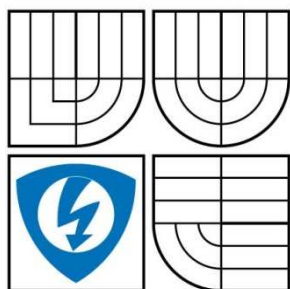


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## NEFILTRAČNÍ APLIKACE S PROUDOVÝMI A NAPĚŤOVÝMI KONVEJORY

NON-FILTERING APPLICATIONS WITH CURRENT AND VOLTAGE CONVEYORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

LUKÁŠ HORÁČEK

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ MIŠUREC, CSC.

BRNO 2008

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Lukáš Horáček  
Bytem: Zrzavého 3999/7, 79601, Prostějov  
Narozen/a (datum a místo): 28.2.1986, Prostějov

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
- ☐ disertační práce
  - ☐ diplomová práce
  - ☐ bakalářská práce
  - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Nefiltrací aplikace s proudovými a napěťovými konvejory  
Vedoucí/školicel VŠKP: doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.  
Ústav: Ústav telekomunikací  
Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☐ tištěné formě – počet exemplářů 1
- ☐ elektronické formě – počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
  - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
  - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
  - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
  - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

# ANOTACE

Vysoké učení technické v Brně  
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
Ústav telekomunikací

## Nefiltrací aplikace s proudovými a napěťovými konvejery

Bakalářská práce

Zaměření studia: Teleinformatika  
Autor: Lukáš Horáček  
Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

### Abstrakt:

Tato práce je o nefiltracích aplikacích s napěťovými a proudovými konvejery. Konvejery mohou být použity jak ve filtračních tak i nefiltracích aplikacích. Jsou jádrem řady moderních obvodů či operačních zesilovačů.

Nejprve jsem rozebral co to vůbec konvektor jako takový je, jeho historický vývoj, s jakými typy se můžeme setkat a dostupnost v integrovaných obvodech. Dále jsem se zaměřil na obvody, které mi byly zadány. A to jsou : funkční měnič, usměrňovač a integrátor. U těchto zapojení jsem je nejdříve analyzoval a provedl počítačové simulace. Poté jsem navrhoval jejich realizaci a na to provedl experimentální měření.

**Klíčová slova:** proudové a napěťové konvejery, integrátor, usměrňovač, měnič

# ABSTRAKT

Brno University of Technology  
Faculty of Electrical Engineering and Communication  
Department of telecommunication

## Non-filtering applications with current and voltage conveyors

Bachelor's thesis

Specialisation of study: Teleinformatics  
Student: Lukáš Horáček  
Supervisor: doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

### Abstract:

This thesis is about non-filtering applications with voltage and current conveyors. Conveyors may be using how in filtering so also non-filtering applications. They are nuclei series modern perimeters or operational amplifier.

First I am take to parts what it at all conveyors in itself is, his historical development, with kind models we can meet and availability in chips. Next I am locate on perimeters, which me was booked up. Namely they are : functional transducer, rectifier and integrator. At these wiring I am first analyze and fulfillment computer simulation. Then I am design for their realization and thereon fulfillment experimental metering.

**Keywords:** current and voltage conveyors,integrátor,rectifier,transducer

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma “Nefiltrační aplikace s proudovými a napěťovými konvejory” jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Mišurcovi, CSC, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## Seznam použitých veličin, symbolů a zkratek

### Veličiny a symboly

|               |              |                                 |
|---------------|--------------|---------------------------------|
| $U_X$         | [V]          | napětí na bráně X               |
| $U_Y$         | [V]          | napětí na bráně Y               |
| $U_Z$         | [V]          | napětí na bráně Z               |
| $I_X$         | [A]          | proud na bráně X                |
| $I_Y$         | [A]          | proud na bráně Y                |
| $I_Z$         | [A]          | proud na bráně Z                |
| $\alpha$      | [-]          | koeficient                      |
| $\beta$       | [-]          | koeficient                      |
| $\gamma$      | [-]          | koeficient                      |
| $K_u$         | [-]          | napěťový přenos                 |
| $R$           | [ $\Omega$ ] | rezistor                        |
| $i_Z$         | [A]          | proud na výstupu Z              |
| $u_{výst}$    | [V]          | výstupní napětí                 |
| $u_{vst}$     | [V]          | vstupní napětí                  |
| $f$           | [Hz]         | frekvence                       |
| $u_2$         | [V]          | výstupní napětí                 |
| $u_1$         | [V]          | vstupní napětí                  |
| $u_0$         | [V]          | vstupní napětí                  |
| $H(s)$        | [-]          | přenosová funkce                |
| $U_{výst(t)}$ | [-]          | výstupní napětí závisle na čase |



## **Zkratky**

| <i><b>zkratka</b></i> | <i><b>vysvětlení</b></i>                                                                           |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GCC                   | obecný proudový konvektor                                                                          |
| CCI                   | proudový konvektor první generace                                                                  |
| ICCI                  | proudový invertující konvektor první generace                                                      |
| CCII                  | proudový konvektor druhé generace                                                                  |
| ICCI                  | proudový invertující konvektor druhé generace                                                      |
| CCIII                 | proudový konvektor třetí generace                                                                  |
| ICCI                  | proudový invertující konvektor třetí generace                                                      |
| GVC                   | obecný napěťový konvektor                                                                          |
| VCI                   | napěťový konvektor první generace                                                                  |
| IVCI                  | napěťový invertující konvektor první generace                                                      |
| VCII                  | napěťový konvektor druhé generace                                                                  |
| IVCII                 | napěťový invertující konvektor druhé generace                                                      |
| VCIII                 | napěťový konvektor třetí generace                                                                  |
| IVCIII                | napěťový invertující konvektor třetí generace                                                      |
| V-A                   | volt-ampérová                                                                                      |
| R                     | rezistor                                                                                           |
| D                     | dioda                                                                                              |
| C                     | kapacitor                                                                                          |
| IO                    | integrovaný obvod                                                                                  |
| VCVS                  | napětím řízený napěťový zdroj ( <b>V</b> oltage <b>C</b> ontrolled <b>V</b> oltage <b>S</b> ource) |
| CCCS                  | proudem řízený proudový zdroj ( <b>C</b> urrent <b>C</b> ontrolled <b>C</b> urrent <b>S</b> ource) |

# Obsah

|                                               |        |
|-----------------------------------------------|--------|
| Obsah.....                                    | - 9 -  |
| 1. Úvod.....                                  | - 10 - |
| 2. Konvejoy.....                              | - 11 - |
| 2.1 Proudové konvejoy .....                   | - 11 - |
| 2.1.1. Obecný tříbranový konvejoy.....        | - 12 - |
| 2.1.2 Proudový konvejoy druhé generace.....   | - 13 - |
| 2.2 Napěťové konvejoy.....                    | - 14 - |
| 2.2.1 Obecný napěťový konvejoy .....          | - 14 - |
| 3. Usměřňovač.....                            | - 16 - |
| 3.1 Jednocestný usměřňovač s CCII- .....      | - 16 - |
| 4. Funkční měniče .....                       | - 19 - |
| 4.1 Diodový funkční měnič.....                | - 19 - |
| 5. Integrátor .....                           | - 21 - |
| 6. Model CCII – pro simulaci v MicroCap ..... | - 24 - |
| 7. Proudové konvejoy v IO .....               | - 25 - |
| 7.1 IO AD844.....                             | - 25 - |
| 7.2 IO OPA660.....                            | - 25 - |
| 7.3 IO EL2082C .....                          | - 26 - |
| 8. Realizace Integrátoru.....                 | - 27 - |
| 9. Realizace funkčního měniče: .....          | - 30 - |
| 10. Realizace usměřňovače: .....              | - 33 - |
| 11. Závěr.....                                | - 36 - |
| 12. Literatura .....                          | - 37 - |

# 1. Úvod

Proudové a napěťové konvejory jsou víceméně jen teoretická součástka, některé typy se vyrábějí, některé typy lze nahradit obvody určené původně jako něco jiného. Jinak konvejory jako takové jsou jádrem řady moderních obvodů či operačních zesilovačů. Značná část se zabývá aplikacemi konvektorů ve filtrech, ale touto částí se v této práci zabývat nebudu. Dále mohou být použity v aplikacích nefiltračních, tedy řešení a vlastnosti obvodů jako jsou usměrňovače, integrátory, derivátory, přesné proudové a napěťové zesilovače, oscilátory, měniče a komparátory.

## 2. Konvejory

Konvektor můžeme chápat jako aktivní mnohobran, který má buď napěťový, nebo proudový přenos mezi branami.

V roce 1968, pánové Sedra a Smith představili nový obvodový stavební prvek a to přesněji první generaci proudových konvektorů (CCI), který byl realizován bipolární technologií. Druhou generaci konvektorů (CCII) představili opět pánové Sedra a Smith a to v roce 1970, která umožňuje pracovat ve vyšším frekvenčním rozsahu a má širší možnosti uplatnění v analogových obvodech. Třetí generace proudových konvektorů (CCIII) byla představena až v roce 1995 panem Fabrem. V následujících letech poté vzniklo mnoho dalších variant konvektorů.

Konvejory máme dva typy :

- proudové
- napěťové

### 2.1 Proudové konvejory

V současné době, kdy je potřeba snižovat spotřebu, tudíž i snižování napájecího napětí, dochází ke snižování šumové odolnosti obvodů. Proto se objevují prvky zpracovávající signál v proudovém nebo smíšeném režimu.

