČASNOST VAKUOVÉ TECHNIKY.....	1
1.2	TLAK.....	1
1.3	VAKUUM.....	3
1.4	ZÍSKÁVÁNÍ VAKUA.....	3
1.5	MĚŘENÍ NÍZKÝCH TLAKŮ.....	4
1.5.1	<i>Tlakové standardy</i> .....	4
1.5.2	<i>Tlakové převodníky</i> .....	4
1.5.3	<i>Vakuometry měřící vlastnosti plynu</i> .....	6
<b>2.</b>	<b>CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>KONSTRUKCE MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>8</b>
<b>4.</b>	<b>ZDROJ NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ</b> .....	<b>9</b>
4.1	ČINNOST ZDROJE.....	9
4.1.1	<i>Vstupní filtr</i> .....	10
4.1.2	<i>Stabilizátor</i> .....	12
4.2	SCHÉMA ZDROJE.....	13
4.3	NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ ZDROJE.....	14
<b>5.</b>	<b>DISPLEJ</b> .....	<b>16</b>
5.1	PRINCIP DVOJNÁSOBNÉ INTEGRACE.....	16
5.2	ČINNOST DISPLEJE.....	17
5.2.1	<i>A/D převodník</i> .....	17
5.2.2	<i>Oscilátor</i> .....	18
5.2.3	<i>Budič invertor</i> .....	19
5.2.4	<i>BCD dekodér</i> .....	19
5.3	SCHÉMA DISPLEJE.....	20
5.4	NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ DISPLEJE.....	21
<b>6.</b>	<b>KRYT PŘÍSTROJE A PROPOJOVACÍ KABEL</b> .....	<b>23</b>
6.1	PROPOJOVACÍ KABEL.....	23
6.2	KRYT PŘÍSTROJE.....	24
<b>7.</b>	<b>STAVBA A OŽIVENÍ</b> .....	<b>25</b>
7.1	OŽIVENÍ ZDROJE.....	25
7.1.1	<i>Měření zdroje <math>\pm 15V</math></i> .....	26
7.1.2	<i>Měření zdroje <math>\pm 5V</math></i> .....	27
7.2	OŽIVENÍ DISPLEJE.....	30
7.3	STANOVENÍ LINEARITY MĚŘENÍ.....	31
<b>8.</b>	<b>ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR</b> .....	<b>33</b>

## Seznam obrázků:

Obr. 1 Dělení vývěv [2] .....	4
Obr. 2 Princip kapacitního snímače .....	5
Obr. 3 Kapacitní snímač [3]    Obr. 4 MKS Baratron 626A [4] .....	5
Obr. 5 Realizace vnitřního stínění .....	8
Obr. 6 Průběh napětí na diodovém můstku.....	9
Obr. 7 Průběh napětí před a za filtračními kondenzátory .....	10
Obr. 8 Schéma zdroje.....	13
Obr. 9 DPS zdroje - strana stínění .....	14
Obr. 10 Osazená DPS zdroje - strana stínění.....	14
Obr. 11 DPS zdroje - strana spojů .....	15
Obr. 12 Osazená DPS zdroje - strana součástek.....	15
Obr. 13 Princip dvojnásobné integrace.....	16
Obr. 14 Vnitřní zapojení obvodu 555. ....	18
Obr. 15 Schéma displeje .....	20
Obr. 16 DPS displeje - strana stínění .....	21
Obr. 17 Osazená DPS displeje - strana stínění .....	21
Obr. 18 DPS displeje - strana spojů.....	22
Obr. 19 Osazená DPS displeje - strana spojů .....	22
Obr. 20 Propojovací kabel .....	23
Obr. 21 Zapojení propojovacího kabelu .....	23
Obr. 22 Vnitřní uspořádání přístroje.....	24
Obr. 23 Čelní panel přístroje.....	24
Obr. 24 Kladné napětí po usměrnění    Obr. 25 Záporné napětí po usměrnění .....	25
Obr. 26 SS napětí na C11    Obr. 27 ST napětí na C11 .....	26
Obr. 28 SS napětí na C21    Obr. 29 ST napětí na C21 .....	26
Obr. 30 SS výstup +15V    Obr. 31 ST výstup +15V .....	27
Obr. 32 SS výstup -15V    Obr. 33 ST výstup -15V .....	27
Obr. 34 SS napětí za T3    Obr. 35 ST napětí za T3 .....	28
Obr. 36 SS napětí za T4    Obr. 37 ST napětí za T4 .....	28
Obr. 38 SS výstup +5V    Obr. 39 ST výstup +5V .....	29
Obr. 40 SS výstup -5V    Obr. 41 ST výstup -5V .....	29
Obr. 42 Výstup oscilátoru    Obr. 43 Funkční zařízení.....	30
Obr. 44 Graf linearity měření .....	32

# 1. Úvod

Přesné změření nízkého tlaku (nižší než atmosférický tlak) v průmyslových plazmových systémech určených pro depozice tenkých funkčních vrstev je velmi důležitým technologickým procesem. Protože velikost tlaku přímo souvisí se střední volnou dráhou částice (např. atomu pracovního plynu nebo materiálu tvořícího tenkou vrstvu), pak přesné nastavení a změření tlaku v reaktoru má klíčový vliv na energii přenášenou do vrstvy. V důsledku tedy adheze, krystalická struktura, počet defektů, hustota materiálu atp. tvořícího tenkou vrstvu je silně ovlivněna zvoleným pracovním tlakem v depoziční aparatuře [1]. Předkládaná bakalářská práce se tedy zabývá problematikou převodu neelektrické fyzikální veličiny (tlak plynu), na veličinu elektrickou (elektrické napětí) a její následné zobrazení pomocí digitálního zobrazovače. V rámci bakalářské práce postavené elektronické zařízení umožní přesně měřit tlak v konkrétní experimentální plazmové depoziční aparatuře umístěné ve společné laboratoři Fzú AV ČR, v. v. i. v Praze a Ústavu fyziky a biofyziky JU v Českých Budějovicích.

## 1.1 Historie a současnost vakuové techniky

Termín *vakuum* pochází z lat. *vacuus* (prázdný). Jako první jej vytvořil Evangelista Torricelli (15. října 1608 – 25. října 1647). Roku 1643 poprvé demonstroval vznik takzvaného Torricelliho vakua, vzniklého v jeden metr dlouhé skleněné trubici. Ta byla naplněna rtuťí a na výšku postavena do nádoby též naplněné rtuťí. Sloupec rtuťí klesl na hodnotu 76cm a nad ním se vytvořilo vakuum. Velikost poklesu je ovlivněna atmosférickým tlakem, čehož dodnes využíváme v barometrech. Na počest Torricelliho je pojmenována jednotka tlaku Torr. Tlak 1 torr je roven hydrostatickému tlaku vyvolanému 1 mm sloupcem rtuťí. Platí, že:  $1 \text{ torr} \approx 133,322 \text{ Pa}$ .

Zařízení využívající vakua dnes nalezneme téměř ve všech odvětvích lidské činnosti. Bez něj se téměř neobejdeme v potravinářství (vakuová destilace), elektrotechnice (výroba součástek, pokovování v kondenzátorech), strojírenství (sváření, opracování povrchů), metalurgii (sintrování při výrobě slitin), živočišné výrobě (dezinsekce produktů) nebo při přípravě a výzkumu nových materiálů [2].

## 1.2 Tlak

Fyzikální veličina tlak je v mechanice definována jako poměr kolmo působícího elementu síly  $\Delta F$  na element plochy  $\Delta S$  (1).

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta S} \quad (1)$$

V hydromechanice vyjadřuje tíhu sloupce kapaliny o výšce  $h$  a hustotě  $\rho$ , působící v gravitačním poli Země. Hydrostatický tlak je úměrný hustotě kapaliny, roste lineárně s hloubkou pod povrchem kapaliny a je závislý na gravitačním zrychlení  $g$  (2). Nezávisí na průřezu svíslého sloupce kapaliny.

$$p = h \cdot \rho \cdot g \quad (2)$$

Odvozenou jednotkou od základních jednotek soustavy SI pro tlak je *pascal* (3). Tlak jeden pascal je vyvolán silou jednoho newtonu na rovinnou plochu o obsahu jeden metr čtvereční, která je kolmá na směr síly.

$$[Pa] = [N \cdot m^{-2}] \quad \left[ g \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} \right] \quad (3)$$

Z důvodu odlišných jednotek pro vyjádření tlaku v různých regionech světa, je nutné znát pro správnou interpretaci tlaku způsob vzájemných převodů. Proto existují převodní koeficienty, pro přepočet mezi jednotkami. Výběr některých je uveden v tab 1.

**Tabulka č. 1:** Koeficienty pro přepočet tlaku [2]

	<b>Pa</b>	<b>torr</b>	<b>psi</b>	<b>atm</b>
<b>Pa</b>	1	$7,5006 \cdot 10^{-3}$	$1,4504 \cdot 10^{-4}$	$9,8692 \cdot 10^{-6}$
<b>torr</b>	133,322	1	$1,9337 \cdot 10^{-2}$	$1,3158 \cdot 10^{-3}$
<b>Psi</b>	6894,76	51,715	1	0,068046
<b>Atm</b>	$1,01325 \cdot 10^5$	760	14,69595	1

Přístroje pro měření tlaku všeobecně nazýváme tlakoměry. Pro měření přetlaku používáme manometry a pro měření podtlaku vakuometry. Dále používáme takzvané barometry pro měření barometrického tlaku [2].

### 1.3 Vakuum

Ve fyzice vakuem rozumíme prostor, kde je výrazně nižší tlak než atmosférický. Teoretická fyzika jej definuje přesněji a to jako stav systému s nejnižší možnou energií. V ideálním případě prostor s absolutním vakuem neobsahuje žádné částice (atomy, molekuly, fotony), ale může obsahovat silové pole (elektrické, magnetické, gravitační).

**Tabulka č. 2:** Dělení vakua podle různých parametrů [2]

Stupeň vakua	Tlak v Pa	Počet molekul na $\text{cm}^3$	Střední volná dráha částice
Atmosférický tlak	$101,25 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^{19}$	68 nm
Technické	$10^3$	$10^{19}$ až $10^{16}$	0,1 až 100 $\mu\text{m}$
Primární	$10^2$ až $10^{-3}$	$10^{16}$ až $10^{13}$	0,1 až 100 mm
Vysoké	$10^{-3}$ až $10^{-7}$	$10^{13}$ až $10^9$	100 mm až 1 km
Ultravysoké	$10^{-7}$ až $10^{-12}$	$10^9$ až $10^4$	1 až $10^5$ km
Extrémně vysoké	$<10^{-12}$	$<10^4$	$>10^5$ km

### 1.4 Získávání vakua

Zařízení pro získávání vakua se nazývá vývěva. V principu jde o zařízení schopné zmenšovat počet molekul plynu v čerpané nádobě. Každou vývěvu charakterizuje její čerpací rychlost a mezní tlak. Vývěvy dělíme podle způsobu, jakým dosahují snižování tlaku (obr. 1). Transportní vývěvy odčerpávají molekuly plynu z čerpané nádoby, kdežto adsorpční vývěvy zachycují molekuly v dutinách pomocí zeolitů nebo aktivního uhlí. Podle stavové rovnice ideálního plynu (4),

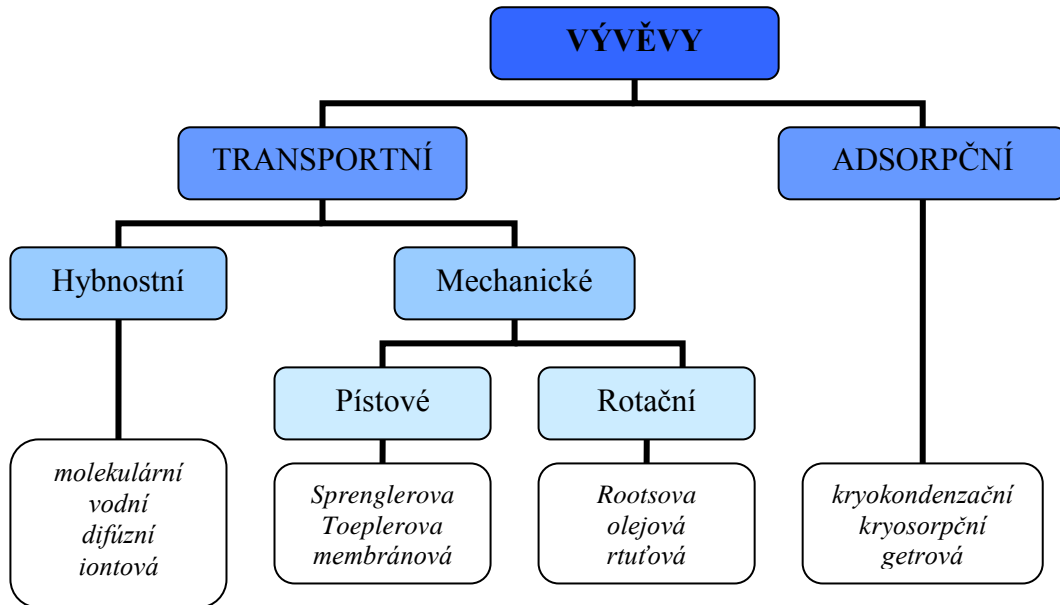
$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (4)$$

kde je  $p$  - absolutní tlak plynu,  $V$  - objem plynu,  $n$  - počet molů plynu,  $R$  - plynová konstanta ( $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ),  $T$  - termodynamická teplota, můžeme definovat několik způsobů jak snížit tlak v systému. Stane se tak za předpokladu, že změníme jeden parametr rovnice (4) a ostatní parametry zůstanou konstantní [2].



