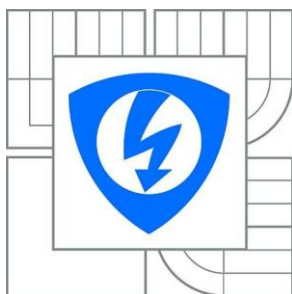




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

UNIVERZÁLNÍ PŘESNÉ USMĚRŇOVAČE S PROUDOVÝMI AKTIVNÍMI PRVKY A PROUDOVÝM BUZENÍM DIOD

UNIVERSAL PRECISION RECTIFIERS WITH CURRENT ACTIVE ELEMENTS AND CURRENT
EXCITATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

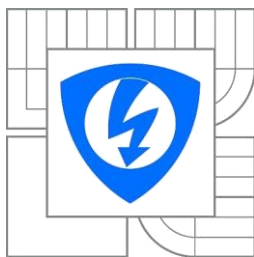
JIŘÍ UHER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ LANGHAMMER

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Jiří Uher
Ročník: 3

ID: 146120
Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

**Univerzální přesné usměrňovače s proudovými aktivními prvky a
proudovým buzením diod**

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se v literatuře se známými obvodovými realizacemi univerzálních přesných usměrňovačů a to zejména s proudovými aktivními prvky (proudové konvejory, transkonduktanční operační zesilovače, proudové sledovače). Na základě těchto zapojení navrhnete nová obvodová řešení. Jejich vlastnosti ověřte pomocí počítačových simulací za použití dostupných modelů aktivních prvků. Provedte srovnání stěžejních vlastností dřívějších a nově navržených obvodů. Vybraná navržená zapojení dále realizujte do podoby desek plošných spojů a proveďte experimentální měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GIFT, S. J. G., MAUNDY, B.: „Versatile Precision Full-Wave Rectifiers for Instrumentation and Measurements,“ IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 56, pp. 1703-1710, 2007.
- [2] HAYATLEH K., PORTA S. LIDGEY F. J.: Temperature independent current konvektor precision rectifier. IEE 1994, Electronics Letters Online No: 199414.54.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 4.6.2014

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Langhammer
Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato práce se zabývá především univerzálními přesnými dvoucestnými usměrňovači s proudovým buzením diod, je zde také popsán proudový a univerzální proudový konvektor a vliv závěrné zotavovací doby diod. Nakonec je navrženo a realizováno nové obvodové řešení univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače.

Klíčová slova

proudový konvektor, závěrná zotavovací doba diody, operační transkonduktanční zesilovač, univerzální přesný dvoucestný usměrňovač, UCC

Abstract

This thesis deals mainly with universal precision full-wave rectifiers with current excitation of diodes, it also describes current and universal current conveyor and influence of the diode reverse recovery time. In the end of this thesis a new circuit solution of the universal precision full-wave rectifier is proposed and realized.

Keywords

current conveyor, diode reverse recovery time, operational transconductance amplifier, universal precision full-wave rectifier, UCC

UHER, J. *Univerzální přesné usměrňovače s proudovými aktivními prvky a proudovým buzením diod*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 68 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Langhammer.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma: *Univerzální přesné usměrňovače s proudovými aktivními prvky a proudovým buzením diod* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne.....

Podpis autora.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Lukáši Langhammerovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady, při zpracování bakalářské práce.

V Brně dne.....

Podpis autora.....

OBSAH

ÚVOD.....	8
1. Použité aktivní proudové prvky	9
1.1. Proudový konvektor (Current conveyor).....	9
1.1.1. Vysvětlení	9
1.2. Univerzální proudový konvektor (Universal current conveyor)	10
1.2.1. Vysvětlení	10
2. Závěrná zotavovací doba diody	12
2.1. Dvě diody buzené proudem	12
2.2. Příklady využití předpětí.....	15
3. Znamá zapojení přesných dvoucestných usměrňovačů.....	17
3.1. Univerzální přesný dvoucestný usměrňovač	17
3.1.1. Usměrňovač se dvěma OZ	17
3.1.2. Usměrňovač s operačním konvejorem a OZ.....	19
3.1.3. Usměrňovač s jedním proudovým konvejorem a jedním OZ	21
3.2. Vysokofrekvenční přesný dvoucestný usměrňovač se dvěma proudovými konvejory	22
3.3. Upravené obvody univerzálních přesných dvoucestných usměrňovačů	23
3.4. Nové obvodové řešení univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače s napěťovým a proudovým řízením diod	25
3.4.1. Popis obvodu s napěťovým řízením diod	25
3.4.2. Popis obvodu s proudovým řízením diod	29
4. Návrh obvodu univerzálního přesného usměrňovače.....	32
4.1. Popis obvodu upraveného univerzálního přesného usměrňovače s proudovým řízením diod	32
4.1.1. Proudový zdroj	35
5. Měření a verifikace výsledků realizovaných obvodů	36
5.1. Měření a srovnání převodních charakteristik původního a nově navrženého obvodu.....	36

5.2. Porovnání původního obvodu univerzálního dvoucestného usměřovače s nově navrženým	38
5.3. Porovnání původních univerzálních přesných dvoucestných usměřovačů	48
Závěr	58
Seznam použité literatury	59
Seznam použitých zkratk, veličin a symbolů	61
Příloha	62

ÚVOD

V dnešní době jsou na obvody přesných usměrňovačů kladeny stále větší požadavky na zvětšení šířky přenášeného kmitočtového pásma a odstupu signálu od šumu. Důležité je také snížení energetické náročnosti. Kvůli tomu je vhodné využívat proudových signálů a moderních aktivních prvků pracujících v proudovém nebo smíšeném módu.

V kapitole jedna budou popsány použité aktivní prvky, které byly v práci použity, jmenovitě proudový konvektor druhé generace a univerzální proudový konvektor.

Ve druhé kapitole bude popsána závěrná zotavovací doba diod a její vliv na univerzální přesné usměrňovače a jak tento vliv co nejvíce omezit. Jsou zde také ukázány obvody s použitím předpětí nebo proudového řízení diod.

Ve třetí kapitole budou popsány samotné usměrňovače. Nejdříve jsou představena již existující zapojení univerzálních přesných dvoucestných usměrňovačů a pak je zde upraveno jedno nové obvodové řešení.

Ve čtvrté kapitole bude navrhnout nový obvod univerzálního přesného usměrňovače, který bude vycházet z některého již existujícího zapojení.

V páté kapitole bude popsána realizace vybraných obvodů. Dále bude provedeno měření a verifikace výsledků obvodů, které byly realizovány.

1. POUŽITÉ AKTIVNÍ PROUDOVÉ PRVKY

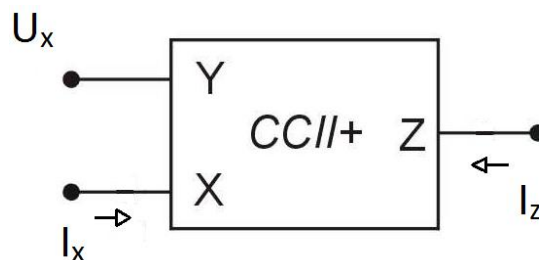
1.1. PROUDOVÝ KONVEJOR (CURRENT CONVEYOR)

První proudový konvektor (CC) byl publikován v roce 1968 společností SEDRA a jednalo se o konvektor první generace o dva roky později však Sedra publikovala konvektor druhé generace (CCII), který bude v této práci použit. Nyní, jelikož je tento aktivní proudový prvek používán téměř ve všech obvodech v této práci, bude vysvětleno, co pojem proudový konvektor znamená a jaká je jeho funkce.

1.1.1. VYSVĚTLENÍ

Proudový konvektor je definován jako univerzální analogové zařízení, které je určené pro používání v mnoha různých obvodových zapojeních ke zpracování analogového signálu. Jedná se o analogový obvod, který je v mnoha směrech podobný klasickému napětovému zesilovači, ale představuje alternativní metody implementování analogových systémů, které jsou obvykle budovány s napětovými zesilovači. Hlavní výhoda CCII na rozdíl od běžných operačních zesilovačů je větší šířka pásma a větší přesnost [2].

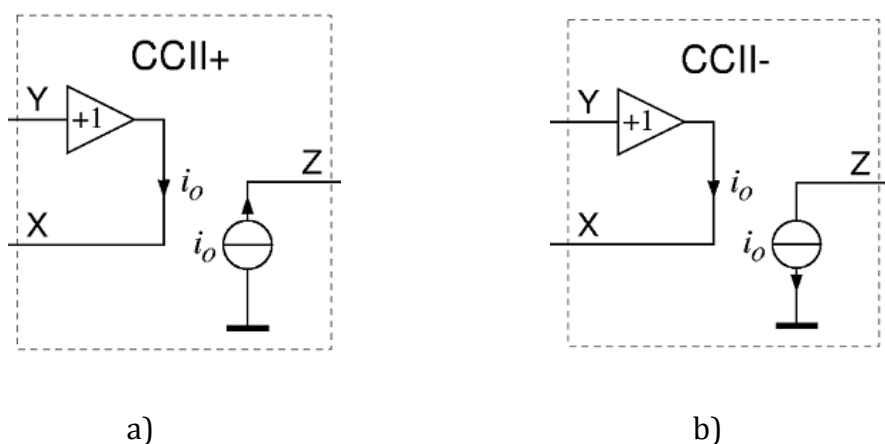
Díky svým dosahovaným vlastnostem, které výrazně převyšují vlastnosti operačního zesilovače, se v dnešní době začíná CC používat stále častěji. Na obrázku 1.1 můžeme vidět schematickou značku CC druhé generace. Funkci proudového konvektoru popisuje matice (1.1) [2]



Obr. 1.1: Schematická značka CCII+

$$\begin{bmatrix} i_y \\ u_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_y \\ i_x \\ u_z \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Proudové konvejoy druhé generace můžeme dále dělit na a) CCII+ a b) CCII-. Rozdíl je vidět na obr. 1.2. [7] Hlavní rozdíl je ve směrech výstupního proudu I_z .

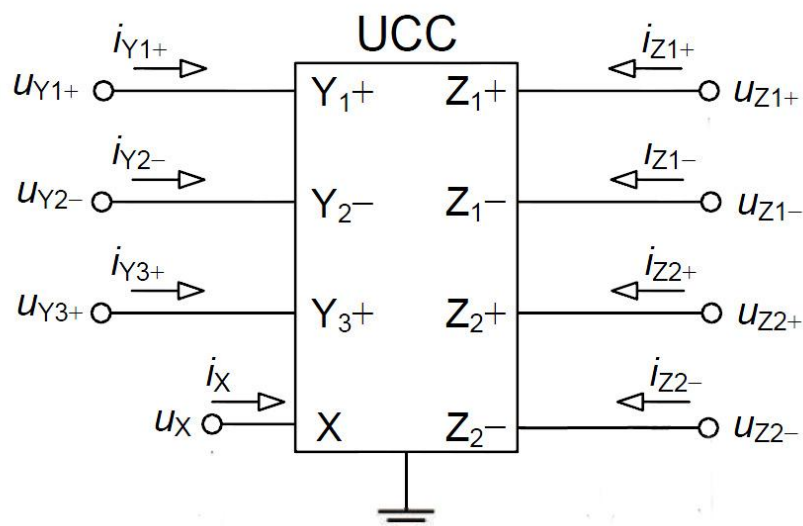


Obr. 1.2: Dva typy proudových konvejořů a) CCII+: $I_x = I_z$ b) CCII-: $I_x = -I_z$

1.2. UNIVERZÁLNÍ PROUDOVÝ KONVEJOR (UNIVERSAL CURRENT CONVEYOR)

1.2.1. VYSVĚTLENÍ

Univerzální proudový konvejoy (UCC) byl navržen k tomu, abychom mohli snadno realizovat v podstatě všechny typy konvejořů. Schematická značka UCC je vidět na obr. 1.3.



Obr. 1.3: Schematická značka Univerzálního proudového konvejořu

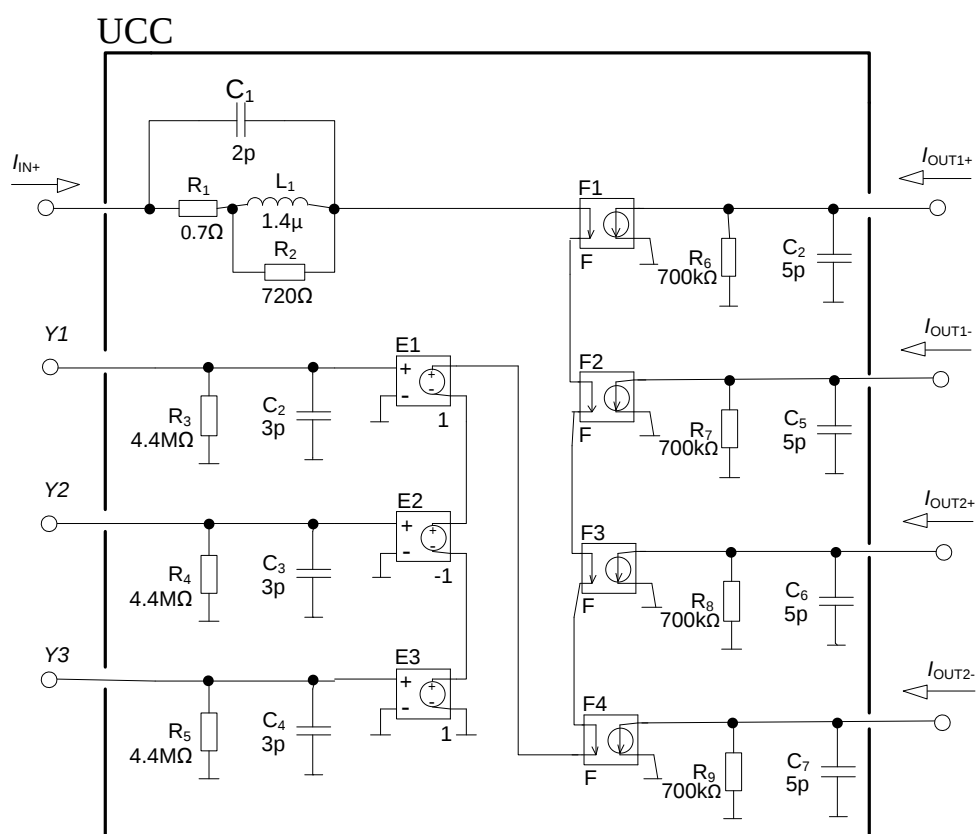
Svorky Y_{1+} , Y_{2-} , Y_{3+} jsou napěťové vstupy, svorka X je proudový vstup. Svorky Z_{1+} a Z_{2+} slouží jako proudové výstupy s kladným a svorky Z_{1-} a Z_{2-} jsou proudové výstupy se záporným přenosem proudu ze svorky X . Svorky Y_{1+} , Y_{2-} , Y_{3+}

jsou vysoko-impedanční stejně jako svorky Z_{1-} , Z_{2-} , Z_{1+} a Z_{1-} . Nízko-impedanční je pouze vstup X. Funkce obvodu UCC je dána hybridní maticí (1.2) [3]

$$\begin{bmatrix} i_{Y1+} \\ i_{Y2-} \\ i_{Y3+} \\ u_x \\ i_{Z1+} \\ i_{Z1-} \\ i_{Z2+} \\ i_{Z2-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{Y1+} \\ u_{Y2-} \\ u_{Y3+} \\ i_x \\ u_{Z1+} \\ u_{Z1-} \\ u_{Z2+} \\ u_{Z2-} \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Díky variabilitě nám UCC podle této hybridní matice dokáže vytvořit všechny generace proudových konvektorů a také vícevstupové proudové konvejory.

Vnitřní zapojení makro-modelu, který byl použit k simulacím v simulačním prostředí PSpice lze vidět na obr. 1.4.



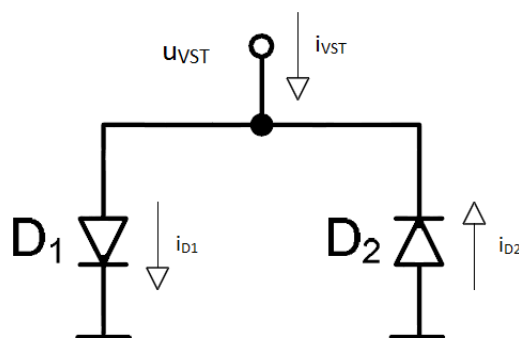
Obr. 1.4: Vnitřní zapojení makro-modelu UCC

2. ZÁVĚRNÁ ZOTAVOVACÍ DOBA DIODY

Zde budou popsány některé charakteristické rysy usměrňovačů s proudovým buzením diod. Především vliv závěrné zotavovací doby diody na činnost usměrňovače a jak tento vliv omezit.

