

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Pedagogická fakulta**  
**Katedra fyziky**

**Bakalářská práce**

**Konstrukce a realizace 4 1/2 místného měřidla s integračním  
analogově – digitálním převodníkem**

**Construction and Realisation of 4 1/2 Decimal Order Panel  
Meter with Integrating A/D Converter**

Vedoucí práce: Doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D.

Autor: Jiří Vobr

Obor: Měřicí a výpočetní technika

Forma: prezenční

Ročník: 3.

Rok: 2007

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 pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 26. 11. 2007

.....

## **Anotace**

Práce se zabývá konstrukcí a realizací 4 ½ místného měřidla. S následnou aplikací pro měření malých odporů. Popisuje principy a funkci integračních převodníků, speciálně pak převodníku s dvoutaktní integrací a jeho aplikaci v měřícím procesu. Dále je popsána metoda čtyřvodičového měření malých odporů. Výstupem práce je konkrétní realizace celého přístroje s kalibrací referenčních napětí a ověřením přesnosti měřícího systému.

## **Annotation**

The work deals with construction and realization of 4 ½ decimal order panel meter, with application for measurement of the resistance. The work is focused on the theory of integrating converter especially on dual-slope-integrating principle and its application in measuring process. Furthermore the work deals with method of four wire resistance measurement of small resistance and specific realization of the measuring system. The work includes the calibration and the accuracy testing measurements.

**Poděkování:**

Děkuji Doc. PaedDr. Petru Adámkovi, Ph.D. za odborný dohled, za cenné rady, inspiraci a trpělivost při vedení mé bakalářské práce.

# OBSAH

ÚVOD .....	6
<b>1. INTEGRACNÍ A/Č PŘEVODNÍKY .....</b>	<b>7</b>
1.1 Princip integrace napětí .....	7
1.2 Integrační převodník s jednotaktní integrací (Single Slope) .....	8
1.2.1 Funkce převodníku .....	8
1.2.2 Přesnost převodníku .....	10
1.3 Integrační převodník s dvoutaktní integrací (Dual Slope) .....	10
1.3.1 Funkce převodníku .....	10
1.3.2 Přesnost převodu .....	12
1.3.3 Souhlasné rušení .....	13
1.3.4 Potlačení sériového rušení integračními převodníky .....	13
1.4 Integrační převodníky s třítaktní integrací .....	14
1.5 Integrační A/Č převodník s čtyřtaktní integrací (quad slope) .....	14
<b>2 ANOLOGOVĚ-ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK ICL 7135® .....</b>	<b>15</b>
2.1 Základní charakteristika ICL 7135® .....	15
2.2 Základní parametry převodníku ICL 7135® .....	16
2.3 Zapojení vývodů pouzdra ICL 7135® .....	17
2.4 Zapojení analogové části převodníku .....	17
2.4.1 Fáze měřicího cyklu .....	17
2.4.1.1 Automatické nulování .....	17
2.4.1.2 Integrace vstupního napětí .....	18
2.4.1.3 Integrace referenčního napětí opačné polarity .....	18
2.4.1.4 Dodatečné nulování integrátoru .....	19
2.5 Zapojení digitální části převodníku .....	19
2.5.1 Výstup „OVERRANGE“ .....	20
2.5.2 Výstup „UNDERRANGE“ .....	20
2.5.3 Výstup „POLARITY“ .....	20
2.5.4 Řídící signály pro displej .....	20
2.5.5 Výstupní kód BCD .....	20
<b>3 VYBRANÉ METODY MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO ODPORU .....</b>	<b>21</b>
3.1 Měření odporovými můstky .....	21
3.1.1 Wheatstoneův můstek .....	21
3.1.2 Thomsonův můstek .....	22
3.2 Substituční metoda měření odporu .....	22
3.3 Metody měření malých odporů .....	24
3.3.1 Čtyřbodové měření odporu .....	24
<b>4 KONSTRUKCE MĚŘIDLA .....</b>	<b>25</b>
4.1 Rezistor v obvodu integrátoru .....	25
4.2 Integrační kondenzátor .....	25
4.3 A-Z kondenzátor .....	25
4.4 Referenční napětí .....	26
4.5 Generátor hodinových impulsů .....	26
4.6 Návrh desek plošných spojů .....	26

4.7 Napájecí zdroj celého zařízení.....	26
4.7.1 Napájecí zdroj převodníku a displeje.....	27
4.8 Analogově – číslicový převodník a generátor hodinových impulsů .....	28
4.8.1 Zdroj referenčního napětí.....	28
4.8.2 Vstup měřeného napětí.....	29
4.9 Zobrazovací jednotka .....	30
4.10 Zdroj konstantního proudu .....	31
4.10.1 Funkce konstantního zdroje proudu.....	31
4.10.2 Přepínání měřících rozsahů .....	32
4.10.3 Použitý operační zesilovač.....	32
4.10.4 Výběr tranzistoru $Q_1$ .....	32
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>34</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>35</b>
Příloha č. 1:.....	36
Rozpis součástek napájecího zdroje: .....	37
Příloha č. 2 :.....	38
Rozpis součástek A/Č převodníku: .....	39
Příloha č. 3:.....	40
Rozpis součástek displeje: .....	41
Příloha č. 4:.....	42
Rozpis součástek zdroje konstantního proudu: .....	43
Příloha č. 5:.....	44

# ÚVOD

Při některých elektronických konstrukcích vyvstává problém měření malých odporů rezistorů. Například při konstrukci audio zesilovačů a různých nabíječů olověných akumulátorů.

V případech proudových bočniců je třeba použít velmi malé rezistory o velmi malých odporech. A zde nastává problém, jak odpory těchto rezistorů s potřebnou přesností měřit. Pokud je měření prováděno klasickým sériově vyráběným multimetrem, tak je možno s určitou přijatelnou chybou měřit odpory od řádů stovek  $\Omega$  výše. Pokud je třeba měřit odpory o řád menší tak při desítkách  $\Omega$  začne chyba měření narůstat až na desítky procent a odpory jednotek  $\Omega$  jsou již těmito přístroji prakticky neměřitelné. Tato chyba je zapříčiněna systémovou chybou měřící metody, která je nevhodná pro měření malých odporů.

Cílem této bakalářské práce je konstrukce a realizace měřícího systému, který tyto odpory změří s dostatečnou přesností, potřebnou ke správné konstrukci výše zmíněných přístrojů.

Prakticky se jedná o realizaci přesného měřidla odporu, které užívá metody čtyřbodového měření odporu [1]. Celý systém se skládá ze tří částí.

První částí je 4 ½ místný analogově – číslicový voltmetr, který funguje jako přímo ukazující ohmmetr a zobrazuje naměřenou hodnotu pomocí LED displeje.

Druhou část představuje přesný zdroj konstantního proudu, který je navržen speciálně pro metodu čtyřbodového měření malých odporů.

Třetí částí je napájecí zdroj celého zařízení.

# 1. INTEGRAČNÍ A/Č PŘEVODNÍKY

Pro přesné číslicové měření spojitých veličin, kde systém je určen pro odečet měřené hodnoty člověkem, se převážně užívají integrační převodníky [1, 2, 3]. Integrační A/Č převodníky umožňují dosáhnout vysokého rozlišení a vysoké přesnosti měření, tím že účinně potlačuje střídavé rušivé signály. Rychlost převodu těchto převodníků je malá, proto umožňují pouze měření veličin jejichž velikost se v čase nemění, nebo se mění velmi pomalu. Jejich vlastnosti a principy jsou detailně popsány v následující části.

## 1.1 Princip integrace napětí

Hlavní součástí integračních převodníků je integrátor [1, 4, 5]. Integrátor je zapojen na základě invertujícího zapojení operačního zesilovače, ve kterém je rezistor zpětné vazby nahrazen kondenzátorem  $C$  (obr. č. 1). Budeme-li považovat operační zesilovač za ideální, můžeme pro tento obvod s užitím Kirchhoffova zákona vyjádřit

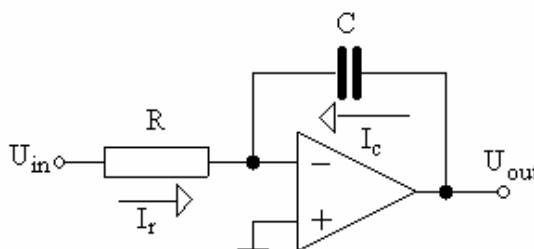
$$I_R + I_C = 0, \quad (1.1)$$

kde  $I_R$  je proud tekoucí vstupním rezistorem  $R$  a  $I_C$  proud tekoucí zpětnovazebním kondenzátorem  $C$ .

Po dosazení do předcházejícího vztahu dostáváme

$$\frac{U_{IN}}{R} + C \frac{dU_{OUT}}{dt} = 0, \quad (1.2)$$

kde  $U_{IN}$  je vstupní napětí integrátoru a  $U_{OUT}$  je výstupní napětí integrátoru.



Obr. č.1. Integrační zapojení operačního zesilovače.



Vyjádřením  $U_{OUT}$  z předešlého vztahu dostáváme

$$U_{OUT} = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{IN}(t) dt + U_0, \quad (1.3)$$

kde  $\frac{1}{RC}$  je časová konstanta integrátoru,  $U_{IN}$  je vstupní napětí integrátoru,  $U_0$  určuje počáteční podmínky integrace pro počáteční náboj  $Q_0$  kondenzátoru  $C$  a meze integrace času jsou od 0 do  $t$ .

## 1.2 Integrační převodník s jednotaktní integrací (Single Slope)

Jiným názvem také, převodníky s převodem napětí na časový interval. Kde vstupní napětí se převádí na časový interval [2, 3].

### 1.2.1 Funkce převodníku

Základní uspořádání převodníku je znázorněno na obr. č. 2 a příslušné průběhy napětí na obr. č. 3.

Základním obvodem převodníku je integrátor  $Z$ , na kterém je integrováno referenční napětí  $U_r$ . Vstupní měřené napětí  $U_a$  je přivedeno na vstup komparátoru  $K_2$  a je zde porovnáváno s okamžitou hodnotou na výstupu integrátoru. Na začátku měřicího cyklu je vynulován čítač a na výstupu integrátoru je nulové napětí. Zahájením měřicího cyklu, otevře hradlo & výstup z generátoru impulsů a impulsy jsou zaznamenávány v čítači. Impulsy jsou zaznamenávány do té doby, kdy napětí na integrátoru  $U_i$  dosáhne napětí  $U_a$ , poté se komparátor překlopí a počet načítaných impulsů je úměrný velikosti měřeného napětí.

Pro výstupní napětí integrátoru platí

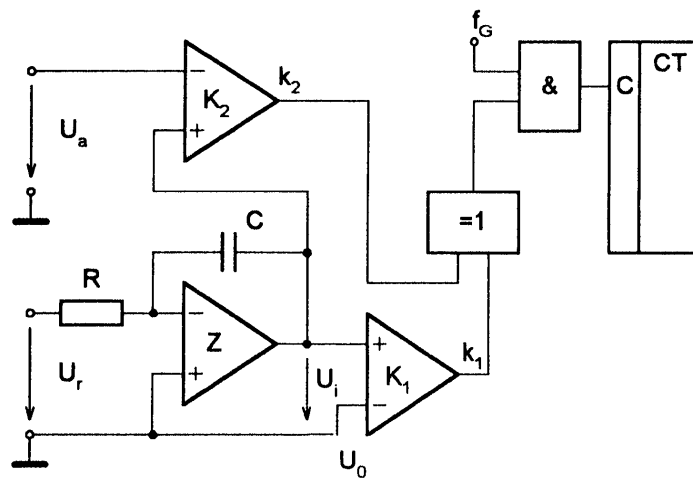
$$U_i = -\frac{t}{RC} \cdot U_r, \quad (1.4.)$$

kde  $t$  je doba integrace napětí,  $U_r$  vstupní napětí integrátoru a  $\frac{1}{RC}$  časová konstanta integrátoru. Z předešlého vyplývající interval čítání  $T_p$  je roven

$$T_p = RC \frac{U_a}{U_r}, \quad (1.5.)$$

kde  $U_a$  je měřené vstupní napětí. Počet načítaných impulsů v čítači je dán  $N = f_g \cdot T_p$ , kde  $f_g$  je frekvence generátoru impulsů. Konečný výsledný stav  $N$  čítače po měřícím cyklu je

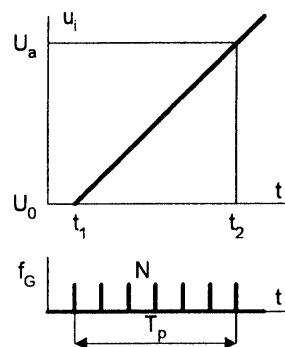
$$N = RC \frac{U_a}{U_r} f_g. \quad (1.6.)$$



Obr. č. 2 Integrovní převodník s jednotaktní integrací.

Kde je  $U_r$  - vstupní referenční napětí,  $U_i$  - výstupní napětí integrátoru,  $U_0$  - je nulové napětí zemního potenciálu,  $U_a$  - vstupní měřené napětí,  $K_1$  a  $K_2$  - komparátory,  $CT$  - čítač impulsů,  $Z$  - integrátor a  $f_g$  - vstup z generátoru impulsů.