Tlak lze snížit:

- snížením teploty
- zvýšením objemu
- snížením látkového množství



Obr. 1 Dělení vývěv [2]

## 1.5 Měření nízkých tlaků

Podle principu měřiče dělíme do několika skupin:

- tlakové standardy
- tlakové převodníky
- vakuometry měřící vlastnosti plynu
- ionizační vakuometry

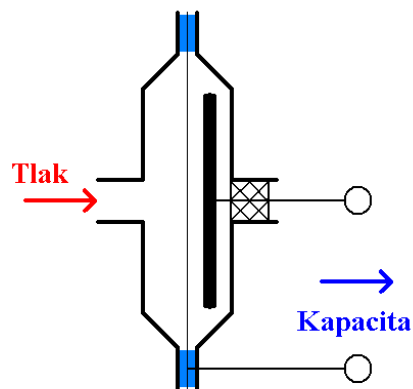
### 1.5.1 Tlakové standardy

Lze pomocí nich měřit celý rozsah tlaků, od vysokých tlaků až po vakuum. Využívají se převážně ke kalibracím dalších měřičů tlaku s nižší přesností, ale lze je použít i pro přímá měření. V praxi se používají tlakové váhy, U-manometr, McLeodův kompresní manometr [2].

### 1.5.2 Tlakové převodníky

Nejčastěji převádí tlak na mechanickou nebo elektrickou energii.

- **Mechanické manometry** - převádí výchylku vzniklou deformací vlnovce na mechanický převod. Tlak se odečítá přímo ze stupnice, jež je součástí přístroje.
- **Piezelektrické tenzometry** - při deformaci krystalu vzniká povrchový náboj úměrný velikosti tlaku. Používá se monokrystalický křemík, který je obohacen příměsí stopových prvků (akceptorů) tak, že jeho měrný odpor je výrazně závislý na mechanickém namáhání. Jsou vhodné pro rychle se měnící tlaky. Nevýhodou je možnost pouze pro měření neagresivních médií, kdy nedochází k poškození přírodních kontaktů nebo samotného krystalu.
- **kapacitní snímače** - základem je kondenzátor, u něhož je jedna elektroda nepohyblivá a druhá (membrána) se působením tlaku deformuje (obr. 2). To zapříčiní změnu velikosti dielektrika mezi elektrodami. Změna kapacity je tedy úměrná velikosti tlaku působícího na membránu. Součástí snímače je elektronika, obsahující zesilovač a převádějící nelineární charakteristiku kapacity na lineární (obr. 3). Tohoto principu je využito i ve vakuometru MKS Baratron 626A (obr. 4).



Obr. 2 Princip kapacitního snímače



Obr. 3 Kapacitní snímač [3]



Obr. 4 MKS Baratron 626A [4]

- **Odporové tenzometry** – využívají piezorezistivní jev, kdy při pružné deformaci kovu dochází ke změně odporu. Často bývají zapojeny do Wheatsonova můstku. Vyrábí se z tenkých drátků nebo leptáním. Nevýhodná je teplotní závislost, kterou je nutné vhodně kompenzovat.

### 1.5.3 Vakuometry měřící vlastnosti plynu

Jsou to tepelně vodivostní vakuové měřky (Pirani vakuometry). Pracují tak, že z vodiče, kterým prochází konstantní proud, se odvádí tepelná energie pomocí molekul plynu. Vyrobeny jsou ve tvaru dvou ploch, přičemž má každá jinou teplotu. Přenos tepla je závislý na množství molekul plynu mezi plochami a tedy na tlaku [2]. Nejrozšířenější jsou:

- Knudsenův molekulární manometr
- alfatron
- ionizační vakuometry se studenou nebo žhavenou katodou
- Langmuirův-Dushmanův manometr

## 2. Cíle práce

Z důvodů zajištění spolehlivé reprodukovatelnosti přípravy tenkých vrstev v plazmochemických reaktorech pracujících za sníženého tlaku je nutné provést přesné měření tlaku pracovního plynu v depozičním systému. Dále je nutné zajistit monitorování pracovního tlaku během dlouhodobého depozičního procesu.

Tedy předkládaná práce má vyřešit následující cíle:

- navrhnout a realizovat zdroj stejnosměrného napětí pro napájení kapacitního vakuometru MKS Baratron 626A.
- realizovat jednoduchý voltmetr s 5-ti místným displejem ukazujícím elektrické napětí na výstupu tlakové měrky, odpovídající tlaku plynu v měřeném vakuovém prostoru.

Z důvodů použití výše zmíněné vakuové měrky v technologickém nízkotlakém magnetronovém reaktoru, pracujícím s vysokofrekvenčně buzeným výbojem v rozmezí frekvencí 100 kHz až 13,56 MHz při výkonu až 1 kW je nutné, aby měřicí přístroj byl schopen pracovat v prostředí se silným elektromagnetickým rušením. Díky konstrukční charakteristice vakuové měrky MKS Baratron 626A je nutné zohlednit při návrhu měřicího zařízení dodržení níže uvedených parametrů, tak aby byla zachována dostatečná přesnost měření a nemohlo dojít k poškození vakuové měrky:

- maximální tlak plynu 10 Torr (cca 10 mbar, to je 1000 Pa)
- výstupní napětí z MKS Baratron 1 mV<sub>ss</sub> až 10 V<sub>ss</sub>
- napájecí napětí pro MKS Baratron  $\pm 15$  V<sub>ss</sub> ( $\pm 5$  %)
- střídavé zvlnění max. 20 mV<sub>š-š</sub>
- napájecí proud pro MKS Baratron  $\pm 35$  mA
- napájecí stejnosměrné napětí pro displej  $\pm 5$  V<sub>ss</sub> ( $\pm 20$  %)
- zobrazení displeje 0,1 až 999,9 Pa

Z důvodu využití zařízení v prostředí se silným elektromagnetickým rušením, je doporučeno dodržet i další podmínky pro snížení jeho účinků:

- blokovací kondenzátory umístit co nejbližší k pouzdrům obvodů
- použít stínění na plošných spojích (vnitřní stínění) a celé zařízení umístit v kovovém krytu (vnější stínění)
- na vstupu síťového napětí použít L-C filtrační člen
- použít propojovací stíněný kabel s konektory v kovových krytech

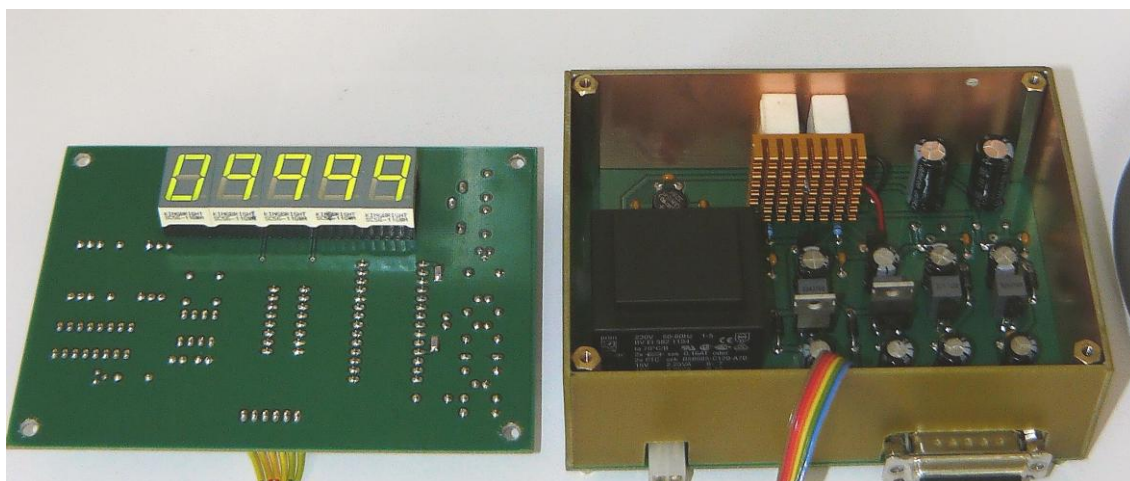
### 3. Konstrukce měřícího zařízení

Celé zařízení je vyrobeno na dvou samostatných DPS. Tím je oddělena část zdroje a část displeje. Desky jsou navrženy jako oboustranné, kdy jedna strana je použita jako signálová a druhá jako stínící.

Vakuometr MKS Baratron 626A je připojen k měřicímu zařízení pomocí 15-ti pinového stíněného kabelu s konektory typu CANNON 15 v kovovém krytu. Kabel má dvojí využití. Slouží pro přivedení napájecího napětí  $\pm 15 V_{SS}$  na vakuometr a pro odvod výstupního měřeného napětí do měřícího zařízení. Deska zdroje je pro měřené napětí pouze průchozí. Připojovací konektor se nachází na desce zdroje.

Obě DPS jsou k sobě sešroubovány a vzájemně propojeny šesti žilovým propojovacím kablíkem. Ten slouží pro přívod napájení displeje napětím  $\pm 5 V_{SS}$ . Dále je jím přivedeno měřené napětí na vstup obvodu ICL7135 z desky zdroje. Okolo spojených desek je vyrobeno vnitřní stínění ze čtyř destiček kuprextitu (obr. 5). Ty jsou vzájemně spájeny k sobě a propojeny na společnou zem zařízení. V jedné části stínění je vyvrtán otvor, sloužící pro přístup k odporovému trimru (nastavení plného rozsahu měření). Vše je umístěno v kovovém obalu sloužícím jako druhé vnější stínění.

Jako zobrazovač je pro svou dobrou čitelnost i v prostředí s horším osvětlením použit zelený 14 milimetrový LED displej. Tento zobrazuje pět plnohodnotných míst a znaménko mínus.



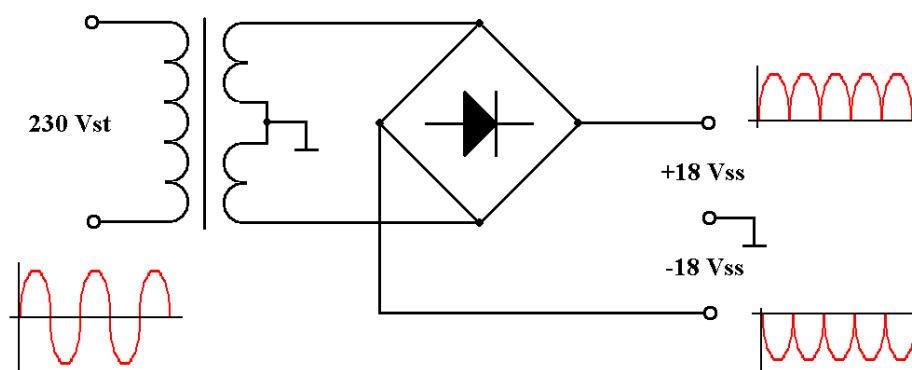
Obr. 5 Realizace vnitřního stínění

## 4. Zdroj napájecího napětí

Deska zdroje obsahuje dva symetrické napájecí zdroje. Jedena polovina slouží pro napájení displeje napětím  $\pm 5 V_{ss}$ , druhá jako externí napájení  $\pm 15 V_{ss}$  kapacitního vakuometru MKS Baratron 626A. Z důvodu co nejjednodušší konstrukce je použito klasického zdroje, který bude dostačující pro daný proudový odběr, i přes malou účinnost cca 30%. Očekává se, že bude mít spolehlivější funkci v místě silného elektromagnetického rušení oproti zdroji spínanému, který by mohl navíc rušit ostatní elektronické zařízení připojené k technologickému reaktoru. Deska je osazena za použití komerčně dostupných součástek pro montáž do děr. Základem jsou čtyři monolitické třibodové stabilizátory z řad 78xx a 79xx. Pouze indikace správnosti výstupních napětí je osazena LED diodami a rezistory v SMD provedení.

### 4.1 Činnost zdroje

Síťové napětí  $230 V_{st}$  je přivedeno přes RFI filtr (10EBS1) a pojistku F1 (0,15 A) na transformátor TR1 ( $2 \times 15 V_{st}/150 \text{ mA}$ ). Střídavé napětí ze sekundárního vinutí napájí diodový Graetzův můstek B1 (AM154). Ke každé diodě můstku je paralelně připojen keramický kondenzátor C1-4 (100 nF). Kondenzátory omezují pronikání rušení vzniklého při spínání diod, kdy při každém sepnutí dochází k prudkému nárůstu tekoucího proudu. Na výstupech můstku je stejnosměrné, pulzující, dvojcestně usměrněné napětí  $+18 V_{ss}$  a  $-18 V_{ss}$  proti nulovému vodiči připojenému na zemnění (obr. 6). Nulový vodič je vytvořena středem sériově spojených sekundárních vinutí TR1.