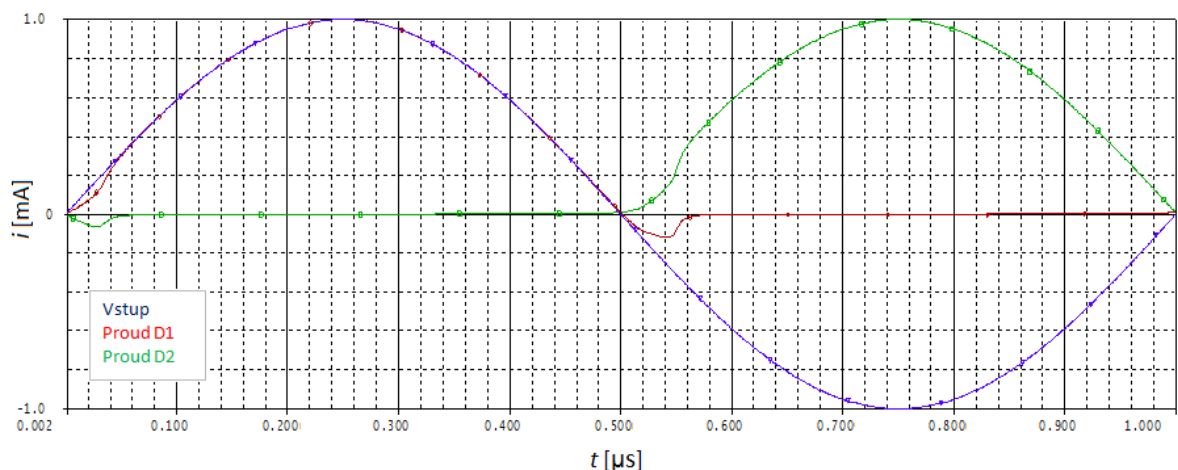
2.1. DVĚ DIODY BUZENÉ PROUDEM

Ve většině dosud navržených zapojení přesných usměrňovačů využívajících proudové buzení diod se vyskytuje jednoduchý podobvod se dvěma diodami [4]. Ten můžeme vidět na obr. 2.1

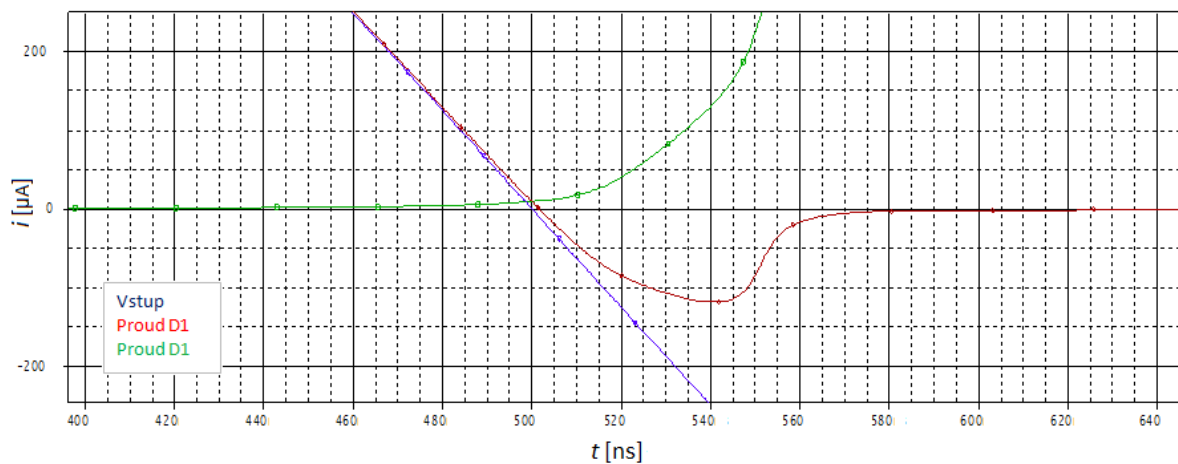


Obr. 2.1: Základní varianta podobvodu

Tento podobvod bývá připojen k proudovému výstupu aktivního prvku a rozděluje proud i_{VST} podle polaridy na dvě větve.



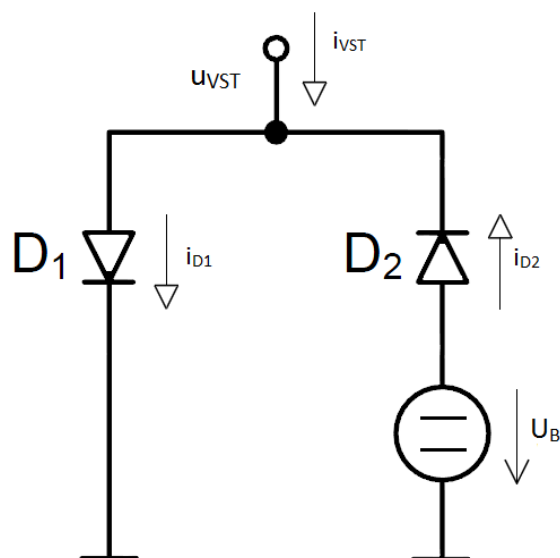
Obr. 2.2: Časové průběhy signálů v obvodu na obr. 2.1



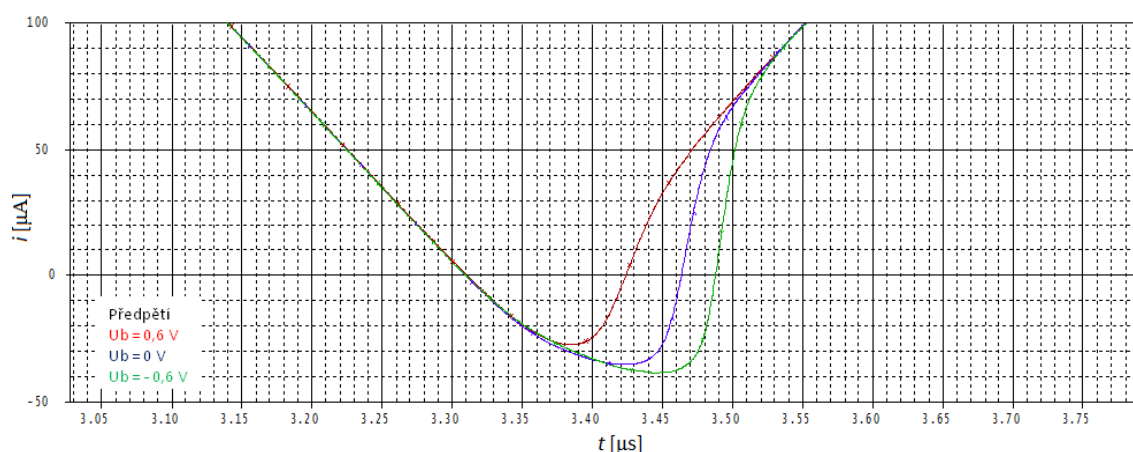
Obr. 2.3: Detail oblasti průchodu nulou vstupního signálu

Na obr. 2.2, který nám zobrazuje průběh proudů diodami je jasně vidět rozdíl oproti ideálnímu stavu. Potom, co dojde ke změnám polarity vstupního proudu, zůstává původně propustně polarizovaná dioda na chvíli ve vodivém stavu, díky čemuž nám vzniká překmit proudu diodou do závěrné polarity. Při čemž diodou, která by měla být v propustném stavu, to znamená vést skoro veškerý proud, teče proud, který je zmenšený o závěrný proud druhé diody. Tento překmit a zmenšení proudu o závěrný proud nám způsobuje tzv. závěrná zotavovací doba diod (ZZDD). Zejména díky této vlastnosti je omezeno použití diod na vysokých kmitočtech. Popišme si podrobněji příčiny vzniku ZZDD. Při změně stavu diody z propustného na nepropustný je přechod PN diody plný volných menšinových nosičů náboje, pro které je i po této změně přechod průchodný. Proto krátce po změně směru proudu protéká diodou mnohem větší závěrný proud než později po ustálení. ZZDD (označme ji jako t_{rr}) lze rozdělit na dvě části, a to t_s (storage time) a t_d (delay time). Po dobu t_s jsou odváděny přebytečné menšinové nosiče náboje z přechodu a na diodě zůstává téměř konstantní napětí U_p , které je o něco menší než napětí v propustném stavu. Poté nastane interval t_d , během kterého se nabíjí parazitní kapacita diody a poté se na ní ustálí závěrné napětí [4].

Jednoduchou modifikací však můžeme tento překmit zmenšit a to vložením napěťového zdroje s předpětím U_B jak je vidět na obrázku 2.4. Díky tomuto předpětí lze diody při průchodech nulou vstupního proudu udržovat na hranici vodivého stavu, čímž dosáhneme snížení změn napětí vstupního uzlu při změnách vstupního proudu [4].



Obr. 2.4: Varianta podobvodu s předpětím



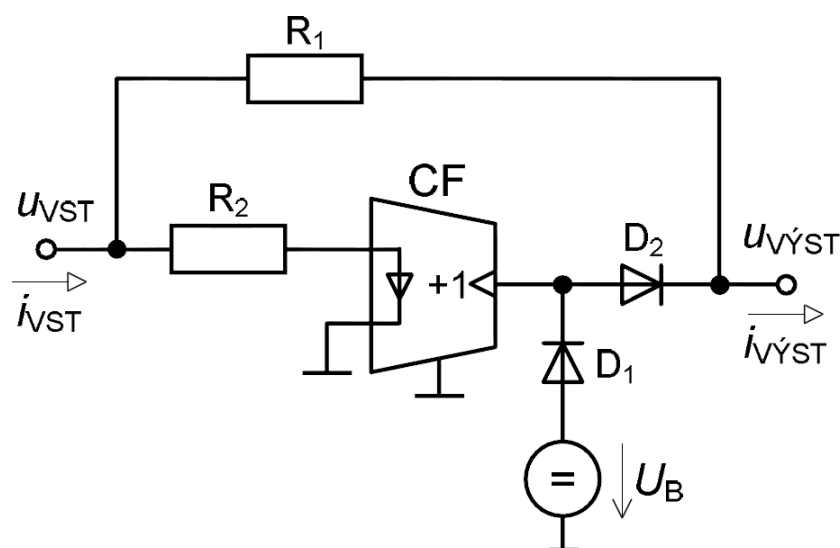
Obr. 2.5: Rozdíl průběhů při použití předpětí a bez něj

Z obr. 2.5 je jasně vidět, že při použití předpětí U_B je překmit proudu diodou, která přechází z propustného do závěrného stavu o hodně menší než bez předpětí. Problémem je, že při větších předpětích se v oblasti změny polarity vstupního proudu vyskytuje jiná odchylka od ideálních průběhů, a to větší hodnota proudů diodami. Tento obrázek je použit přímo z průběhu výstupního napětí přesného usměrňovače s proudovým konvejerem a jedním OZ, který je vidět na obr. 3.5.

2.2. PŘÍKLADY VYUŽITÍ PŘEDPĚTÍ

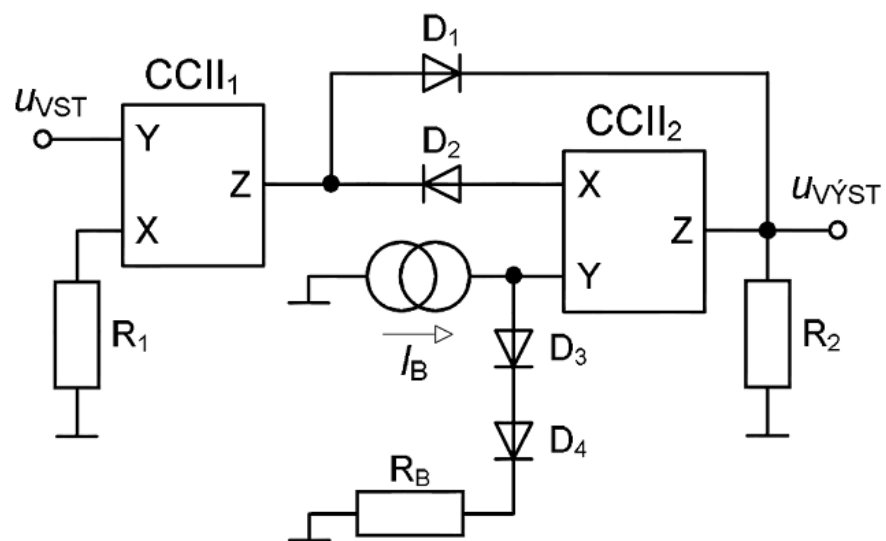
Zde bude uvedeno několik příkladů zapojení přesných usměrňovačů, ve kterých se vyskytují diody buzené proudem a je možné zavést předpětí pro omezení vlivu ZZDD.

Na obrázku 2.6 je vidět multifunkční usměrňovač, který je možné provozovat jako jednocestný i dvoucestný a to v napěťovém, proudovém, transkonduktančním i transimpedančním módu. Předpětí U_B je možné použít, pokud je výstup obvodu proudový. Nevýhoda tohoto usměrňovače je však nutnost přesného poměru odporů [4].



Obr. 2.6 Multifunkční usměrňovač

Další schéma zapojení dvoucestného přesného usměrňovače s přednastavením diod do blízkosti jejich vodivostního stavu můžeme vidět na obrázku 2.7. V tomto případě se jedná o proudové řízení diod [4].



Obr. 2.7: Další varianta usměřňovače

3. ZNÁMÁ ZAPOJENÍ PŘESNÝCH DVOUCESTNÝCH USMĚRŇOVAČŮ

3.1. UNIVERZÁLNÍ PŘESNÝ DVOUCESTNÝ USMĚRŇOVAČ

Přesné usměrňovače jsou důležité pracovní bloky pro zpracování nízkoúrovňových signálů. Ty mohou být využívány jako např. detektory efektivní hodnoty, polarity signálu nebo amplitudově modulovaných signálů, DC převodníků, atd. Klasický problém u konvenčních přesných usměrňovačů založených na diodách a operačních zesilovačích je závěrná zotavovací doba diody, která je popsána v kapitole 2.

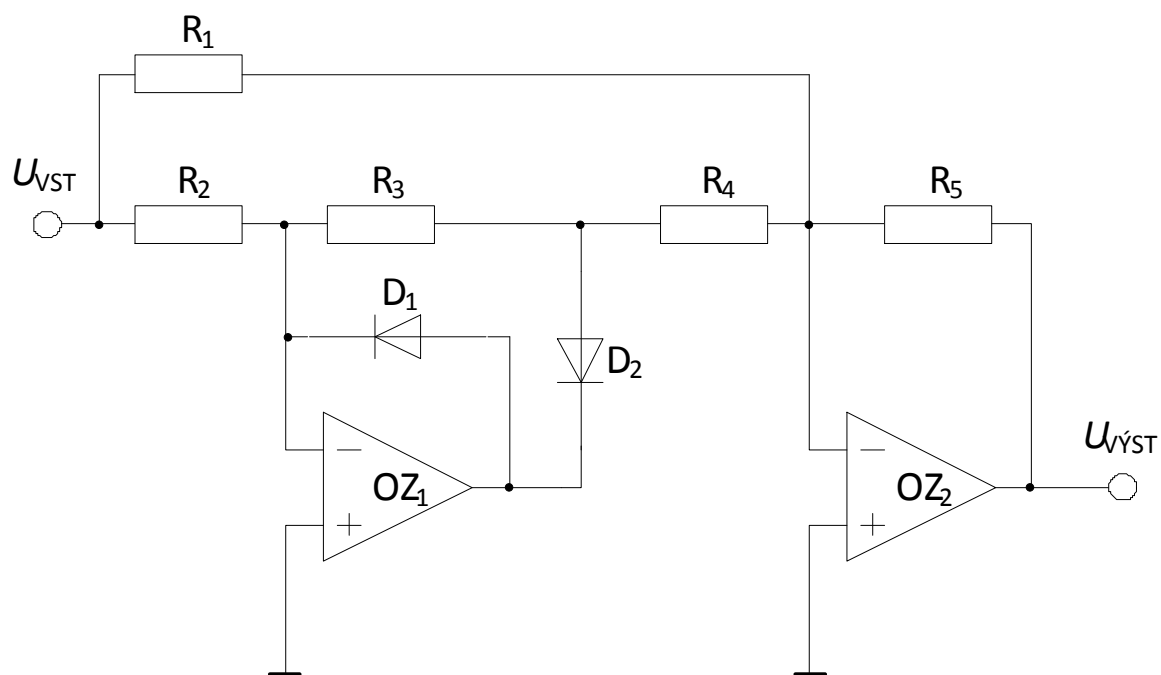
Při přechodu z propustného do nepropustného stavu, a když se operační zesilovač musí zotavit s malým konečným signálem, nastává zkreslení a kvůli tomuto problému jsou tyto usměrňovače omezeny na frekvenčním rozsahu [4].

3.1.1. USMĚRŇOVAČ SE DVĚMA OZ

Obvod, který vidíme na obrázku 3.1 Je obvod dvoucestného usměrňovače, skládajícího se ze dvou OZ. Kolem OZ_1 je založen jednocestný usměrňovač a kolem OZ_2 je nastaven řídicí a součtový zesilovač. Pro tuto třídu obvodů platí, že pracuje dobře na nižších frekvencích, ale při frekvencích vyšších než 1 kHz dochází k poměrně velkému zkreslení průběhů. To díky tomu, že jsou diody na přechodovém bodu vstupního signálu zavřené a OZ pracuje bez zpětné vazby. Se stoupající frekvencí signálu, omezená rychlost přeběhu pořád více brání OZ v rychlém sepnutí diod a tím dochází ke zkreslení výsledků [9].