Známé proudové konvejory a jejich zkratky:

- GCC – obecný proudový konvektor
- CCI – konvektor první generace
- ICCI – invertující konvektor první generace
- CCII – konvektor druhé generace
- ICCII – invertující konvektor druhé generace
- CCIII – konvektor třetí generace
- ICCIII – invertující konvektor třetí generace

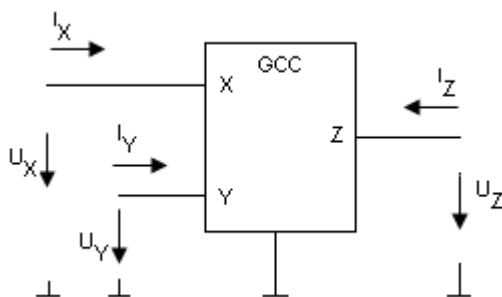
Nejdříve popíšeme základní vlastnosti a parametry proudových konvektorů.

### 2.1.1. Obecný tříbranový konvektor

Jedná se o tříbranový imitační konvektor, který má dvě nezávislá napětí a jeden nezávislý proud. Každá ze tří bran má jinou funkci a jiné vlastnosti. Používá se označování X, Y, Z, z čehož X znamená proudovou bránu, Y napěťová a Z výstupní.

$$\begin{bmatrix} U_X \\ I_Y \\ I_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \alpha & 0 \\ \beta & 0 & 0 \\ \gamma & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_X \\ U_Y \\ U_Z \end{bmatrix} \quad (2.1.1)$$

Maticový popis obecného tříbranového konvektoru.



Obr.2.1.1 Obecný tříbranový proudový konvektor

| $\alpha$ | $\beta$ |    | typy konvektorů |
|----------|---------|----|-----------------|
| 1/-1     | 1       | 1  | CCI+/ICCI+      |
| 1/-1     | 1       | -1 | CCI-/ICCI-      |
| 1/-1     | 0       | 1  | CCII+/ICCI+     |
| 1/-1     | 0       | -1 | CCII-/ICCI-     |
| 1/-1     | -1      | 1  | CCIII+/ICCI+    |
| 1/-1     | -1      | -1 | CCIII-/ICCI-    |

Tab. 2.1.1. Hodnoty koeficientu konkrétních konvektorů

## 2.1.2 Proudový konvektor druhé generace

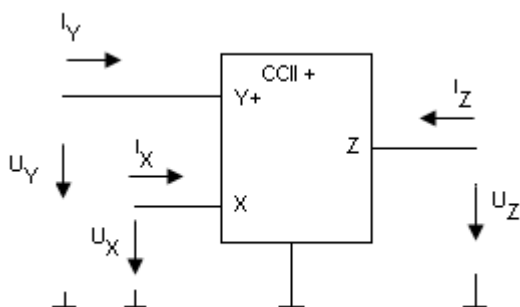
Ve všech následujících zapojení jsem použil právě proudový konvektor druhé generace, tak v následující podkapitole uvedu bližší informace o tomto konvektoru.

Díky své největší univerzálnosti se stal nejpoužívanějším konvektorem vůbec.

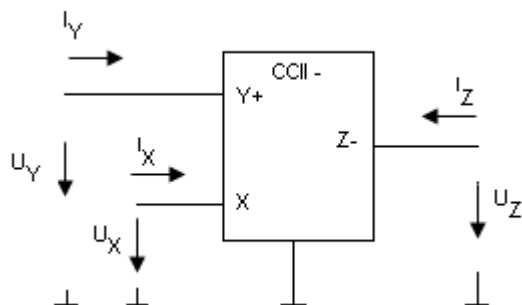
$$\begin{bmatrix} U_x \\ I_y \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \pm 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_x \\ U_y \\ U_z \end{bmatrix} \quad (2.1.2.1)$$

Maticový popis proudového konvektoru druhé generace

Druhá generace vychází z obecného konvektoru a proto se jedná o trojbran. Známe ho ve dvou variantách a to ve CCII + viz obrázek (2.1.2.1) a CCII – viz obrázek (2.1.2.2) .



Obr.2.1.2.1 Proudový konvektor druhé generace CCII +



Obr.2.1.2.2 Proudový konvektor druhé generace CCII –

Brána Y je pouze napěťová. Brány Y a X mezi sebou už nemají proudovou vazbu a z toho vyplývá, že proudový přenos je nulový.

Pro ideální proudový konvektor CCII platí [7]:

- výstupní impedance vstupu X –  $Z_X = 0$
- vstupní impedance vstupu Y –  $Z_Y = \infty$
- výstupní impedance výstupu Z –  $Z_Z = \infty$

## 2.2 Napěťové konvejory

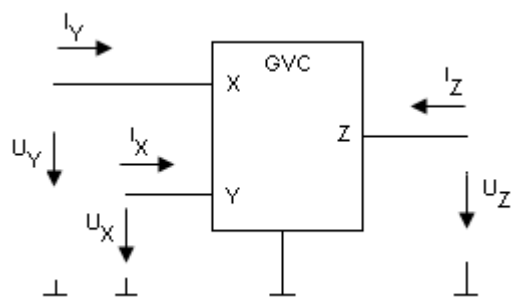
První napěťový konvektor představili pánové Acar a Ozuguz. Jedná se v podstatě o imitační konvertor s jedním nezávislým napětím  $U_Z$ . Návrhy napěťových konvektorů vychází z jejich proudových předchůdců.

Znamé napěťové konvejory a jejich zkratky:

- GVC – obecný napěťový konvektor
- VCI – konvektor první generace
- IVCi – invertující konvektor první generace
- VCII – konvektor druhé generace
- IVCII – invertující konvektor druhé generace
- VCIII – konvektor třetí generace
- IVCIII – invertující konvektor třetí generace

### 2.2.1 Obecný napěťový konvektor

$$\begin{bmatrix} I_X \\ U_Y \\ U_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \alpha & 0 \\ \beta & 0 & 0 \\ \gamma & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_X \\ I_Y \\ I_Z \end{bmatrix} \quad (2.2.1)$$



Obr.2.2.1 Obecný napěťový konvektor

| $\alpha$ | $\beta$ | $\Gamma$ | typy konvektorů |
|----------|---------|----------|-----------------|
| 1/-1     | 1       | 1        | VCI+/IVCI+      |
| 1/-1     | 1       | -1       | VCI-/IVCI-      |
| 1/-1     | 0       | 1        | VCII+/IVCII+    |
| 1/-1     | 0       | -1       | VCII-/IVCII-    |
| 1/-1     | -1      | 1        | VCIII+/IVCIII+  |
| 1/-1     | -1      | -1       | VCIII-/IVCIII-  |

Tab. 2.2.1. Hodnoty koeficientů konkrétních konvektorů

V následujících kapitolách se budu zabývat následujícími zapojeními: jednocestný usměrňovač, ztrátový integrátor, diodový funkční měnič. Nejprve provedu teoretický rozbor zapojení, včetně simulace v programu MicroCap. Následně tyto zapojení se pokusím realizovat a ověřit, jestli jsou realizovatelná. K návrhu desky plošných spojů použiji program EAGLE, provedu konstrukci a poté měření. Naměřené výsledky porovnám s teoretickými předpoklady.



### 3. Usměrnovač

Přesný usměrnovač musí být schopen usměrnit napětí tak, aby bylo menší než prahové napětí diody, používají se především v přesných měřicích zařízeních.

#### 3.1 Jednocestný usměrnovač s CCII-

Usměrnovač je realizovaný pomocí rezistorů, diod a konveje druhé generace CCII-.

Napěťový přenos obvodu je poté dán vztahem

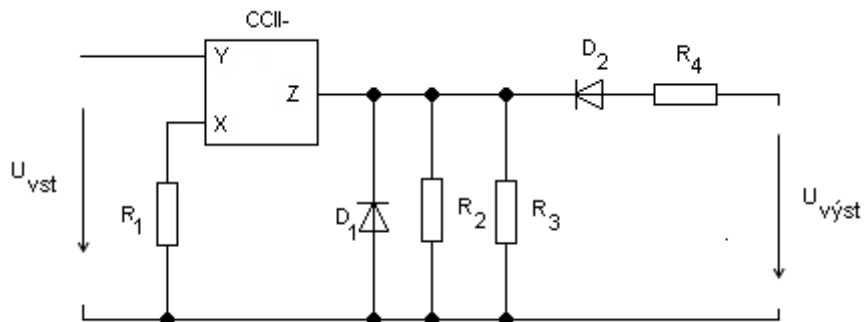
$$K_u = -\frac{\frac{R_2 + R_3}{R_2 \cdot R_3} + R_4}{R_1} \quad (3.1)$$

Proud na výstupu Z je :

$$i_Z = -\frac{u_{vst}}{R_1} \quad (3.2)$$

Výstupní napětí je dáno sériově paralelní kombinací rezistorů  $R_2, R_3, R_4$ .

$$u_{výst} = i_Z \cdot \left( \frac{R_2 + R_3}{R_2 \cdot R_3} + R_4 \right) = -\frac{\frac{R_2 + R_3}{R_2 \cdot R_3} + R_4}{R_1} \cdot u_{vst} \quad (3.3)$$