Graf na obr. č. 3 znázorňuje průběhy napětí na převodníku, kde  $U_a$  je vstupní měřené napětí,  $U_0$  - je nulové napětí spojené se zemí a  $N$  počet impulsů načítaných v čítači za dobu  $T_p$ , která je závislá na velikosti napětí  $U_a$ .



Obr. č. 3 Průběhy napětí na převodníku.

## 1.2.2 Přesnost převodníku

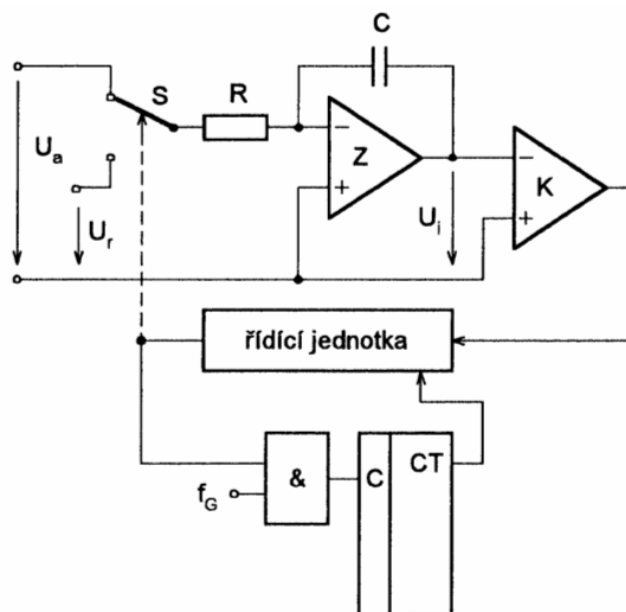
Přesnost převodníku je přímo dána přesností časové základny. U těchto převodníků nelze dosáhnout vysoké přesnosti a stability. Převodníky tohoto typu určují okamžitou hodnotu vstupního napětí v oblasti přiblížení výstupního napětí integrátoru napětí vstupnímu. Tyto převodníky neumožňují potlačení sériového rušení. Doba převodu je přímo úměrná velikosti měřeného napětí.

## 1.3 Integrační převodník s dvoutaktní integrací (Dual Slope)

Integrační převodníky jsou velmi přesné a odolné proti rušení, převod napětí je rozdělen do dvou taktů [2, 3]. Je nepřímým převodníkem u kterého je vstupní analogové napětí nejdříve převedeno na dobu trvání určitého elektrického signálu a velikost vstupního napětí je určována podle hodnoty slova v čítači, který je tímto napětím zprostředkovaně řízen.

### 1.3.1 Funkce převodníku

Následující schéma integračního převodníku (obr. č. 4) [2] obsahuje vstupní referenční napětí  $U_r$  a vstupní měřené napětí  $U_a$ , přepínačem  $S$  je přepínáno mezi těmito vstupy. Dále je znázorněn integrátor  $Z$  a jeho výstupní napětí  $U_i$ , komparátor  $K$ , čítač impulsů  $CT$  a řídicí jednotka. Příslušné časové průběhy napětí jsou znázorněny na obr. č. 5.



Obr. č. 4 Zapojení dvoutaktního převodníku.

Převod je rozdělen do dvou fází, taktů. Při zahájení měřicího cyklu je již z předchozího měření napětí integrátoru na nule a čítač je vynulován. Po zahájení měřicího cyklu řídicí jednotkou se otevře logický člen & a přepínač S připojí na vstup integrátoru měřené napětí  $U_a$ . Logickým členem procházejí z generátoru impulsů  $f_g$ , impulsy, které jsou zaznamenávány čítačem. Za předpokladu, že je měřené napětí konstantní, mění se výstupní napětí integrátoru lineárně s rychlostí přímo úměrnou velikosti vstupního měřeného napětí  $U_a$ . Počet impulsů načítaných na čítači roste až dojde k přeplnění za dobu  $T_1$ , která je rovna

$$T_1 = \frac{N_1}{f_g}, \quad (1.7.)$$

kde  $N_1$  je kapacita čítače a  $f_g$  kmitočet generátoru impulsů. Výstupní napětí  $U_i$  integrátoru je dáno vztahem

$$U_i = \frac{1}{RC} \int_0^{T_1} u_a(t) dt, \quad (1.8.)$$

kde je  $\frac{1}{RC}$  časová konstanta integrátoru,  $U_a$  je vstupní měřené napětí integrátoru a meze času integrace jsou stanoveny od 0 do doby  $T_1$ .

Po přeplnění čítače se řídicí logikou přepne přepínač S do druhé polohy a na vstup integrátoru je připojeno přesné referenční napětí  $U_r$ , opačné polarity než bylo napětí  $U_a$ . Výstupní napětí integrátoru  $U_i$  se proto mění v opačném smyslu, směrem k nule, konstantní rychlostí, úměrnou velikosti referenčního napětí. Čítač je opět plněn impulsy z generátoru.

Pro doby integrací  $T_1$  a  $T_2$  platí

$$\frac{U_a}{RC} \cdot T_1 = \frac{U_r}{RC} \cdot T_2, \quad (1.9.)$$

kde je  $U_a$  vstupní měřené napětí a  $U_r$  referenční napětí.

Stav čítače po druhé fázi integrace odpovídá

$$N_2 = f_g \cdot T_2, \quad (1.10.)$$

neboli

$$N_2 = \frac{U_a}{U_r} \cdot N_1, \quad (1.11.)$$

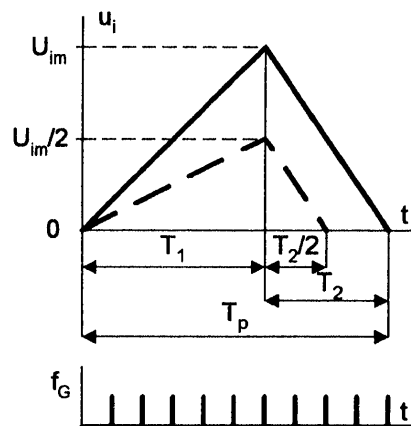
pro velikost měřeného napětí tedy platí

$$U_a = \frac{U_r}{T_1} \cdot T_2, \quad (1.12.)$$

z toho vyplývá, že naměřené napětí je přímo úměrné časovému intervalu  $T_2$ , který se měří čítáním impulsů daného kmitočtu.

Následující schéma integračního převodníku obsahuje vstupní referenční napětí  $U_r$  a vstupní měřené napětí  $U_a$ , přepínačem  $S$  je přepínáno mezi těmito vstupy. Dále je znázorněn integrátor  $Z$  a jeho výstupní napětí  $U_i$ , komparátor  $K$ , čítač impulsů  $CT$  a řídicí jednotka.

Na obr. č. 5 je znázorněn časový průběh napětí  $U_{im}$  na integračním kondenzátoru a jemu příslušné časové periody  $T_1$  a  $T_2$ . Celková doba převodu je znázorněna jako  $T_p$ .



Obr. č. 5 Časové průběhy na převodníku.

### 1.3.2 Přesnost převodu

Přesnost převodu není ovlivněna ani časovou konstantou integrátoru ani kmitočtem impulsů, proto lze touto metodou dosáhnout vysoké přesnosti a stability.

Stabilita převodu je určena stabilitou referenčního napětí, avšak předpokladem je neměnnost parametrů integrátoru a komparátoru během doby převodu.

### 1.3.3 Souhlasné rušení

Souhlasné rušení vzniká vlivem rozdílné impedance vstupních měřících svorek vůči zemi [2]. Ochrana proti souhlasnému rušení je u integračních převodníků zajištěna tak, že analogová část se nachází v plovoucí části. To znamená, že analogová část je vhodně stíněna a tím dochází k účinnému potlačení souhlasného rušení. Tato plovoucí část obsahuje vstupní dělič k přepínání dílčích měřících rozsahů, zesilovač, přepínač, zdroj referenčního napětí, integrátor a komparátor. V druhé části se nachází číslicová část převodníku, zdroj impulsů součinový logický člen, čítač, paměť indikace, dekodér a řídicí jednotka.

### 1.3.4 Potlačení sériového rušení integračními převodníky

Vlastností integračních převodníků s konstantní dobou integrace je potlačení sériového rušivého napětí [3]. Má-li rušivé napětí sinusový průběh o amplitudě  $U_n$  a kmitočtu  $f_n$ , pak výsledné vstupní napětí převodníku je

$$U_i(t) = U_a + U_n \cos(2\pi f_n t + \varphi), \quad (1.13.)$$

kde  $U_a$  je hodnota měřeného napětí a  $\varphi$  je fázový posuv mezi začátkem integrace a průchodem rušivého napětí nulou. Potlačení sériového rušivého napětí se dosáhne tím, že se integrační interval  $T_1$  nastaví roven periodě rušivého napětí, tj. 20 ms nebo rovný celistvému násobku této periody např. 80 ms.

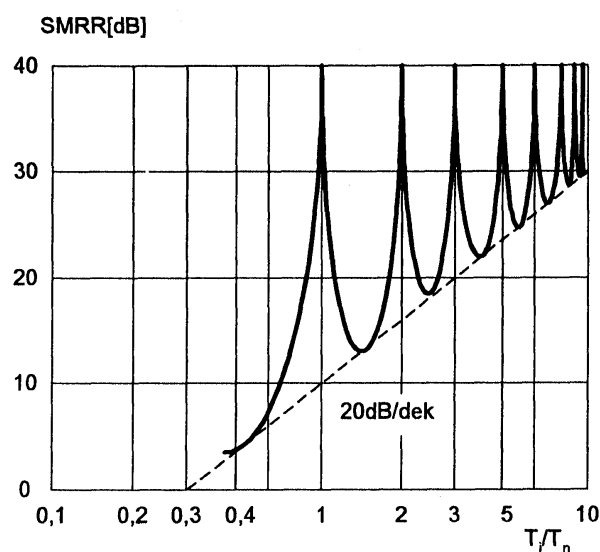
#### Činitel potlačení sériového rušení SMRR (Series Mode Rejection Ratio)

Činitel je určen poměrem rušivé a užitečné složky, má maximální hodnotu

$$SMRR = 20 \cdot \log \frac{\pi \cdot \frac{T_i}{T_n}}{\sin\left(\pi \cdot \frac{T_i}{T_n}\right)}, \quad (1.14.)$$

kde  $T_n$  je perioda rušivého napětí a  $T_i$  perioda užitečné složky.

Pro potlačení SMRR se proto u převodníků synchronizuje doba integrace s periodou síťového kmitočtu (obr. č. 6).



Obr. č. 6 Potlačení SMRR

#### 1.4 Integrovní převodníky s třítaktní integrací

Integrovní převodníky s třítaktní integrací potlačují aditivní chybu integrátoru [3]. Aditivní chyba je způsobena vstupní napětíovou a proudovou nesymetrií zesilovače. Oproti dvoutaktním převodníkům je korekce zajištěna zavedením dalšího, třetího, korekčního taktu. Během třetího korekčního taktu, kdy je vstup integrátoru uzemněn a výstupní napětí integrátoru, představuje jeho výstupní zbytkové napětí, které je uchováno v kondenzátoru C a tento kondenzátor je během integrace vstupního a referenčního napětí připojen k neinvertujícímu vstupu zesilovače.

#### 1.5 Integrovní A/Č převodník s čtyřtákní integrací (quad slope)

Čtyřtákní převodníky jsou založeny na principu dvojitě dvoutaktní integrace [2, 3]. Převod je rozdělen do dvou kalibračních a dvou měřících cyklů. V prvních dvou kalibračních cyklech se určí aditivní chyba integrátoru a v následujících měřících cyklech se touto chybou modifikuje výsledek převodu.

## 2 ANOLOGOVĚ-ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK ICL 7135<sup>®</sup>

### 2.1 Základní charakteristika ICL 7135<sup>®</sup>

Převodník má garantovanou přesnost  $\pm 1$  číslice přes celý rozsah  $\pm 20000$  [6]. Vstupní proud odebíraný ze zdroje měřeného napětí je max. 10 pA. Převodník nemá integrován vnitřní zdroj referenčního napětí, toto referenční napětí musí být dodáváno z externího zdroje. Obvod má výstupní piny „overrange“ a „underrange“, které slouží k automatickému přepínání rozsahů, dále pin, který dává polaritu výstupního napětí. Obvod také umožňuje využití rozhraní pro spolupráci s obvody UART a mikroprocesory. Jako výstup na zobrazovací jednotku LED displeje nebo displeje LCD je užito principu multiplexových výstupů v BCD kódu.

Integrovaný obvod ICL7135<sup>®</sup> (TLC7135<sup>®</sup>) vyráběný firmou Texas Instruments<sup>®</sup>, je velice přesný A/D převodník, využívající k převodu metodu dvojí integrace (Dual Slope, up-down integration). Jeho velká univerzálnost výstupů umožňuje připojení k mikroprocesorům a přes rozhraní UART k sériovým portům PC nebo pro přímé připojení displeje LED a LCD přes multiplexované BCD výstupy. Možnosti spolupráce nejen s mikroprocesory, jsou rozšířeny jeho výstupy BUSY, STROBE, RUN/HOLD, OVERRANGE a UNDERRANGE.