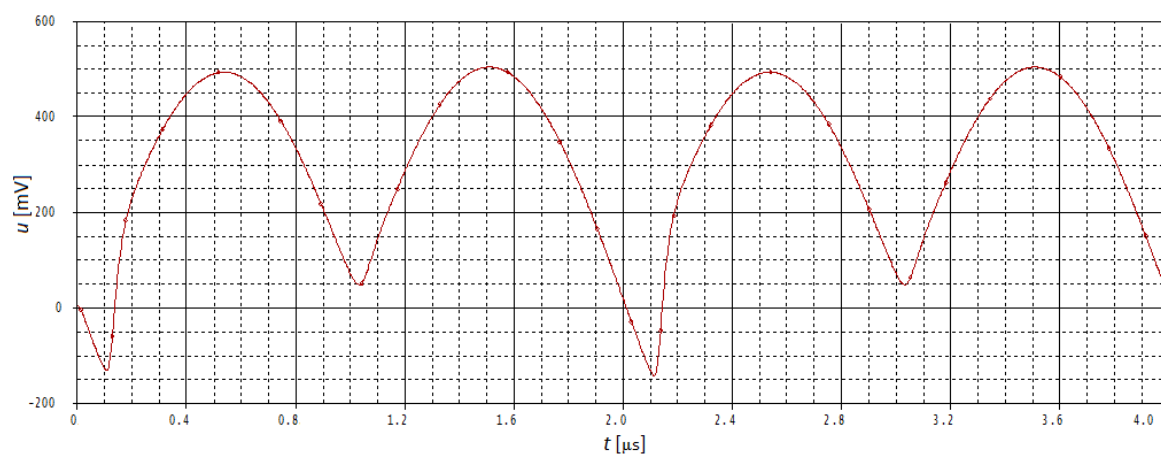
K odstranění tohoto problému je možné použít proudový konvektor. Díky vysoké výstupní impedanci CC lze překonat spínací odpor diody tak, že obvod je schopný pracovat i při vyšších frekvencích než je 100 kHz. Díky napětovému a proudovému řízení je možné rozšířit šířku pásma. Obvody, které používají CC tak mají nižší zkreslení a větší šířku pásma na rozdíl od obvodů, které používají operační zesilovače. Kvůli odporu R_x na invertovaném vstupu každého proudového konvektoru je však u obvodu s CC dosaženo nižší přesnosti [9].

Hodnoty odporů v obvodu na obr. 3.1, jsou $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R$ a $R_4 = R/2$. Každou větví obvodu prochází signál. Na součtovém zesilovači se pak tyto dva signály sečtou a dostaneme signál dvoucestně usměrněný. Na výstupní signál se již velkou měrou projevuje ZZDD.



Obr. 3.1: Univerzální přesný dvoucestný usměřňovač se dvěma OZ

Simulace



Obr. 3.2: Časový průběh výstupního napětí univerzálního přesného dvoucestného usměřňovače z obr. 3.1 (frekvence 500 kHz, amplituda 0,5 V)

3.1.2. USMĚRŇOVAČ S OPERAČNÍM KONVEJOREM A OZ

Na obr. 3.3 je upravený obvod, který zahrnuje dva operační zesilovače a jeden proudový konvektor. Součtový zesilovač je používán i zde, ale část obvodu, která pracovala, jako jednocestný usměrňovač je vyměněna za jiný, s větší přesností a šířkou pásma. Tento jednocestný usměrňovač pracuje ve spojení OZ a CC a je označen jako operační konvektor. Vztah pro přenosovou funkci tohoto usměrňovače je dán takto:

$$A = \frac{k}{1 + \tau s}, \quad (3.1)$$

kde k je nízkofrekvenční zisk, a τ je časová konstanta OZ, definující jeho mezní frekvenci. Potom je přenosová funkce I_z/U_{VST} dána jako [1]:

$$\frac{I_z}{U_{VST}} = - \frac{1+k}{R_x + (1+k)R_1} \cdot \frac{1 + \frac{s\tau}{1+k}}{1 + \frac{s\tau}{1+k\beta}}, \quad (3.2)$$

kde:

$$\beta = \frac{R_1}{R_x + R_1}. \quad (3.3)$$

Zde, je I_z výstupní proud na uzlu Z operačního konvektoru a R_x je ekvivalentní odpor na invertujícím vstupu proudového konvektoru. Když $k \gg 1$, dostaneme z rovnice (3.2) následující vztah [1]:

$$\frac{I_z}{U_{VST}} = - \frac{1}{R_1} \cdot \frac{1 + \frac{s\tau}{1+k}}{1 + \frac{s\tau}{1+k\beta}}. \quad (3.4)$$

Z toho je vidět, že odstraněním R_x z funkce (3.4) dostaneme velký zisk OZ, a tím získáme zlepšení přesnosti obvodu, protože R_x je nízko-toleranční komponent. Šířka pásma je dána:

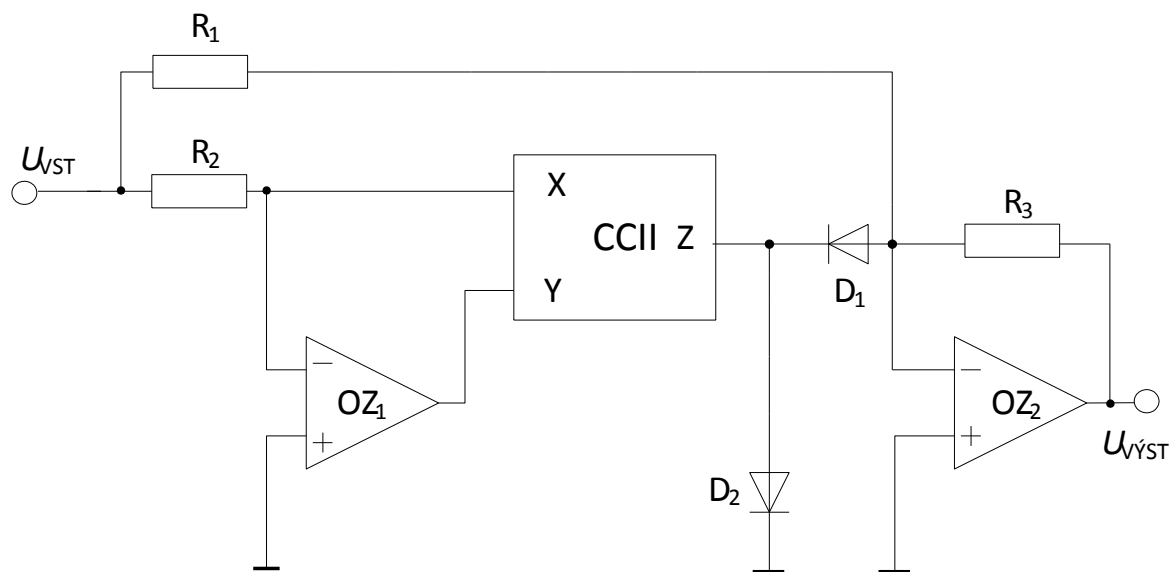
$$f_p = f_0(1 + k\beta), \quad (3.5)$$

Kde f_0 je šířka pásma otevřené smyčky operačního zesilovače a platí pro ni:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\tau}. \quad (3.6)$$

Proto pro $f \leq f_p$ je výstupní proud operačního konvektoru dán:

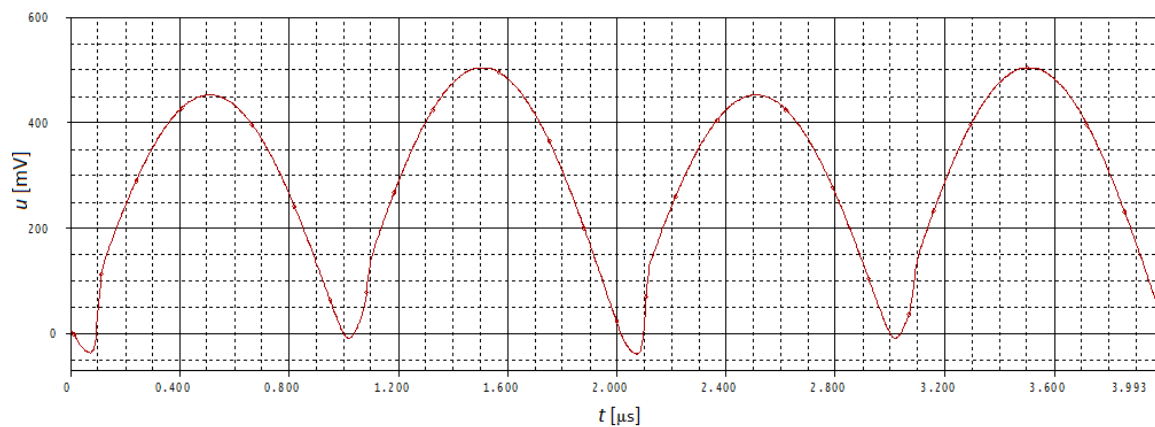
$$I_z = - \frac{U_{VST}}{R}. \quad (3.7)$$



Obr. 3.3: Univerzální přesný dvoucestný usměrňovač s operačním konvejem

Hodnoty odporů na obr. 3.3 jsou $R_1 = R_3 = R$ a $R_2 = R/2$.

Simulace



Obr. 3.4: Časový průběh výstupního napětí univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače z obr. 3.3 (frekvence 500 kHz, amplituda 0,5 V)

Vysoká výstupní impedance operačního konveje výstupního terminálu pomáhá překonat odpor sepnutí diody, tím zvyšuje linearitu a provozní frekvenci obvodu. Jako výsledek, přesný jednocestně usměrněný proud protéká přes D_1 při pozitivní polovině cyklu vstupního signálu u_{VST} . Tento signál je sečten v OZ_2 se vstupním signálem majícím relativní váhu stanovenou $R_1 = R/2$ a $R_2 = R_3 = R$. Výsledným výstupem z OZ_2 je dvoucestně usměrněný signál, který je dán [9] :

$$U_{VYST} = |I_Z| R = |U_{VST}|. \quad (3.8)$$

3.1.3. USMĚRŇOVAČ S JEDNÍM PROUDOVÝM KONVEJEM A JEDNÍM OZ

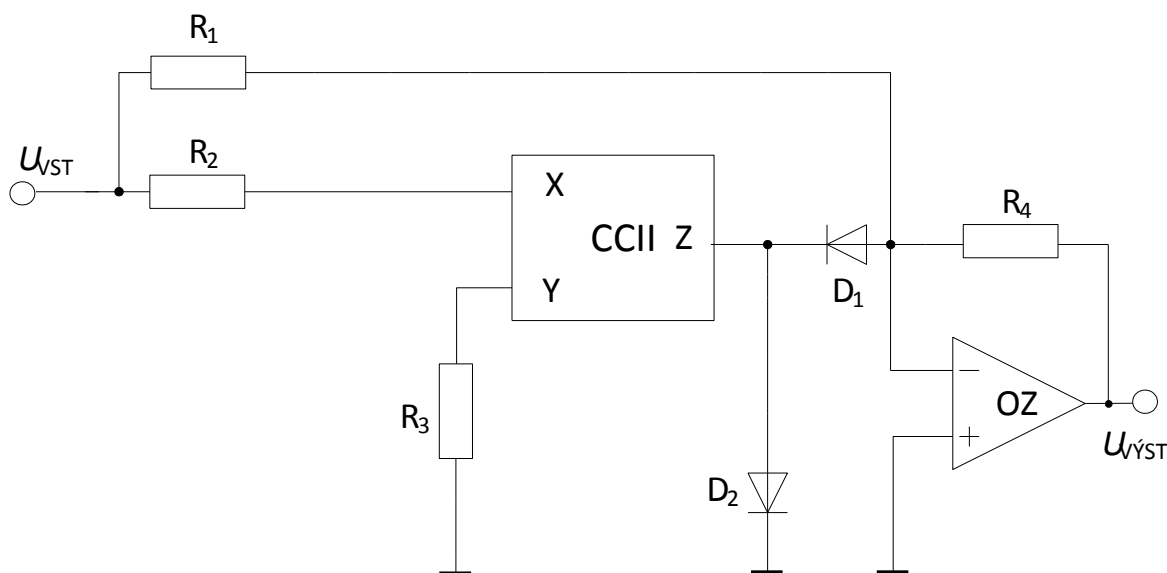
Na obrázku 3.5 je vidět další možná úprava pro univerzální přesný usměrňovač, a to odstranění OZ_1 . Jako jednocestný usměrňovač nám nyní funguje sám proudový konveje. Vztah pro tuto přenosovou funkci je následující:

$$|U_{VYST}| = |U_{VST}|. \quad (3.9)$$

Předpokládáme-li, že:

$$R_x + R_1 = R_2/2. \quad (3.10)$$

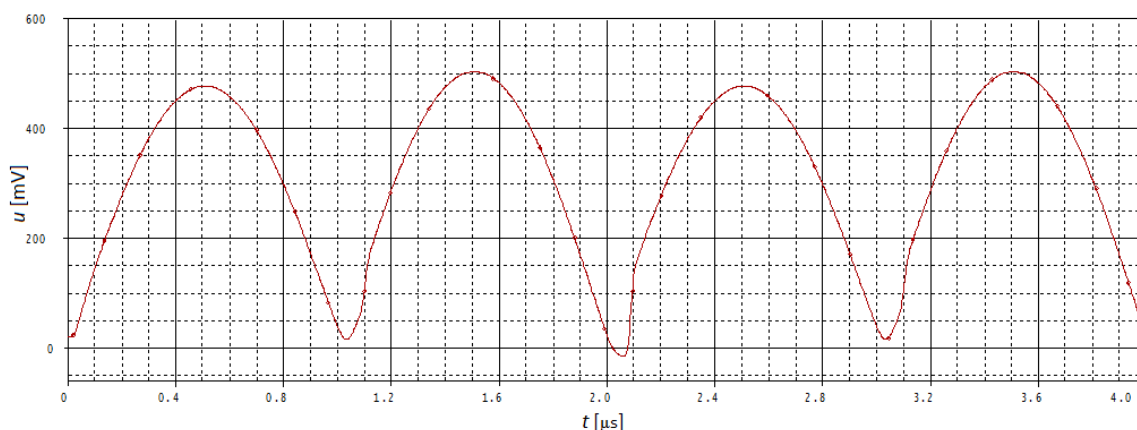
Obvod, který nezahrnuje operační konveje je však méně přesný, z důvodu přítomnosti R_x , které je uvedené v podmínce (3.10).



Obr. 3.5: Univerzální přesný dvoucestný usměrňovač s využitím proudového konveje

Hodnoty odporů na obr. 3.5 jsou $R_1 = R_3 = R_4 = R$ a $R_2 = R/2$.

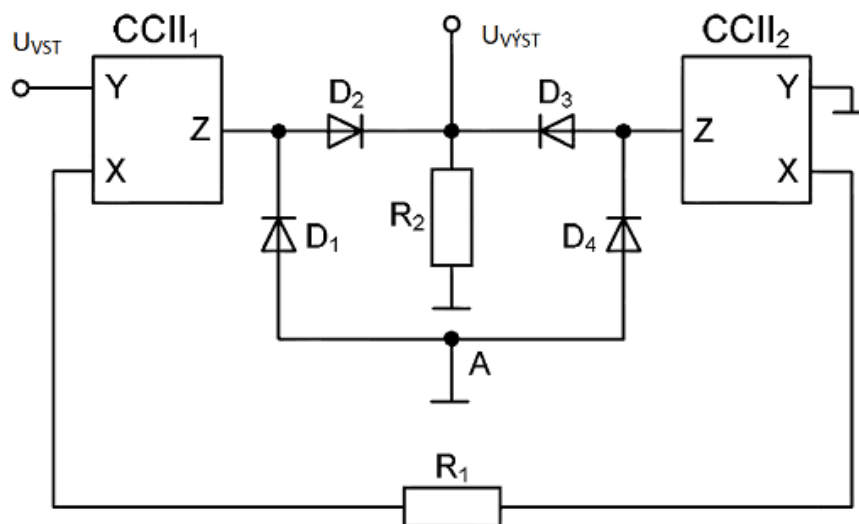
Simulace



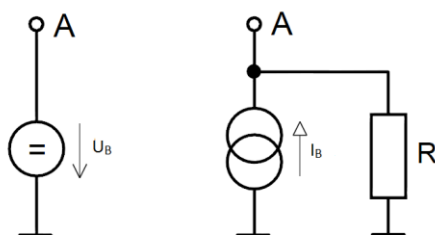
Obr. 3.6: Časový průběh výstupního napětí univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače z obr. 3.5 (frekvence 500 kHz, amplituda 0,5 V)

3.2. VYSOKOFREKVENČNÍ PŘESNÝ DVOUCESTNÝ USMĚŘŇOVAČ SE DVĚMA PROUDOVÝMI KONVEJORY

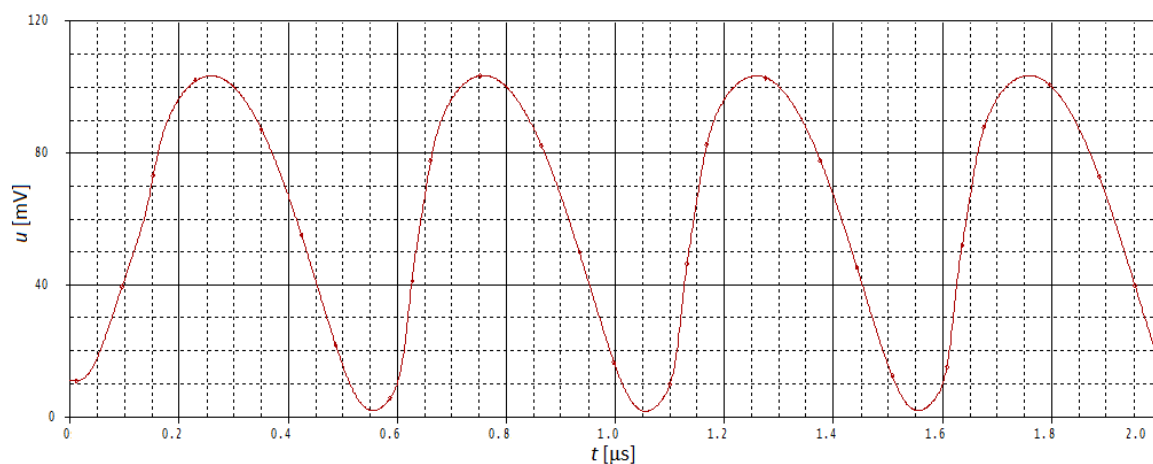
Přesný dvoucestný usměrňovač můžeme snadno nastavit pomocí dvou proudových konveorů ve formě diferenciálního převodníku U-I, tento obvod je blížeji popsán v [5], Tento usměrňovač lze vidět na obr. 3.7 a může být vylepšen pomocí předpětí (kapitola 2), tyto možnosti jsou vidět na obr. 3.8. Zajímavé je, že v tomto obvodu proudový konveor dokáže pracovat až do 100 MHz. Průběh výstupního napětí tohoto usměrňovače při frekvenci 1 MHz jsou vidět na obrázku 3.9.