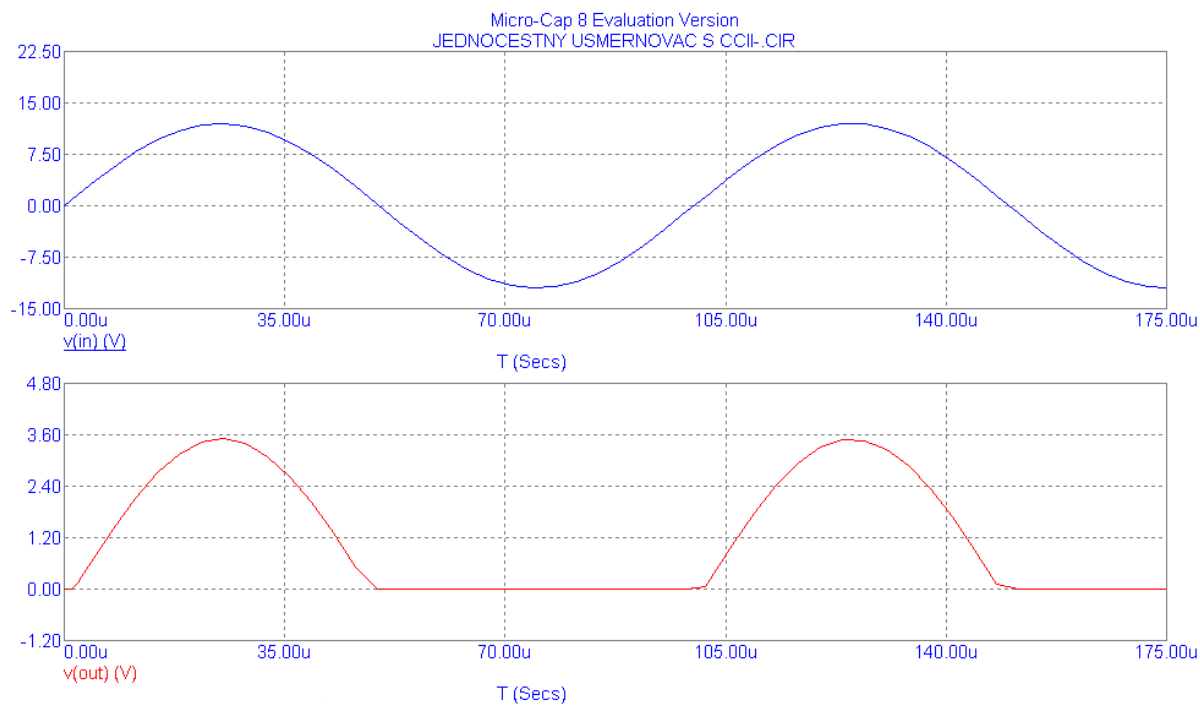
Obr.3.1.1: Jednocestný usměrňovač s CCII-

Pro simulaci v MicroCap jsme zvolili následující hodnoty součástek:

Parametry  $U_{vst}$ :

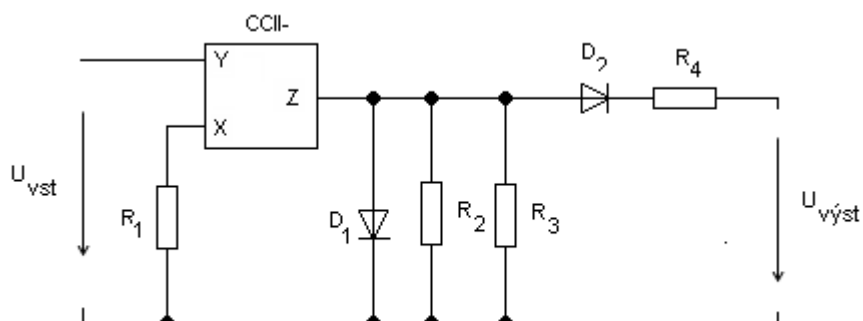
- $u_{vst}=12V$
- $f=10KHz$
- Sinusový průběh

Dále hodnoty rezistorů jsem zvolil všechny shodné a to  $R_1=R_2=R_3=R_4=200\Omega$ . Model diod jsem použil D1N4148 .

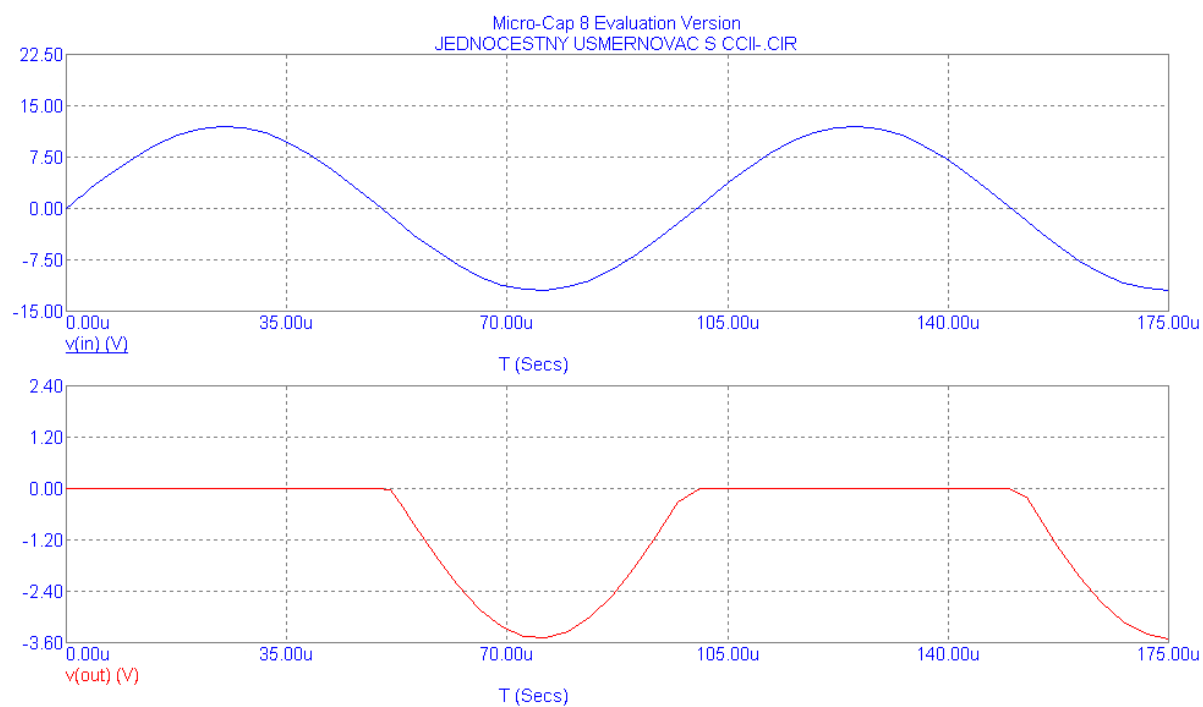


Obr.3.1.2: Jednocestný usměrňovač s CCII- sinusového průběhu záporného napětí

Při obrácení polarity u diod (obr. Obr.3.1.3) dojde k usměrňování záporného napětí.



Obr.3.1.3: Jednocestný usměrňovač s CCII-



Obr.3.1.4: Jednocestný usměrňovač s CCII- sinusového průběhu kladného napětí

## 4. Funkční měniče

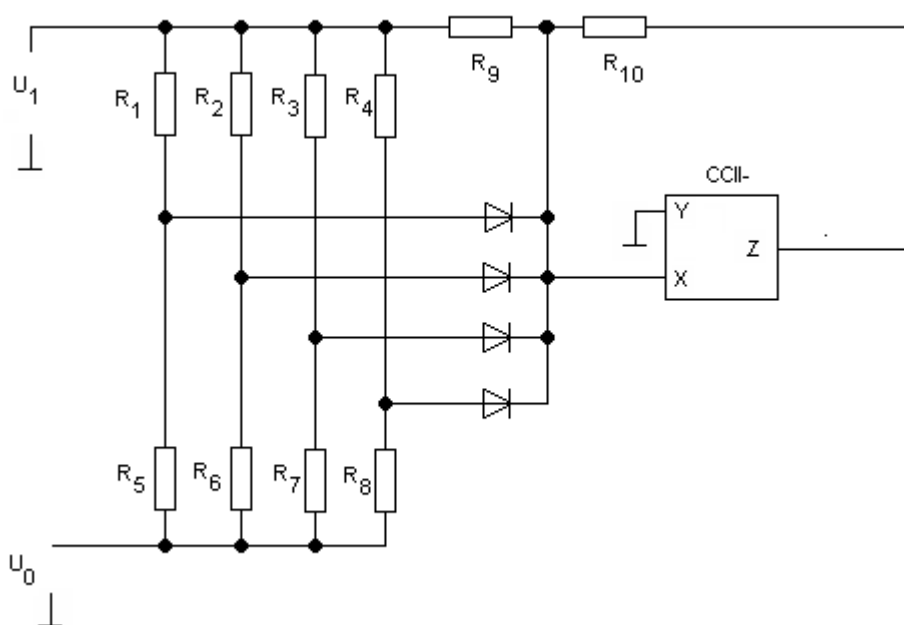
U funkčních měničů je výstupní napětí rovno předem nadefinované funkci vstupního napětí, tj.  $u_{výst} = f(u_{vst})$ , a realizuje se použitím nelineární operační sítě. Existují dva způsoby vytváření funkčních měničů:

a) aproximační funkční měnič: využívá odporu závislého na napětí, pomocí něhož se zvolená funkce aproximuje lomenou čarou ,

b) spojitý funkční měnič: využívá nelineárních V-A charakteristik nějakého elektronického prvku a modeluje danou funkci přímo.