Obvod měří stejnosměrné napětí obou polarit při základním rozsahu 2,0000 V a rozlišení 100  $\mu$ V. Nulová složka je menší než 10  $\mu$ V a kolísáním nuly menším než 1  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C při vstupním proudu, který je maximálně 10 pA. Což umožňuje jeho připojení přímo k měřenému obvodu nebo ke vstupnímu napětíovému děliči ve voltmetru bez nebezpečí ovlivnění naměřené hodnoty.

Potřebné obvody jsou obsaženy v jediném dvaceti osmi vývodovém pouzdru DIP28, s výjimkou budiče displeje, zdroje referenčního napětí a generátoru hodinových impulsů.



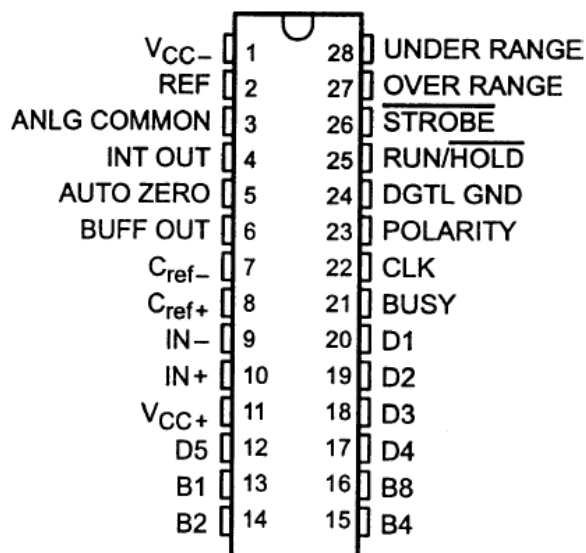
## 2.2 Základní parametry převodníku ICL 7135<sup>®</sup>

parametr	min.	typ.	max.	jednotka
Napájecí napětí $U_{cc+}$	4	5	6	V
Napájecí napětí $U_{cc-}$	-3	-5	-8	V
Diferenční vstupní napětí $U_D$	$U_{cc-}+1$		$U_{cc+}-0,5$	V
Vstupní zbytkový proud $I_L$ vstupů $IN_+$ a $IN_-$		1	10	pA
Referenční napětí na vstupu $U_{ref}$	$U_{cc-}$	1	$U_{cc+}$	V
Teplotní drift nuly		0,5	2	$\mu V/^\circ C$
Teplotní koeficient pro plný rozsah			5	ppm/ $^\circ C$
Chyba linearity		0,5		číslice
Diferenční chyba linearity		0,01		LSB
Maximální pracovní hodinový kmitočet $f_{clock}$		1,2	2	MHz
Vstupní proud logických vstupů – vysoká úroveň		0,1	10	$\mu A$
Vstupní proud logických vstupů – nízká úroveň		-0,02	-0,1	mA
Odběr proudu ze zdroje kladného napájecího napětí		1	3	mA
Odběr proudu ze zdroje záporného napájecího napětí		-0,8	-3	mA

Tab. č. 1 Základní parametry obvodu ICL 7135<sup>®</sup> dle [6].

## 2.3 Zapojení vývodů pouzdra ICL 7135<sup>®</sup>

Převodník je v pouzdře DIP28 [6]. Rozmístění jednotlivých vývodů pouzdra dle katalogových listů výrobce je znázorněno na obr. č. 7.



Obr. č. 7 Zapojení vývodů pouzdra ICL 7135<sup>®</sup>.

## 2.4 Zapojení analogové části převodníku

Obrázek č. 8 ukazuje vnitřní blokové zapojení analogové části převodníku [6]. Každý měřicí cyklus je rozdělen do čtyř částí. Poloha znázorněných spínačů odpovídá jejich poloze při dané fázi měřicího cyklu.

### 2.4.1 Fáze měřicího cyklu

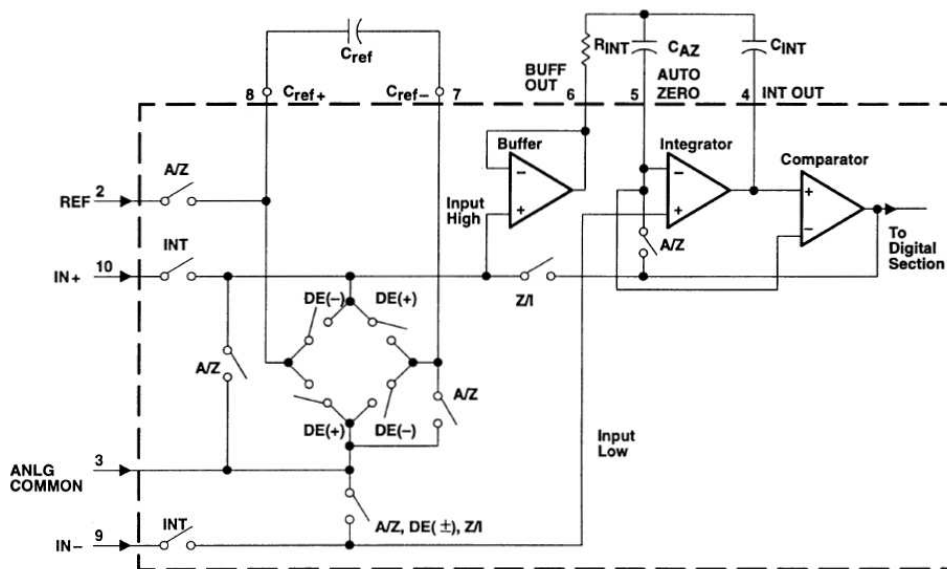
Již zmíněnými fázemi měřicího cyklu jsou:

- automatické nulování – Auto Zero Phase (A-Z)
- integrace vstupního signálu – Signal Integrating Phase (INT)
- integrace referenčního napětí opačné polarity – Deintegrating Phase (DE)
- dodatečné nulování integrátoru – Zero Integrátor Phase (ZI)

#### 2.4.1.1 Automatické nulování

Během tohoto procesu nastanou tři události. Za prvé, vnitřní měřicí vstupy jsou odpojeny od vstupních obvodů IN+ a IN- a jsou vnitřně propojeny s analogovou zemí

(Analog Common). Za druhé, filtrační kondenzátor referenčního napětí  $C_{ref}$  je napájen ze zdroje přesného referenčního napětí. Za třetí je nabíjen kondenzátor  $C_{az}$ , určený ke kompenzaci offsetových napětí vstupního operačního zesilovače (bufferu), integrátoru a komparátoru. Protože je komparátor zahrnut do této smyčky, je přesnost automatického nulování dána pouze úrovní šumové složky systému. Velikost vstupního napěťového offsetu vztahovaná k nule je tedy menší než  $10 \mu V$ .



Obr. č. 8 Blokové schéma analogové části převodníku

### 2.4.1.2 Integrace vstupního napětí

Během fáze integrace vstupního napětí, je smyčka automatického nulování (A-Z) rozpojena a vnitřní zkrat k analogové zemi odstraněn. Měřící vstupy jsou propojeny ke vstupním vývodům  $IN+$  a  $IN-$ . Rozdílové napětí mezi těmito vstupy je po pevný časový interval převodníkem integrováno. Na konci této fáze je polarita integrovaného signálu zaznamenána a uložena v bistabilním klopném obvodu (Polarity Flip – Flop), v číslicové části převodníku.

### 2.4.1.3 Integrace referenčního napětí opačné polarity

Třetí fází je integrace referenčního napětí opačné polarity. Vstup  $IN-$  je vnitřně propojen s analogovou zemí a vstup  $IN+$  je připojen na napětí opačné polarity na kondenzátoru  $C_{ref}$ , který byl ve fázi automatického nulování nabíjen referenčním napětím. Informace o polaritě měřeného napětí přitom zaručuje, že kondenzátor je správně pólován takže napětí na výstupu integrátoru klesá k výchozí nulové úrovni. Čas potřebný k poklesu výstupního komparátoru

je úměrný velikosti vstupního měřeného napětí. Časový interval je zobrazen číslicově a zobrazený údaj  $N$  je dán vztahem

$$N = 10000 \cdot \frac{U_{IN}}{U_{ref}}, \quad (2.1)$$

kde  $U_{IN}$  je měřené vstupní napětí a  $U_{ref}$  je vstupní referenční napětí.

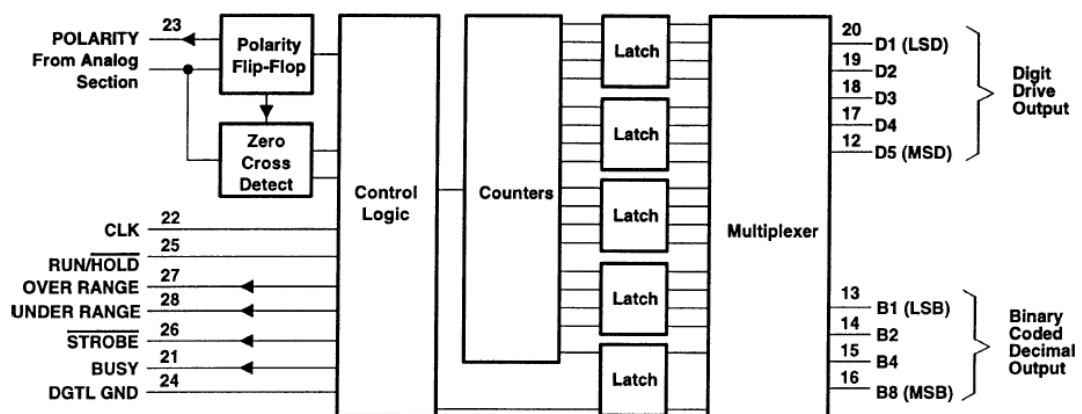
Z daného vztahu vyplývá, že plného rozsahu převodníku je dosaženo, pokud velikost vstupního měřeného napětí je rovna dvojnásobku referenčního napětí.

#### 2.4.1.4 Dodatečné nulování integrátoru

Převodník se vyznačuje přesnou korekcí nuly. Vstup IN- je spojen s analogovou zemí a zpětnovazební smyčka systému je uzavřena. To způsobí, že se výstup integrátoru vrátí k nule. Tato fáze trvá za normálních podmínek 100 až 200 period hodinových pulsů, ale při stavu přetečení čítače („Overrange“) trvá po dobu 6200 hodinových taktů. Měřicí cyklus tedy trvá maximálně 40002 period hodinových impulsů. A tedy výsledný počet měření za jednu sekundu je dán kmitočtem generátoru hodinových impulsů.

### 2.5 Zapojení digitální části převodníku

V zapojení na obr. č. 9 je znázorněno blokové schéma digitální části převodníku dle katalogových listů [6].



Obr. č. 9 Blokové schéma digitální část převodníku.

### **2.5.1 Výstup „OVERRANGE“**

Tento výstup přechází do kladné logické úrovně „1“, pokud vstupní napětí překročí měřicí rozsah převodníku (20 000). Do výstupní paměti je zapsána po ukončení signálu BUSY a vrací se do výchozí logické úrovně „0“ při vynulování čítače v dalším měřicím cyklu.

### **2.5.2 Výstup „UNDERRANGE“**

Pokud je vstupní napětí rovno nebo menší 9 %, dostává se výstup „UNDERRANGE“ do stavu logické „1“. Do výstupní paměti je zapsána po ukončení signálu BUSY

### **2.5.3 Výstup „POLARITY“**

Tento pin je v kladné logické úrovni pro kladný vstupní signál. To platí i pokud vstupní napětí je nulové. Tedy platí, že +0000 znamená, že vstupní napětí je kladné, ale menší než nejmenší než nejméně významný bit (LSB). Převodník může být užít jako nulový detektor. Tento výstup je platný na začátku integrace referenčního napětí a zůstává platný dokud není přepsán novou hodnotou v následujícím měřicím cyklu.

### **2.5.4 Řídící signály pro displej**

Tyto výstupy slouží k ovládní jednotlivých číslic displeje LED v dynamickém režimu. Každý z těchto výstupů řídí jednu z pěti číslic displeje. A každý nich je v kladném stavu logickém stavu po 200 hodinových impulsů. Přepínací sekvence mezi jednotlivými piny je následující. Začíná se D5 (MSD), poté D4, D3, D2 a D1 (LSD), jedná se o piny č 20, 19, 18, 17 a 12. Tato sekvence přepínání neustále pokračuje, pokud nenastane překročení rozsahu převodníku, kdy všechny číslice zhasnou a v okamžiku počátku integrace referenčního napětí se opět spustí skenování od D5, to způsobí blikání displeje. Čímž je dána jasná optická signalizace překročení měřicího rozsahu.

### **2.5.5 Výstupní kód BCD**

Na výstupu převodníku je binárně kódované desítkové číslo, jsou to výstupy B1, B2, B4 a B8 a konkrétně se jedná o piny č. 13 až 16. Binárně kódované dekadické číslo se mění v závislosti na právě zobrazované číslici displeje.

### 3 VYBRANÉ METODY MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO ODPORU

K měření elektrického odporu lze užít různých měřících metod, a to měření pomocí stejnosměrného tak i střídavého elektrického proudu [1, 4, 7].