Obr. 6 Průběh napětí na diodovém můstku

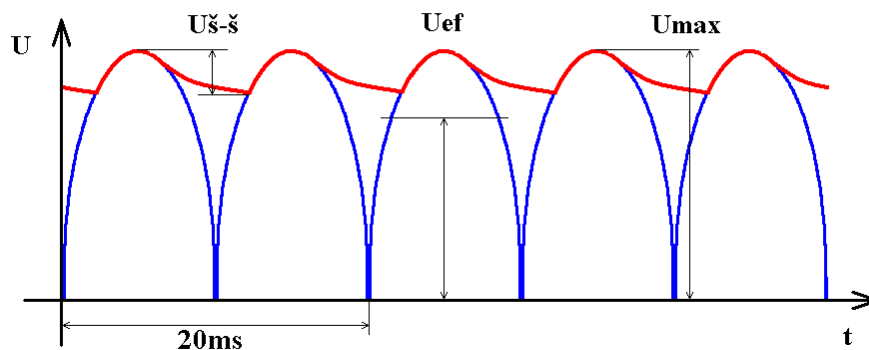
Výstupní napětí napájí kladnou a zápornou větev 5-ti i 15-ti voltových stabilizátorů. Všechny čtyři obvody stabilizátorů mají identické zapojení. Liší se pouze volbou hodnot diskrétních součástek, pro zabezpečení čtyř výstupních napětí ( $-15 V_{ss}$ ,  $+15 V_{ss}$ ,  $-5 V_{ss}$ ,  $+5 V_{ss}$ ). Obvod stabilizátoru se skládá ze dvou částí: pasivního a aktivního filtru a vlastního stabilizátoru. Na výstupech jsou všechny čtyři kanály doplněny indikací správné funkce zdroje pomocí LED diod. Další funkcí diod je zabezpečení minimálního proudového odběru, nutného pro správnou činnost stabilizátorů i bez zátěže. Proud diod je nastaven pomocí rezistorů na 5 mA.

#### 4.1.1 Vstupní filtr

Tato část zabezpečí vyhlazení napětí z výstupu diodového můstku. Vstupní filtr je nutný z důvodu, že potlačení zvlnění je u monolitických stabilizátorů -60 až -80 dB. To by znamenalo při  $15 V_{ss}$  na výstupu, šumové napětí až  $15 mV_{st}$ , které může vlivem silného elektromagnetického rušení vzrůst až nad požadovanou hodnotu. Podle konstrukčních podmínek nesmí střídavé zvlnění výstupního napětí přesáhnout  $20 mV_{st}$ . Kapacity filtrů se nabíjí na maximální hodnotu pulzujícího napětí a se poté pomalu exponenciálně vybíjí. Vybíjení je tím pomalejší, čím je menší vybíjecí proud a větší kapacita kondenzátoru (obr. 7.). Takto je možno eliminovat střídavou složku napětí po usměrnění. Je nutné dodržet, aby konstrukční napětí elektrolytických kondenzátorů bylo dimenzováno na maximální hodnotu z efektivní hodnoty napětí  $18 V_{ef}$ , tedy  $18 \times 1,414 = 25,45 V$ . Z toho důvodu jsou použity komerčně dostupné kondenzátory na 50 V.

Modrá – napětí po usměrnění

Červená – napětí za filtračními kondenzátory



Obr. 7 Průběh napětí před a za filtračními kondenzátory

V návrhu zdroje je počítáno s možností použití pasivního nebo aktivního filtru s násobičem kapacity na výstupu usměrňovače. Oba filtry je v případě nutnosti vhodné provozovat společně. Aktivní filtr je výhodný z důvodu použití v zapojení jako násobiče kapacity. Ten umožňuje náhradu kondenzátoru s velkou kapacitou a tím i velkým pouzdem a cenou, za sestavu několika menších a levnějších součástek při stejné účinnosti. Celková kapacita obvodu násobiče je rovna kapacitě kondenzátoru zapojeného do báze tranzistoru, vynásobené zesílením  $\beta$  tranzistoru. V tomto konkrétním zapojení je  $\beta$  zhruba 100.

**Aktivní filtr s násobičem kapacity tvoří:**

- C12, 22, 32, 42 (100 nF)
- R11, 21, 31, 41 (1 k $\Omega$ )
- C13, 23, 33, 43 (100  $\mu$ F)
- T1 a T3 (BC337), T2 a T4(BC327)

**Pasivní filtr tvoří:**

- C11, 21, 31, 41

Pro dosažení hodnoty střídavého šumového napětí v toleranci vstupních podmínek, je vypočítaná hodnota kapacity kondenzátorů pasivního filtru C11 a C21 10 $\mu$ F (5) a kondenzátorů C31 a C41 30 $\mu$ F (6). Protože by při použití vypočítaných kapacit bylo šumové napětí na hranici tolerance, jsou ve skutečnosti použity větší hodnoty kapacit kondenzátorů. Velikost kapacity kondenzátoru pasivního filtru určíme podle empirických vztahů [5].

**Výpočet kapacity C11, C21, pokud:**

$$U_{o-\text{šum}} = 20 \text{ mV}, I = 35\text{mA}, U_{o-\text{ef}} = 18 \text{ V}$$

$$p = (U_{o-\text{šum}} / U_{o-\text{ef}}) * 100 = (0,020 / 18) * 100 = \underline{\underline{0,111\%}}$$

$$C_{\text{min}} = 600 * I / (p * U_{o-\text{ef}}) = 600 * 0,035 / (0,111 * 18) = \underline{\underline{10\mu F}} \tag{5}$$

**Výpočet kapacity C31, C41, pokud:**

$$U_{o-\text{šum}} = 20 \text{ mV}, I = 100 \text{ mA}, U_{o-\text{ef}} = 18 \text{ V}$$

$$p = (U_{o-\text{šum}} / U_{o-\text{ef}}) * 100 = (0,020 / 18) * 100 = \underline{\underline{0,111\%}}$$

$$C_{\text{min}} = 600 * I / (p * U_{o-\text{ef}}) = 600 * 0,1 / (0,111 * 18) = \underline{\underline{30\mu F}} \tag{6}$$



#### 4.1.2 Stabilizátor

##### Složení stabilizátorů:

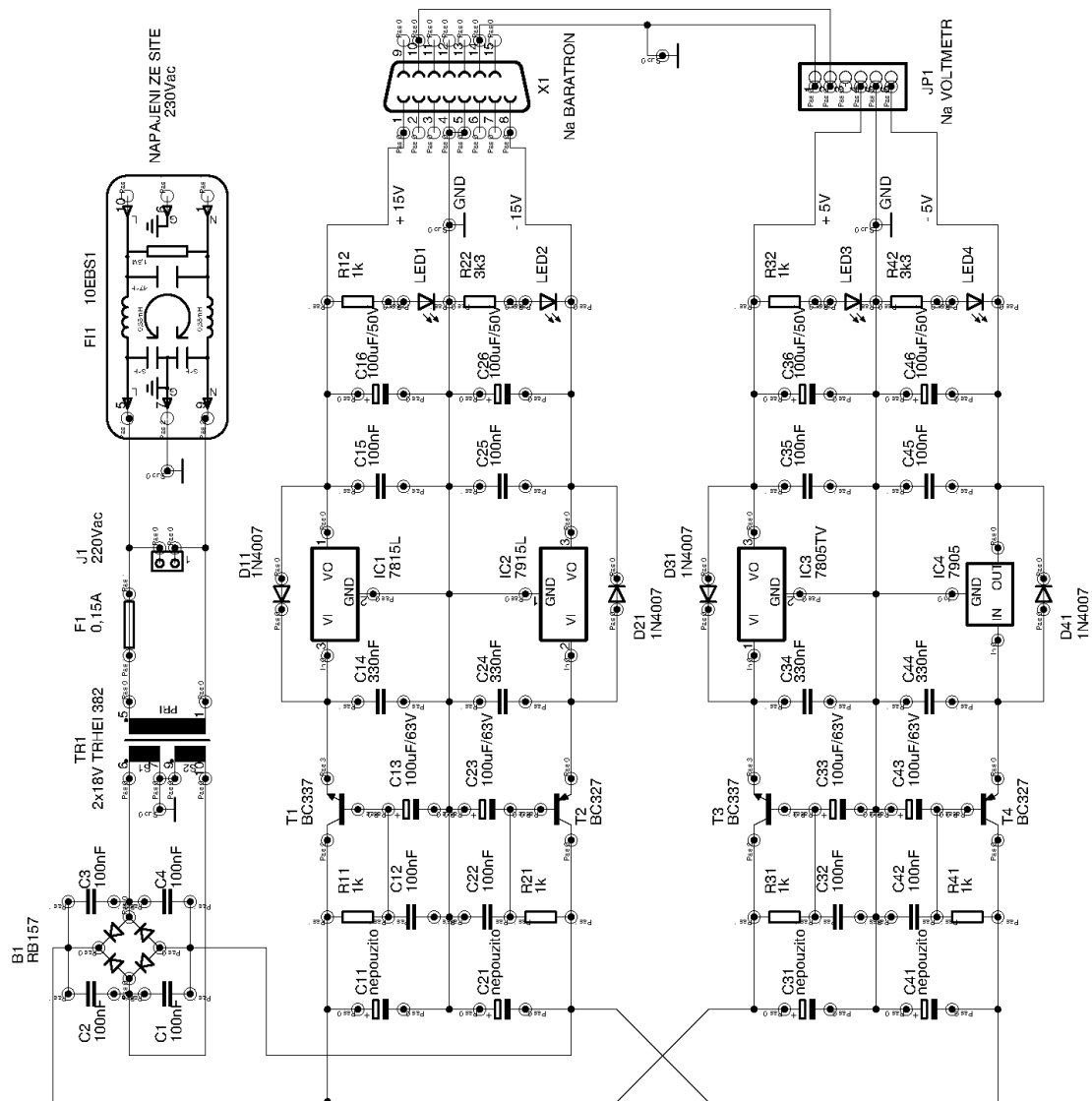
- +15 V - IC1(7815), C14(330 nF), C15(100 nF), C16(100  $\mu$ F)
- -15 V - IC2(7915), C24(330 nF), C25(100 nF), C26(100  $\mu$ F)
- +5 V - IC3(7805), C34(330 nF), C35(100 nF), C36(100  $\mu$ F)
- -5 V - IC4(7805), C44(330 nF), C45(100 nF), C46(100  $\mu$ F)

Základem jsou monolitické tří-bodové stabilizátory IC1-4 v katalogovém zapojení. Na vstupech mají zařazeny blokovací kondenzátory C14-44 (330 nF) a na výstupech kondenzátory C15-45 (100 nF). Tyto je nutno umístit co nejbližší k pouzdrům stabilizátorů, aby bylo dosaženo co nejefektivnějšího blokování. Na samotných výstupech jsou zařazeny ještě elektrolytické kondenzátory C16-46 (100  $\mu$ F), sloužící k potlačení poklesu napětí při rychlých změnách proudového odběru. Obvody IC1-4 pro svou činnost potřebují úbytek napětí na vnitřním sériovém regulačním členu minimálně 2,5 V. Pak tyto obvody zajistí na svých výstupech napětí v toleranci  $\pm 5\%$ .

Diody D11-41 slouží jako ochrana proti zkratu na vstupu, protože na výstupech jsou použity kondenzátory C16-46 s kapacitou větší než 25  $\mu$ F [5]. V případě výpadku napájení by napětí na výstupu převýšilo napětí vstupní a mohlo by dojít ke zničení obvodů.

## 4.2 Schéma zdroje

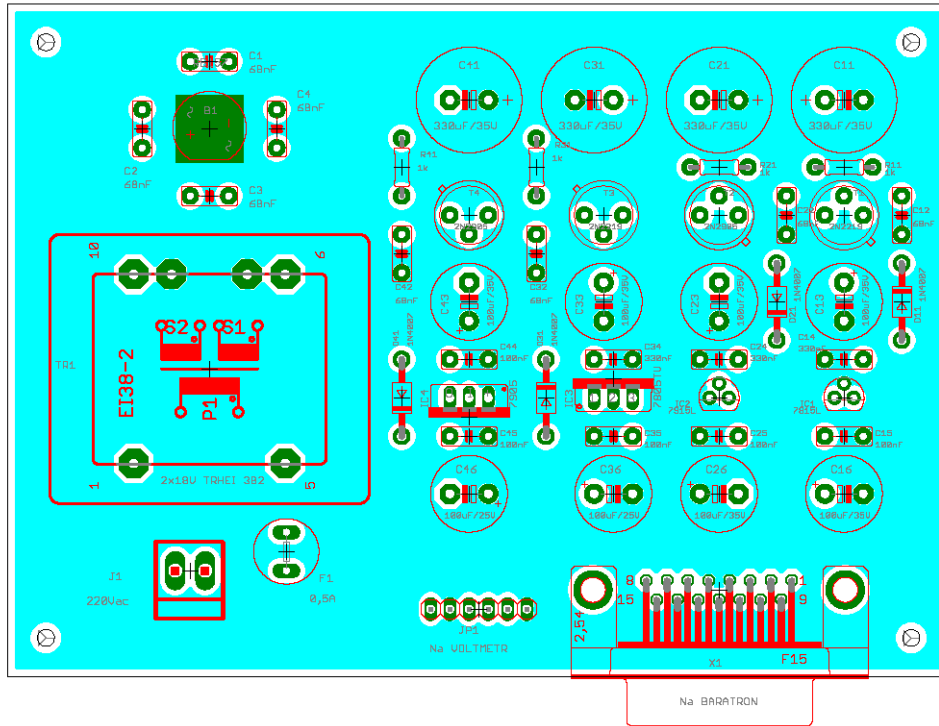
Na obrázku 8 je vyobrazeno kompletní schematické zapojení napájecího zdroje pro vakuometr MKS Baratron 626A a desku displeje.