### 4.1 Diodový funkční měnič

Usměrňovač je realizovaný pomocí diod, rezistorů a proudového konvejeoru druhé generace CCII-. Jedná se o výchozí zapojení vycházející z analogie s OZ [4].



Obr.4.1: Funkční měnič exponenciální

Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$u_2 \approx \frac{-u_1^3}{100} \quad (4.1)$$

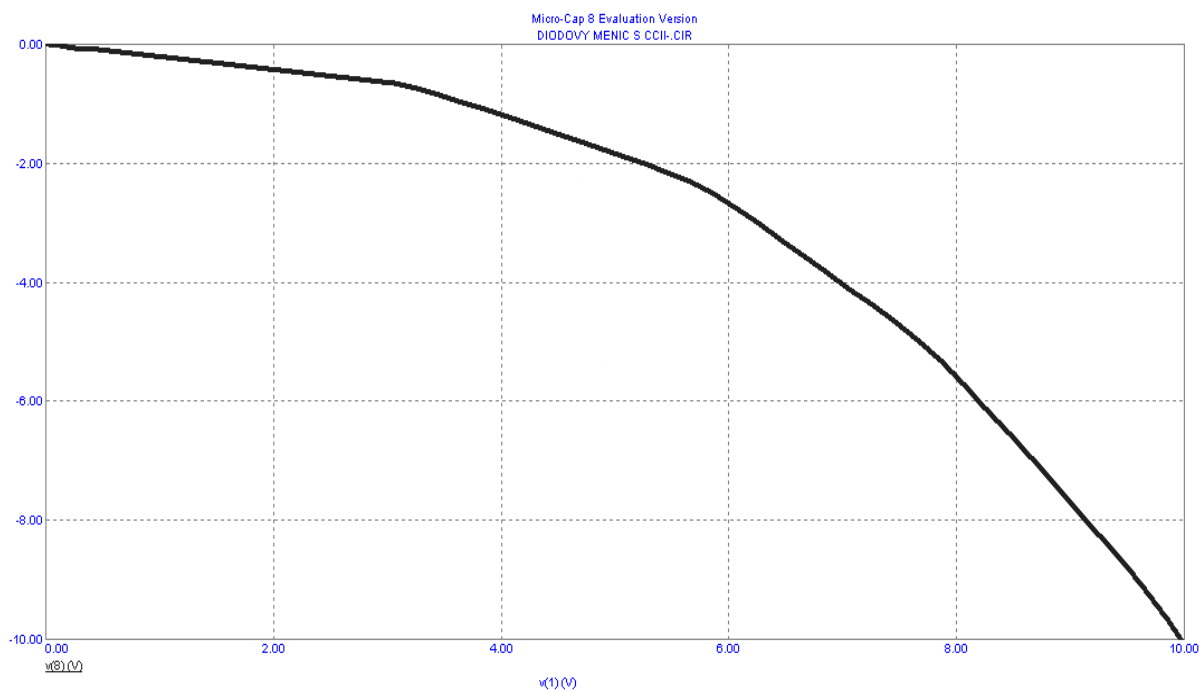
Vhodnou kombinací rezistorů udáváme výslednou směrnici jednotlivých úseků.

Pomocí spínacích diod realizujeme postupné zatěžování.

V tomto případě jsem modeloval průběh  $u_2 = -u_1^3 / 100$  pro  $u_1 = 0$  až 10V [4].

Pomocí stejnosměrné analýzy můžeme simulovat převodní charakteristiku tohoto funkčního měniče:

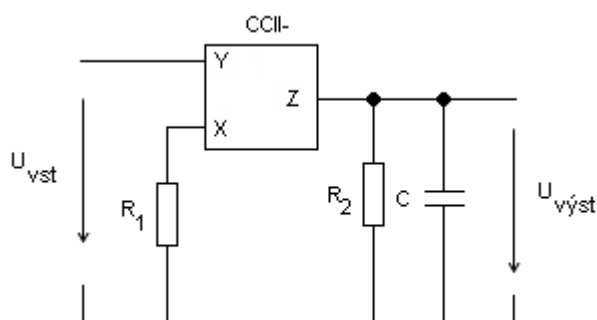
- $R_1=21,5\text{K}\Omega$ ,  $R_2=12,9\text{K}\Omega$ ,  $R_3=12,7\text{K}\Omega$ ,  $R_4=12,7\text{K}\Omega$ ,  $R_5=78,7\text{k}\Omega$ ,  $R_6=24,9\text{K}\Omega$ ,  
 $R_7=17,8\text{K}\Omega$ ,  $R_8=14,2\text{K}\Omega$ ,  $R_9=47\text{K}\Omega$ ,  $R_{10}=20\text{K}\Omega$
- Spínací diody  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$
- $U_1=10\text{V}$ ,  $U_0=-10\text{V}$



Obr.4.2. Stejnosměrná analýza diodového měniče s CCII -

## 5. Integrátor

Integrátor je realizovaný pomocí kapacitoru, rezistorů a proudového konvejeoru druhé generace CCII-. Jedná se o ztrátový integrátor [5].



Obr.5.1: Ztrátový integrátor s CCII-

Přenosová funkce pro ztrátový integrátor:

$$H(s) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + sCR} \quad (5.1)$$

Po dosazení dostaneme:

$$H(s) = -0,98$$

Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$U_{výst(t)} = -\frac{1}{R_1 R_2 C} \cdot U_{vst} \cdot t \quad (5.2)$$

Proud na výstupu Z je :

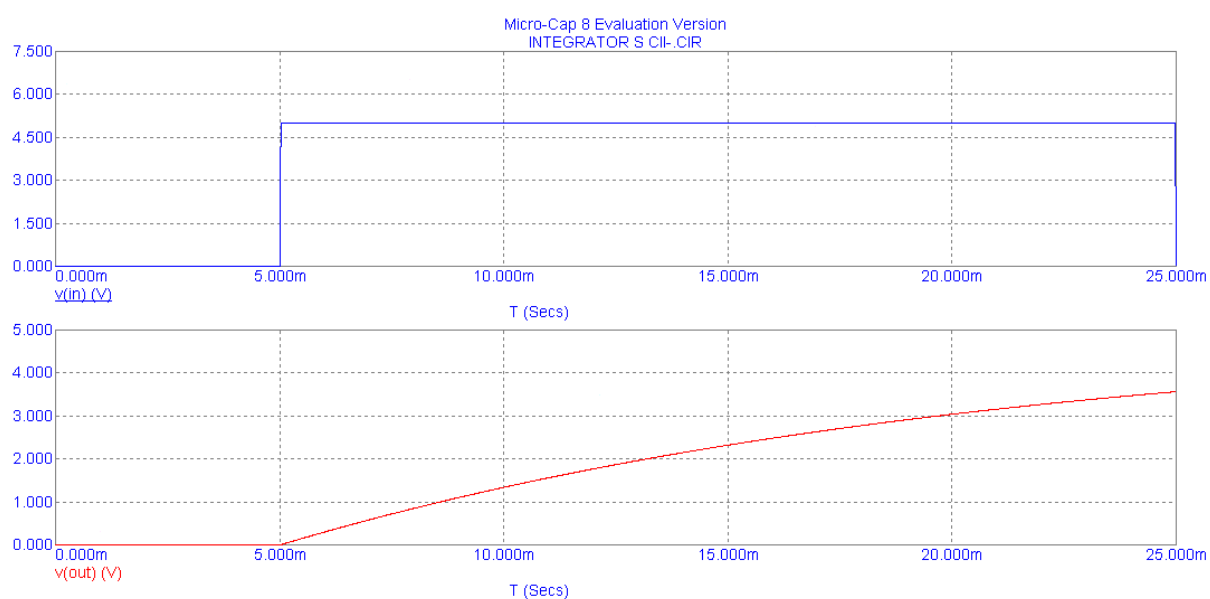
$$i_Z = -\frac{U_{vst}}{R_1} \quad (5.3)$$

Pro simulaci v MicroCap jsem zvolil následující hodnoty součástek.