#### 3.1 Měření odporovými můstkami

Častou metodou měření elektrických odporů jsou můstky [1, 4]. Dělíme je podle druhu napájecího napětí na stejnosměrné a střídavé. Měřící můstek se skládá ze zdroje proudu, jednotlivých odporových ramen, která jsou nejčastěji čtyři a indikátoru nuly.

##### 3.1.1 Wheatstoneův můstek

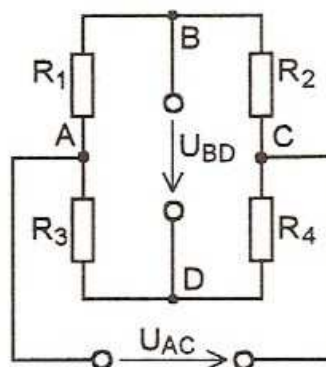
Tento druh můstku se zpravidla používá pro velmi přesná měření středních odporů [1]. V tomto případě používáme tzv. vyvážený můstek, jeho schématické zapojení je na obr. č. 10. Můstek obsahuje čtyři proudová ramena  $R_1$  až  $R_4$ . V příčce zapojení, na napěťových svorkách  $U_{bd}$  se připojuje indikátor nuly. Po připojení napětí na svorky  $U_{ac}$ , protéká jednotlivými odporovými rameny proud, jeho velikost je úměrná velikosti příslušných odporů.

Základním vztahem pro rovnováhu na tomto můstku je vztah

$$R_1 \cdot R_4 = R_3 \cdot R_2 , \quad (3.1)$$

kde  $R_1$  až  $R_4$  jsou rezistory v příslušných odporových ramenech.

Měřený rezistor je obvykle zapojen na pozici rezistoru  $R_1$  a rezistorem  $R_2$  je můstek vyvažován. Na pozicích rezistorů  $R_3$  a  $R_4$  jsou obvykle odporové dekády, jimiž se mění příslušné měřící rozsahy můstku.



Obr. č. 10 Wheatstoneův můstek.

Výsledný vztah pro měřený rezistor  $R_x$  je dán

$$R_x = R_D \frac{R_3}{R_4}, \quad (3.2)$$

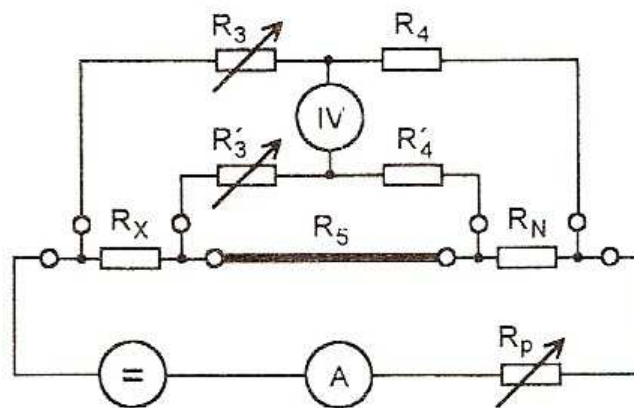
kde  $R_x$  je měřený odpor a  $R_D$  odporová dekáda vyvažující můstek.

### 3.1.2 Thomsonův můstek

Tato varianta můstkového zapojení, kterou znázorňuje obr. č. 11 [1], umožňuje čtyřbodové připojení měřeného rezistoru  $R_x$  a proudové reference  $R_N$ . V zapojení lze rezistory  $R'_3$ ,  $R'_4$  a  $R_5$  transfigurovat na zapojení do hvězdy a vznikne zapojení pro z kterého vyplývá následující podmínka rovnováhy na můstku

$$\frac{R_x}{R_N} = \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_5}{R_N} \cdot \frac{R'_4}{R'_3 + R'_4 + R_5} \cdot \left( \frac{R'_3}{R'_4} - \frac{R_3}{R_4} \right). \quad (3.4)$$

Tento můstek je obvykle užíván pro přesná měření malých odporů. Protože umožňuje čtyřbodové připojení měřeného rezistoru, je možno měřit rezistory o odporech řádu  $m\Omega$ .



Obr. č. 11 Thomsonův můstek

### 3.2 Substituční metoda měření odporu

Pro přesná měření hodnot odporů rezistorů často používáme substituční metodu [1][7]. Na obr. č. 12 vidíme základní uspořádání této metody. Zapojení se skládá ze zdroje napětí  $U$ , přepínače  $Q$ , který přepíná mezi jednotlivými rezistory, přesným etalonem odporu  $R_N$

a neznámým rezistorem  $R_X$ . Ampérmetr v zapojení měří proud, který protéká jednotlivými rezistory. Velikost proudu  $I_X$  tekoucího neznámým rezistorem  $R_X$  je

$$I_X = \frac{U}{R_X + R_A + R_i}, \quad (3.5)$$

kde je  $R_X$  odpor měřeného rezistoru

$R_A$  vnitřní odpor ampérmetru

$R_i$  vnitřní odpor zdroje napětí.

Proud  $I_N$  je dán obdobně

$$I_N = \frac{U}{R_N + R_A + R_i}, \quad (3.6)$$

kde je  $R_N$  je etalon odporu.

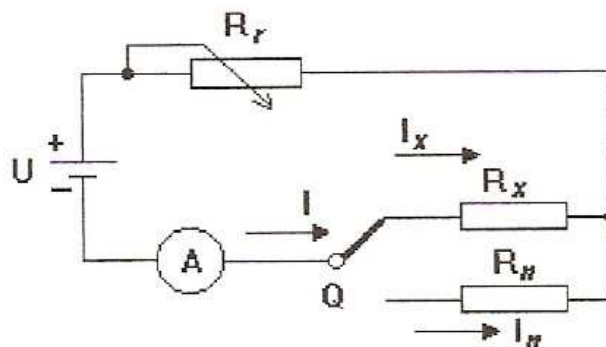
Po jednoduché úpravě dostáváme výsledný vztah pro měřený rezistor  $R_X$

$$R_X = \frac{I_N}{I_X} \cdot R_N. \quad (3.7)$$

Je možno také měřit tím způsobem, že měníme známý odpor  $R_N$  dokud se výchylky ampérmetru nebudou rovnat, pak

$$R_X = R_N. \quad (3.8)$$

Metoda je používána zejména pro měření velkých odporů řádu  $100 \Omega$  a výše. Vyžaduje velkou citlivost ampérmetru.



Obr. č. 12 Substituční metoda.



### 3.3 Metody měření malých odporů

Pokud měřený odpor dosahuje malé hodnoty začne se projevovat nezanedbatelný vliv odporu přívodů a přechodových odporů svorek a nastává situace při které naroste absolutní chyba měření na hodnoty srovnatelné s velikostí měřeného odporu [1].

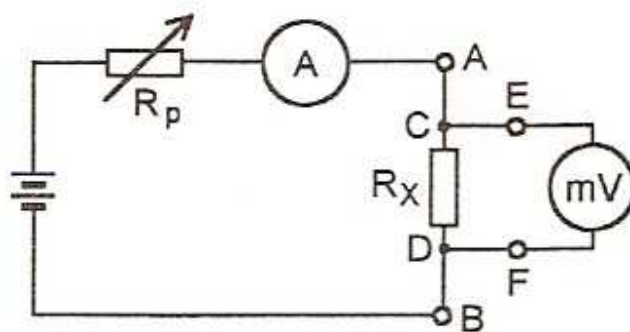
V těchto případech je nutné určitým způsobem eliminovat tyto vlivy. K tomu účelu lze využít metody tzv. „čtyřbodového připojení“ měřeného odporu.

#### 3.3.1 Čtyřbodové měření odporu

Čtyřbodová metoda nebo také jiným názvem, Kelvinova metoda eliminuje vliv odporu přívodu a přechodových odporů svorek [1]. Procházející konstantní proud vytváří úbytek napětí na měřeném rezistoru a toto napětí je přímo úměrné velikosti odporu. Schématické uspořádání obvodu je znázorněno na obr. č. 13. Na obrázku je patrné, že měřený odpor je připojen ke zdroji proudu na svorkách AB a na napěťových svorkách EF je připojen voltmetr. Mezi svorkami C a D je definován měřený rezistor  $R_X$ .

Ze zapojení vyplývá že voltmetrem není měřen úbytek napětí na proudových svorkách A a B, proto tyto přechody nezkrslují výsledek měření. Dále lze zanedbat přechodový odpor kontaktů E a F, protože tento odpor, který je v sérii s voltmetrem má v porovnání se vstupním odporem voltmetru velmi malou hodnotu.

Rušivým vlivem, který se při této metodě měření malých odporů může uplatnit je vliv termoelektrických napětí, vznikajících v místech kontaktu. Tento vliv lze částečně omezit dvojitým měřením při komutaci proudu, kdy úbytek napětí na rezistoru bude mít opačnou polaritu, ale polarita termoelektrických napětí se s opačnou polaritou proudu prakticky nemění.



Obr. č. 13 Metoda čtyřvodičového připojení měřeného rezistoru.

## 4 KONSTRUKCE MĚŘIDLA

Funkčnost a přesnost celého převodníku je podmíněna správným výběrem jednotlivých komponent pro konstrukci[6].

Nejkritičtější je výběr elektronických součástek následujících částí převodníku, kterými jsou, integrační kondenzátor a rezistor, kondenzátor automatického nulování (A-Z), přesná a stabilní hodnota referenčního napětí. Také musí být správně nastavena frekvence generátoru impulsů, které určují celkovou rychlost převodu celého měřicího systému.

### 4.1 Rezistor v obvodu integrátoru

Hodnota rezistoru je dána plným rozsahem vstupního napětí a výstupním proudem bufferu, užitého pro nabíjení integračního kondenzátoru.

Konkrétní hodnota rezistoru  $R_{int}$  je dle typického proudu, který jím protékat dána vztahem:

$$R_{int} = \frac{U_{rozsah}}{20\mu A}, \quad (4.1)$$

kde  $R_{int}$  je odpor rezistoru  $U_{rozsah}$  je napětí plného rozsahu převodníku, při typickém proudu  $20\mu A$ .

### 4.2 Integrační kondenzátor

Je velmi důležité vybrat velmi kvalitní integrační kondenzátor, vhodný je s co nejmenšími ztrátami v dielektriku. V praxi je nejvhodnější zvolit tento kondenzátor polypropylenového typu, který zajistí potřebnou přesnost a stabilitu za rozumnou cenu. V některých aplikacích je možno na tomto místě použít i jiné méně kvalitní kondenzátory, jako například polystyrenové nebo polykarbonátové, ale pouze v případech méně náročných na přesnost měření.

### 4.3 A-Z kondenzátor

Geometrická velikost A-Z kondenzátoru má vliv na elektrický šum systému. Má takový vliv, že čím větší geometrická velikost kondenzátoru, tím větší šum systému.

Dielektrická ztráta kondenzátoru užitého na tomto místě není kritická, pouze v případech, kdy požadujeme vysokou přesnost převodu i v prvních měřících cyklech po spuštění převodníku, při počátečních měřících cyklech nebo při přetečení rozsahu převodníku a době několika sekund po zotavení převodníku.

#### **4.4 Referenční napětí**

Stabilita referenčního napětí je hlavním faktorem celkové přesnosti převodníku, proto je výrobcem převodníku doporučeno používat přesné časově a teplotně stabilní zdroje referenčního napětí.

#### **4.5 Generátor hodinových impulsů**

Maximální rychlost převodu dvoutaktních A/Č převodníků je limitována frekvenčním přenosem komparátoru. Kmitočet hodinového generátoru je třeba nastavit s ohledem na vliv elektrické rozvodné sítě, v našich podmínkách o frekvenci 50 Hz. Je třeba aby tato časová základna byla dostatečně stabilní a přesná. Frekvence oscilátoru mohou být nastaveny např: 250 kHz, 125 kHz, 100 kHz atd. Tyto frekvence eliminují vliv rušení 50 Hz sítě.

#### **4.6 Návrh desek plošných spojů**

Pro návrh schémat jednotlivých obvodů a jejich plošných spojů byl užit program Eagle<sup>®</sup> verze 4.16r2 jednotlivé plošné spoje byly navrženy s ohledem na proudové zatížení jednotlivých částí plošných spojů. Jsou použity jednostranné kuprexitové desky o tl. 1,5 mm. Obrázky jednotlivých plošných spojů, výpis jednotlivých seznamů použitých součástek a fotografie osazených desek jsou uvedeny v přílohách.