Obr. 3.7: Schéma proudového usměrňovače se dvěma CCII



Obr. 3.8: Varianty předpětí

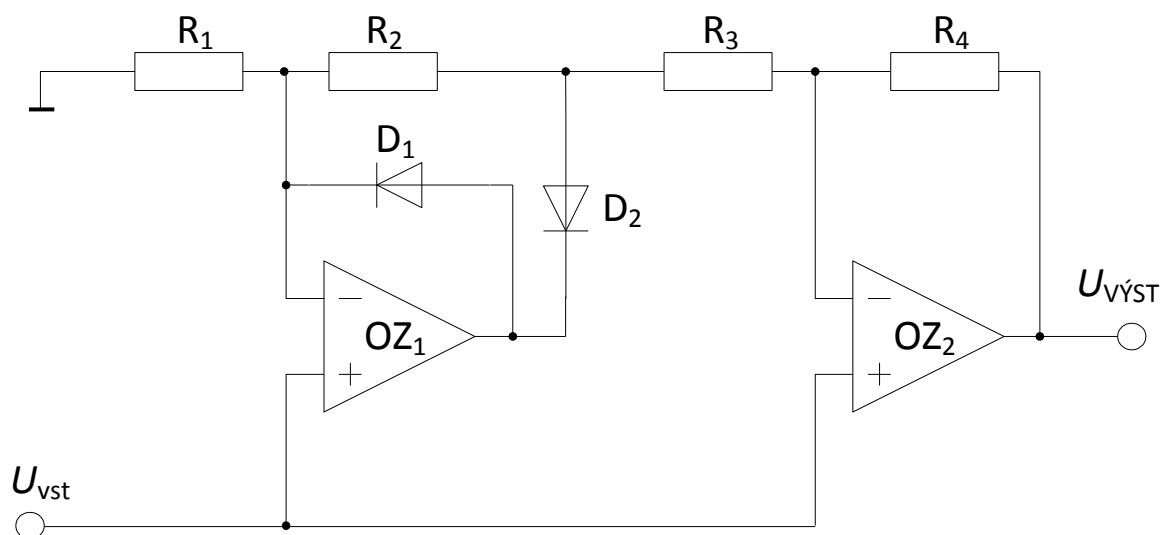


Obr. 3.9: Časový průběh výstupního napětí přesného vysokofrekvenčního usměrňovače z obr. 3.7 (frekvence 1 MHz, amplituda 0.1 V)

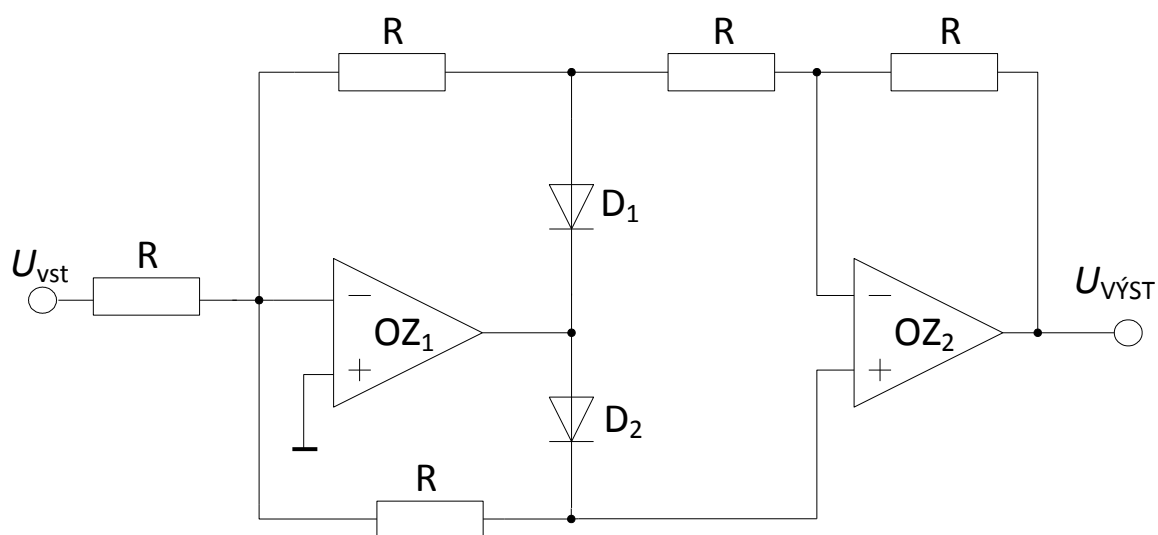
3.3. UPRAVENÉ OBVODY UNIVERZÁLNÍCH PŘESNÝCH DVOUCESTNÝCH USMĚRŇOVAČŮ

Dvoucestný usměrňovač ukázaný na obrázku 3.10 je náhradní obvod univerzálního přesného usměrňovače se dvěma OZ z obr. 3.1. Hlavní výhodou je velká vstupní impedance. Vstupní signál je přiveden na neinvertované vstupy obou zesilovačů. U tohoto obvodu dochází však stejně jako u obvodu z obr. 3.1 při vyšších frekvencích ke zkreslení průběhu výstupního napětí. Tento obvod se dá dále upravit pomocí proudového a operačního konvejeoru.

Na obr. 3.11 je vidět další možná úprava dvoucestného usměrňovače se dvěma OZ. Na tomto obvodu je hlavní to, že je na všech rezistorech stejná hodnota odporů. Stejně jako předchozí obvod, lze i tento upravit pomocí proudového a operačního konvejeoru.



Obr. 3.10: Vysoko-impedanční realizace obvodu z obr. 3.1



Obr. 3.11: Upravená realizace obvodu z obr. 3.1, založená na stejných odporech na všech rezistorech

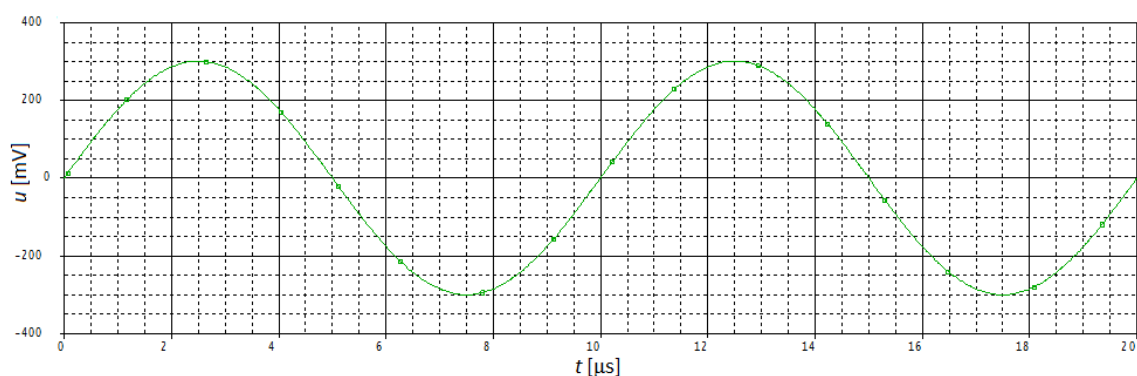
3.4. NOVÉ OBVODOVÉ ŘEŠENÍ UNIVERZÁLNÍHO PŘESNÉHO DVOUCESTNÉHO USMĚRŇOVAČE S NAPĚŤOVÝM A PROUDOVÝM ŘÍZENÍM DIOD

Součástí práce byla úprava obvodu na obrázku 3.15 tak, aby byl co nejuniverzálnější a aby jeho výstupní offset byl co nejlepší, to znamená změnit hodnoty prvků tak, aby průběh výstupního napětí vypadal co nejlépe při různých vysokých frekvencích a pak i při různých hodnotách amplitud. Obvod byl testován jak s napěťovým řízením diod, tak s proudovým řízením.

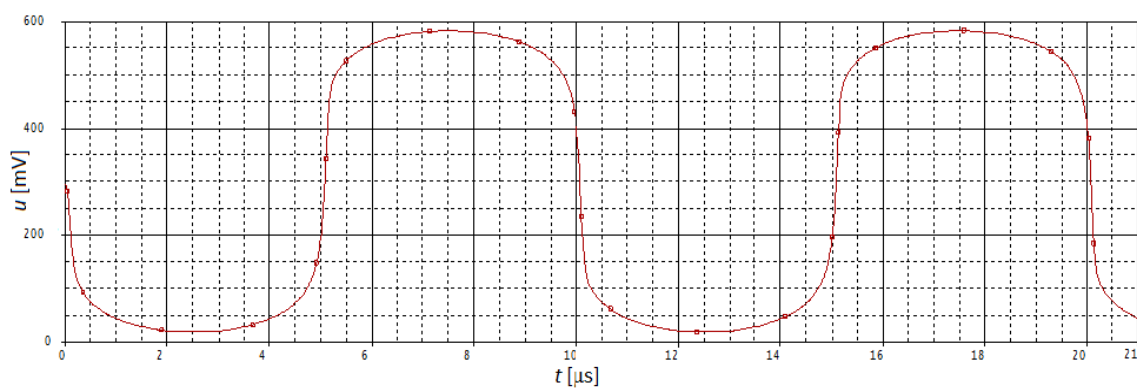
3.4.1. POPIS OBVODU S NAPĚŤOVÝM ŘÍZENÍM DIOD

V obvodu z obr. 3.15 jsou použity tyto prvky: jeden UCC, tři OZ, šest diod, jeden kondenzátor, osm rezistorů, a tři stejnosměrné zdroje napětí, které slouží jako předpětí pro diody. Hodnoty odporů u jednotlivých rezistorů jsou $R_1 = 510 \Omega$, $R_2 = R_3 = R_6 = R_7 = R_8 = 1,1 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 4,5 \text{ k}\Omega$. Kapacita kondenzátoru je $C = 5 \text{ pF}$. Napětí na stejnosměrných zdrojích jsou $U_{B1} = U_{B2} = U_{B3} = 0,6 \text{ V}$.

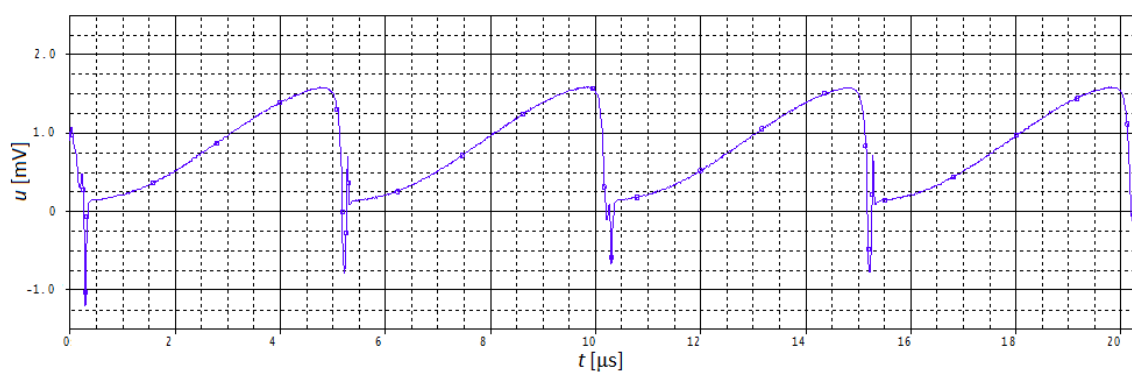
První část obvodu je klasický univerzální přesný dvoucestný usměrňovač vycházející ze zapojení na obr. 3.5, jenž je složený z jednoho proudového konvejeoru a jednoho operačního zesilovače. Druhá část, složená z OZ₃, tří rezistorů a jednoho kondenzátoru nám představuje fázovací článek, který slouží ke kompenzaci různého zpoždění jednotlivých větví a k dosažení odpovídajícího shrnutí signálů z těchto větví. Třetí částí je sumační zesilovač se dvěma rezistory. Dále jsou v obvodu přítomny diody D₃₋₆, kde proud, který teče přes tyto diody, vede k signálu, který je složen pouze z překmitů způsobených závěrnou zotavovací dobou diod. Tento signál je sečten v součtovém zesilovači vytvořeném kolem OZ₂ s dvoucestně usměrněným signálem z výstupu OZ₁. Vzhledem k tomu, že tento signál má opačnou polaritu než signál na výstupu OZ₁ složený z překmitů způsobených závěrnou zotavovací dobou diod se předpokládá, že se vzájemně ruší. Nicméně, signál na výstupu OZ₁ obsahuje pouze jeden překmit na periodu signálu, ale signál proudící D4 a D6 obsahuje dva pro oba případy, kdy proud diody změnil polaritu. Tento druhý překmit se přidá k dvoucestně usměrněnému signálu a vytváří tak malé zkreslení výstupního signálu. Průběhy signálů, které prochází jednotlivými větvemi lze vidět na obrázcích 3.12, 3.13 a 3.14. U obvodu byla ještě část pro nulování výstupního offsetu, ta se nám však ukázala být zatím zbytečná (v případě praktické realizace to může být jinak), protože jak bylo zjištěno, pokud změníme odpor R_2 z $1,1 \text{ k}\Omega$ na 965Ω , odpor R_5 z $4,5 \text{ k}\Omega$ na $5 \text{ k}\Omega$ a odpor R_6 z $1,1 \text{ k}\Omega$ na $9,6 \text{ k}\Omega$, obvod se chová dostatečně univerzálně, jedna z věcí, která nám to ukazuje je, že jeho výstupní offset je minimální a to jak pro jiné kmitočty, tak i pro různé nižší i vyšší amplitudy.



Obr. 3.12: Průběh vstupního sinusového signálu tekoucího přes R_2
(vstupní frekvence 100 kHz, amplituda 600 mV_{pp})

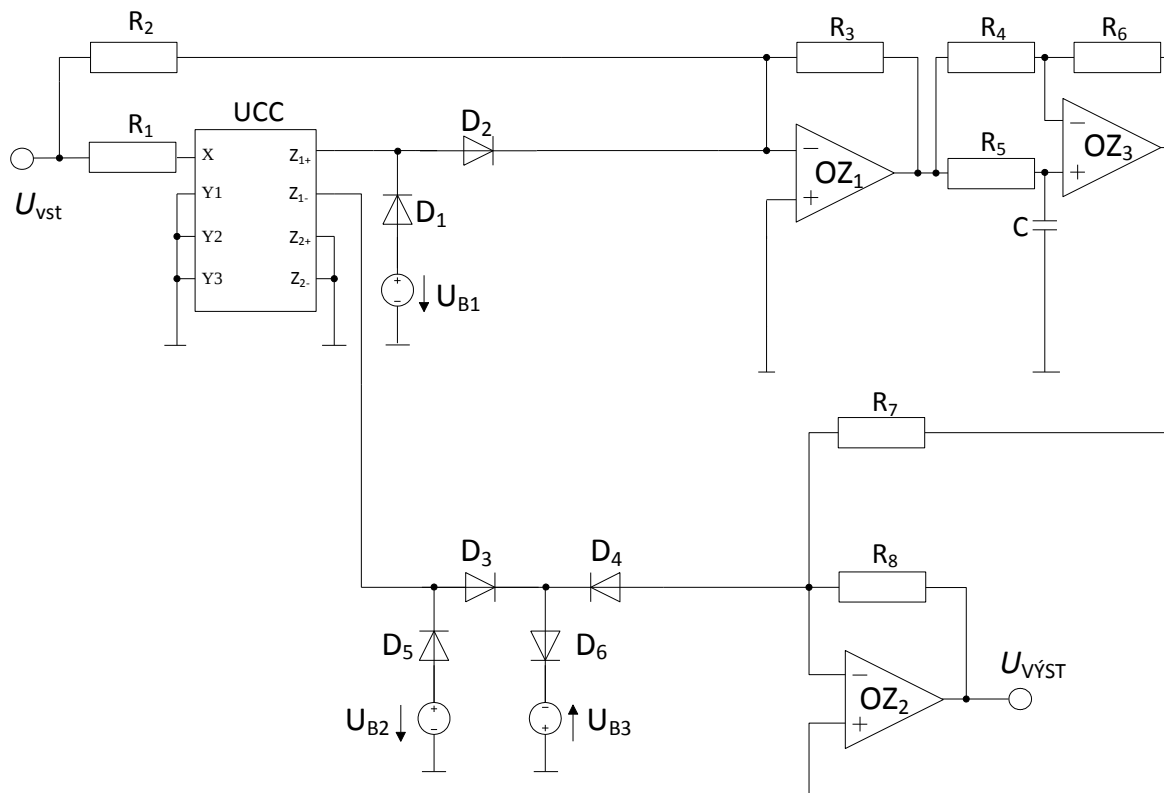


Obr. 3.13: Průběh jednocestně usměrněného signálu tekoucího přes D_1 a D_2 , jenž má dvojnásobnou amplitudu (vstupní frekvence 100 kHz, amplituda 600 mV_{pp})



Obr. 3.14: Průběh signálu tekoucího přes diody D_{3-6} , složeného pouze z překmitů (vstupní frekvence 100 kHz, amplituda 600 mV_{pp})

V simulacích můžeme vidět, kromě jiného, průběhy výstupního napětí základního přesného dvoucestného usměrňovače vycházejícího ze zapojení na obr. 3.5, v porovnání s novým obvodovým řešením univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače z obr. 3.15, který můžeme vidět v tomto obvodu.