- $U_{vst}=5V$
- $R_1=R_2=8K\Omega$
- $C=2000nF$

Pro  $U_{vst} = 5V$

$$u_{výst}(t=8ms) = -\frac{1}{128} \cdot 5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = -31,25mV$$

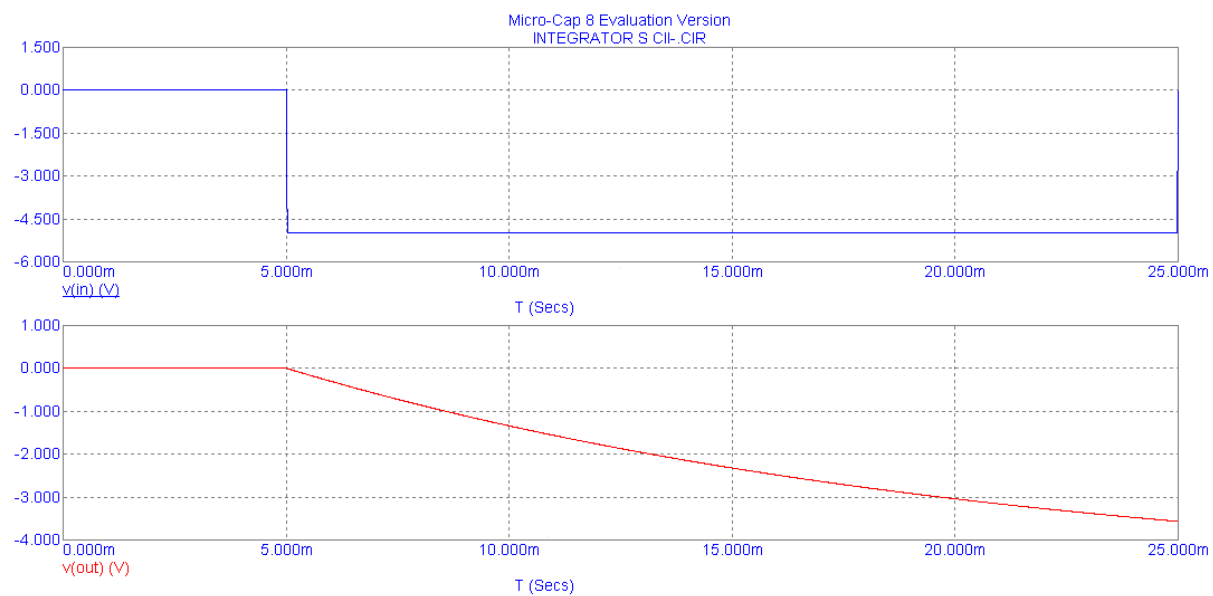


Obr.5.2: Simulace ztrátového integrátoru s CCII- pro +5V

Když na vstup místo kladného napětí +5V přivedeme záporné napětí -5V dostaneme následující průběh ( obr.5.2 )

Pro  $U_{vst} = -5V$

$$u_{výst}(t=8ms) = \frac{1}{128} \cdot 5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 31,25mV$$



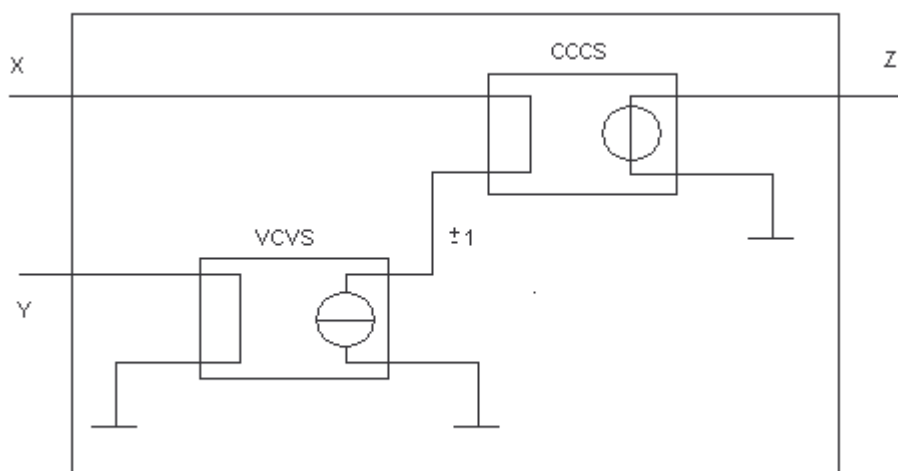
Obr.5.3: Simulace ztrátového integrátoru s CCII- pro -5V



## 6. Model CCII – pro simulaci v MicroCap

Pro simulaci v programu Microcap, jsem použil vytvořený model CCII – viz (obr.6.1).

Vychází z toho, že proudový konvektor je jen teoretická součástka, tak proto musí být realizována za pomoci reálných součástí. V tomto případě za pomoci CCCS( proudem řízený proudový zdroj ) a VCVS ( napětím řízený napěťový zdroj )



Obr.6.1. Model CCII- pro simulaci v MicroCAP

Pro ideální proudový konvektor musí platit následující vztahy:

$$U_Y = U_X \quad (6.1)$$

$$I_Y = 0 \quad (6.2)$$

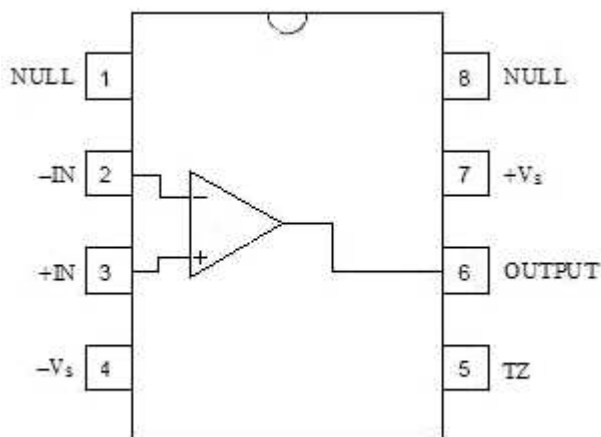
$$I_Z = \pm I_X \quad (6.3)$$

## 7. Proudové konvejeřy v IO

Na trhu se můžeme setkat pouze se třemi integrovanými obvody, pomocí kterých můžeme realizovat konvejeřy druhé generace CCII+. A to jsou AD844, OPA660 a ELC2082C.

### 7.1 IO AD844

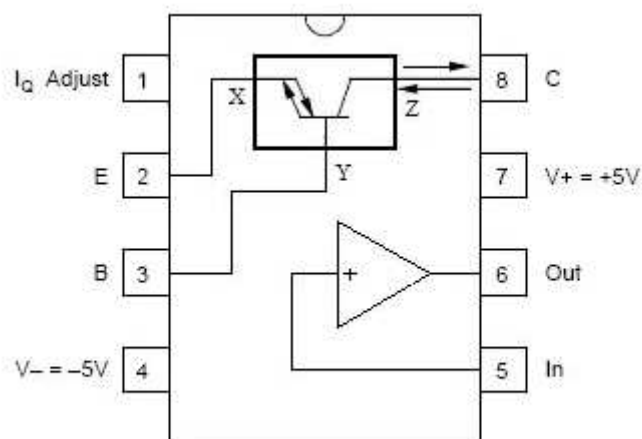
AD844 je vysokorychlostní operační zesilovač, firmy Analog Devices, který v sobě obsahuje i konvejeř druhé generace CCII+. Slučuje vysokou šířku pásma a velmi rychlou odezvu signálu. AD844 obsahuje dva napěťové sledovače a jeden proudový sledovač [8]. Při použití AD844 jako konvejeř druhé generace můžeme výstup buď připojit na výstupní svorku, která obsahuje buffer nebo na svorku TZ ( svorka Z u konvejeřů ). Vyrábí se buď v 8 pinovém ( obr.7.1.1 ) nebo 16ti pinovém pouzdře.



Obr.7.1.1 8-mi pinové pouzdro AD844

### 7.2 IO OPA660

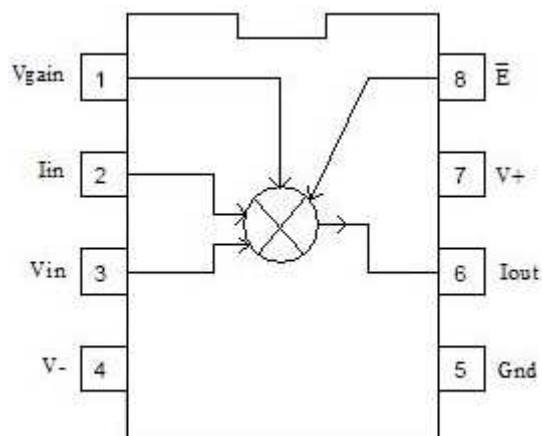
OPA660 je všestranný jednolitý obvod navržený pro širokopásmové systémy zahrnující video s vysokým rozlišením, včetně RF a IF systémů. Obsahuje širokopásmový, bipolární integrovaný napětí řízený zdroj proudu a napěťový buffer zesilovač. Napětím řízený zdroj proudu nebo funkční zesilovač strmosti ( OTA ) je též znám jako ideální tranzistor [9]. Vyrábí se v 8 pinovém pouzdře ( obr. 7.2.1 )



Obr.7.2.1 pouzdro OPA660

### 7.3 IO EL2082C

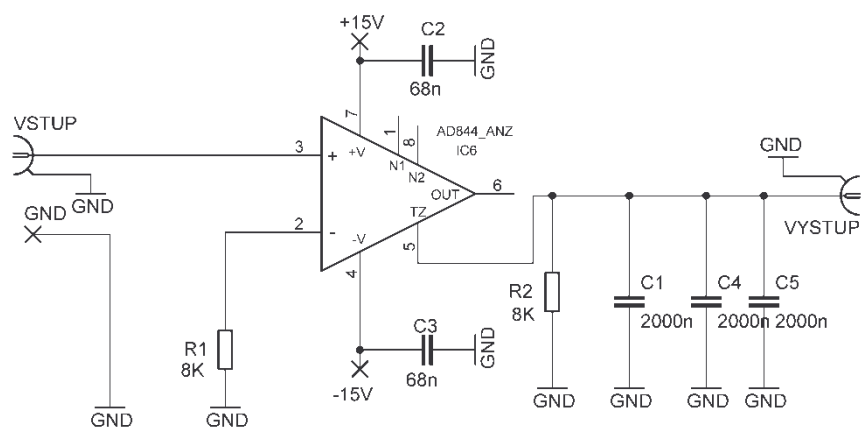
Hlavním účelem obvodu EL2082C je variabilní regulace zesílení, postavené na použití bipolárního procesu. Tímto procesem je myšleno použití dvoukvadrantového násobitele, který při nulovém nebo záporném ovládacím napětí  $V_{\text{gain}}$  způsobí omezení signálu. Pracuje především v proudovém režimu.[7]. Vyrábí se v 8 pinovém pouzdře ( obr. 7.3.1 )