#### **4.7 Napájecí zdroj celého zařízení**

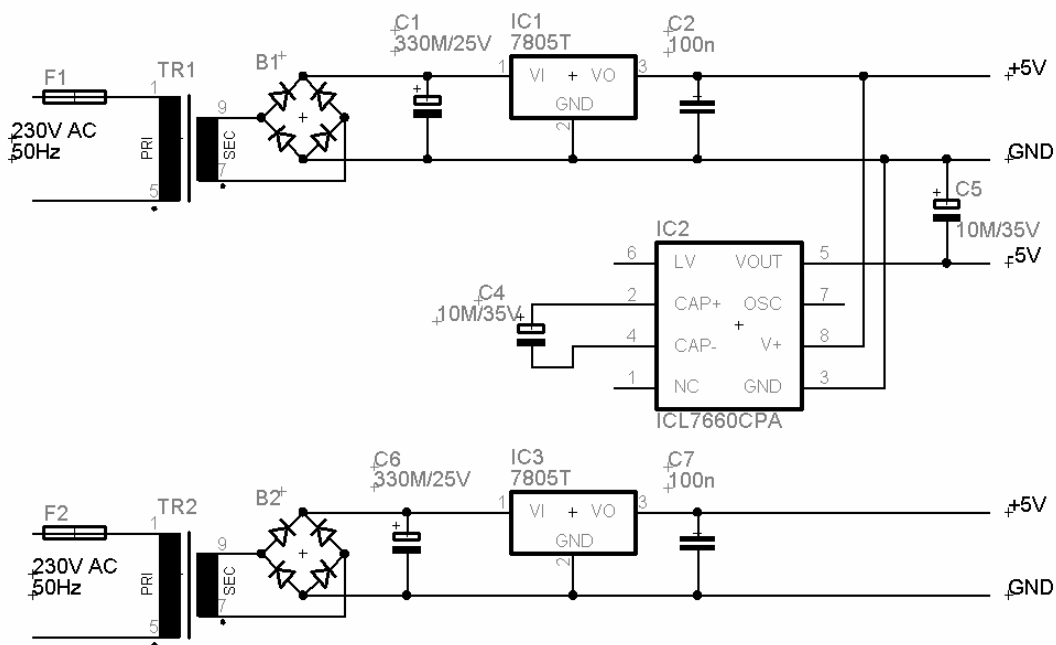
Blok napájecího zdroje celého zařízení je odděleně realizován na jednovrstvé desce plošných spojů. Na obr. č. 14 je znázorněno schéma zapojení zdroje a obr. č. 15 znázorňuje osazovací schéma napájecího zdroje. Obrazec plošných spojů s fotografií napájecího zdroje je v příloze č. 1. Zdroj se skládá ze dvou oddělených částí.

První částí je stabilizovaný zdroj napětí +5 V a -5 V, který napájí blok A/Č převodníku a sedmi segmentový LED displej.

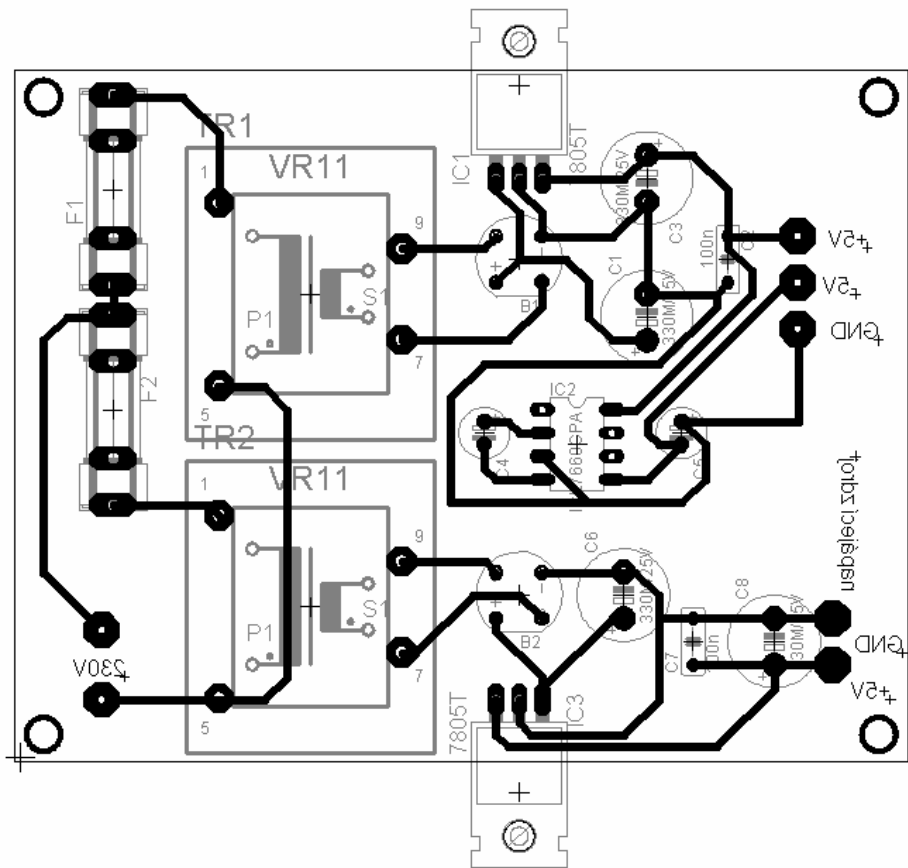
Druhou částí zdroje je stabilizovaný napájecí zdroj +5 V pro napájení bloku konstantního zdroje proudu.

#### 4.7.1 Napájecí zdroj převodníku a displeje

Vstupní síťové napětí je přes odpovídající pojistku 230 V/1 A přivedeno na síťový transformátor na jehož výstupu je napětí transformováno na 6 V, dále je diodovým můstkovým usměrňeno a přes filtrační kondenzátor přivedeno na vstup monolitického stabilizátoru napětí 7805<sup>®</sup> [8]. Tento stabilizátor je dimenzován na odběr celého zařízení. Celková výkonová ztráta tohoto stabilizátoru není příliš velká, avšak při praktické realizaci je zapotřebí tento obvod pasivně chladit alespoň malým hliníkovým chladičem. Na výstupu stabilizátoru je již výstupní stabilizované napětí +5 V. Pro funkci převodníku ICL 7135<sup>®</sup> [6] je však potřebný zdroj záporného napětí -5 V, tento zdroj je realizován integrovaným obvodem ICL 7660<sup>®</sup> [9]. Tento obvod generuje záporného napětí -5 V. Proud, který lze z toho obvodu odebírat není velký, ale pro správnou funkci A/Č převodníku plně postačující.



Obr. č. 14 Schéma napájecího zdroje.



Obr. č. 15 Návrh desky plošných spojů napájecího zdroje.

## 4.8 Analogově – číslicový převodník a generátor hodinových impulsů

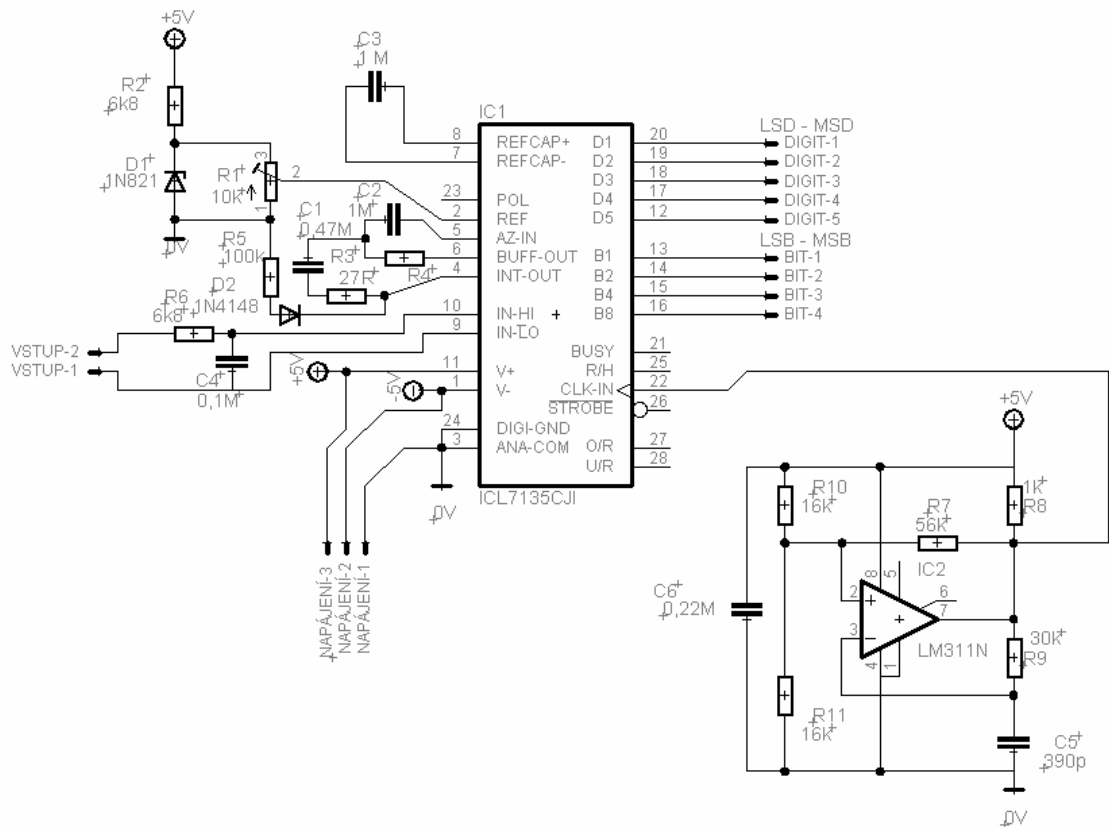
Na další desce plošných spojů je realizován samotný A/Č převodník a generátor impulsů, který převodník pro svou činnost potřebuje. Na obr. č. 16 je znázorněno schéma zapojení převodníku a obr. č. 17 znázorňuje osazovací schéma desky převodníku. Obrázek plošných spojů je v příloze č. 2 spolu s fotografií tohoto bloku.

### 4.8.1 Zdroj referenčního napětí

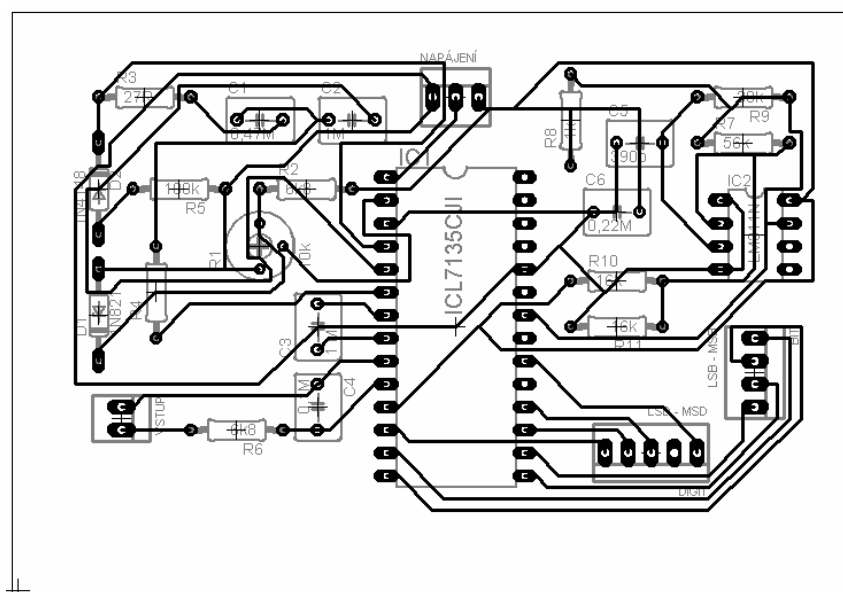
Pro referenční napětí je užito mikropříkonové napěťové reference LT1004CZ-1.2<sup>®</sup> [10]. Tento obvod má výstupní napětí 1,235 V, napětí je potřeba odporovým trimrem snížit na 1,0000 V. Z odporového trimru je přivedeno přesné a stabilní referenční napětí na vstup referenčního napětí převodníku (pin č. 2).

## 4.8.2 Vstup měřeného napětí

Tento vstup je ošetřen sériovým rezistorem a paralelně připojeným kondenzátorem kapacity 100 nF, který filtruje napěťové zákmity měřeného napětí.



Obr. č. 16 Schéma převodníku a časové základny.