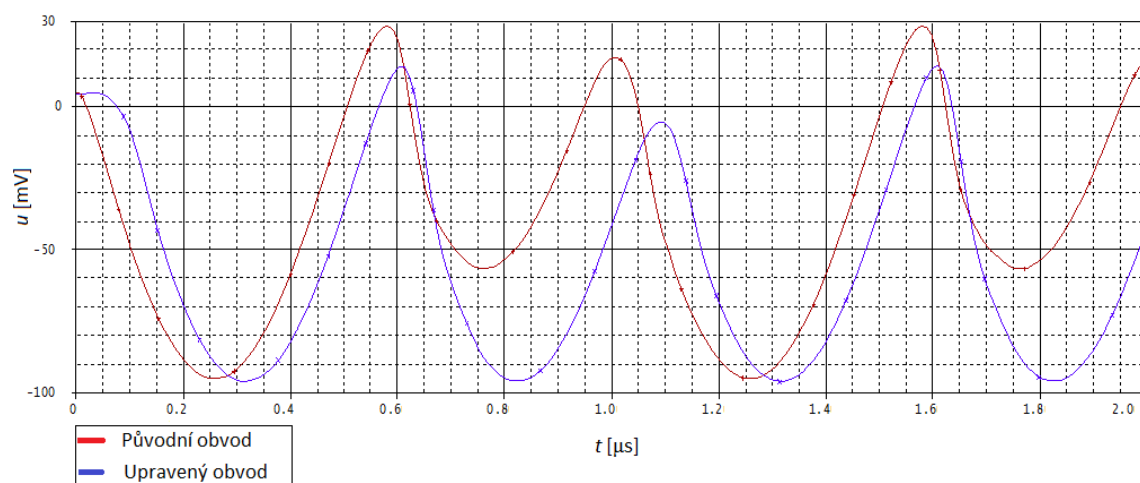


Obr. 3.15: Upravovaný obvod s přesným usměrňovačem a napětovým řízením diod

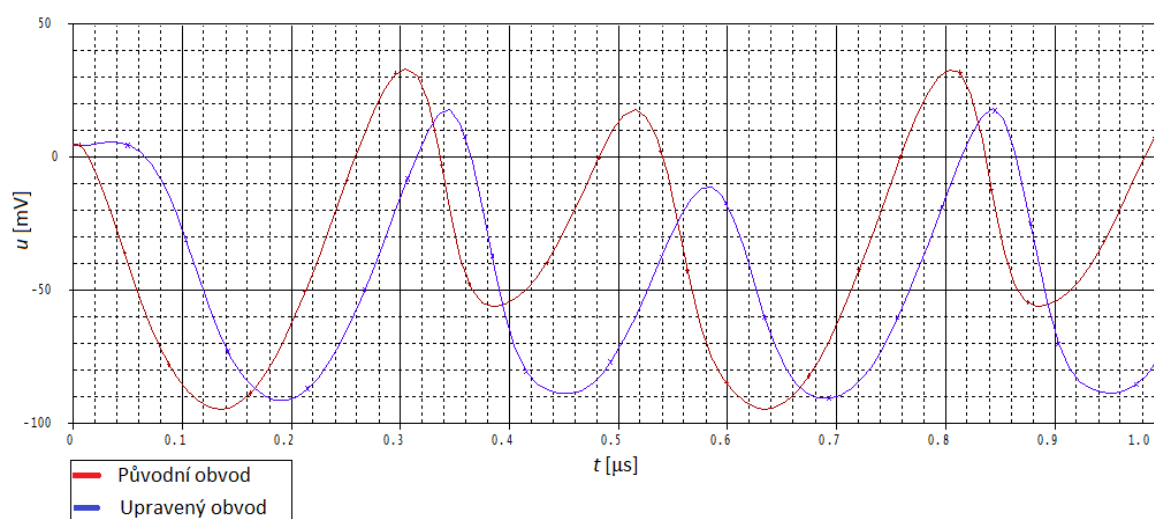
Simulace – Porovnání původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače s novým obvodovým řešením (s napětovým řízením diod)

V simulacích byl jako původní univerzální přesný dvoucestný usměrňovač použit univerzální přesný usměrňovač z obr. 3.5 s těmito hodnotami prvků: $R_1 = 480 \, \Omega$, $R_2 = 1 \, \text{k}\Omega$ a $R_3 = 1,1 \, \text{k}\Omega$, $U_{B1} = 0,6 \text{ V}$.

Na následujících grafech je vidět porovnání průběhů výstupního napětí původního obvodu z obr. 3.5 s obvodem z obr. 3.15. V prvním grafu je použita frekvence 1 MHz a ve druhém 2 Mhz, amplituda je stejná, tzn. 0,1 V. Z těchto dvou obrázků lze vidět, že upravený obvod má výstupní signál méně zkreslený vlivem ZZDD.



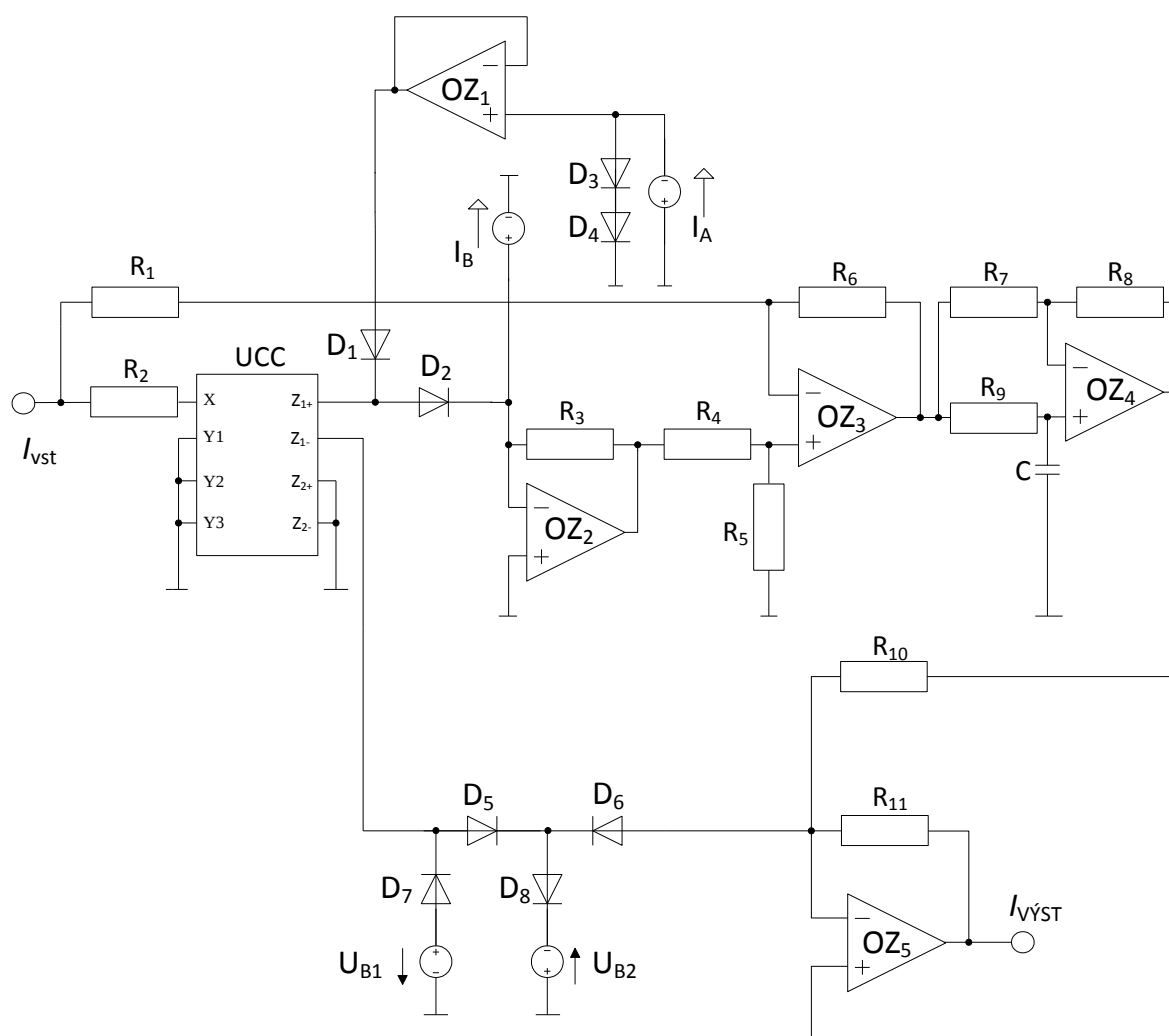
Obr. 3.16: Časový průběh výstupního napětí původního obvodu z obr. 3.5 a upraveného obvodu z obr. 3.15 (frekvence 1 MHz, amplituda 0,1 V)



Obr. 3.17: Časový průběh výstupního napětí původního obvodu z obr. 3.5 a upraveného obvodu z obr. 3.15 (frekvence 2 MHz, amplituda 0,1 V)

3.4.2. POPIS OBVODU S PROUDOVÝM ŘÍZENÍM DIOD

V obvodu z obr. 3.18 jsou použity tyto prvky: jeden UCC, pět OZ, osm diod, jeden kondenzátor, jedenáct rezistorů, dva stejnosměrné zdroje proudu, které slouží k řízení diod. Hodnoty odporů u jednotlivých rezistorů jsou $R_1 = 1065 \Omega$, $R_2 = 600 \Omega$, $R_3 = R_4 = R_5 = R_{10} = 1,1 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 1010 \Omega$, $R_7 = R_8 = 15 \text{ k}\Omega$, $R_9 = 6 \text{ k}\Omega$, $R_{11} = 1,5 \text{ k}\Omega$. Kapacita kondenzátoru je $C = 5 \text{ pF}$. Napětí na stejnosměrných zdrojích jsou $U_{B1} = U_{B2} = 0,6 \text{ V}$ a proudy na stejnosměrných zdrojích jsou $I_A = I_B = 40 \mu\text{A}$.

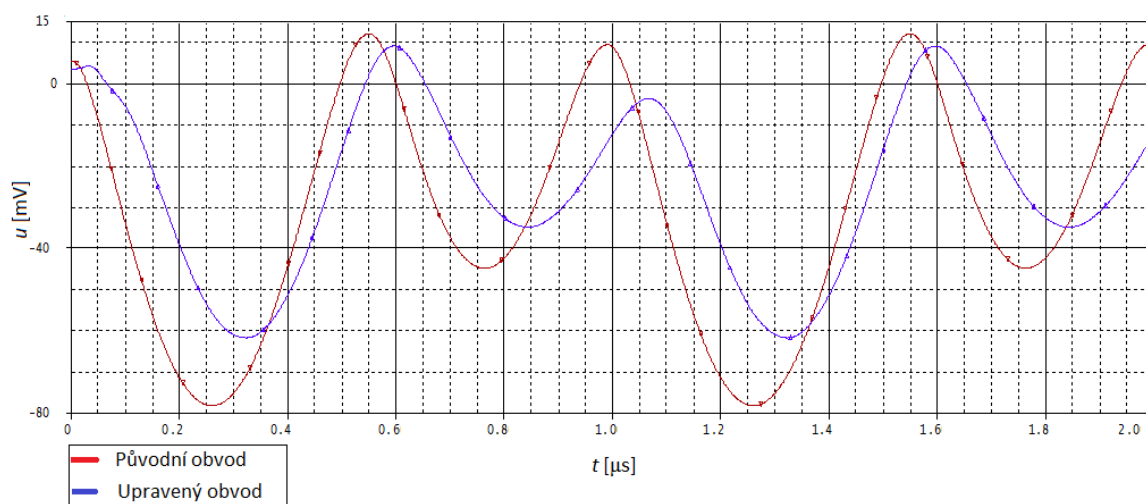


Obr. 3.18: Upravovaný obvod s přesným usměrňovačem a proudovým řízením diod

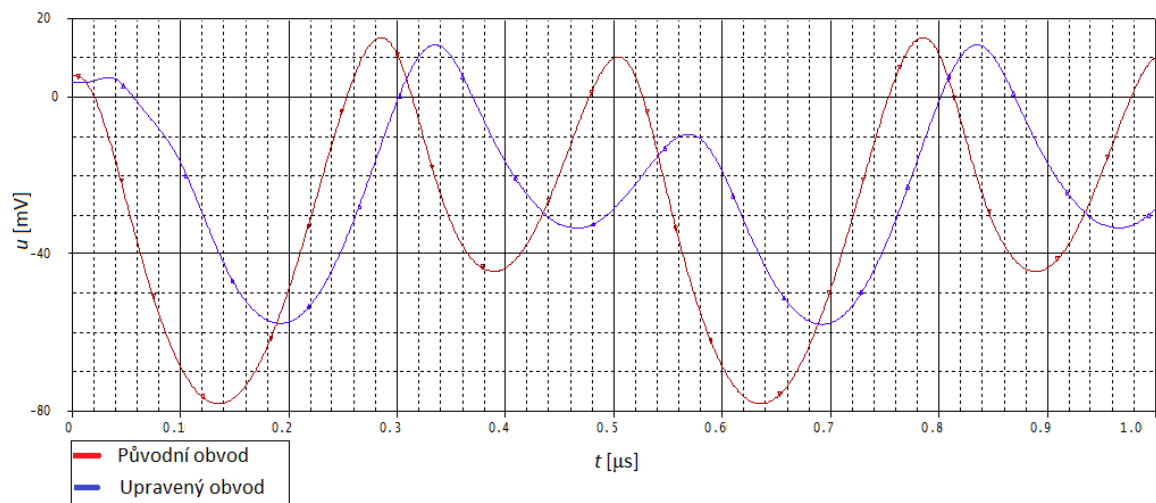
Simulace – Porovnání původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače s novým obvodovým řešením (s proudovým řízením diod)

V simulacích byl jako původní univerzální přesný dvoucestný usměrňovač použit univerzální přesný usměrňovač z obr. 3.5 s těmito hodnotami prvků: $R_2 = 480 \, \Omega$, $R_1 = R_3 = 1,1 \, \text{k}\Omega$, $I_A = I_B = 40 \, \mu\text{A}$. Tento obvod je ale upraven tak, že používá proudové řízení diod.

Na následujících grafech je vidět porovnání průběhů výstupního napětí původního obvodu z obr. 3.5 s obvodem z obr. 3.18. V prvním grafu je použita frekvence 1 MHz a ve druhém 2 MHz, při amplitudě vstupního signálu 0,1 V. Zatím, co se upravený obvod s napěťovým řízením chová poměrně dobře, obvod s proudovým řízením diod vykazuje horší výsledky.



Obr. 3.19: Časový průběh výstupního napětí původního obvodu z obr. 3.5 a upraveného obvodu z obr. 3.18 (frekvence 1 MHz, amplituda 0,1V)



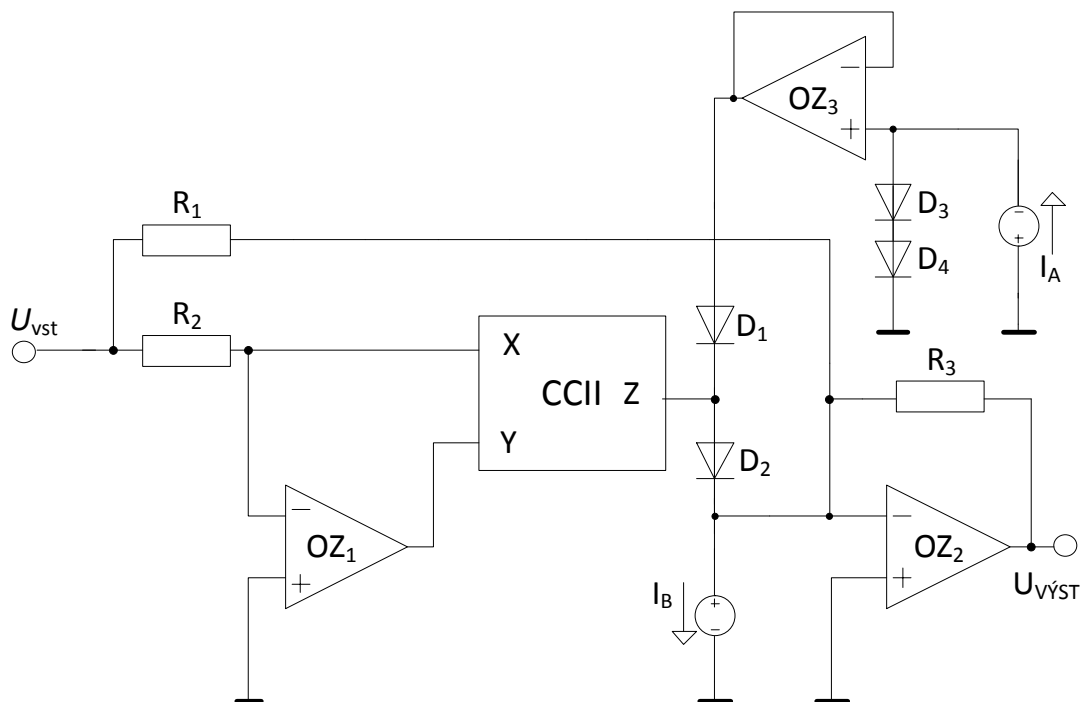
Obr. 3.20: Časový průběh výstupního napětí původního obvodu z obr. 3.5 a upraveného obvodu z obr. 3.18 (frekvence 2 MHz, amplituda 0,1V)

4. NÁVRH OBVODU UNIVERZÁLNÍHO PŘESNÉHO USMĚŘŇOVAČE

Další částí práce bylo upravit již existující univerzální přesný dvoucestný usměrňovač, aby bylo pokud možno dosaženo lepších výsledků. K úpravě byl vybrán univerzální přesný dvoucestný usměrňovač z obr. 3.3. Úpravy zapojení jsou vidět na obr. 4.1.