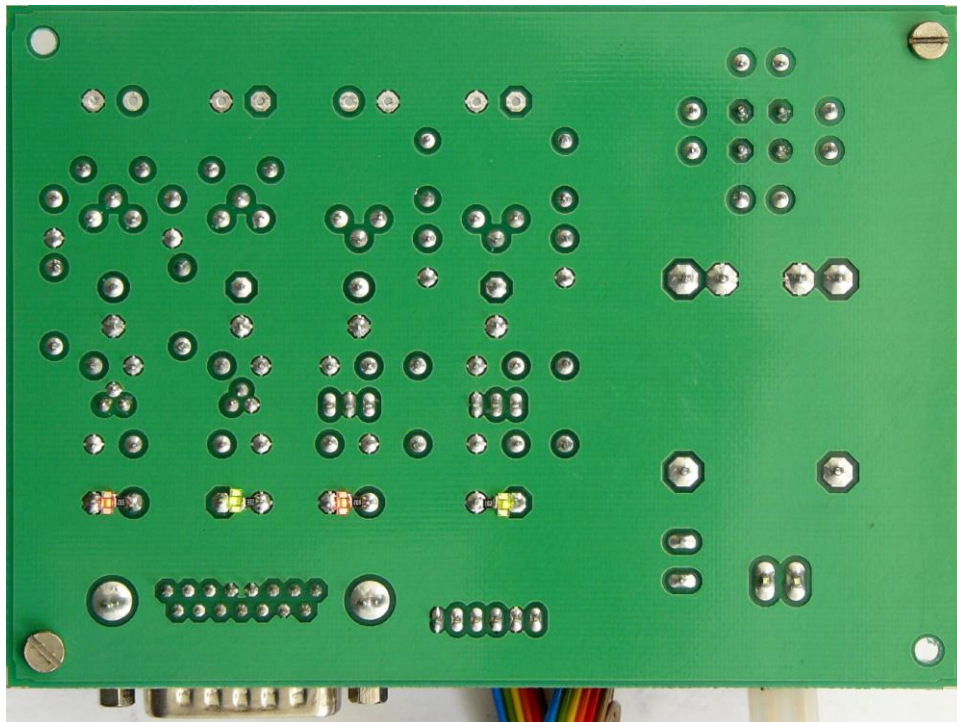
Obr. 8 Schéma zdroje

### 4.3 Návrh desky plošných spojů zdroje

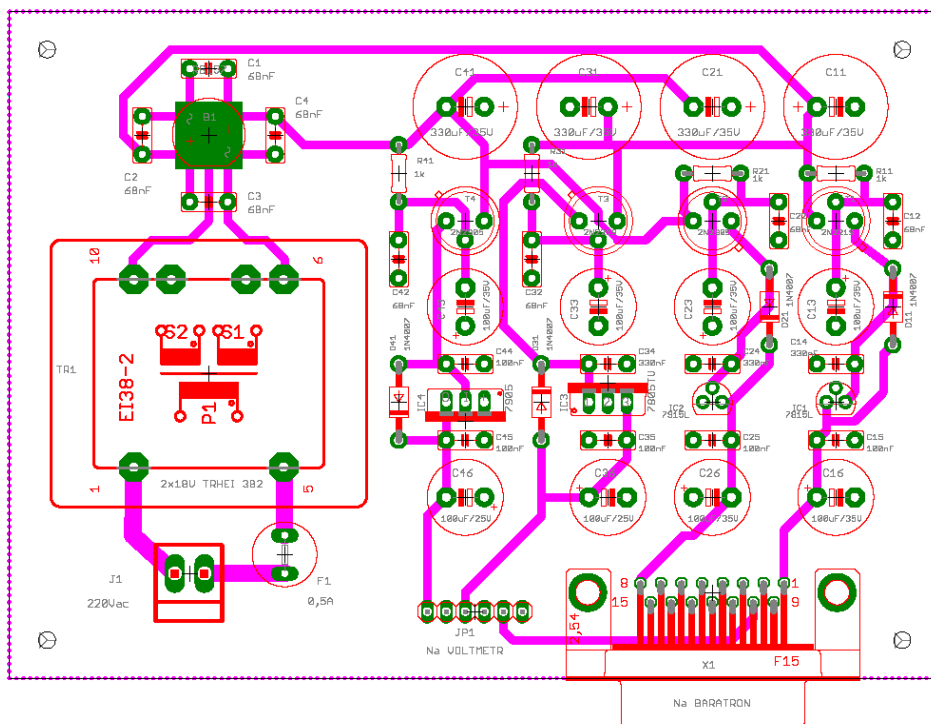
Na níže uvedených obrázcích 9 až 12 jsou vyobrazeny desky plošných spojů napájecího zdroje ze strany stínění a strany spojů.



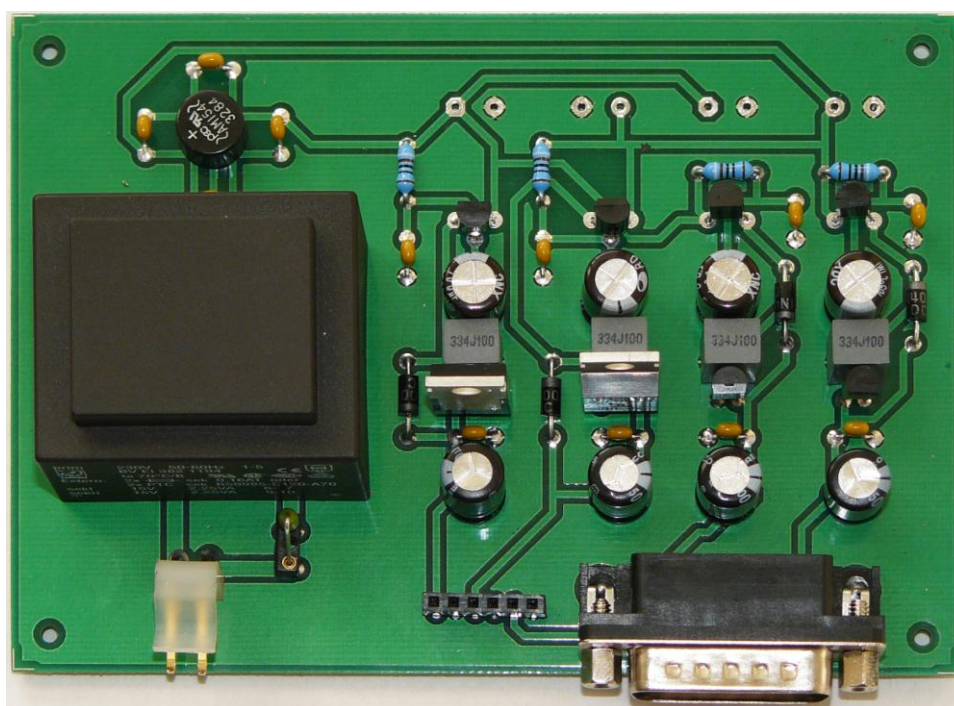
Obr. 9 DPS zdroje - strana stínění



Obr. 10 Osazená DPS zdroje - strana stínění



Obr. 11 DPS zdroje - strana spojů



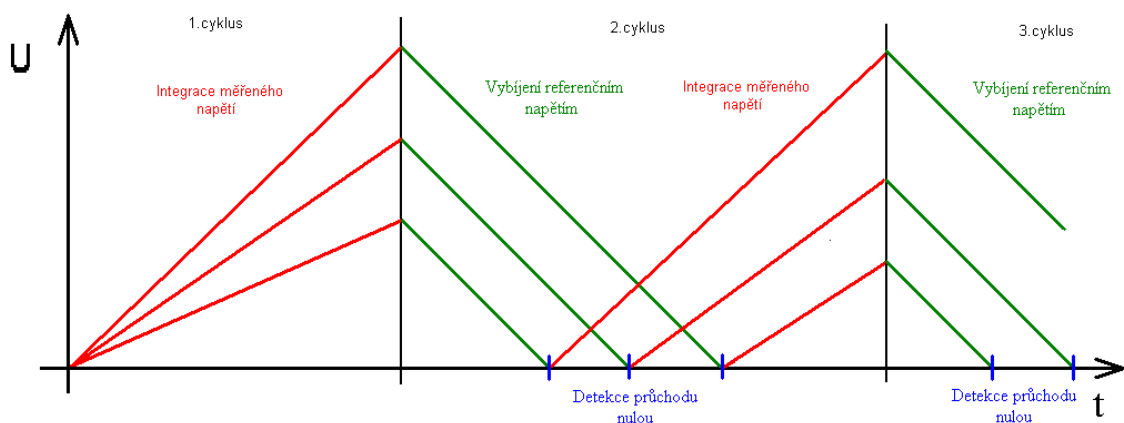
Obr. 12 Osazená DPS zdroje - strana součástek

## 5. Displej

Základem desky displeje je obvod ICL7135 firmy INTERSIL, vyrobený CMOS technologií. Jedná se o 14-bitový A/D převodník s dvojnásobnou integrací, binárním výstupem a výstupem pro buzení LED zobrazovačů. Výstup pro LED zobrazovače pracuje v multiplexním režimu, čímž je dosaženo menšího proudového odběru. Rychlost multiplexování je závislá na kmitočtu externího zdroje hodinových impulzů. Obvod lze nahradit identickým výrobkem firem MICROCHIP, TEXAS nebo MAXIM.

### 5.1 Princip dvojnásobné integrace

Dvojnásobná integrace je používána z důvodu odstranění nedostatku integrace jednoduché, kdy je problém s nastavením počátečních parametrů integrátoru. To znamená, vybití integrační kapacity na nulovou hodnotu. Při dvojnásobné integraci se nejprve integruje přímo měřené vstupní napětí. V době integrace současně dochází k nulování čítače, které je ukončeno jeho přetečením. Nulování trvá podstatně kratší dobu než samotná integrace měřeného napětí. Poté se integrační kapacita vybíjí pomocí referenčního napětí opačné polaroty tak dlouho, dokud nevyhodnotí detektor nuly napětí na integrátoru jako nulové (obr. 13). Po dobu integrování referenčního napětí dochází k načítání hodinových impulzů čítačem. To znamená, že počet načtených impulzů je úměrný měřenému napětí. Od okamžiku průchodu nulou nastává nový cyklus integrace [6].



Obr. 13 Princip dvojnásobné integrace

## 5.2 Činnost displeje

Zapojení se skládá z těchto částí:

- A/D převodník IC1 (ICL7135) [7]
- oscilátor 115 kHz IC2 (NE555) [8], [9]
- budič invertor IC3 (ULN2003) [10]
- dekodér z BCD na sedmi-segmentový zobrazovač IC4 (MC14511) [11]
- zelený displej se společnou anodou LED1-5 (SC56-11) [12]

### 5.2.1 A/D převodník

Pro správnou činnost obvodu ICL 7135 je nutné dodržet zapojení několika externích obvodů. V převážné většině jde o katalogová doporučení.

1. Vývody 1,11 - napájecí napětí  $\pm 5$  V.
2. Vývody 2,3 - nastavení referenčního napětí 1 V, což se rovná  $\frac{1}{2}$  plného měřicího rozsahu 2 V na diferenciálním vstupu. Napětí je nastaveno odporovým děličem. Jako ochrana proti přepětí na referenčním vstupu je použito obvodu VR2 (TL431). Jedná se o tří-svorkový napěťový regulátor s nastavitelným výstupním napětím, se zaručenou teplotní stabilitou a malým výstupním odporem.
3. Vývody 4,5,6 - nejdůležitější v tomto obvodu je volba integračního rezistoru R6 (100k $\Omega$ ), kterým se nastavuje proud integračního zesilovače. Doporučená hodnota je 20  $\mu$ A.