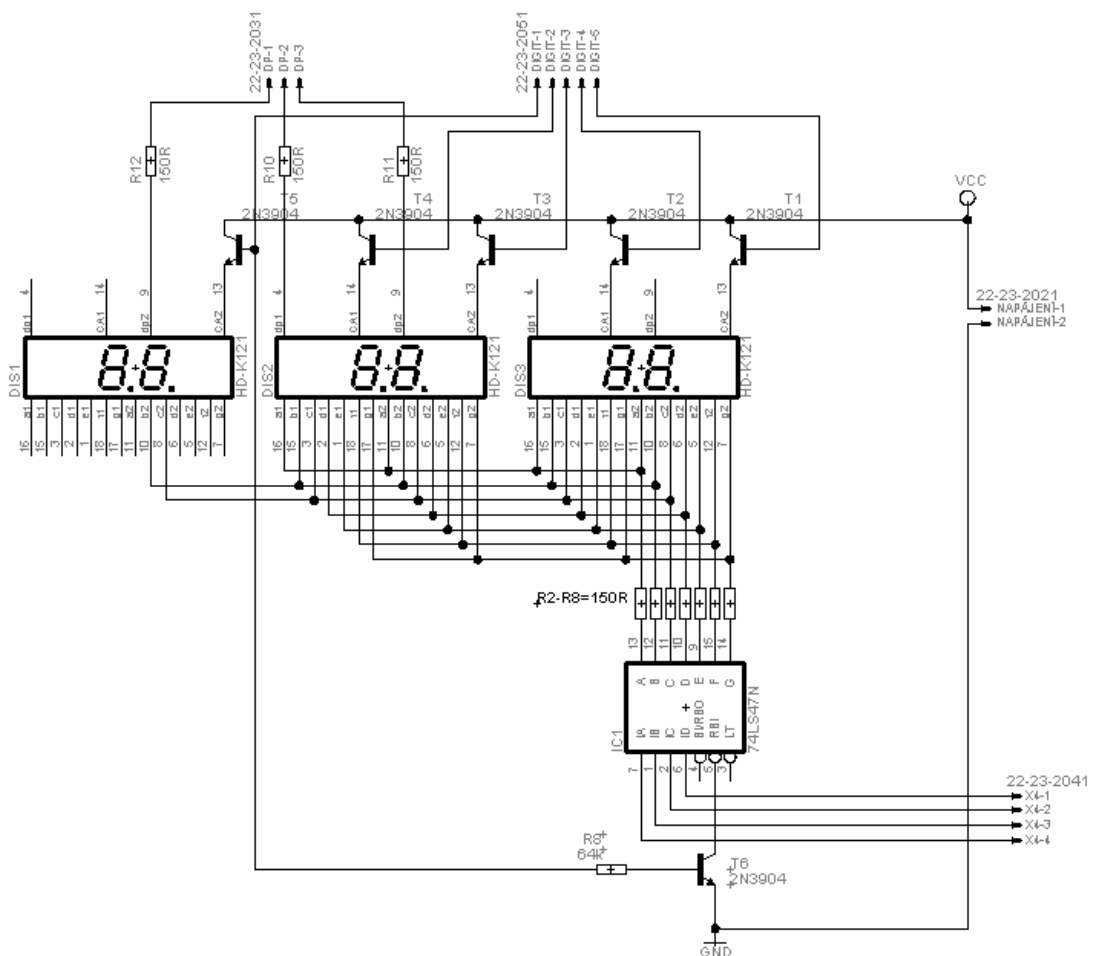
Obr. č. 17 Návrh plošného spoje převodníku a časové základny.

## 4.9 Zobrazovací jednotka

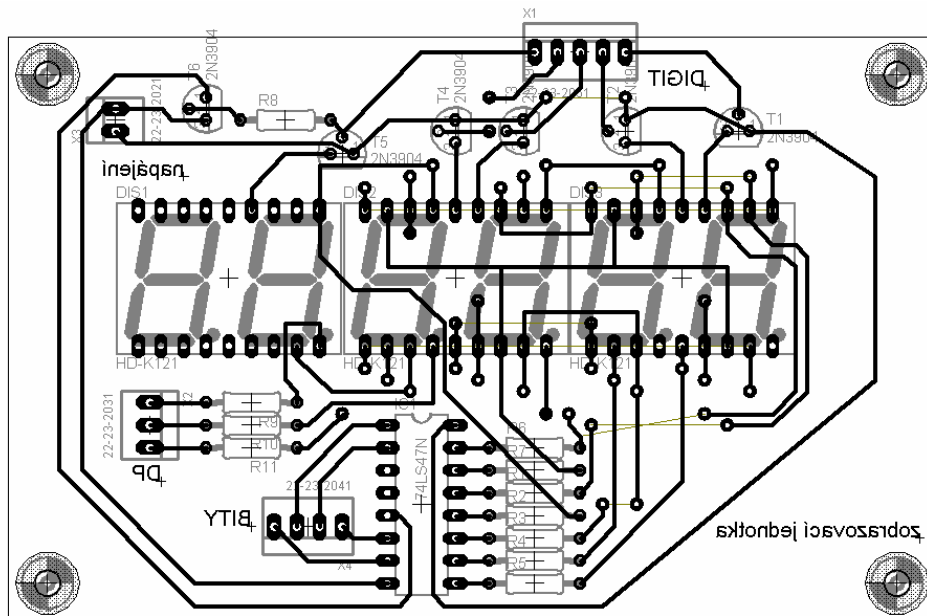
Zobrazovací jednotkou systému je 4 ½ místný LED displej. Převodník pracuje v módu dynamického řízení zobrazovače. Z bloku převodníku jsou k zobrazovací jednotce přivedeny dvě sběrnice. Obr. č. 18 znázorňuje schéma zapojení zobrazovací jednotky a obr. č. 19 znázorňuje osazovací schéma desky zobrazovací jednotky. Obrazec plošných spojů s fotografií displeje je v příloze č. 3.

První sběrnice napájení pro jednotlivé číslice, značena D1 až D5, kde D1 je nejméně významná číslice (LSD) a D5 je nejvíce významná číslice (MSD). Tyto signály řídí příslušné spínací tranzistory, připojené ke společným anodám jednotlivých číslic displeje [11].

Druhou sběrnicí jsou přivedeny datové bity pro 7 segmentový dekodér displeje (74LS47® [12]). Tyto bity jsou značeny B1 až B4, kde B1 je nejméně významný bit (LSB) a B4 je nejvíce významný bit (MSB). Na výstup dekodéru jsou přes omezovací rezistory připojeny jednotlivé segmenty displeje.



Obr. č. 18 Schéma zobrazovací jednotky.



Obr. č. 19 Návrh plošného spoje zobrazovací jednotky.

## 4.10 Zdroj konstantního proudu

Jedná se o zapojení, které slouží jako zdroj konstantního proudu pro čtyřbodové měření rezistoru. Schéma celého bloku konstantního proudu je znázorněno na obr. č. 20 a příslušné osazovací schéma desky konstantního zdroje proudu je znázorněno na obr. č. 21. Obrázek plošných spojů s fotografií konstantního zdroje proudu v příloze č. 4.

Neznámý rezistor je napájen přesným proudem 1 A, 100 mA nebo 10 mA, v závislosti na zvoleném měřicím rozsahu. Tento konstantní proud je pomocí proudových šňůr přiveden na měřený rezistor.

### 4.10.1 Funkce konstantního zdroje proudu

Celý blok zdroje konstantního proudu je napájen napětím 5 V. Z tohoto zdroje napětí je napájen teplotně stabilizovaný obvod LT1004CZ1.2<sup>®</sup> [10]. Obvod je zdrojem přesného stabilizovaného napětí, které je odporovým děličem  $R_6$ ,  $R_7$  a  $R_8$  nastaveno na hodnotu 0,1 V a přivedeno na neinvertující vstup operačního zesilovače  $IC_1$ . Zapojení operačního zesilovače udržuje potřebné napětí 0,1 V na emitoru (source) tranzistoru  $Q_1$ , který reguluje proud měřeným rezistorem v závislosti na zvoleném měřicím rozsahu.

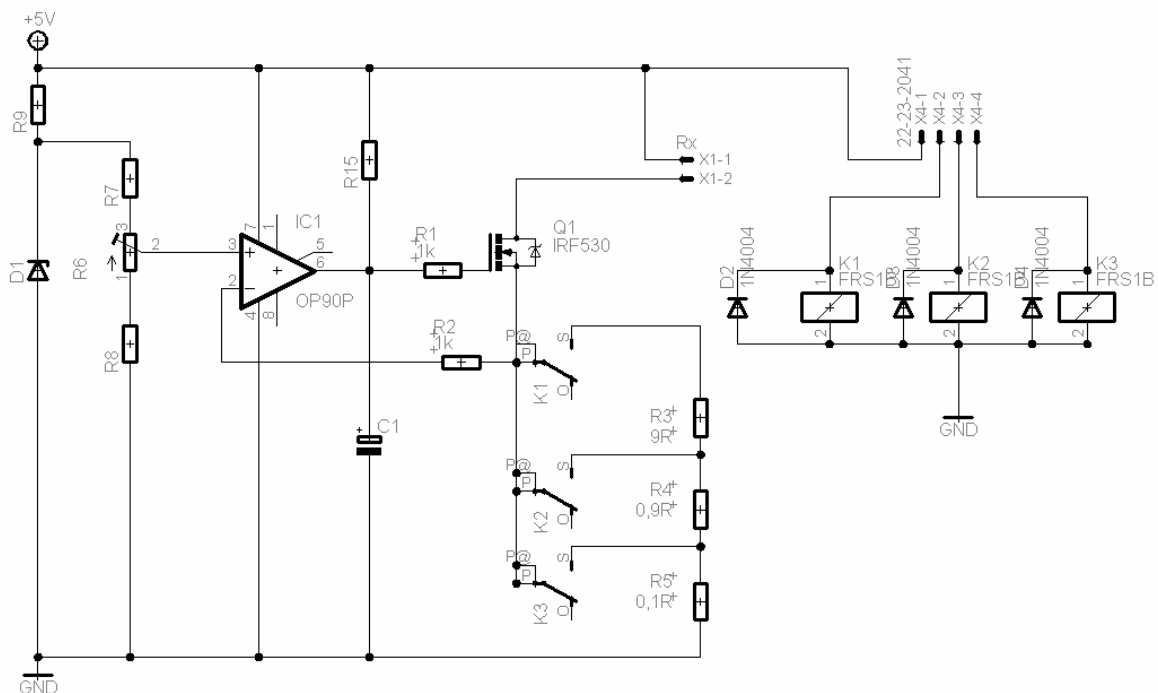


## 4.10.2 Přepínání měřících rozsahů

Je možno volit mezi třemi měřícími rozsahy. Rozsahy jsou voleny polohou přepínače na předním panelu měřidla. Přepínač připojuje jednotlivé měřící rozsahy, sepnutím příslušného relé, dimenzovaného na proud, který jím protéká. Je možno volit mezi rozsahy měřeného odporu (2, 20 a 200  $\Omega$ ). Přepínačem pro ovládání jednotlivých rozsahů je řízena i pozice zobrazování desetinných míst na displeji měřidla.

## 4.10.3 Použitý operační zesilovač

Pro správnou funkci zdroje proudu je důležité vybrat kvalitní a přesný operační zesilovač s co nejmenší vstupní napětíovou nesymetrií. Z tohoto důvodu byl vybrán obvod OP90<sup>®</sup> od firmy Analog Devices<sup>®</sup> [13], který má velmi malou vstupní napětíovou nesymetrii, kterou výrobce udává maximálně 150  $\mu\text{V}$ .

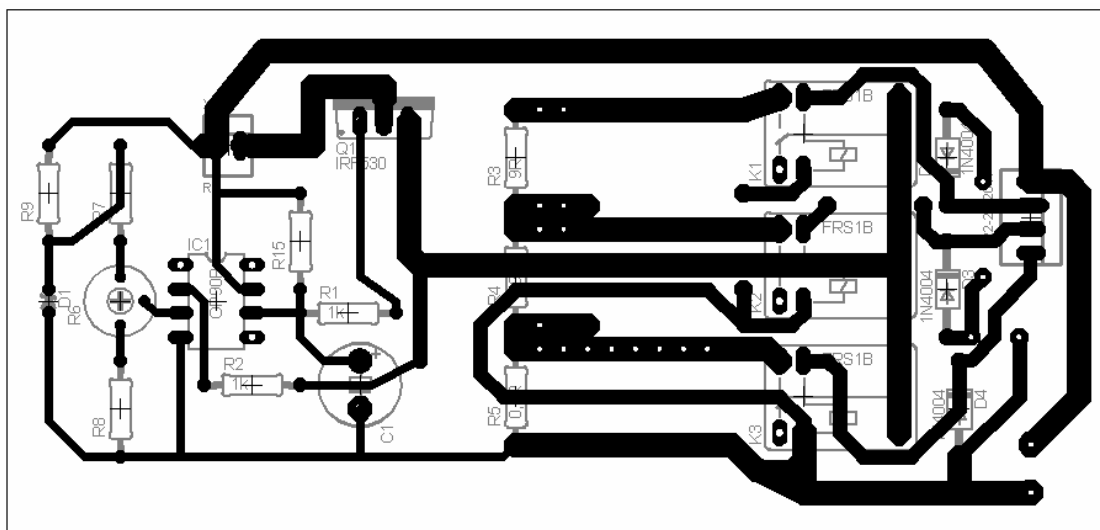


Obr. č. 20 Schéma zapojení zdroje konstantního proudu

## 4.10.4 Výběr tranzistoru $Q_1$

Na místě tranzistoru  $Q_1$  je zapotřebí použít tranzistor s co největším vstupním odporem a dále musí být tranzistor dimenzován na velikost proudu, který jím při měření protéká. S ohledem na tyto požadavky, byl vybrán výkonový MOSFET tranzistor IRF 530<sup>®</sup> [14],

který splňuje dané požadavky. Tranzistor je v zapojení opatřen malým hliníkovým chladičem pro lepší odvod tepla.



Obr. č. 21 Osazovací schéma plošného spoje bloku konstantního zdroje proudu.

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byla realizace měřicího systému pro měření malých odporů. Navržený měřicí systém se skládá ze čtyř hlavních částí:

První částí je napájecí blok celého systému navržený s ohledem na požadavky napájecích napětí jednotlivých částí systému. Odděleně je realizován zdroj napájecího napětí pro analogově – číslicový převodník a napájení pro zdroj konstantního proudu.