Obr.7.3.1 pouzdro EL2082C

## 8. Realizace Integrátoru

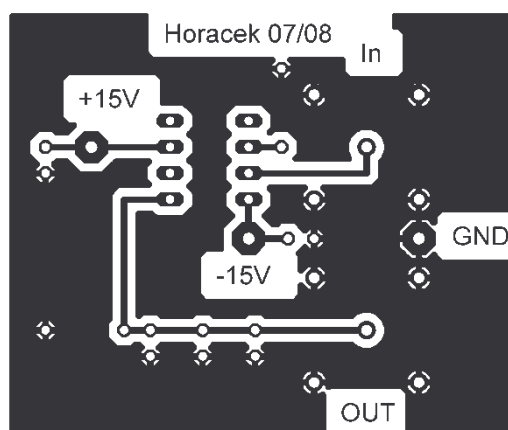
K realizaci integrátoru jsem použil program EAGLE, kde jsem nejprve podle navrhnul schéma dle Obr.5.1.



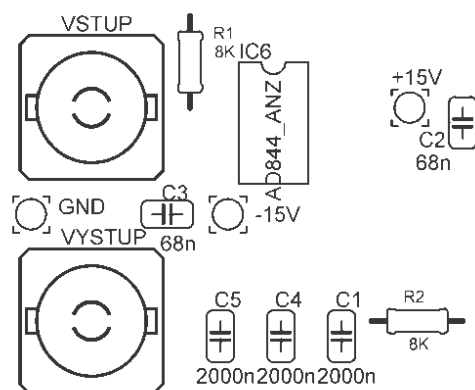
Obr.8.1: schéma Integrátoru

Seznam součástek :

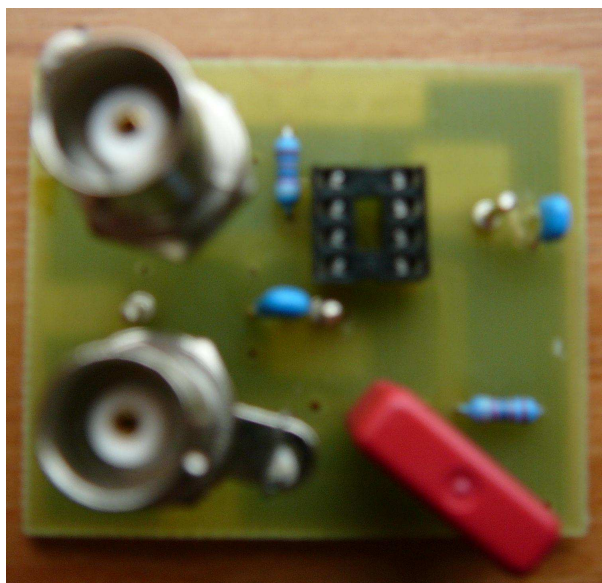
| Qty | Value     | Device          | Parts           |
|-----|-----------|-----------------|-----------------|
| 3   |           | 3,17/1,1        | +15V, -15V, GND |
| 2   |           | A1944-50        | VSTUP, VYSTUP   |
| 2   | 8K        | R-EU_0204/7     | R1, R2          |
| 2   | 68n       | C-EU025-024X044 | C2, C3          |
| 3   | 2000n     | C-EU025-024X044 | C1, C4, C5      |
| 1   | AD844_ANZ | AD844_ANZ       | IC6             |



Obr.8.2: Návrh desky plošných spojů – rozložení spojů



Obr.8.3: Návrh desky plošných spojů – rozložení součástek



Obr.8.4: Návrh desky plošných spojů – rozložení spojů

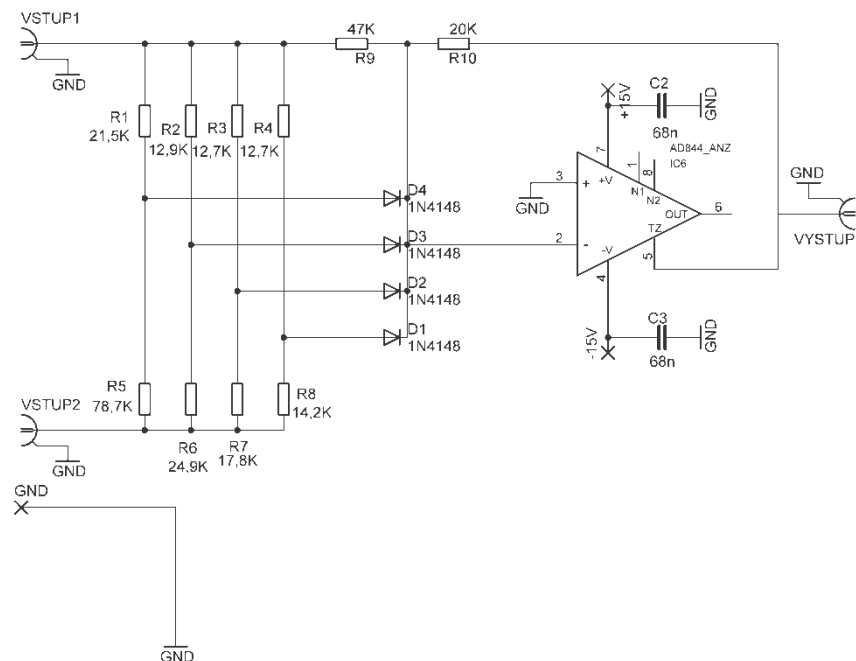
Následné měření bohužel neprokázalo funkčnost integrátoru, protože při vstupním napětí  $U_{vst}=0,3V$  a  $f=1kHz$  vychází výstupní napětí

$$u_{výst}(t=0,250ms) = -\frac{1}{8,2 \cdot 10^3 \cdot 8,2 \cdot 10^3 \cdot 200 \cdot 10^{-9}} \cdot 0,3 \cdot 250 \cdot 10^{-3} = -5,577 \mu V$$

a na osciloskopu se objevil jen šum.

## 9. Realizace funkčního měniče:

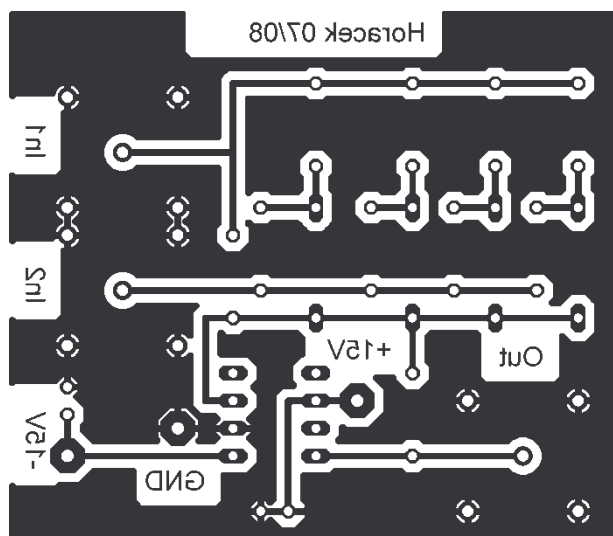
K realizaci funkčního měniče jsem použil program EAGLE, kde jsem nejprve podle navrhnul schéma dle Obr.3.1.1.



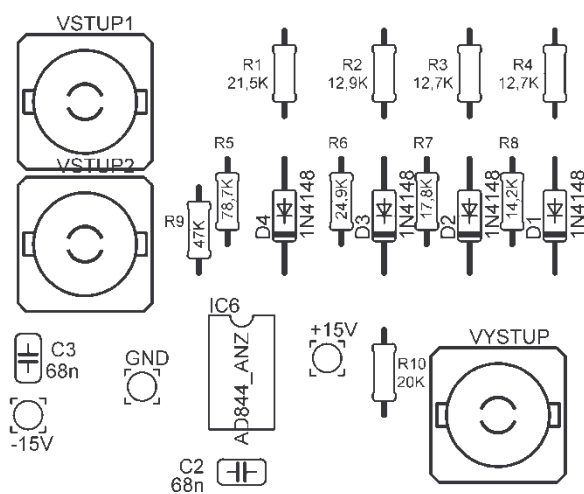
Obr.9.1: schéma měniče

### Seznam součástek:

| Qty | Value     | Device          | Parts                  |
|-----|-----------|-----------------|------------------------|
| 3   |           | 3,17/1,1        | +15V, -15V, GND        |
| 3   |           | A1944-50        | VSTUP1, VSTUP2, VYSTUP |
| 4   | 1N4148    | 1N4148          | D1, D2, D3, D4         |
| 2   | 12,7K     | R-EU_0204/7     | R3, R4                 |
| 1   | 12,9K     | R-EU_0204/7     | R2                     |
| 1   | 14,2K     | R-EU_0204/7     | R8                     |
| 1   | 17,8K     | R-EU_0204/7     | R7                     |
| 1   | 20K       | R-EU_0204/7     | R10                    |
| 1   | 21,5K     | R-EU_0204/7     | R1                     |
| 1   | 24,9K     | R-EU_0204/7     | R6                     |
| 1   | 47K       | R-EU_0204/7     | R9                     |
| 2   | 68n       | C-EU025-024X044 | C2, C3                 |
| 1   | 78,7K     | R-EU_0204/7     | R5                     |
| 1   | AD844_ANZ | AD844_ANZ       | IC6                    |