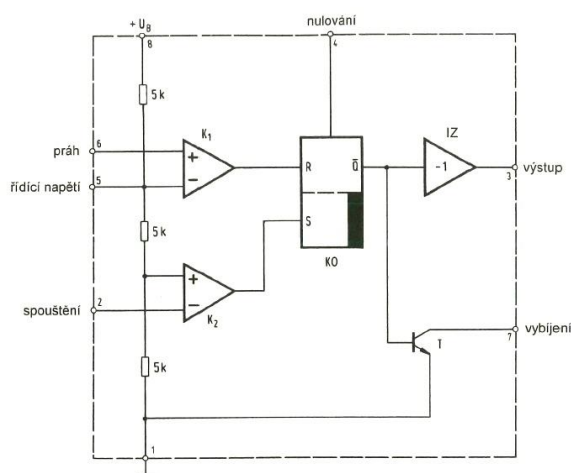
$$R_{\text{int}} = \frac{U_{\text{fullscale}}}{I_{\text{integrating amplifier}}} = \frac{2V}{20\mu A} = \underline{\underline{100k\Omega}}$$

4. Vývody 7,8 - integrační kondenzátor C1 (1  $\mu$ F). Podmínkou je použití kondenzátoru s metalizovanou propylenovou vrstvou, mající dlouhou životnost, mimořádně nízké dielektrické ztráty a nízkou integrální nelinearitu.
5. Vývody 9,10 - vstup měřeného napětí. Je osazen odporovým děličem 9:1, protože maximální výstupní napětí z vakuometru Baratron je 5x větší než plný rozsah obvodu ICL7135 a podmínkou je zobrazení hodnoty 0,1 až 999,9.
6. Vývody 12 (MSD), 17, 18, 19, 20 (LSD) - multiplexované vývody pro řízení jednotlivých LED zobrazovačů.

7. Vývody 13 (LSB), 14, 15, 16 (MSB) – binární výstupy.
8. Vývod 22 - hodiny. Zdrojem hodinových impulsů je obvod IC2 (NE555), v zapojení jako astabilní oscilátor s kmitočtem 115 kHz.
9. Vývod 23 - řízení zobrazení znaménka polarity.
10. Vývod 24 – uzemnění pro digitální část obvodu.

### 5.2.2 Oscilátor

Jako oscilátor je použit obvod IC2 (NE555), v katalogovém zapojení jako astabilní multivibrátor s výstupním kmitočtem 120 kHz. Pro činnost obvodu ICL7135 není nutná teplotní stabilizace kmitočtu. Vnitřní zapojení obvodu 555 je na obr. 14.



Obr. 14 Vnitřní zapojení obvodu 555.

Amplituda výstupního napětí obvodu se téměř blíží velikosti napájecího napětí. Výstupní proud je maximálně 200 mA. Bez vnějších součástek se chová jako Schmidtův KO. Pokud napětí na vstupu K2 poklesne pod dolní hodnotu  $U_{ref}$ , překlopí se výstup do úrovně H. Opačně, překročí-li napětí horní mez  $U_{ref}$ , překlopí se výstup do úrovně L. V zapojení jako astabilní multivibrátor je střída D výstupních impulsů (poměr trvání úrovně H nebo L vzhledem k opakovací periodě T) daná vztahem:

$$D = \frac{t1}{T} = \frac{R17 + R16}{R17 + 2R16} \quad \text{nebo} \quad D = \frac{t2}{T} = \frac{R16}{R17 + 2R16}.$$

Pro kmitočet impulzů je určující kondenzátor C6 (300 pF). Rezistory R16 (15kΩ) a R17 (4,7 kΩ) jsou zvoleny tak, aby byla střída výstupních impulzů téměř 1:1. Doporučená hodnota kmitočtu daná výrobcem je 100 kHz (čtení 2 ½ krát za sekundu) a 120 kHz (čtení 3 krát za sekundu). S tím, že tepelná stabilita není kritická. Při změřených hodnotách použitých součástek, je vypočítaná hodnota kmitočtu:

$$f = \frac{1,44}{(R17 + 2R16) * C} = \frac{1,44}{(4700 + 30000) * 3,6 * 10^{-10}} = \underline{\underline{115,27kHz}}$$

### 5.2.3 Budič invertor

Jako budič displeje je použit obvod ULN2003. Je to pole sedmi tranzistorů v darlingtonově zapojení. Tyto umožňují na výstup obvodu ICL7135 připojit větší proudovou zátěž (až 500 mA), než dovoluje samotný obvod. Jednotlivé invertory připojují v multiplexním režimu katody jednotlivých LED zobrazovačů na zem. Tento obvod je použit místo sedmi diskretních tranzistorů z důvodu úspory místa na DPS.

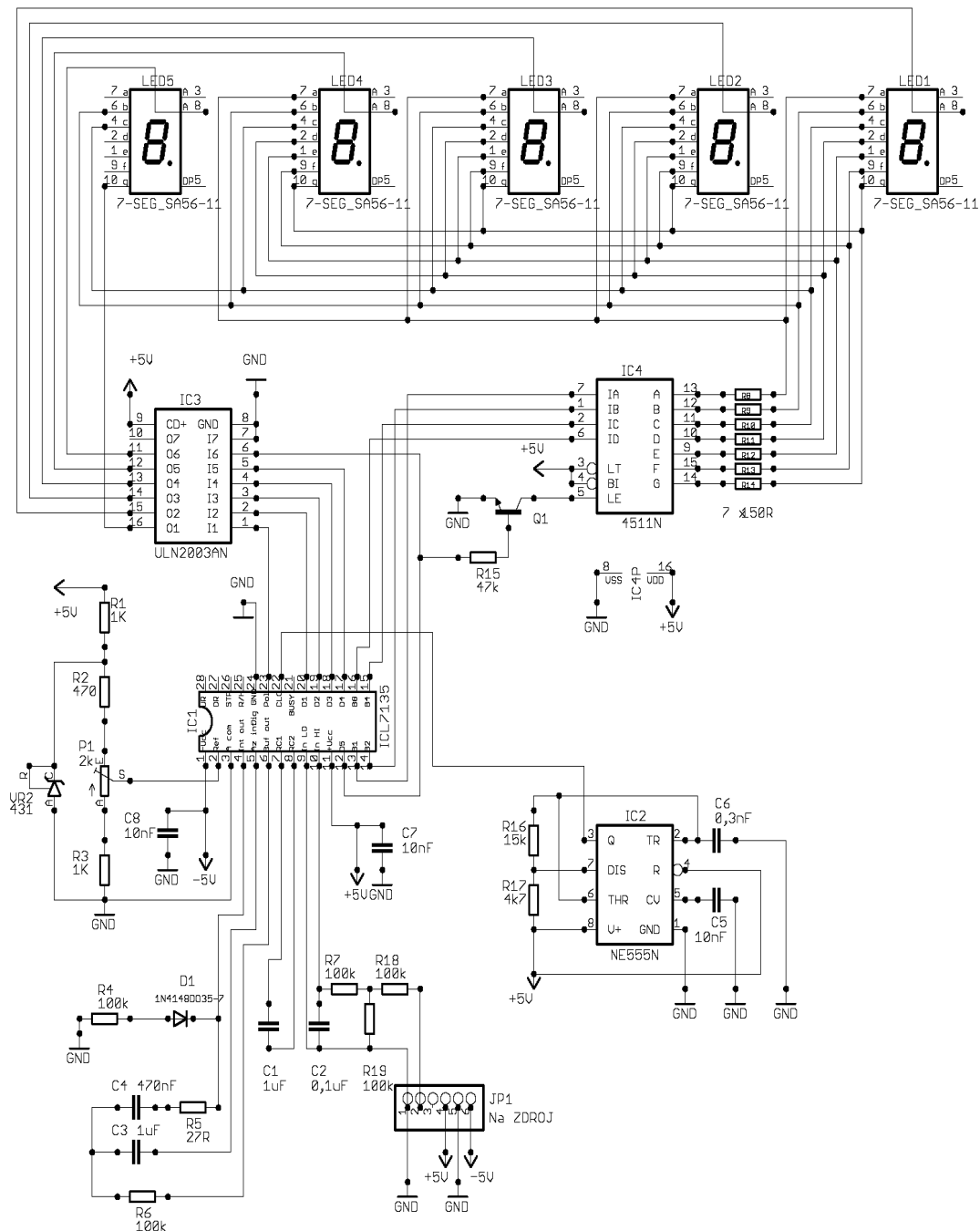
### 5.2.4 BCD dekodér

Obvod MC14511 slouží pro převod binárního kódu z ICL7135, na decimální pro číslicové jednotky. Je použito katalogového zapojení, pouze jsou na výstupech pro jednotlivé segmenty zobrazovače zařazeny rezistory R8-14 (150 Ω). Ty omezují budící proud na 2 mA, aby nedošlo k poškození nízko-odběrových zobrazovačů LED1-5 (SC56-11). Tento obvod lze nahradit identickým obvodem DM7447 firmy NATIONAL SEMICONDUCTOR.



### 5.3 Schéma displeje

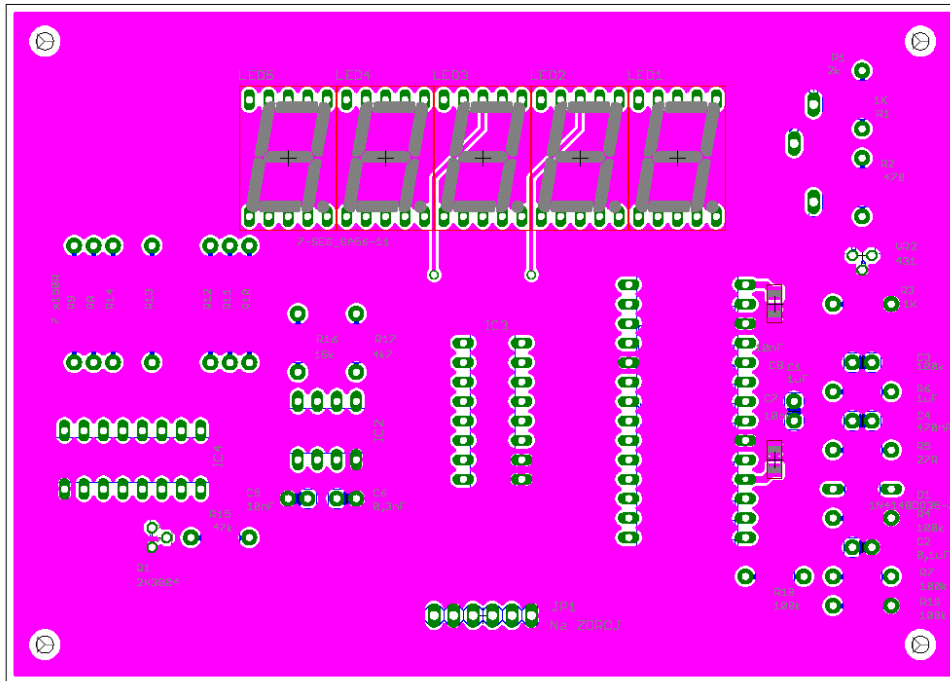
Na obrázku 15 je zobrazeno kompletní schematické zapojení A/D převodníku a sedmi-segmentového displeje.



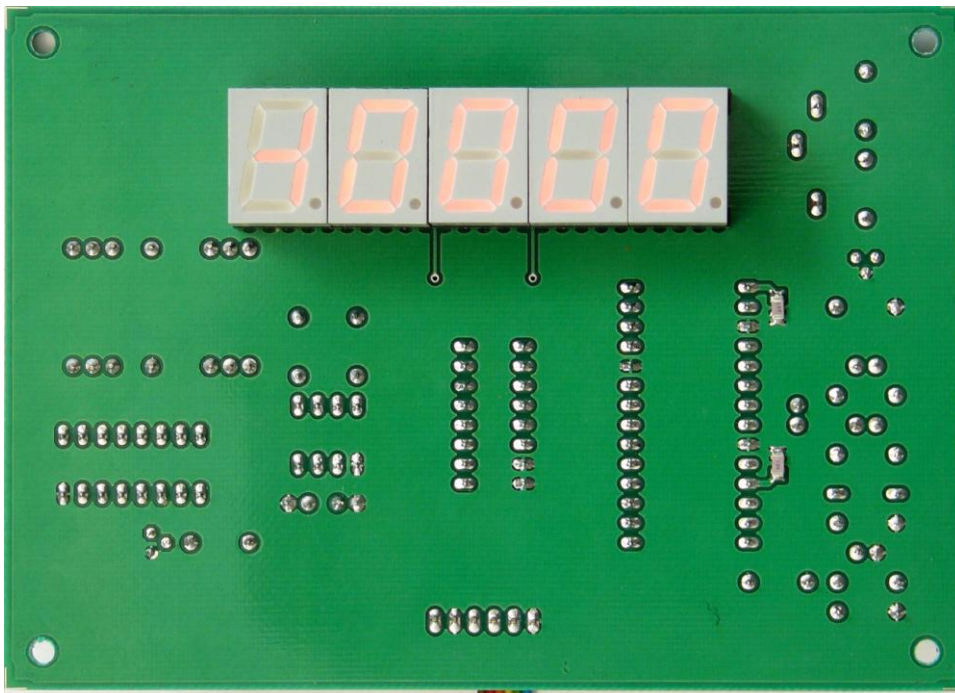
Obr. 15 Schéma displeje

## 5.4 Návrh desky plošných spojů displeje

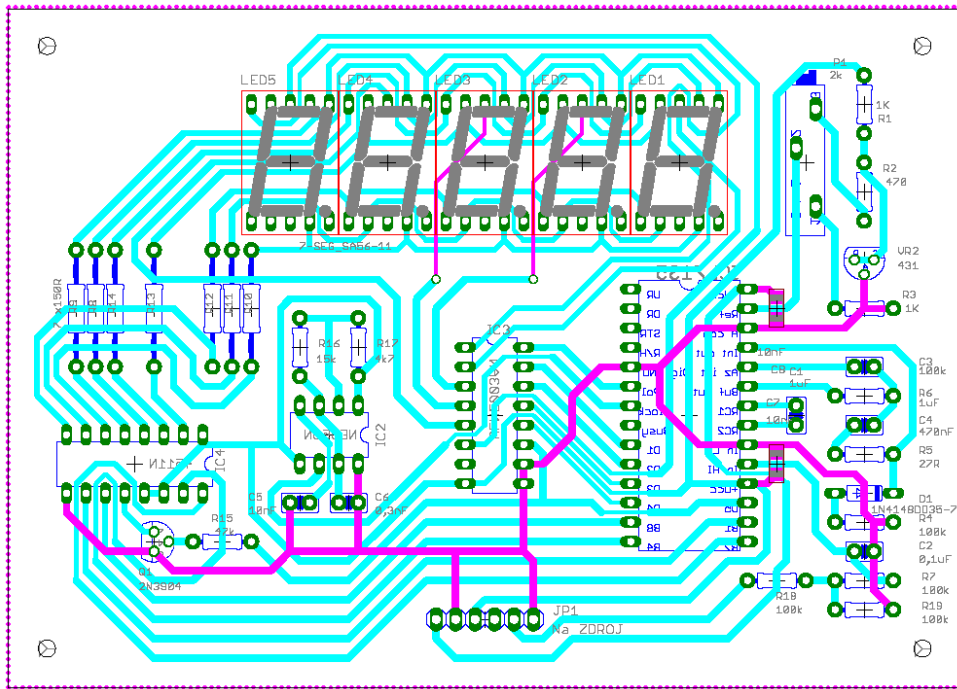
Na níže uvedených obrázcích 16 až 19 jsou vyobrazeny desky plošných spojů zobrazovacího displeje ze strany stínění a strany spojů.