Druhou částí je konstrukce analogově - číslicového převodníku, k jehož realizaci je použit obvod ICL 7135<sup>®</sup>, který funguje jako integrační analogově - číslicový převodník s dvoutaktní integrací, se základním měřicím rozsahem 2 V. V systému pracuje jako přímo ukazující ohmmetr a zobrazuje hodnotu měřeného odporu.

Třetí částí systému je pro toto měřidlo speciálně navržený zdroj konstantního proudu. Zdroj proudu má tři přepínačem volitelné rozsahy 10 mA, 100 mA a 1 A, které odpovídají základním měřicím rozsahům (2, 20 a 200  $\Omega$  ).

Čtvrtou částí je zobrazovací jednotka měřidla, je konstruována jako 4 ½ místný LED displej, který přímo ukazuje hodnotu měřeného odporu.

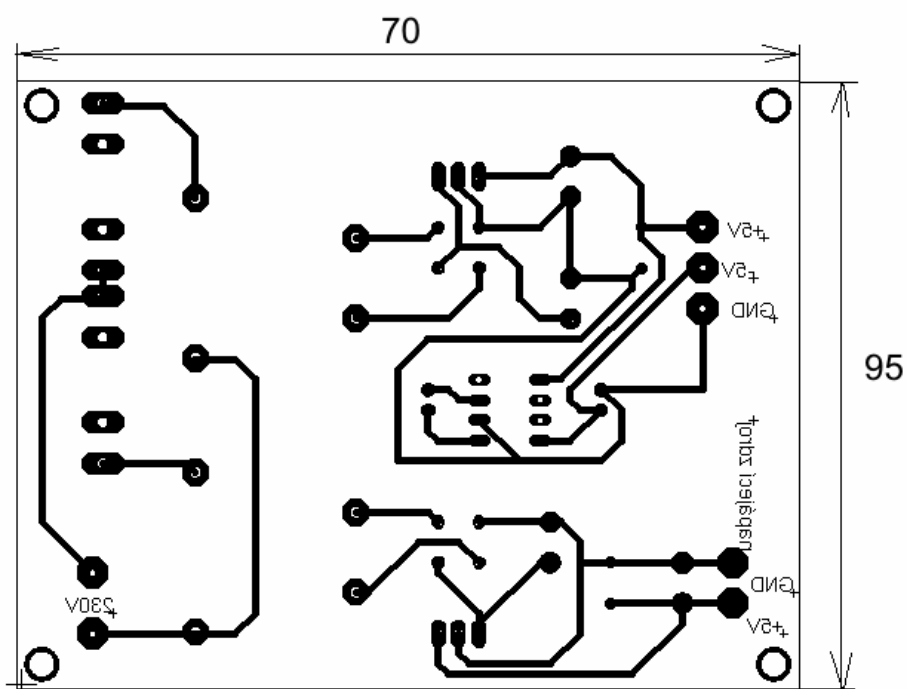
Jednotlivá referenční napětí a frekvence generátoru impulsů byly nastaveny pomocí měřicího přístroje HP – 34401A. Všechny tyto čtyři části měřicího systému, jejichž fotografie jsou součástí příloh č. 1 až 4, jsou umístěny do plastové skříně s vyvedením ovládacích prvků na čelním panelu, viz. příloha č. 5.

Přesnost celého měřicího systému byla ověřena měřidlem HP – 34401A.

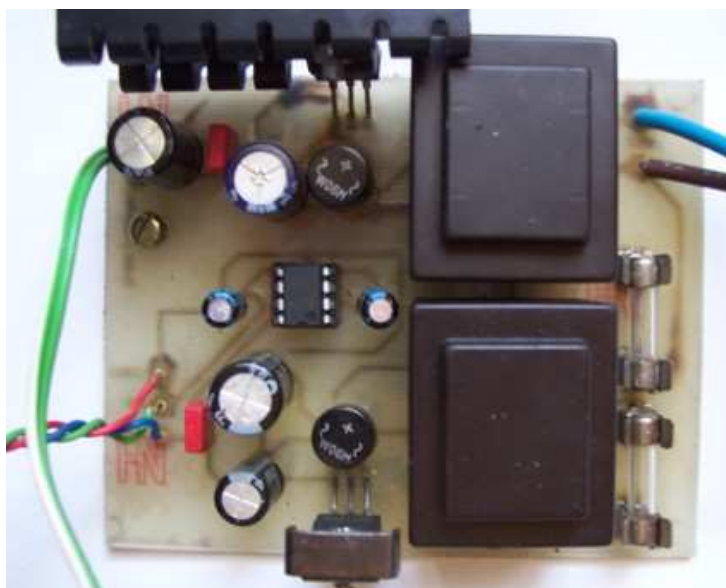
## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAASZ, V. ,SEDLÁČEK, M. :Elektrická měření, Přístroje a metody. Praha, ČVUT, 2000. první vydání
- [2] ĎAĎO, S. ,VEDRAL, J. : Číslicové měření. Praha, ČVUT, 2002. první vydání
- [3] VEDRAL, J. , FISCHER, J. : Elektronické obvody pro měřicí techniku. Praha, ČVUT, 1999. první vydání
- [4] BAREŠ, M. :Elektrotechnické měření. Pardubice, Univerzita Pardubice, 2006. první vydání
- [5] PUNČOCHÁŘ, J. : Amatérské Radio r. 1993 č. 4
- [6] ICL 7135 MAXIM<sup>®</sup> katalogové listy
- [7] ČEJKA, M. , MATYÁŠ, V. : Elektronická měřicí technika. Brno, Vutium, 2001. třetí vydání
- [8] L7805 ST MICROELECTRONICS<sup>®</sup> katalogové listy
- [9] ICL 7660 MAXIM<sup>®</sup> katalogové listy
- [10] T1004CZ-1.2 TEXAS INSTRUMENTS<sup>®</sup> katalogové listy
- [11] A56-11EWA KINGBRIGHT<sup>®</sup> katalogové listy
- [12] 74S47 TEXAS INSTRUMENTS<sup>®</sup> katalogové listy
- [13] OP90GPZ ANALOG DEVICES<sup>®</sup> katalogové listy
- [14] IRF 530 ST MICROELECTRONICS<sup>®</sup> katalogové listy

PŘÍLOHA Č. 1:



Obr. č. 26 Obrazec plošných spojů napájecího zdroje.

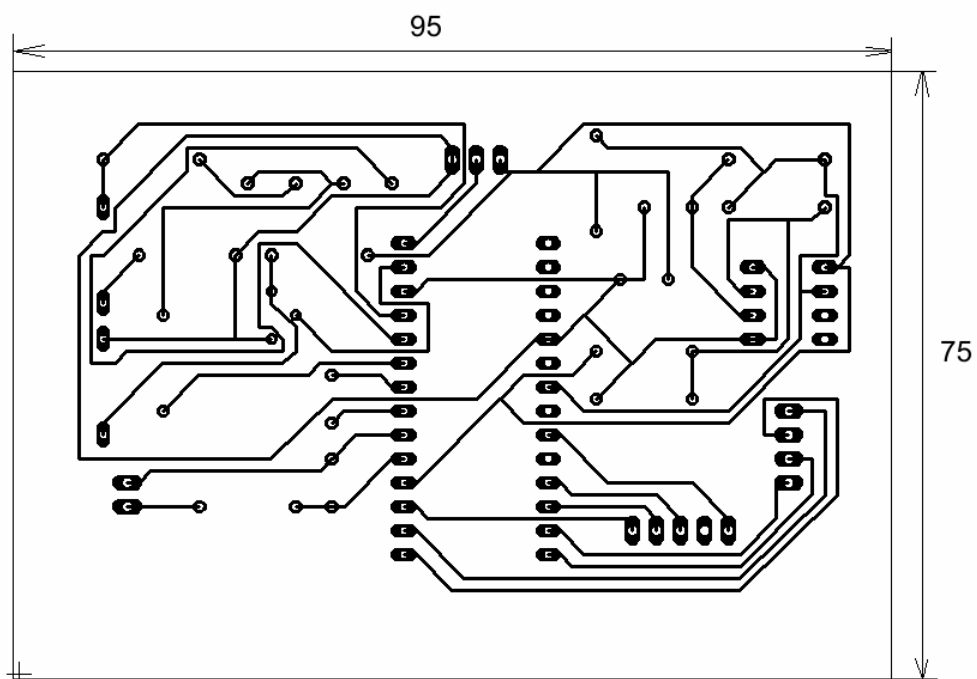


Obr. č. 27 Fotografie napájecího zdroje.

## Rozpis součástek napájecího zdroje:

<b>součástky</b>	<b>hodnoty součástek</b>	<b>popis</b>
C1	330 $\mu$ F / 25 V	elektrolytický kondenzátor
C2	100 nF	keramický kondenzátor
C3	330 $\mu$ F / 25 V	elektrolytický kondenzátor
C4	10 $\mu$ F / 35 V	elektrolytický kondenzátor
C5	10 $\mu$ F / 35 V	elektrolytický kondenzátor
C6	100 nF	keramický kondenzátor
B1	RB1A	usměrňovací můstek
B2	RB1A	usměrňovací můstek
IC1	7805T <sup>®</sup>	monolitický stabilizátor napětí
IC2	ICL7660CPA <sup>®</sup>	Zdroj záporného napětí
IC3	7805T <sup>®</sup>	monolitický stabilizátor napětí
F1		pojistkové pouzdro
F2		pojistkové pouzdro
TR1	250 V / 6 V	síťový transformátor
TR2	250 V / 6 V	síťový transformátor

Příloha č. 2 :



Obr. č. 22 Obrazec plošných spojů A/Č převodníku.



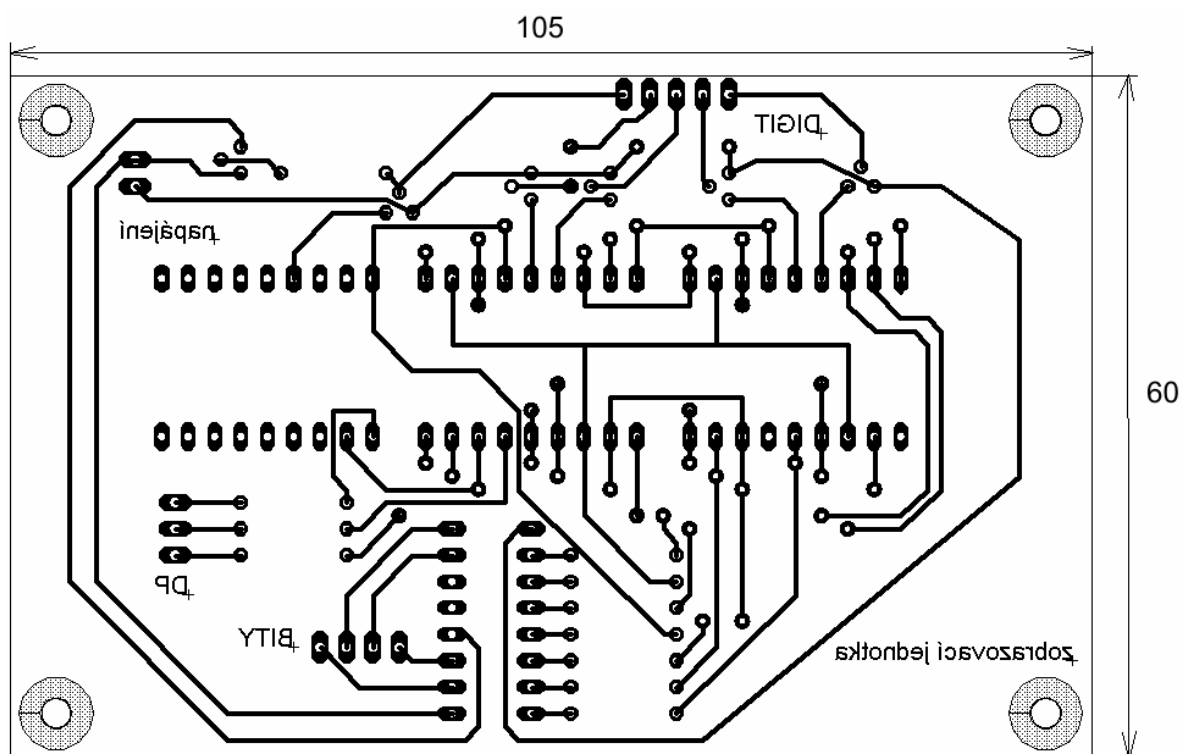
Obr. č. 23 Fotografie A/Č převodníku.