4.1. POPIS OBVODU UPRAVENÉHO UNIVERZÁLNÍHO PŘESNÉHO USMĚŘŇOVAČE S PROUDOVÝM ŘÍZENÍM DIOD

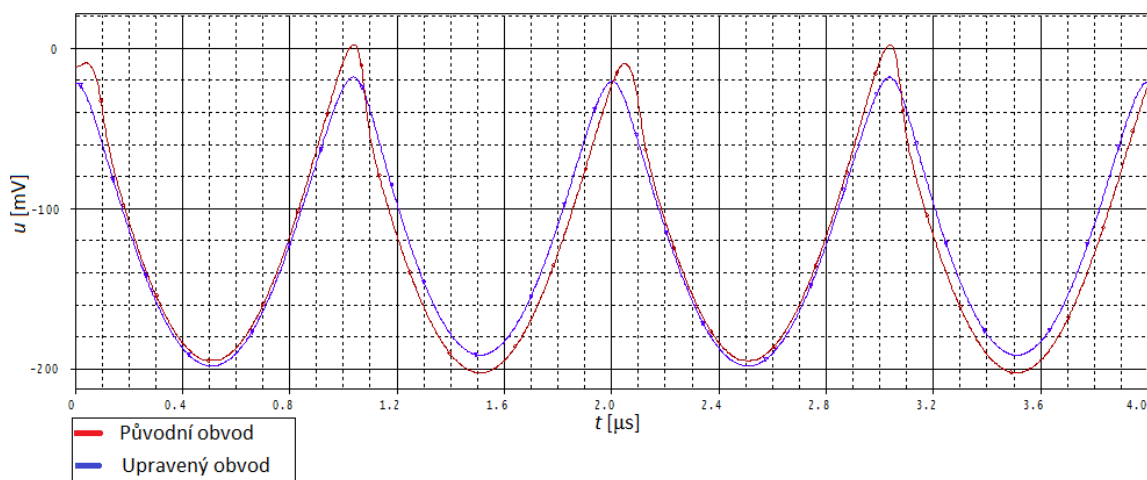
V obvodu z obr. 4.1 jsou použity tyto prvky: jeden CCII, tři OZ, čtyři diody, tři rezistory a dva stejnosměrné zdroje proudu, které slouží k řízení diod. Hodnoty odporů u jednotlivých rezistorů jsou $R_1 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 470 \text{ }\Omega$. Proudů na stejnosměrných zdrojích jsou $I_A = I_B = 40 \text{ }\mu\text{A}$.



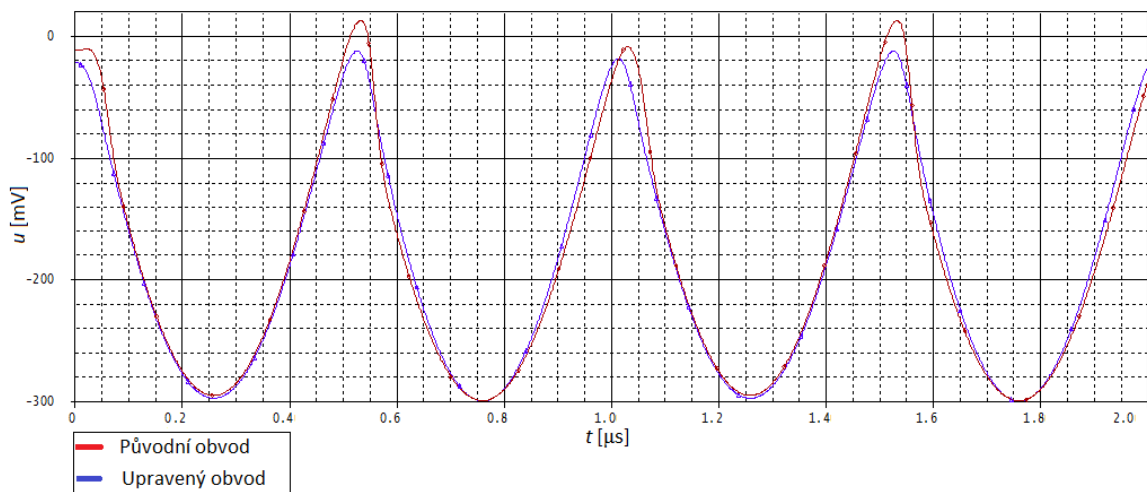
Obr. 4.1: První upravený obvod univerzálního přesného usměrňovače s proudovým řízením diod

Simulace – porovnání upraveného univerzálního přesného usměrňovače s původním univerzálním přesným usměrňovačem

Na následujících grafech je vidět porovnání výstupního napětí upraveného přesného usměrňovače z obr. 3.3 s univerzálním přesným usměrňovačem z obr. 4.1. Použité amplitudy jsou 0,2 V pro frekvenci 500 kHz a 0,3 V pro frekvenci 1 MHz. Jak lze z grafů vidět, průběh výstupního napětí upraveného obvodu vypadá lépe jak při nízkých a vysokých frekvencích, tak i pro různé vstupní amplitudy. Zejména překmit způsobený závěrnou zotavovací dobou diod je o několik mV menší.

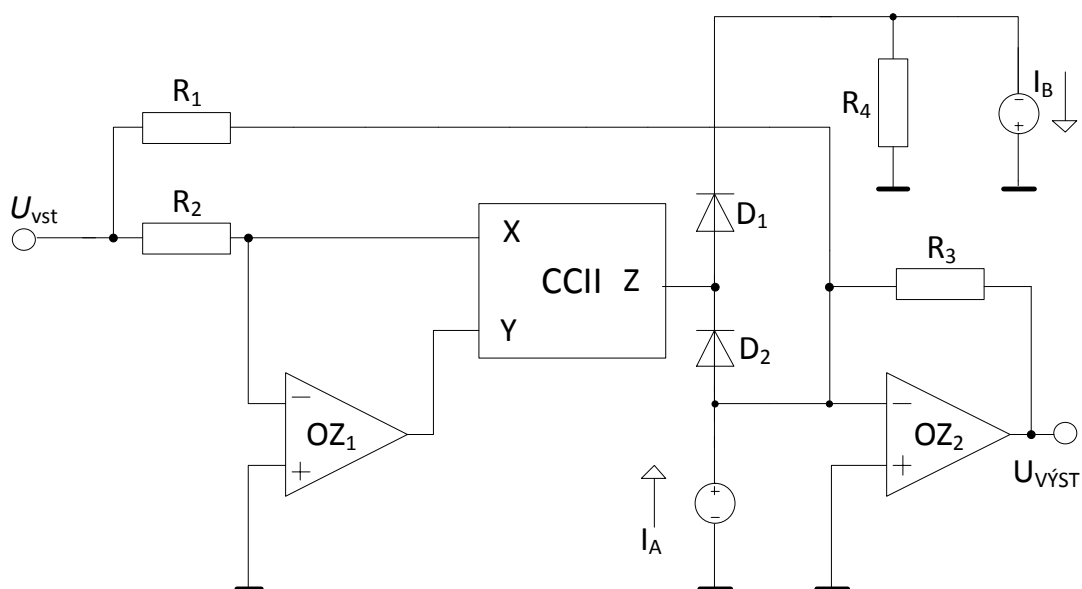


Obr. 4.2: Časový průběh výstupního napětí původního obvodu z obr. 3.3 a upraveného obvodu z obr. 4.1 (frekvence 500 kHz, amplituda 0,2V)



Obr. 4.3: Časový průběh výstupního napětí původního obvodu z obr. 3.3 a upraveného obvodu z obr. 4.1 (frekvence 1 MHz, amplituda 0,3 V)

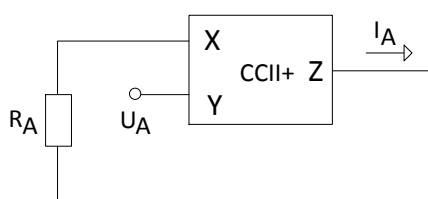
Z obvodu na obr. 4.1 se však po realizaci nepodařilo dostat nic použitelného, a tak bylo nutné udělat některé změny na desce. První změnou bylo odstranění operačního zesilovače OZ_3 a diod D_3, D_4 . Dále byly otočeny diody D_1, D_2 a přidán odpor R_4 . Nakonec byly prohozeny proudové zdroje pro řízení diod. Ten zdroj, který dříve do obvodu proud pouštěl, ho nyní odsával a naopak. Konečnou verzi obvodu lze vidět na obr. 4.4



Obr. 4.4: Druhý upravený obvod univerzálního přesného usměrňovače s proudovým řízením diod

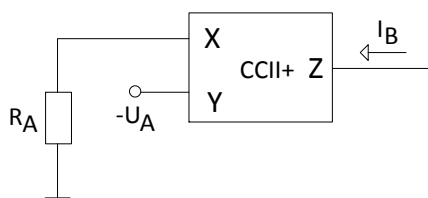
4.1.1. PROUDOVÝ ZDROJ

Jako napájení pro buzení diod proudem bude použit proudový konvektor druhé generace jak lze vidět na obr. 4.5. Proud, kterým jsou diody řízeny, je označen jako I_A . Tento proud vznikne správným nastavením řídicího napětí U_A a rezistoru R_A . Proud I_A je pak kopírován na výstup konvektoru. V obvodu, který byl upraven, je použito proudové řízení o velikosti $40\ \mu\text{A}$, které vznikne poměrem řídicího napětí $U_A = 0,5\ \text{V}$ a odporu $r_A = 12\ \text{k}\Omega$.



Obr. 4.5: Proudový zdroj realizovaný pomocí proudového konvektoru pro řízení diod

V případě, že bude použito řídicí napětí U_A záporné polarity a odpor R_A o stejné velikosti, bude pak tento proud pro řízení diod odsáván, jak je vidět na Obr. 4.6. Díky tomuto odsávání nebude ovlivněn průběh výstupního napětí.



Obr. 4.6: Proudový zdroj realizovaný pomocí proudového konvektoru pro odsávání proudu pro řízení diod

5. MĚŘENÍ A VERIFIKACE VÝSLEDKŮ REALIZOVANÝCH OBVODŮ

Další součástí práce bylo některé původní a nově navržené obvody vybrat a realizovat. K realizaci byl vybrán univerzální přesný dvoucestný usměrňovač s operačním konvejjorem z obr. 3.3. Jako první nově navržený byl vybrán obvod, jehož zapojení můžeme vidět na obr. 4.1, který byl následně upraven na obvod z obr. 4.4.

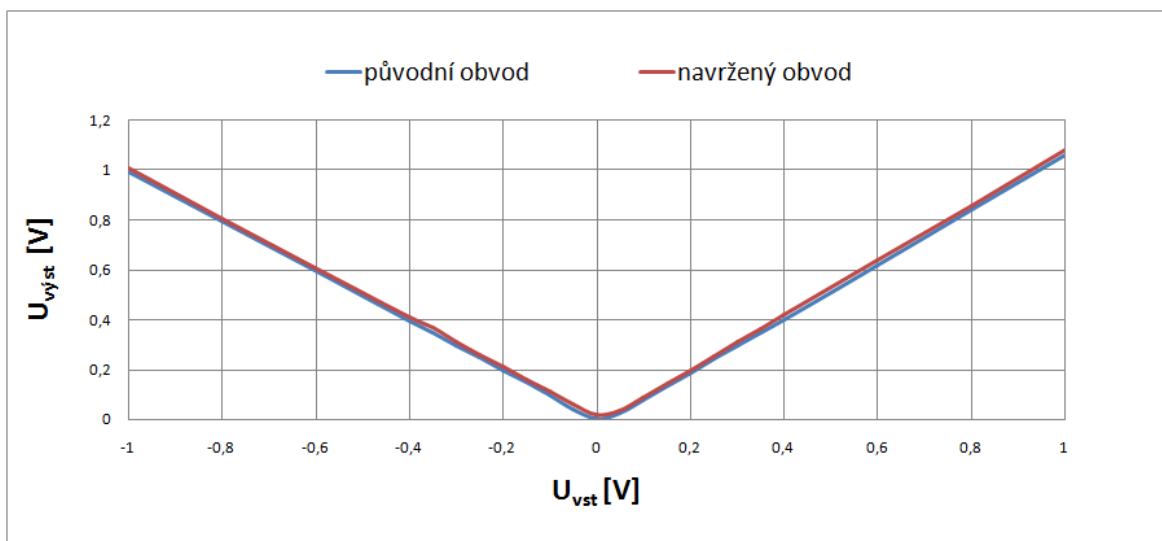
Realizován byl i druhý navržený obvod z obr. 3.15. Z tohoto obvodu se bohužel nepodařilo nic použitelného naměřit.

Nejdříve jsou naměřeny převodní charakteristiky obvodů z obr. 3.3 a 4.4, které lze vidět na obr. 5.1 a detailněji na obr. 5.2. Po převodních charakteristikách následuje porovnání výstupních charakteristik dvoucestně usměrněného signálu, které bylo měřeno pomocí osciloskopu. Nakonec bude provedeno ověření výsledků tohoto měření.

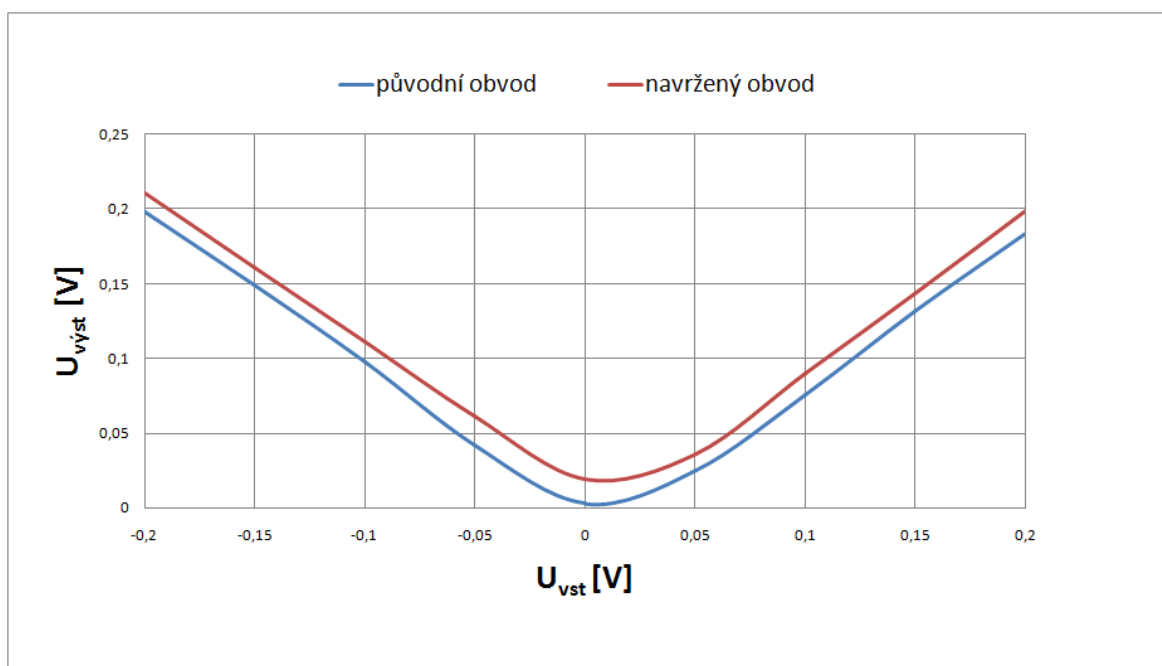
5.1. MĚŘENÍ A SROVNÁNÍ PŘEVODNÍCH CHARAKTERISTIK PŮVODNÍHO A NOVĚ NAVRŽENÉHO OBVODU

Měření bylo prováděno pro vstupní napětí od 3 V do -3 V po 200 mV. V oblasti okolo 0 V, konkrétně od 400 mV do -400 mV bylo měření prováděno po 50 mV. Měřenými obvody byl původní univerzální dvoucestný přesný usměrňovač z obr. 3.3 a navržený univerzální přesný dvoucestný usměrňovač z obr. 4.4, u kterého je použito proudové řízení diod. Toto měření probíhalo pro oba obvody stejně.

Na následujících grafech je zobrazeno srovnání převodních charakteristik dvou výše zmíněných realizovaných obvodů. Na obr. 5.1 lze vidět srovnání převodních charakteristik realizovaných obvodů od 1 V do -1 V. Na obr. 5.2 je pak zobrazen detailní záběr charakteristik v místě kde průběh prochází nulou.



Obr. 5.1: Srovnání převodních charakteristik realizovaných obvodů



Obr. 5.2: Srovnání převodních charakteristik realizovaných obvodů v oblasti nulového přenosu

Jak lze z grafů vidět, převodní charakteristika navrženého obvodu vykazuje horší výsledky (není tak blízko k nule) jako je tomu u původního zapojení, ale díky tomu, že jsou použity dva proudy (jeden do obvodu pouštíme a pomocí druhého proudového zdroje pak opět odebíráme) je možné offset a tím i převodní charakteristiku jednoduše nastavit. V tomto měření se proud I_A rovnal I_B . Hodnota řídicího proudu a proudu pro odsávání byla zvolena přibližně $40\mu A$.