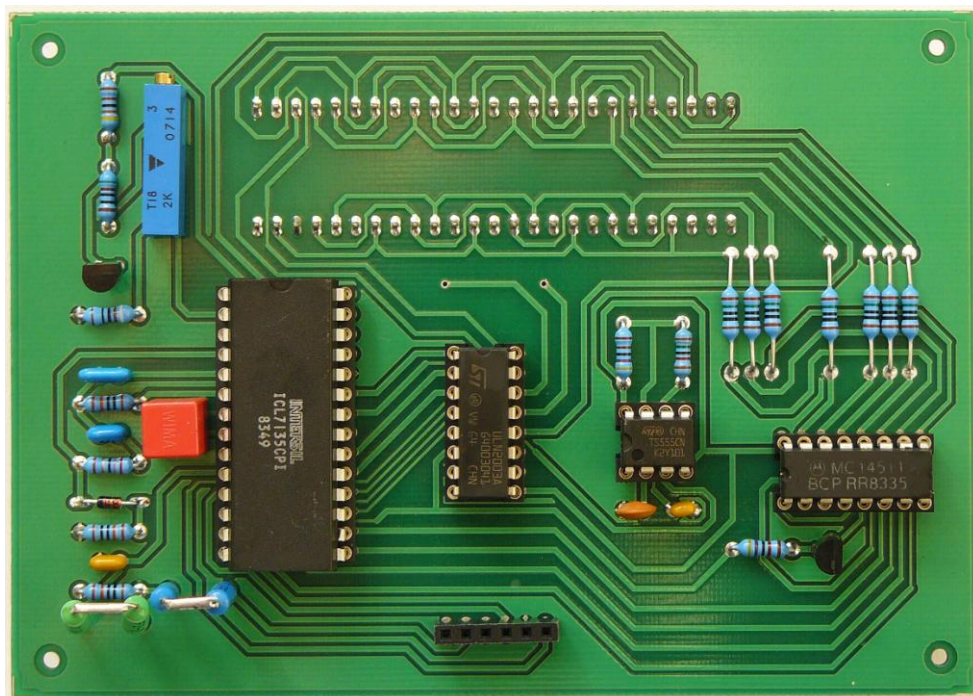
Obr. 16 DPS displeje - strana stínění



Obr. 17 Osazená DPS displeje - strana stínění



Obr. 18 DPS displeje - strana spojů



Obr. 19 Osazená DPS displeje - strana spojů

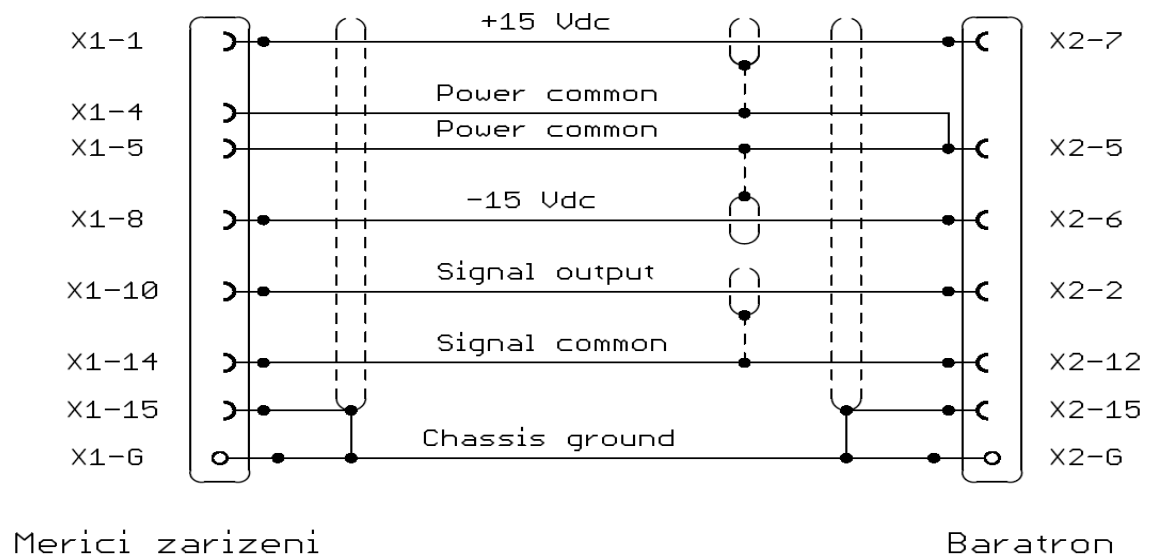
## 6. Kryt přístroje a propojovací kabel

### 6.1 Propojovací kabel

Pro připojení měřícího zařízení k vakuometru MKS Baratron byl vyroben propojovací kabel (obr. 20) s dvojitým stíněním a konektory CANNON 15, které mají pokovené krytky. Samostatné stínění mají vždy vodiče se společným určením. Tedy jednotlivá napájecí napětí i měřený signál s příslušnými zeměmi. Všechny vodiče pak mají společné druhé splétané stínění. Zapojení kabelu je na obrázku 21.



Obr. 20 Propojovací kabel



Obr. 21 Zapojení propojovacího kabelu

## 6.2 Kryt přístroje

Jako kryt měřícího přístroje a zároveň sekundární (vnější) stínění byl upraven kovový kryt z PC zdroje, doplněný o čelní panel (obr. 23). Tento je propojen se zemí napájecího napětí 230 V<sub>st.</sub> Celkové vnitřní uspořádání měřícího přístroje je na obrázku 22.



Obr. 22 Vnitřní uspořádání přístroje



Obr. 23 Čelní panel přístroje

## 7. Stavba a oživení

Pro oživení byly použity přístroje:

- multimetr FLUKE 287
- multimetr HEWLETT PACKARD 3458A
- osciloskop TEKTRONIX TDS3034B
- zdroj přesného napětí PRECISION DC SOURCE 2020B

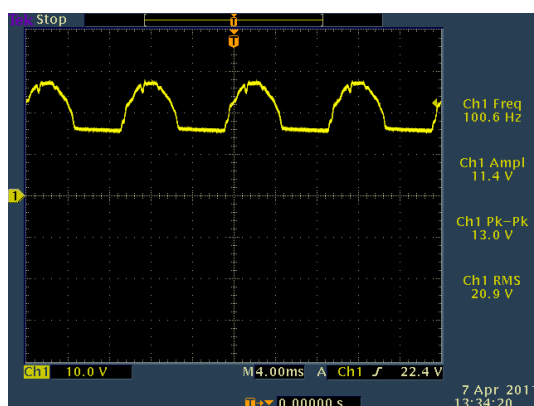
### 7.1 Oživení zdroje

Deska zdroje je vyrobena za použití komerčních součástek pro osazení do děr dle osazovacího plánu (obr. 9). Pouze diody LED1-4 a rezistory R12, 22, 32, 42 jsou v SMD provedení naletovány přímo na kontakty výstupních kondenzátorů. Všechna měření byla provedena při nominální zátěži. To znamená, že větve  $\pm 5 V_{ss}$  zatěžuje deska displeje a  $\pm 15 V_{ss}$  zatěžuje umělá odporová zátěž nastavená na 35 mA. Multimetrem naměřené hodnoty výstupního proudu a napětí pro jednotlivé části zdroje jsou uvedeny v tabulce č. 3.

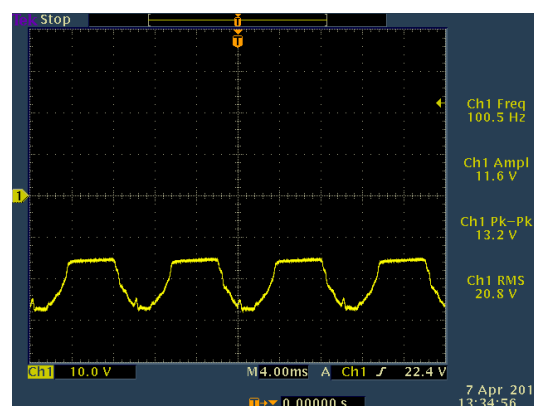
Tabulka č.3

	$5 \pm 1$ [V]	$-5 \pm 1$ [V]	$+15 \pm 0,75$ [V]	$-15 \pm 0,75$ [V]
Napětí [V]	4,98	-5,06	15,2	-14,87
Proud [mA]	50	1,14	35	35

Nejprve proběhla kontrola napětí na výstupu usměrňovače, kdy bylo požadováno napětí minimálně 17,5V (obr. 24, 25).



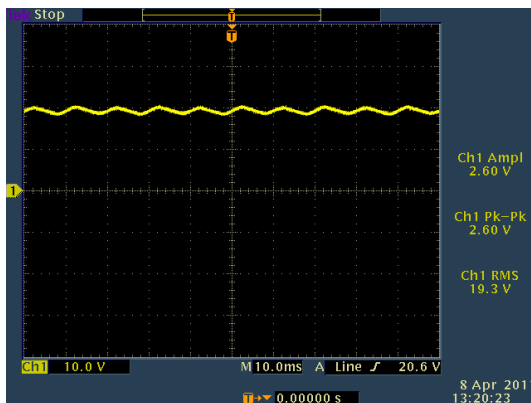
Obr. 24 Kladné napětí po usměrnění



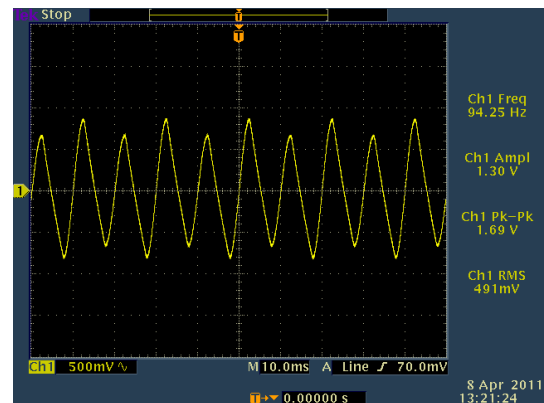
Obr. 25 Záporné napětí po usměrnění

### 7.1.1 Měření zdroje $\pm 15V$

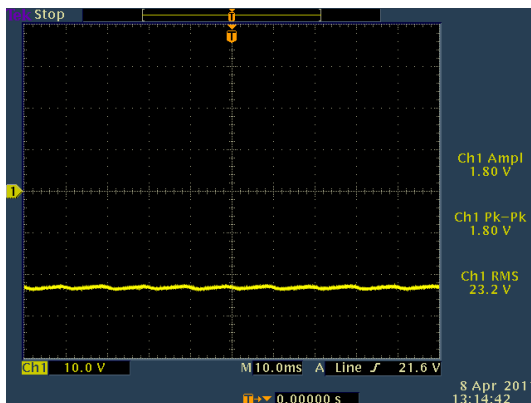
Při ožiování zdroje bylo zjištěno, že pro napájecí větve  $\pm 15 V_{ss}$  je vhodné použít pasivního vstupního filtru. Aktivní není vhodný z důvodu velkého úbytku napětí mezi jeho vstupem a výstupem. Přestože byla splněna podmínka výrobce obvodů 7815 a 7915, kdy tyto obvody potřebují pro správnou činnost napěťový spád 2,5 V mezi vstupem a výstupem, obvody stabilizátorů nepracovaly spolehlivě. Naměřené hodnoty při použití pasivních filtrů (C11, C21) jsou na obr. 26 - 29.