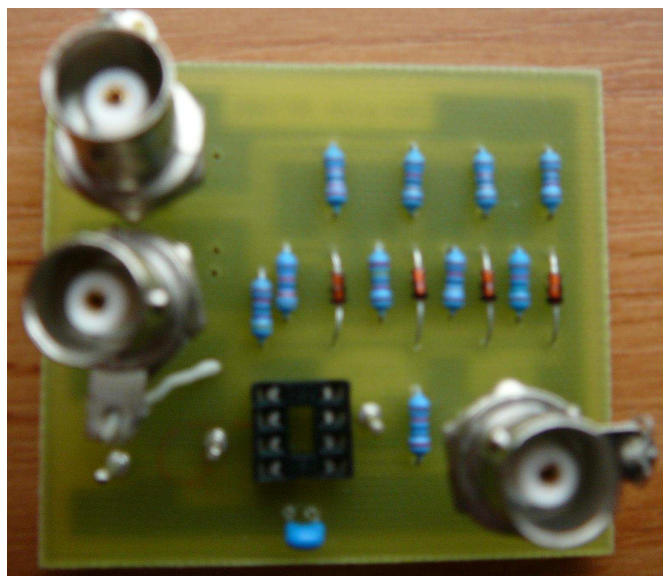


Obr.9.2: Návrh desky plošných spojů – rozložení spojů



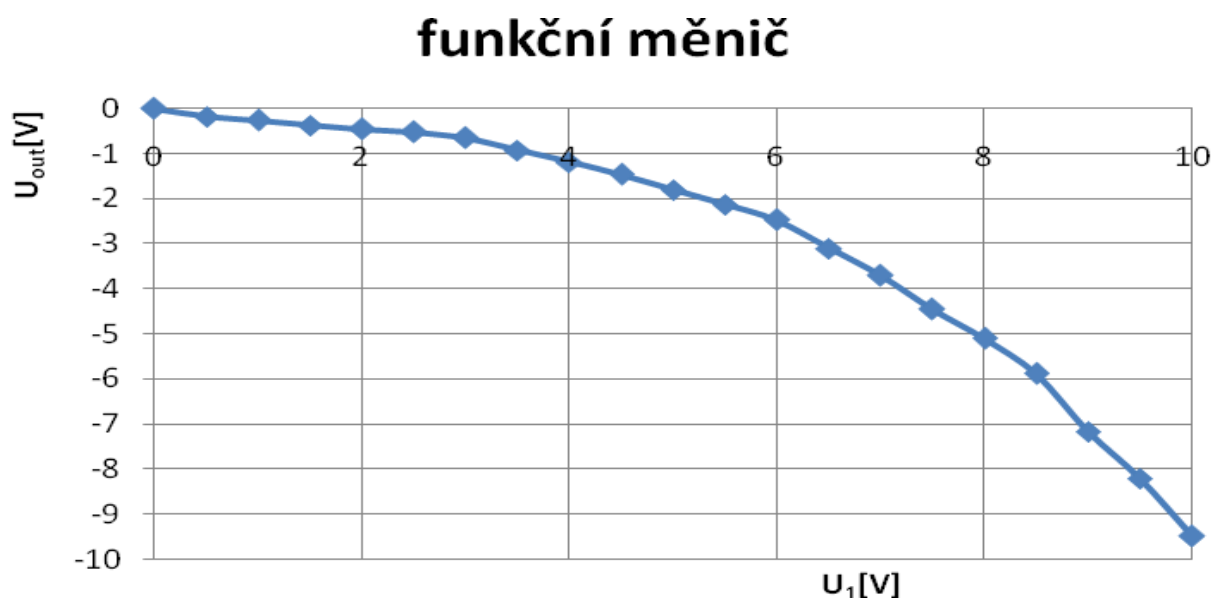
Obr.9.3: Návrh desky plošných spojů – rozložení součástek





Obr.9.4: Realizovaná deska plošných spojů

Následné měření prokázalo funkčnost měniče. Funkce byla ověřena pomocí zdroje a multimetru. Na zdroji jsem postupně zvyšoval vstupní napětí  $U_I$  v rozmezí 0-10V a na multimetru jsem odečítal hodnoty výstupního napětí  $U_{výst.}$ . Poté jsem tyto hodnoty vynesl do grafu, který je znázorněn na obr. 9.5

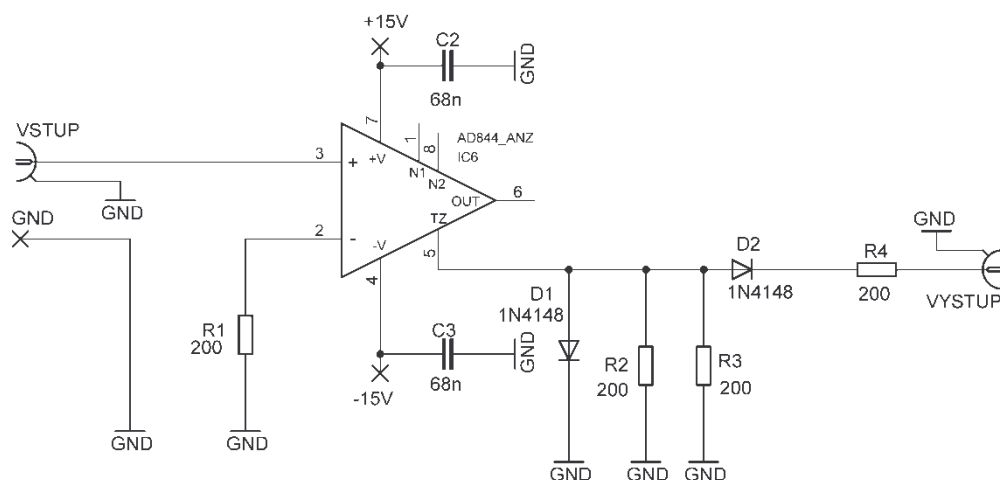


Obr.9.5: graf změřeného průběhů funkčního měniče

Výsledný průběh se blíží teoretickému ( Obr.4.2.), menší odchylky jsou dány použitím rezistorů z řady E12 a jejich tolerancí.

## 10. Realizace usměrňovače:

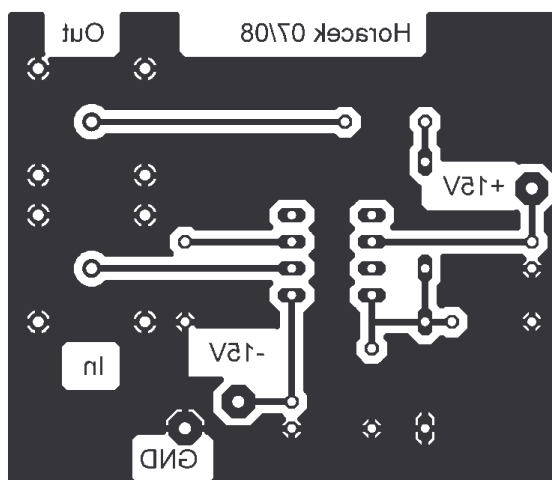
K realizaci usměrňovače jsem použil program EAGLE, kde jsem nejprve podle navrhnul schéma dle Obr. 4.1.