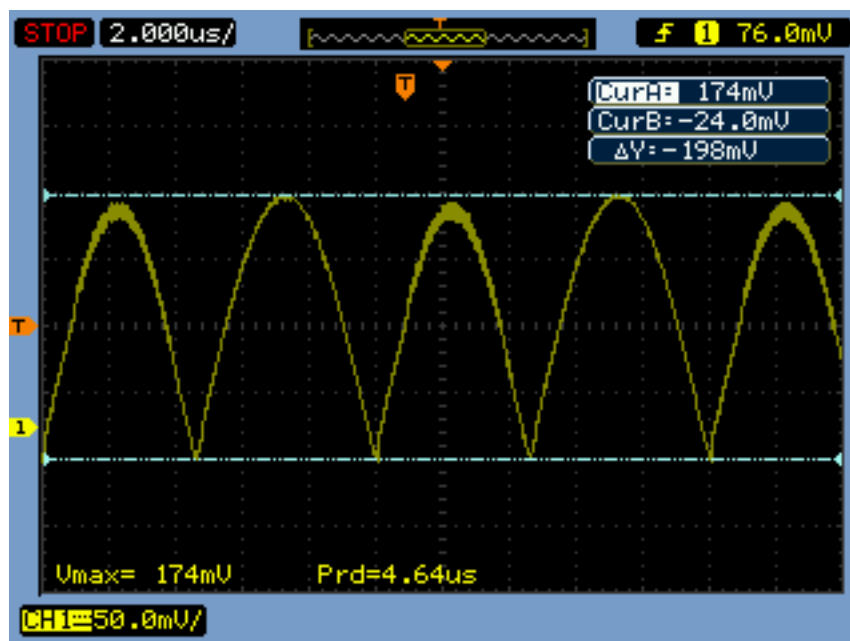
5.2. POROVNÁNÍ PŮVODNÍHO OBVODU UNIVERZÁLNÍHO DVOUCESTNÉHO USMĚRŇOVAČE S NOVĚ NAVRŽENÝM

Tato podkapitola obsahuje srovnání výstupních průběhů dvoucestně usměrněných signálů dvou realizovaných obvodů. Jak bylo již dříve zmíněno, jde o obvody univerzálních dvoucestných přesných usměrňovačů z obr. 3.3 a 4.4.

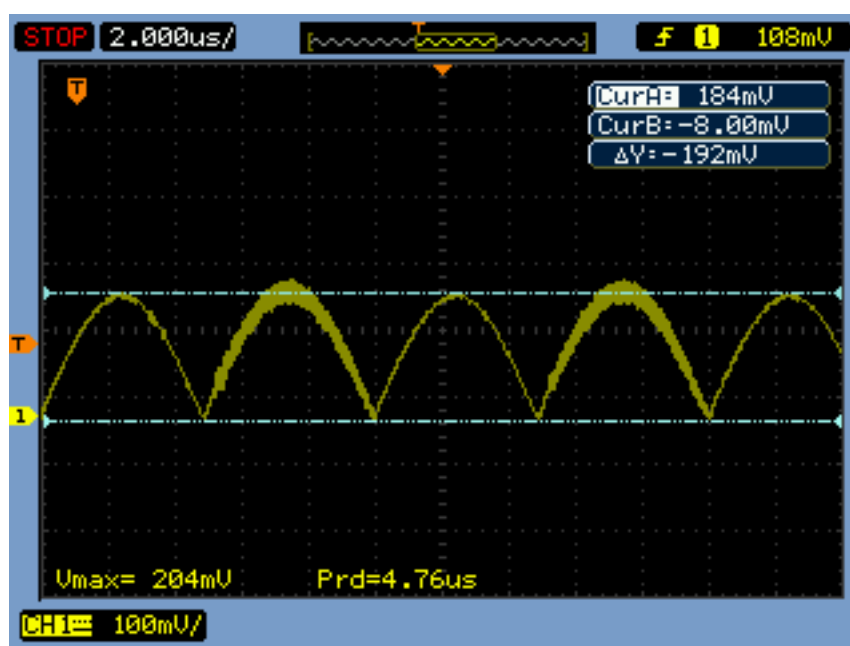
Měření těchto průběhů bylo prováděno pro amplitudy vstupního signálu o hodnotě 400 mV_{pp}, 600 mV_{pp} a 1 V_{pp}. Vstupní frekvence signálu byly nastavovány postupně na 100 kHz, 500 kHz, 1 MHz a 2 Mhz pro každou amplitudu. Měření probíhalo stejně pro oba obvody, celkem tedy bylo z osciloskopu pořízeno 24 obrázků výstupní charakteristiky napětí.

V této práci budou uvedeny jen některé z obrázků, hlavně ty s nižšími vstupními amplitudami a vyššími vstupními frekvencemi, u kterých je lépe vidět rozdíl mezi původním a navrženým obvodem.

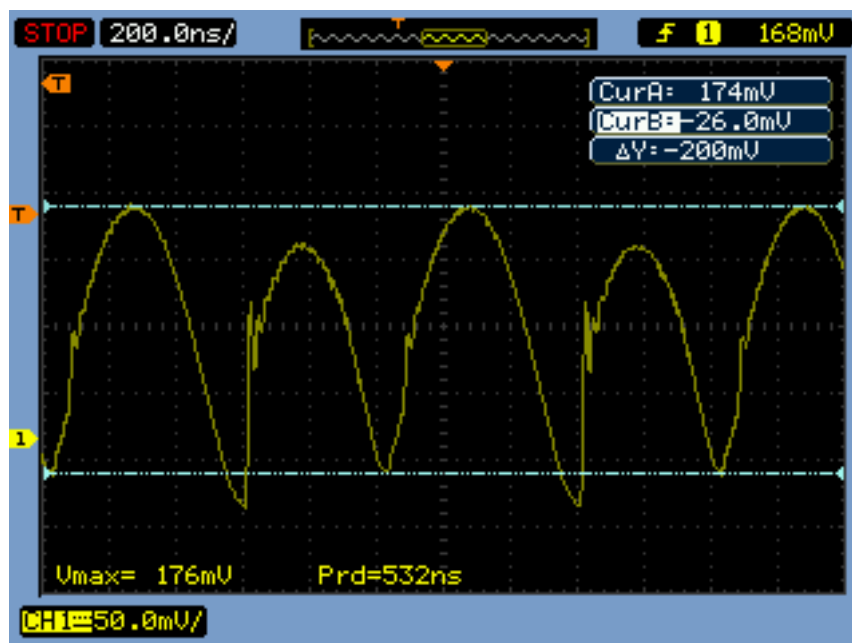
Na následujících stránkách jsou vždy zobrazeny charakteristiky výstupního napětí se stejnými vstupními parametry pro oba obvody. První je vždy charakteristika pro původní obvod a pod ním je zobrazena charakteristika pro obvod navržený.



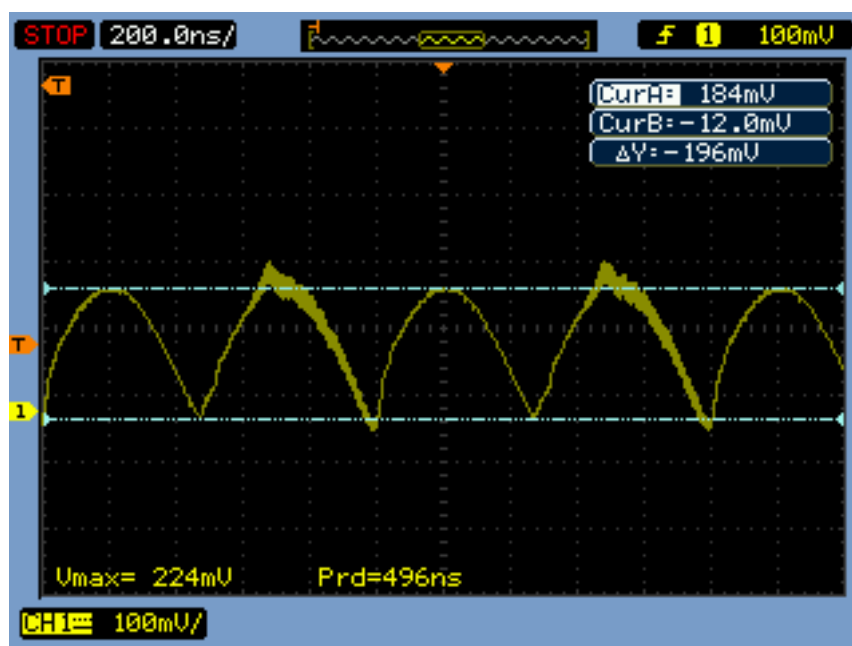
Obr. 5.3: Výstupní průběh napětí původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 100 kHz, amplituda 400 mV_{pp})



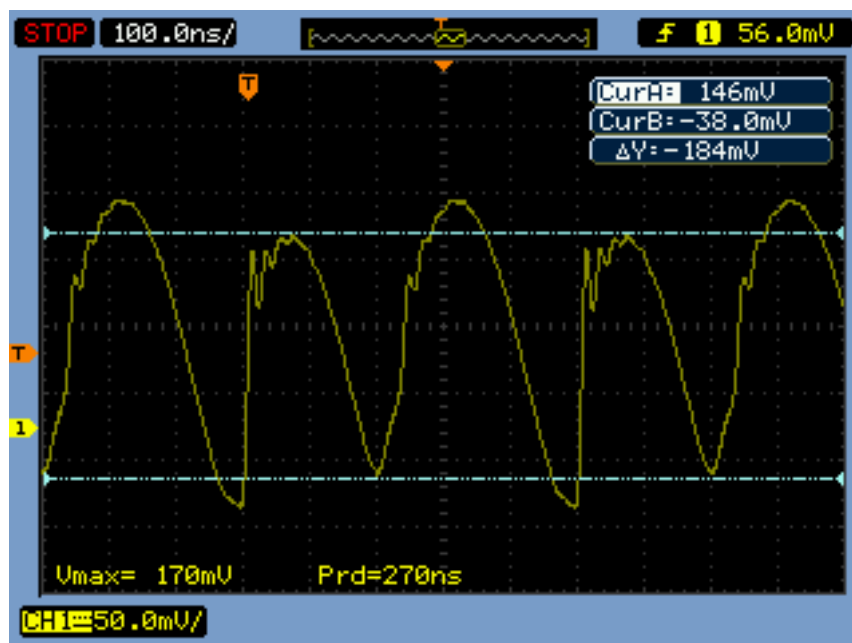
Obr. 5.4: Výstupní průběh napětí navrženého univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 100 kHz, amplituda 400 mV_{pp})



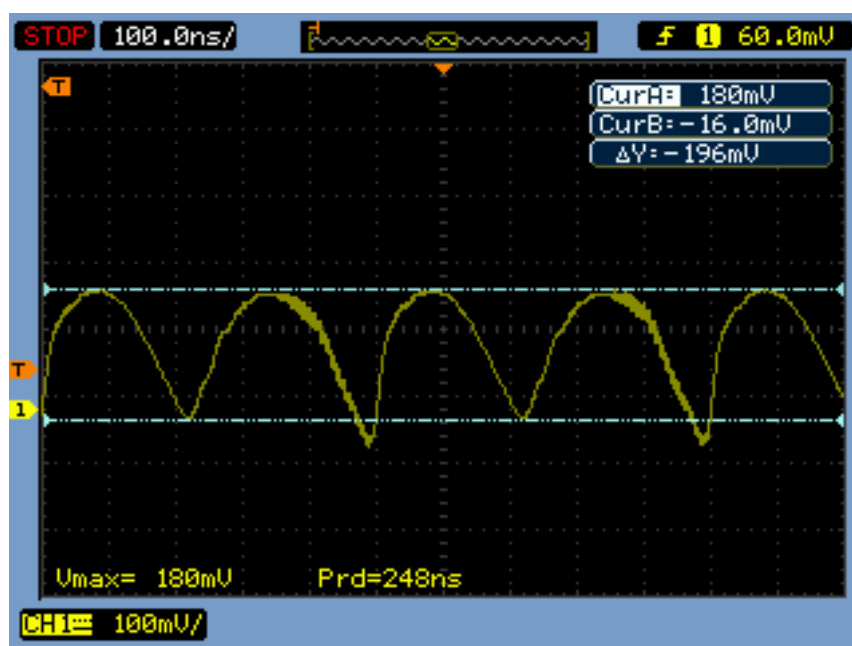
Obr. 5.5: Výstupní průběh napětí původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 1 MHz, amplituda 400 mV_{pp})



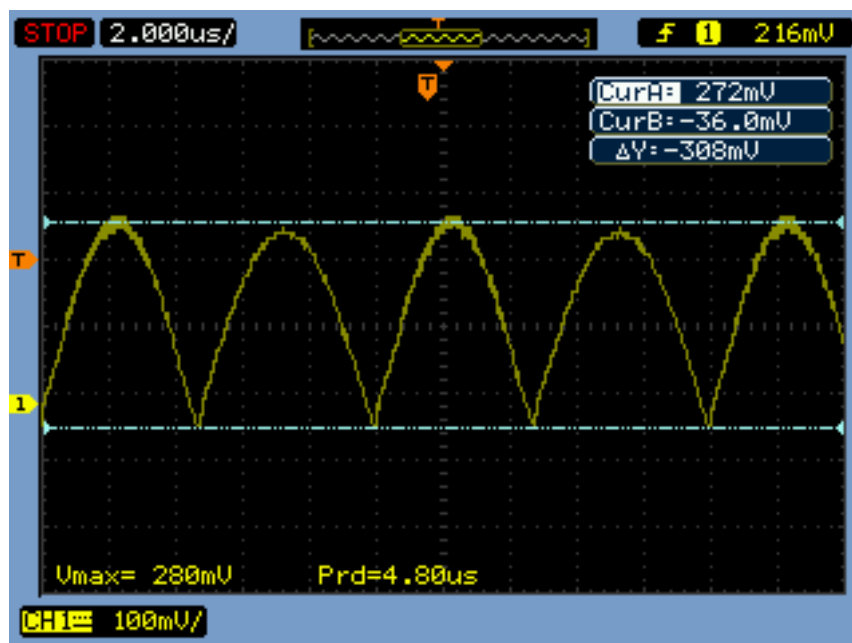
Obr. 5.6: Výstupní průběh napětí navrženého univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 1 MHz, amplituda 400 mV_{pp})



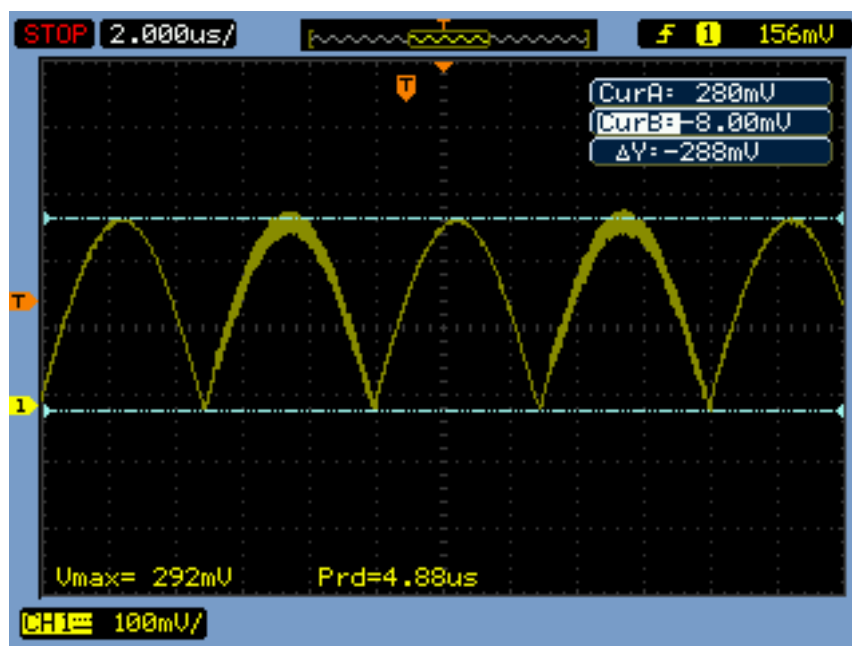
Obr. 5.7: Výstupní průběh napětí původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 2 MHz, amplituda 400 mV_{pp})



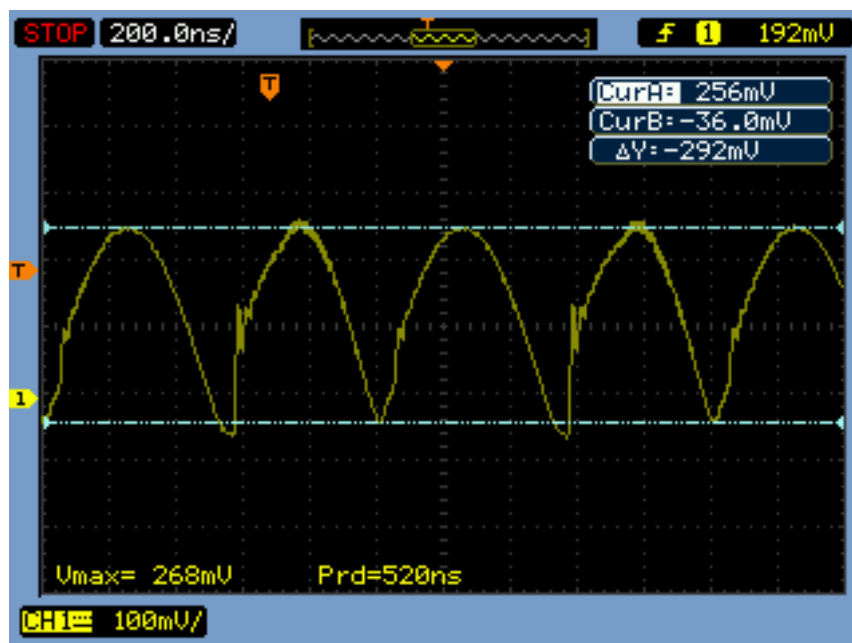
Obr. 5.8: Výstupní průběh napětí navrženého univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 2 MHz, amplituda 400 mV_{pp})