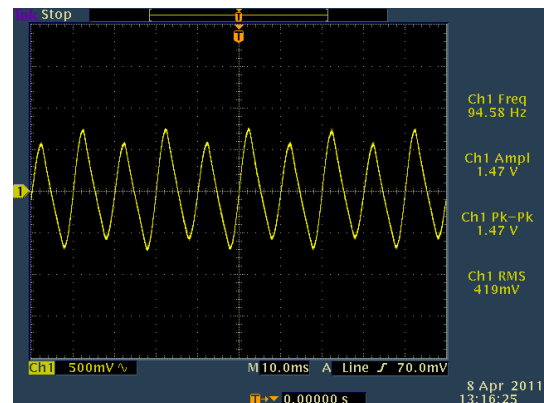
Obr. 26 SS napětí na C11



Obr. 27 ST napětí na C11

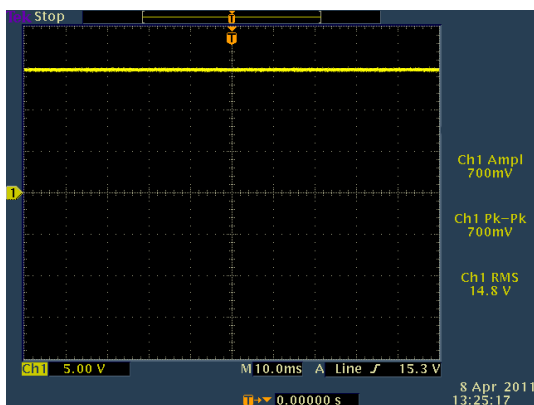


Obr. 28 SS napětí na C21

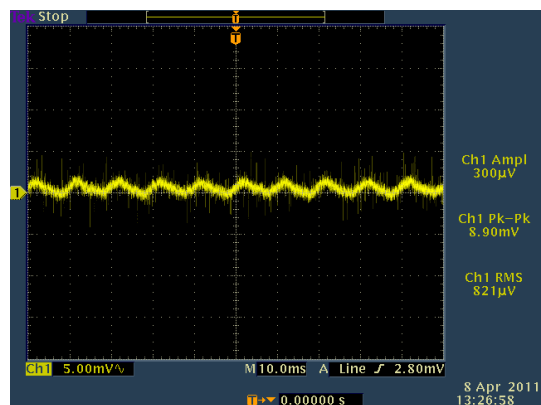


Obr. 29 ST napětí na C21

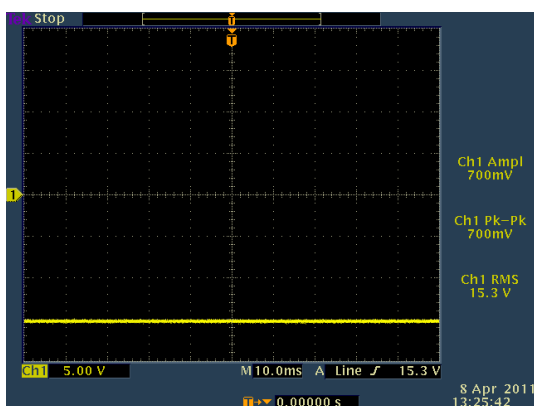
Dále bylo provedeno měření na výstupech obou větví (obr.30 - 33). Všechny parametry výstupů splňují vstupní konstrukční podmínky. Tedy tolerance napětí je  $\pm 5\%$  a střídavé zvlnění do  $20 \text{ mV}_{\text{ss}}$ .



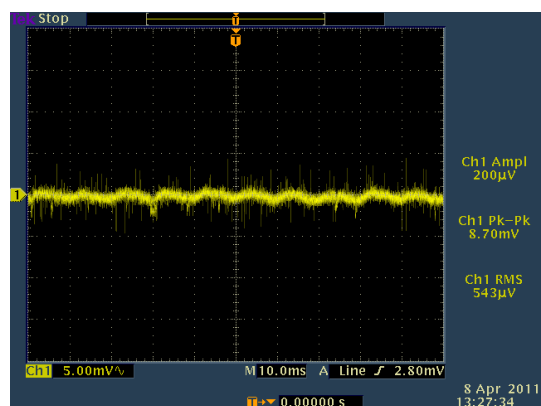
Obr. 30 SS výstup +15V



Obr. 31 ST výstup +15V



Obr. 32 SS výstup -15V



Obr. 33 ST výstup -15V

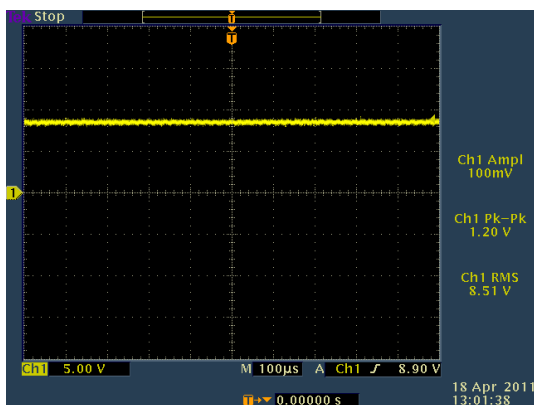
### 7.1.2 Měření zdroje ±5V

Ve zdroji ±5 V je dostatečný rozdíl vstupního a výstupního napětí obvodů 7805 a 7809, proto byl osazen aktivní filtr a pasivní byl vypuštěn. Při testování došlo k přehřívání obvodu 7805 vlivem velkého ztrátového výkonu. Při úbytku napětí 14,7 V a proudu 50 mA byl téměř 0,75 W. Proto bylo usměrněné napětí na jeho vstupu zmenšeno pomocí předřadného odporu 150 Ω/5 W. Tento odpor je pro zabezpečení odvodu tepla přišroubován na stínící destičku a použit v keramickém provedení 5W. Výpočet předřadného rezistoru, při proudu 50 mA a požadovaném úbytku napětí 7,5 V je následující:

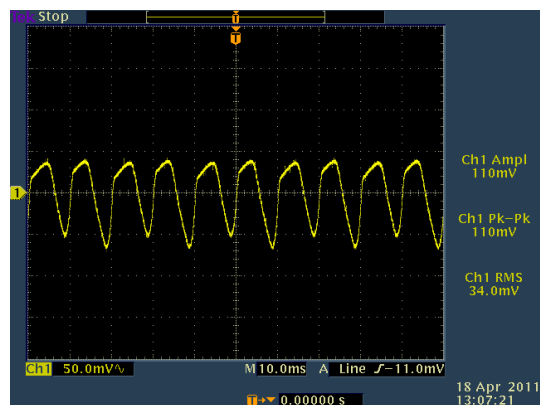
$$R = \frac{U}{I} = \frac{7,5}{0,05} = 150 \Omega \quad (7)$$

Po této úpravě došlo k naměření průběhů na obrázcích 34 a 35.



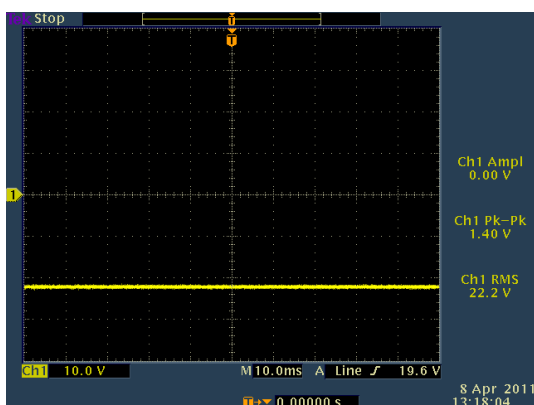


Obr. 34 SS napětí za T3

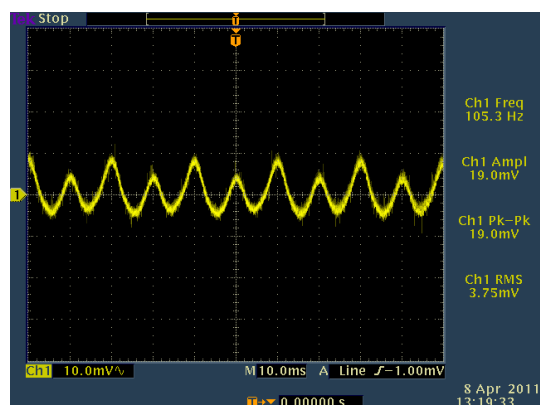


Obr. 35 ST napětí za T3

V záporné větvi nebylo nutné dělat žádné úpravy. Stabilizátor funguje i přes velký úbytek napětí, protože je z něj odběr pouze 1,14 mA. Z tohoto pak vyplývá minimální tepelná ztráta na pouzdře obvodu 7905. Naměřené průběhy jsou na obrázcích 36 a 37.

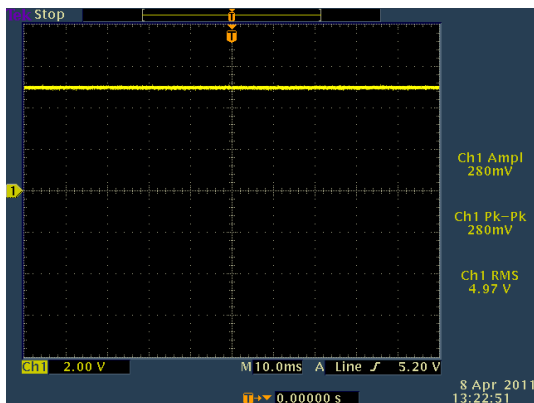


Obr. 36 SS napětí za T4

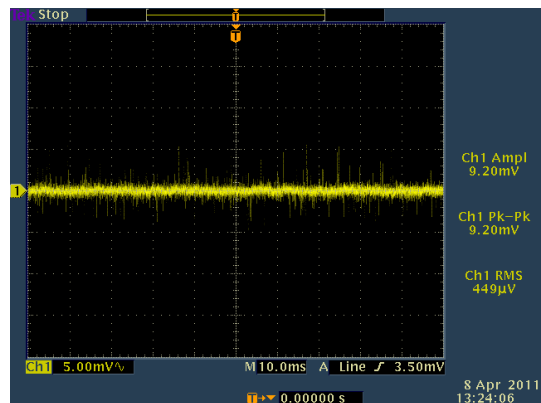


Obr. 37 ST napětí za T4

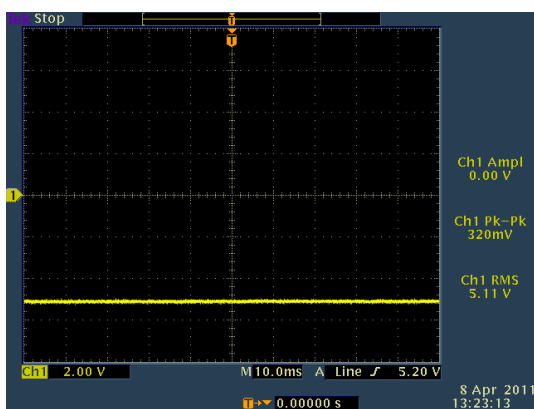
Dále bylo provedeno měření na výstupech obou větví (obr.38 - 41). Všechny parametry výstupů splňují vstupní konstrukční podmínky. To je tolerance napětí  $\pm 20\%$  a střídavé zvlnění do  $20 \text{ mV}_{\text{ř-ř}}$ .



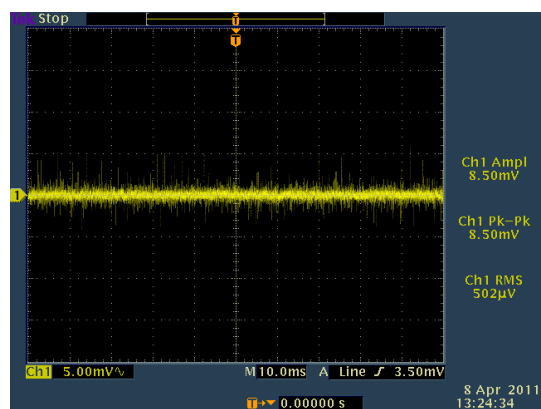
Obr. 38 SS výstup +5V



Obr. 39 ST výstup +5V



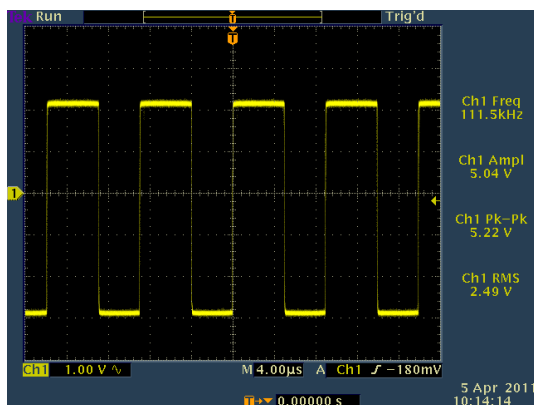
Obr. 40 SS výstup -5V



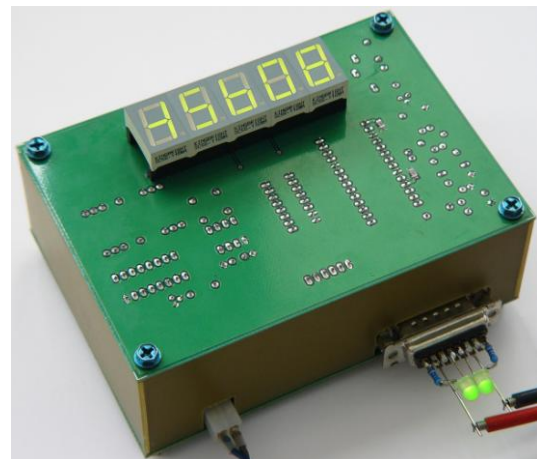
Obr. 41 ST výstup -5V

## 7.2 Oživení displeje

Po osazení všech patič pro IO a pasivních součástek, byl připojen zdroj napětí  $\pm 5$  Vss. Proběhla kontrola správnosti napájecích napětí na konkrétních pinech patič. Chyba napájení mohla zapříčinit zničení IO. Po kontrole napájení byl osazen obvod 555 a odzkoušena funkce oscilátoru. Kmitočet na jeho výstupu je ve skutečnosti vlivem nepřesné kapacity kondenzátoru (C6) 111,5 kHz (obr. 42). To ale splňuje požadavek daný výrobcem obvodu ICL7135.