## ROZPIS SOUČÁSTEK A/Č PŘEVODNÍKU:

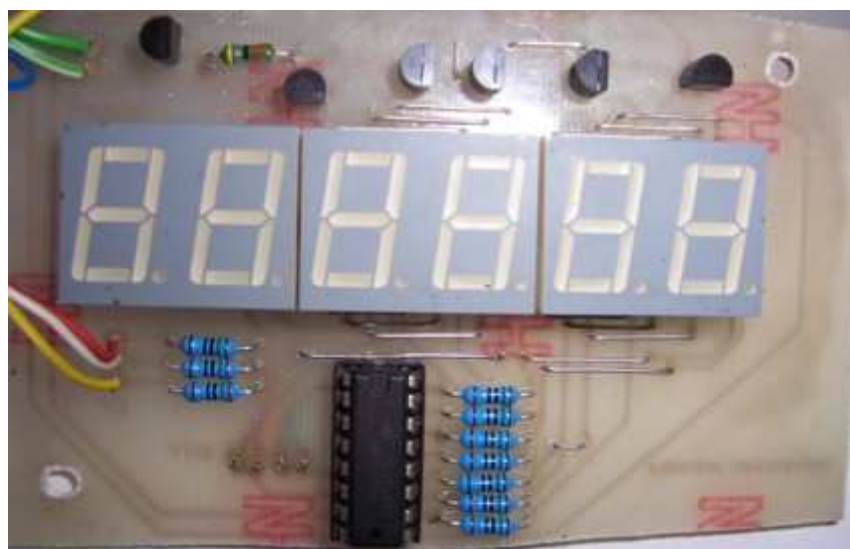
<b>součástky</b>	<b>hodnoty součástek</b>	<b>popis</b>
R1	10 k $\Omega$	Cermentový víceotáčkový trimr
R2	6,8 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R3	27 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R4	100 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R5	100 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R6	6,8 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R7	56 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R8	1 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R9	30 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R10	16 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R11	16 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
C1	0,47 $\mu$ F	kondenzátor foliový
C2	1 $\mu$ F	kondenzátor polypropylenový
C3	1 $\mu$ F	kondenzátor polypropylenový
C4	0,1 $\mu$ F	kondenzátor fóliový
C5	390 pF	kondenzátor keramický
C6	0,22 $\mu$ F	kondenzátor fóliový
D1	LT1004CZ 1,2 <sup>®</sup>	teplotně stabilizovaná napěťová reference
D2	1N4148	křemíková usměrňovací dioda
IC1	ICL7135CJI <sup>®</sup>	a/č převodník
IC2	LM311N <sup>®</sup>	komparátor
NAPÁJENÍ	22-23-2031	konektorové kolíky
DIGIT	22-23-2051	konektorové kolíky
VSTUP	22-23-2021	konektorové kolíky



PŘÍLOHA Č. 3:



Obr. č. 28 Obrazec plošných spojů displeje.

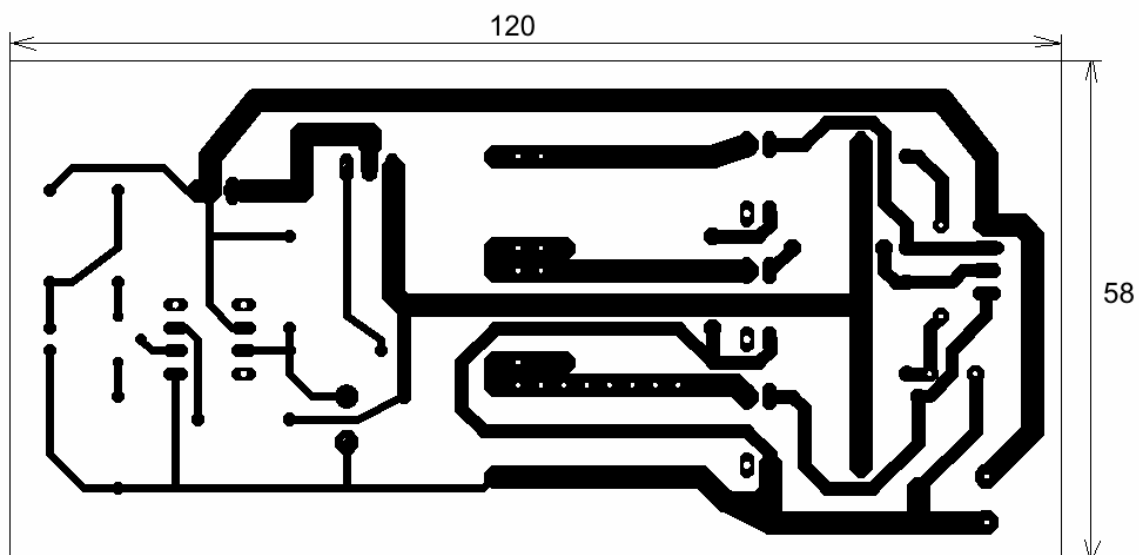


Obr. č. 29 Fotografie displeje.

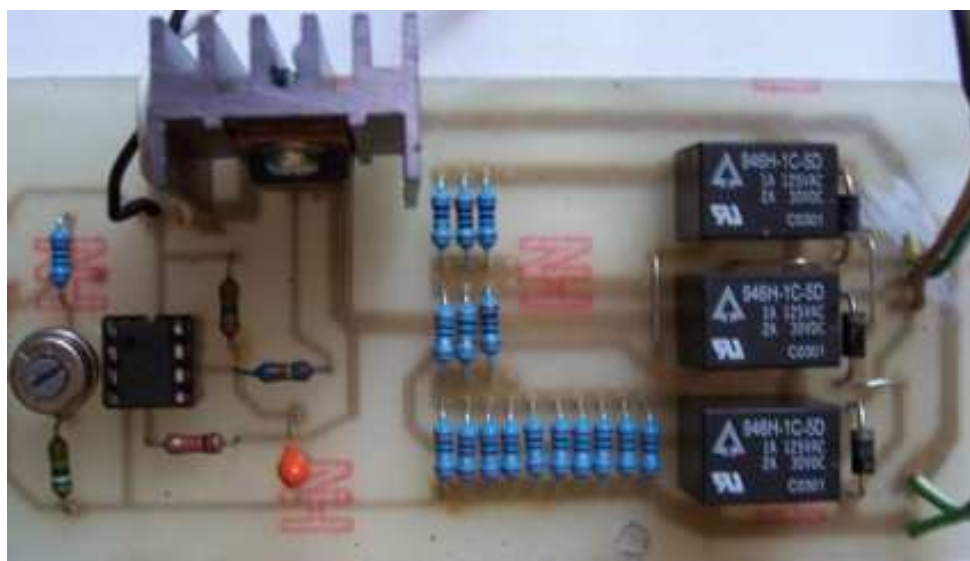
## Rozpis součástek displeje:

<b>součástky</b>	<b>hodnoty součástek</b>	<b>popis</b>
R1	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R2	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R3	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R4	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R5	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R6	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R7	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R8	64 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R10	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R11	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R12	150 $\Omega$	rezistor uhlíkový
DIS1	HD-K121 <sup>®</sup>	segmenty displeje
DIS2	HD-K121 <sup>®</sup>	segmenty displeje
DIS3	HD-K121 <sup>®</sup>	segmenty displeje
IC1	74LS47N <sup>®</sup>	dekodér displeje
T1	2N3904	spínací tranzistor
T2	2N3904	spínací tranzistor
T3	2N3904	spínací tranzistor
T4	2N3904	spínací tranzistor
T5	2N3904	spínací tranzistor
T6	2N3904	spínací tranzistor
NAPÁJENÍ	22-23-2021	konektorové kolíky
DP	22-23-2031	konektorové kolíky
DIGIT	22-23-2051	konektorové kolíky
BIT	22-23-2041	konektorové kolíky

Příloha č. 4:



Obr. č. 24 Obrazec plošných spojů konstantního zdroje proudu.

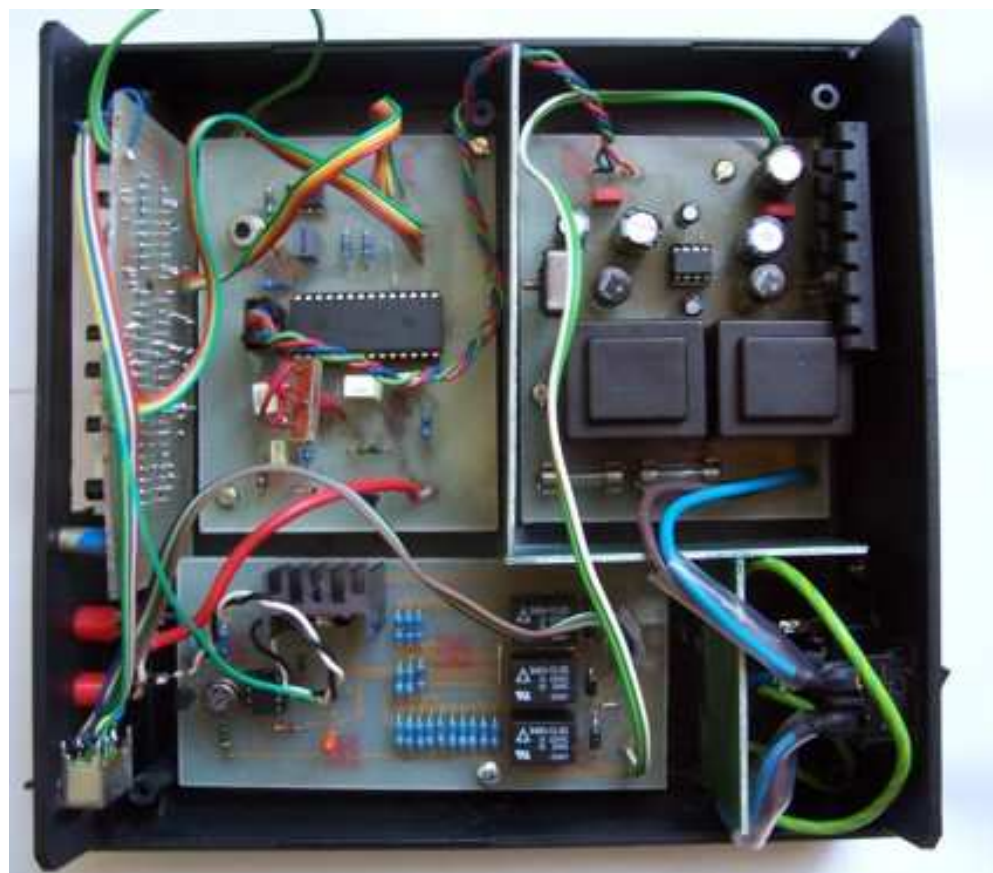


Obr. č. 25 Fotografie konstantního zdroje proudu.

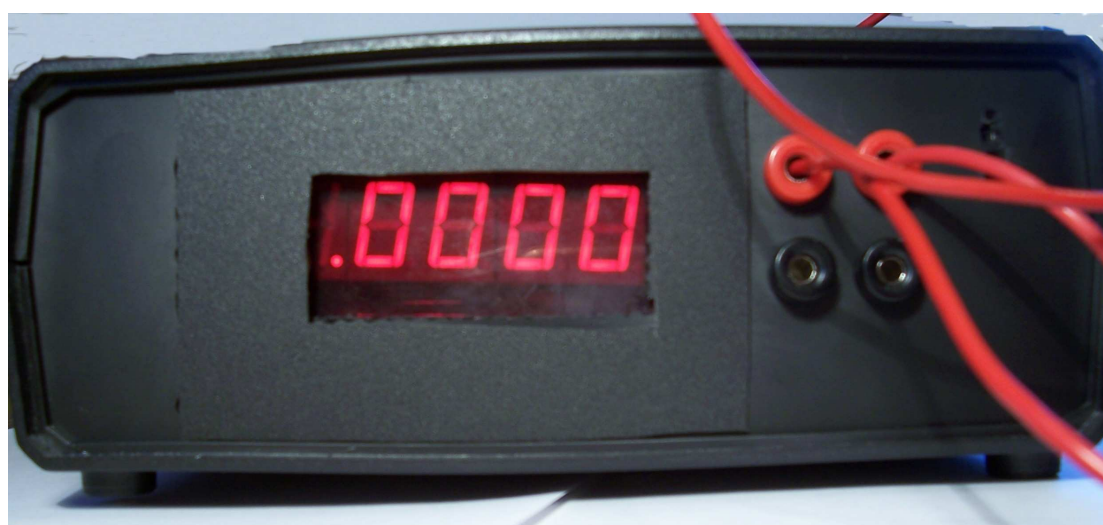
## Rozpis součástek zdroje konstantního proudu:

<b>součástky</b>	<b>Hodnoty součástek</b>	<b>popis</b>
R1	1 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R2	1 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R3	9 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R4	0,9 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R5	0,1 $\Omega$	rezistor uhlíkový
R6	10 k $\Omega$	cermentový víceotáčkový trimr
R7	15 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R8	15 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R9	10 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
R10	1 k $\Omega$	rezistor uhlíkový
C1	1 $\mu$ F	elektrolytický kondenzátor
D1	LT1004CZ 1,2 <sup>®</sup>	teplotně stabilizovaná napěťová reference
D2	1N4004	křemíková usměrňovací dioda
D3	1N4004	křemíková usměrňovací dioda
D4	1N4004	křemíková usměrňovací dioda
Q1	IRF530 <sup>®</sup>	Výkonový tranzistor
IC1	OP90P <sup>®</sup>	operační zesilovač
K1	FRS1B	relé
K2	FRS1B	relé
K3	FRS1B	relé
X1	22-23-2021	konektorové kolíky
X2	22-23-2041	konektorové kolíky

**PŘÍLOHA Č. 5:**



Obr. č. 30 Fotografie celého měřícího systému.



Obr. č. 31 Fotografie celého měřícího systému.