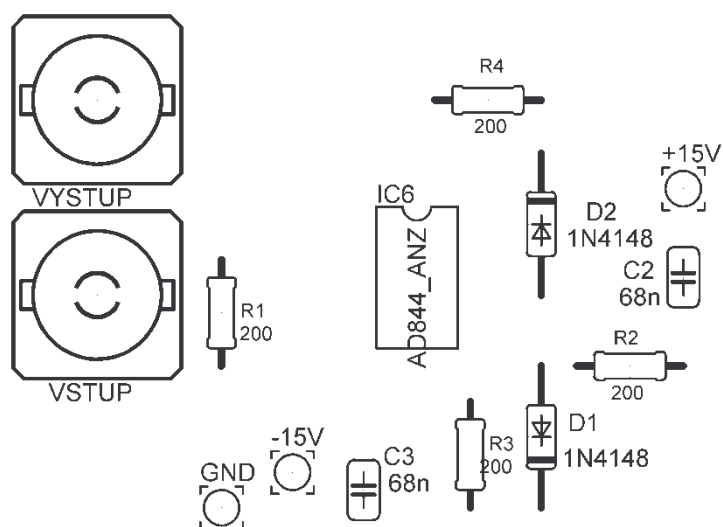
Obr.10.1: schéma usměrňovače

### Seznam součástek:

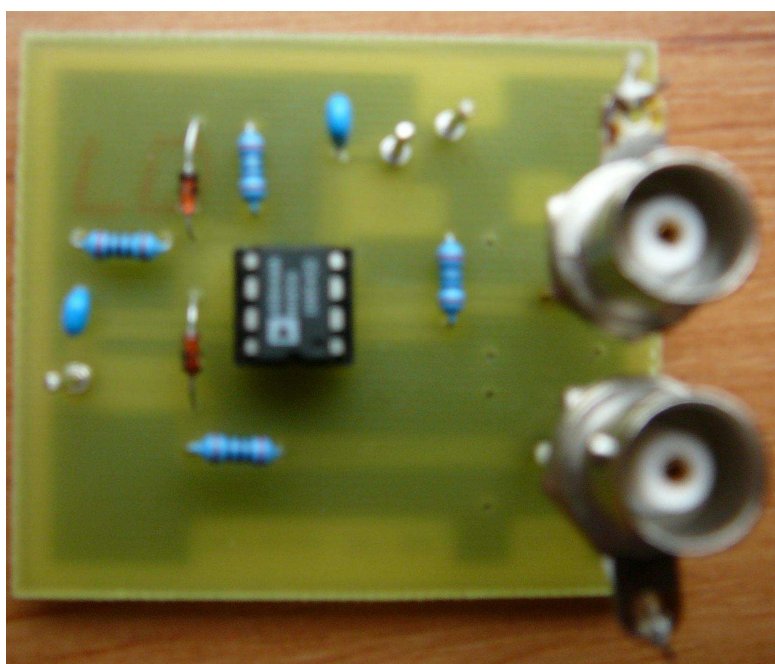
| Qty | Value     | Device          | Parts           |
|-----|-----------|-----------------|-----------------|
| 3   |           | 3,17/1,1        | +15V, -15V, GND |
| 2   |           | A1944-50        | VSTUP, VYSTUP   |
| 2   | 1N4148    | 1N4148          | D1, D2          |
| 2   | 68n       | C-EU025-024X044 | C2, C3          |
| 4   | 200       | R-EU_0204/7     | R1, R2, R3, R4  |
| 1   | AD844_ANZ | AD844_ANZ       | IC6             |



Obr.10.2: Návrh desky plošných spojů – rozložení spojů

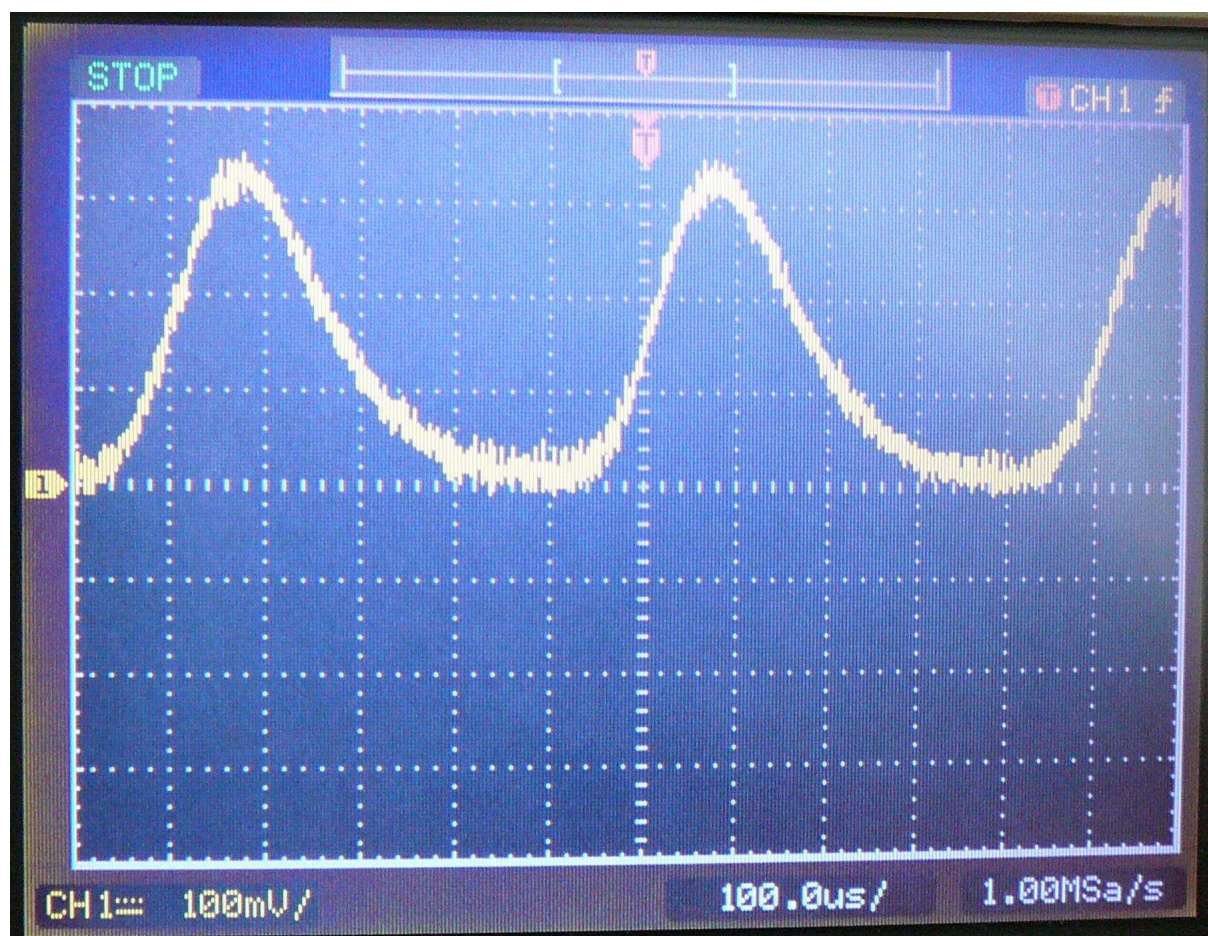


Obr.10.3: Návrh desky plošných spojů – rozložení součástek



Obr.10.4: Realizovaná deska plošných spojů

Následné měření prokázalo funkčnost usměrňovače. Funkce byla ověřena pomocí zdroje, generátoru funkcí a osciloskopu. Na generátoru funkcí jsem nastavil frekvenci 2kHz a vstupní napětí  $U_{vst}$  2V . Výslednou funkci můžeme vidět na obr.10.5.



Obr.10.5. změřený průběh na osciloskopu

Výsledný průběh se blíží teoretickému, který jsem si nasimuloval v programu MicroCap a můžeme ho vidět na Obr.3.1.2. Menší odchylky mohou být dány tolerancí součástek.



## 11. Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval nefiltračními aplikacemi s napětovými a proudovými konvejory. Nejprve jsem rozebral historii a vlastnosti konvejořů.

Měl jsem za úkol rozebrat následující zapojení. A to usměřňovač, ztrátový integrátor a diodový funkční měnič.

U usměřňovače jsem si vybral jednoduchý jednocestný usměřňovač, který můžeme vidět na obr. 3.1.1 a 3.1.3. Uvedl jsem tam základní vztahy pro tento usměřňovač a provedl dvě simulace. Jednu pro usměrnění záporného napětí ( obr.3.1.2 ) a druhou pro kladné napětí ( obr.3.1.4 )

Pro integrátor jsem si vybral zapojení ztrátového integrátoru ( obr.5.1 ) Rozebral dané zapojení, jak se změní výstup, když na vstup přivedeme kladné napětí ( obr.5.2 ) a záporné napětí ( obr.5.3 ).

U měniče jsem použil diodový funkční měnič ( obr.4.1 ). Provedl jsem úpravu zapojení s operačním zesilovačem na zapojení s proudovým konvejorem CCII- a poté následnou simulaci, která se maximálně blíží k zapojení s OZ.

U realizace usměřňovače a funkčního měniče se výsledné průběhy, které můžeme vidět na ( obr.9.5 a obr.10.5 ), blíží teoretickému předpokladu. Menší odchylky jsou dány použitím rezistorů z řady E12 a jejich tolerancí, která se může pohybovat až  $\pm 10\%$  .

Funkce bezetrátového integrátoru bohužel nešla ověřit. Na výstupu osciloskopu se objevil pouze šum.

## 12. Literatura

- [1] KOLI, K. CMOS Current Amplifiers: Speed versus Nonlinearity. Dissertation for the degree of Doctor of Science. Helsinki University of Technology Electronic Circuits Design Laboratory, 2000.
- [2] TOUMAZOU, C., LIDGEY, F. J., HAIGH D. G. Analogue IC design: the current mode approach. London, Peter Peregrinus Ltd, pp. 646.1990.
- [3] ROBERTS, G. All current-mode frequency selective circuits. Electronics Letters, vol. 25, pp. 759-761, June 1989.
- [4] MIŠUREC, J., BIOLEK, D. Počítačová simulace analogových obvodů, 1996
- [5] MIŠUREC, J. Aplikace proudových a napěťových konvektorů
- [6] VRBA, K., LATTENBERG, I. Přednášky z Analogové techniky. Elektronické texty, FEKT VUT v Brně, 2002, 107 stran.
- [7] NOVÁK, J., Diplomová práce „Nefiltrační aplikace proudových a napěťových konvektorů“, 2006
- [8] AD844 [online]. AD Datasheet, Dostupné z WWW:  
< [www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/A/D/8/4/AD844.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/D/8/4/AD844.shtml) >
- [9] OPA660 [online]. Datasheet, Dostupné z WWW:  
< [www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/O/P/A/6/OPA660.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/O/P/A/6/OPA660.shtml) >