Obr. 42 Výstup oscilátoru



Obr. 43 Funkční zařízení

Dále bylo pomocí více-otáčkového odporového trimru orientačně nastaveno referenční napětí pro IO ICL7135. Referenční napětí se má podle katalogového listu výrobce rovnat polovině plného rozsahu měření obvodu, což je 1 V. Následovalo osazení vstupního odporového děliče (R18, 19). Dělič má hodnoty odporů v poměru 9:1, z důvodu přizpůsobení měřeného napětí na výstupu vakuometru BARATRON a maximálního vstupního napětí obvodu ICL7135. Hodnoty rezistorů jsou zvoleny tak, aby děličem tekla maximální proud 15 mA při vstupním napětí 10 V. Rezistor R18 je v provedení se ztrátovým výkonem 2 W. Takový odpor byl zvolen záměrně z důvodu eliminace tepelné závislosti odporu na protékajícím proudu. To se projevuje hlavně při měření v horní části rozsahu měření, kdy je protékající proud největší. Naopak při měření mezi 0 až 4 V se už tepelná závislost téměř neprojevuje. Po osazení zbývajících IO nebylo nutné žádné nastavení a celá deska displeje bez problémů fungovala (obr. 43).

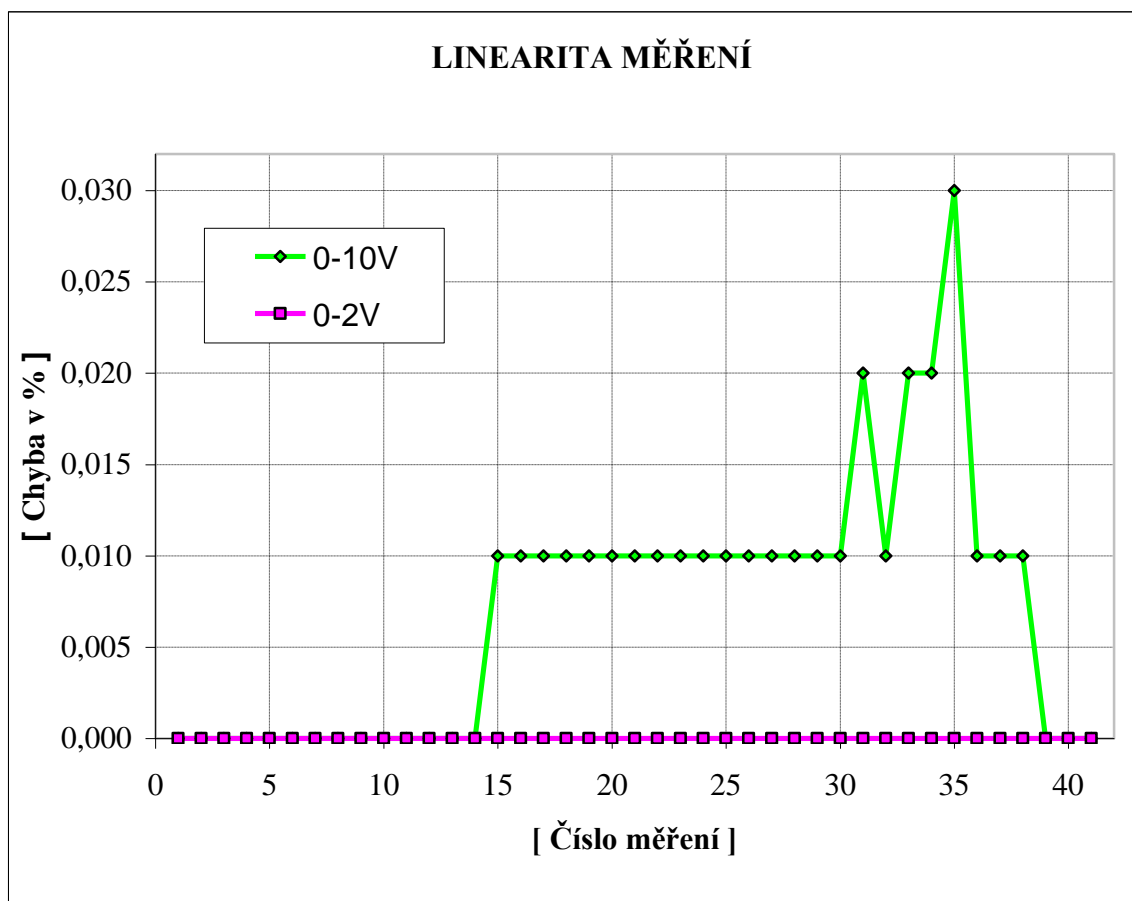
### 7.3 Stanovení linearity měření

Ke stanovení linearity měření mohlo dojít až po ustálení vnitřní teploty měřícího zařízení. To trvá asi 15 minut, dokud se neustálí měřená hodnota na displeji. Poté je nutno přesně nastavit referenční napětí tak, aby při vstupním napětí 10 V<sub>ss</sub> bylo zobrazeno na displeji číslo 1000,0. To odpovídá měřenému tlaku 1 kPa.

Tabulka č. 4: Linearita měření.

Č.měření	Nastaveno	Naměřeno	Rozdíl	Chyba %	Nastaveno	Naměřeno	Rozdíl	Chyba %
1.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2.	0,250	0,250	0,000	0,000	0,050	0,050	0,000	0,000
3.	0,500	0,500	0,000	0,000	0,100	0,100	0,000	0,000
4.	0,750	0,750	0,000	0,000	0,150	0,150	0,000	0,000
5.	1,000	1,000	0,000	0,000	0,200	0,200	0,000	0,000
6.	1,250	1,250	0,000	0,000	0,250	0,250	0,000	0,000
7.	1,500	1,500	0,000	0,000	0,300	0,300	0,000	0,000
8.	1,750	1,750	0,000	0,000	0,350	0,350	0,000	0,000
9.	2,000	2,000	0,000	0,000	0,400	0,400	0,000	0,000
10.	2,250	2,250	0,000	0,000	0,450	0,450	0,000	0,000
11.	2,500	2,500	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,000
12.	2,750	2,750	0,000	0,000	0,550	0,550	0,000	0,000
13.	3,000	3,000	0,000	0,000	0,600	0,600	0,000	0,000
14.	3,250	3,250	0,000	0,000	0,650	0,650	0,000	0,000
15.	3,500	3,501	0,001	0,010	0,700	0,700	0,000	0,000
16.	3,750	3,751	0,001	0,010	0,750	0,750	0,000	0,000
17.	4,000	4,001	0,001	0,010	0,800	0,800	0,000	0,000
18.	4,250	4,251	0,001	0,010	0,850	0,850	0,000	0,000
19.	4,500	4,501	0,001	0,010	0,900	0,900	0,000	0,000
20.	4,750	4,751	0,001	0,010	0,950	0,950	0,000	0,000
21.	5,000	5,001	0,001	0,010	1,000	1,000	0,000	0,000
22.	5,250	5,251	0,001	0,010	1,050	1,050	0,000	0,000
23.	5,500	5,501	0,001	0,010	1,100	1,100	0,000	0,000
24.	5,750	5,751	0,001	0,010	1,150	1,150	0,000	0,000
25.	6,000	6,001	0,001	0,010	1,200	1,200	0,000	0,000
26.	6,250	6,251	0,001	0,010	1,250	1,250	0,000	0,000
27.	6,500	6,501	0,001	0,010	1,300	1,300	0,000	0,000
28.	6,750	6,751	0,001	0,010	1,350	1,350	0,000	0,000
29.	7,000	7,001	0,001	0,010	1,400	1,400	0,000	0,000
30.	7,250	7,251	0,001	0,010	1,450	1,450	0,000	0,000
31.	7,500	7,502	0,002	0,020	1,500	1,500	0,000	0,000
32.	7,750	7,751	0,001	0,010	1,550	1,550	0,000	0,000
33.	8,000	8,002	0,002	0,020	1,600	1,600	0,000	0,000
34.	8,250	8,252	0,002	0,020	1,650	1,650	0,000	0,000
35.	8,500	8,503	0,003	0,030	1,700	1,700	0,000	0,000
36.	8,750	8,751	0,001	0,010	1,750	1,750	0,000	0,000
37.	9,000	9,001	0,001	0,010	1,800	1,800	0,000	0,000
38.	9,250	9,251	0,001	0,010	1,850	1,850	0,000	0,000
39.	9,500	9,500	0,000	0,000	1,900	1,900	0,000	0,000
40.	9,750	9,750	0,000	0,000	1,950	1,950	0,000	0,000
41.	10,000	10,000	0,000	0,000	2,000	2,000	0,000	0,000

Byla provedena dvě měření. Jedno pro kontrolu linearity v celém rozsahu 0÷10 V a druhé přesnější v části mezi 0÷2 V (tabulka č. 4 a obr. 44). Měření prokázalo, že chyba linearity se v nejhorším případě rovnala 0,03%.



Obr. 44 Graf linearity měření

## **8. Zhodnocení a závěr**

Na závěr lze konstatovat, že v rámci předložené bakalářské práce bylo vyvinuto a zkonstruováno funkční elektronické zařízení, které tvoří napájecí zdroj stejnosměrného napětí pro vakuometr MKS Baratron 626A a zároveň obsahuje přesný A/D převodník spolu s řídicími obvody pro zobrazování měřeného tlaku na sedmi-segmentovém displeji. Testovací měření provedená výše uvedeným zařízením potvrdila, vysokou linearitu měřícího obvodu a zároveň zdroj napájecího napětí splňoval všechny požadované specifikace, jak byly definovány v cílech bakalářské práce. Navíc první testovací měření provedená přímo při konkrétním depozičním procesu ve vakuové technologické aparatuře potvrdili, že zkonstruované elektronické měřící zařízení je dostatečně odolné vůči elektromagnetickému rušení produkovanému vysokofrekvenčními zdroji plazmatu. Tedy cíle zadané při řešení předložené bakalářské práce byly splněny a zkonstruované elektronické zařízení splňuje s rezervou všechny specifikace, tak jak byly navrženy.

## **Použité zkratky**

DPS – deska plošného spoje

$U_{ss}$  – stejnosměrné napětí

$U_{st}$  – střídavé napětí

$U_{\xi-\xi}$  – špičková hodnota napětí

$U_{ef}$  – efektivní hodnota napětí

IO – integrovaný obvod

LED – Light-Emitting Diode = dioda emitující světlo

BCD – Binary Coded Decimal = dvojkově reprezentované dekadické číslo

CMOS – Complementary Metal-Oxide Semiconductor = polovodič kov-oxid

## Seznam literatury

- [1] M.A. Lieberman, A.J. Lichtenberg, Principles of plasma discharges and materials processing, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.
- [2] Ing. MILAN ERBEN, Ph.D., Vakuová technika - Učební text, Katedra obecné a anorganické chemie. Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice. 2008.
- [3] <http://www.o-digital.com/wholesale-products/2226/2232-1/Capacitive-Ceramic-Pressure-Sensor-CCPS32-127747.html>, 22.1.2011
- [4] <http://www.idealvac.com/files/images/Baratron1a.gif>, 22.1.2011
- [5] ALEXANDR KREJČIŘÍK, Lineární napájecí zdroje, Praha: BEN – technická literatura, 2005.
- [6] PETR ADÁMEK, Obvody a části měřících přístrojů. České Budějovice: Vlastimil Johanus TISKÁRNA, 2010. ISBN 978-80-7394-200-7
- [7] Katalogový list ICL7135. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/72692/MAXIM/ICL7135.html>, 22.1.2011
- [8] Katalogový list NE555. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/23384/STMICROELECTRONICS/NE555.html>, 22.1.2011
- [9] JAN HÁJEK, Časovač 555 praktická zapojení. Praha: BEN – technická literatura, 2005.
- [10] Katalogový list ULN2003. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25575/STMICROELECTRONICS/ULN2003.html>, 22.1.2011
- [11] Katalogový list MC14511. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/11975/ONSEMI/MC14511B.html>, 22.1.2011
- [12] Katalogový list SC56-11. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/93946/ETC/SC56-11.html>, 22.1.2011