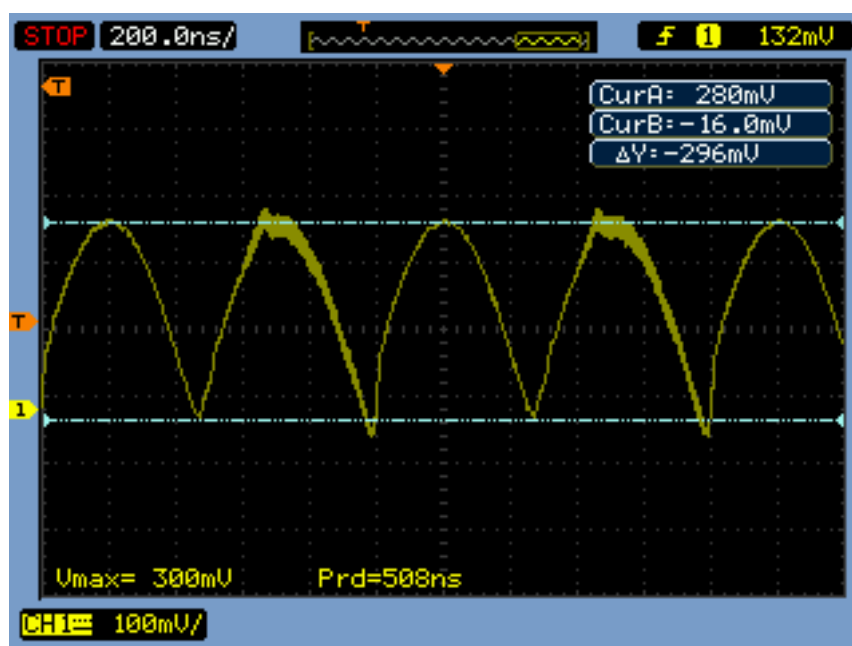
Obr. 5.9: Výstupní průběh napětí původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 100 kHz, amplituda 600 mV_{pp})



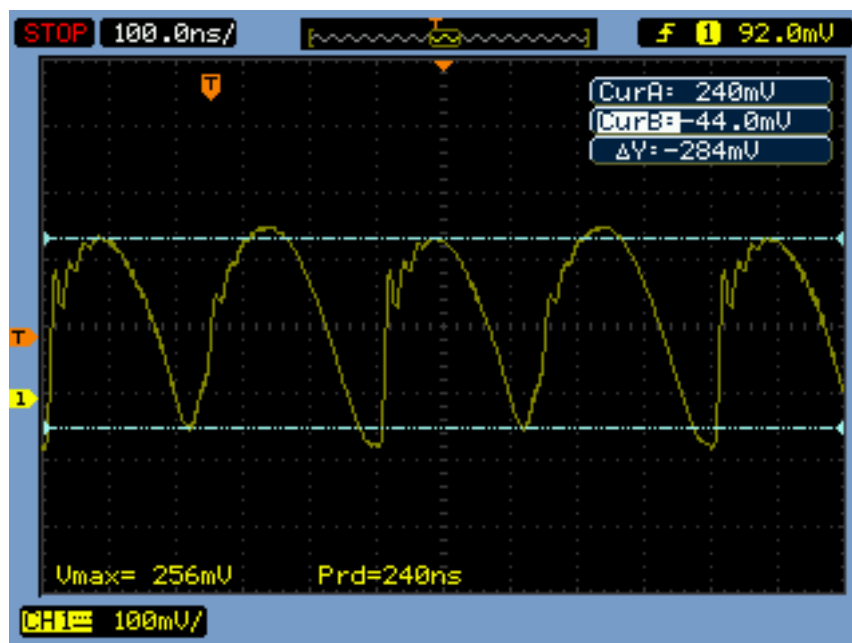
Obr. 5.10: Výstupní průběh napětí navrženého univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 100 kHz, amplituda 600 mV_{pp})



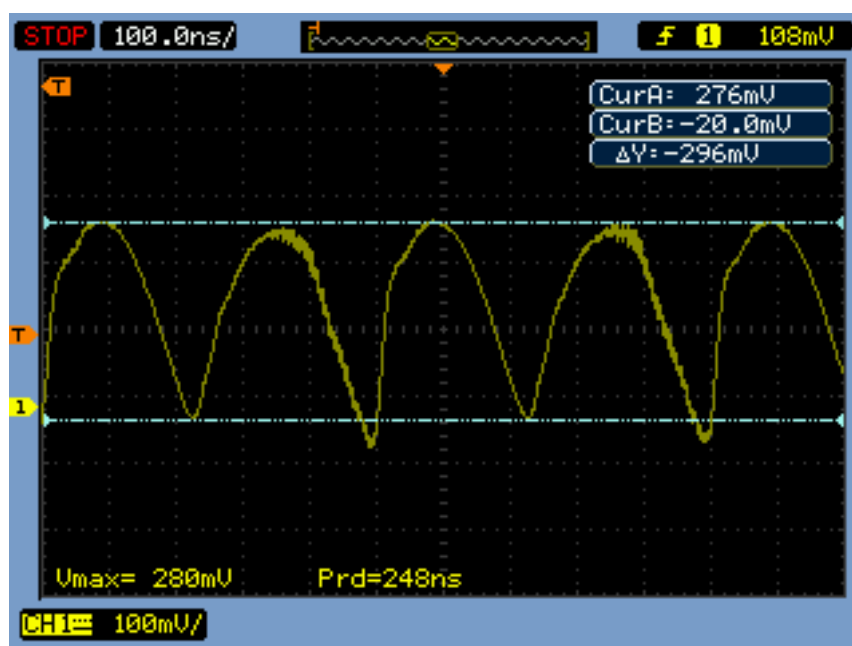
Obr. 5.11: Výstupní průběh napětí původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 1 MHz, amplituda 600 mV_{pp})



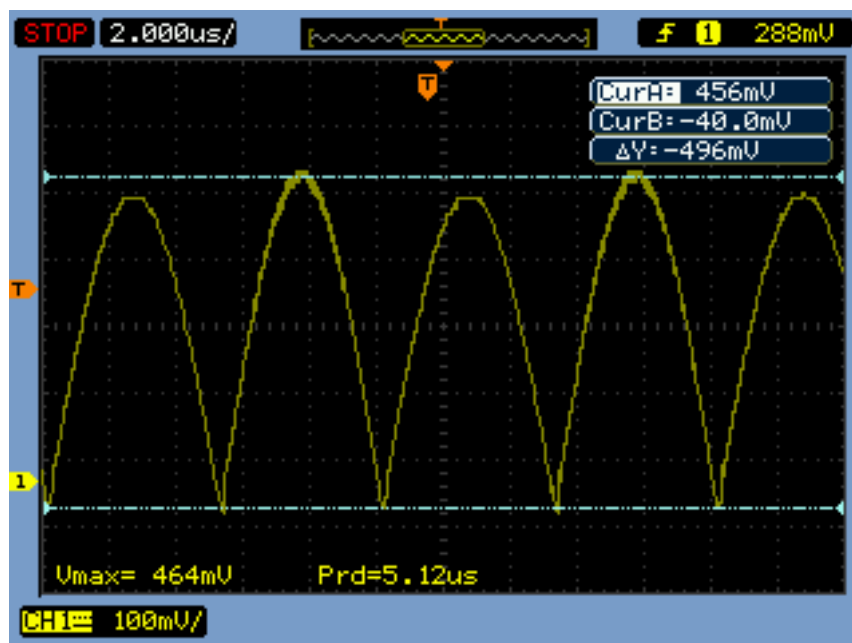
Obr. 5.12: Výstupní průběh napětí navrženého univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 1 MHz, amplituda 600 mV_{pp})



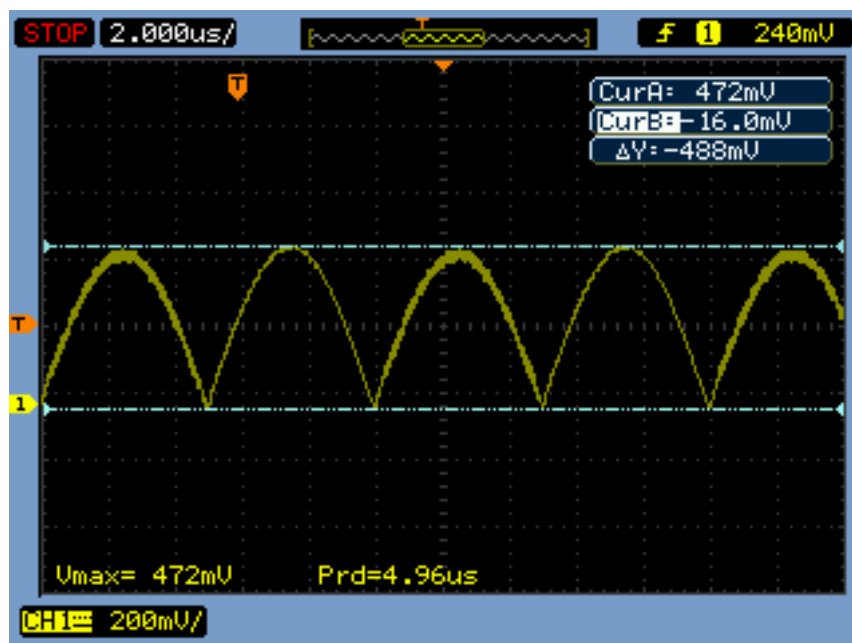
Obr. 5.13: Výstupní průběh napětí původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 2 MHz, amplituda 600 mV_{pp})



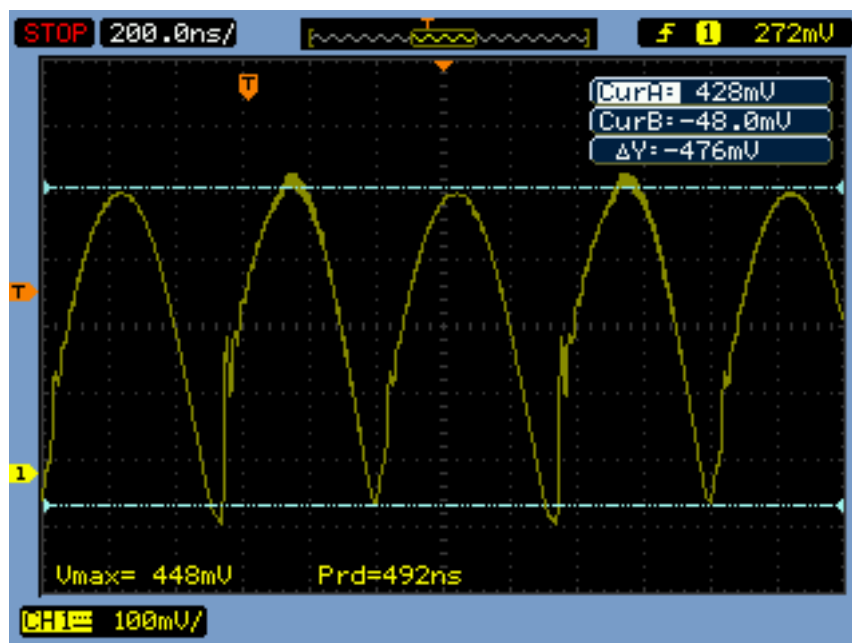
Obr. 5.14: Výstupní průběh napětí navrženého univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 2 MHz, amplituda 600 mV_{pp})



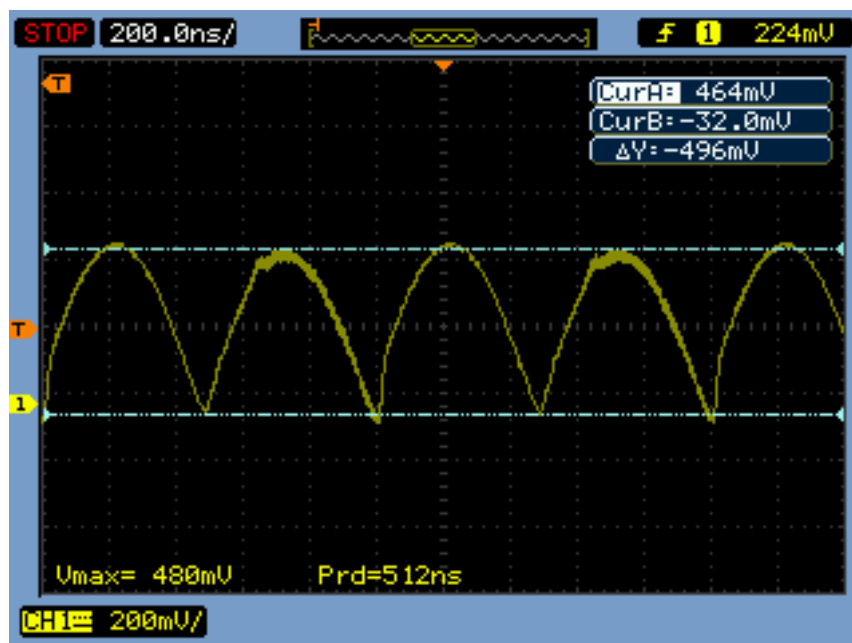
Obr. 5.15: Výstupní průběh napětí původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 100 kHz, amplituda 1 V_{pp})



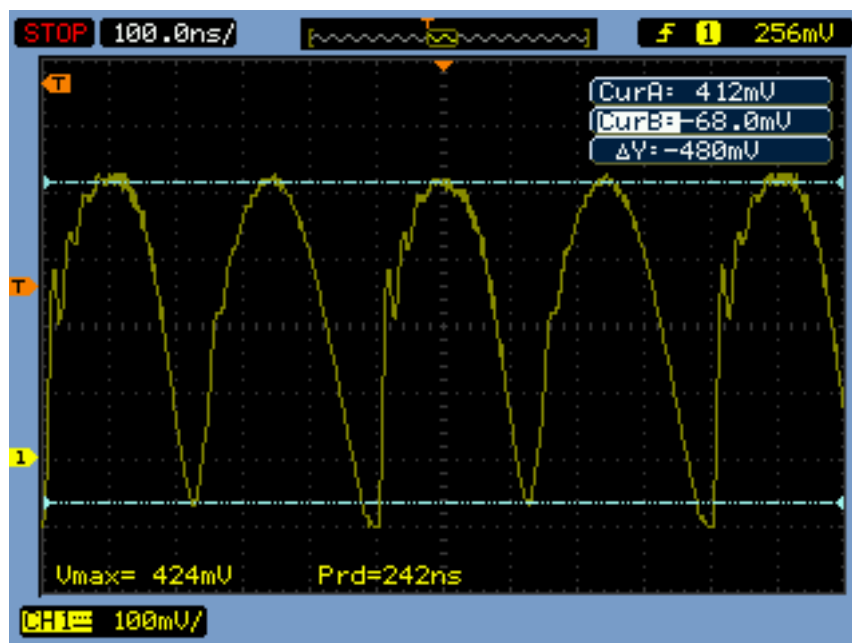
Obr. 5.16: Výstupní průběh napětí navrženého univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 100 kHz, amplituda 1 V_{pp})



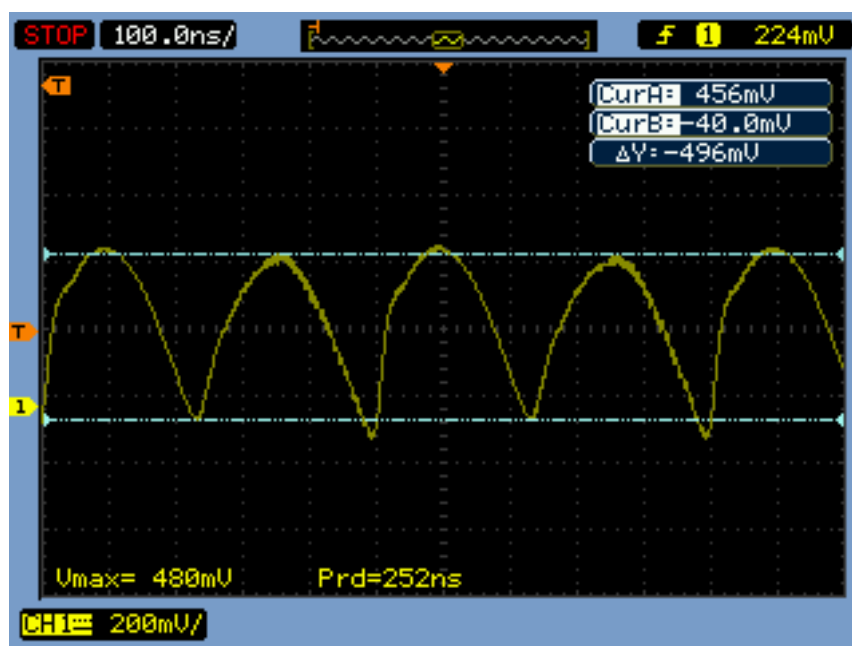
Obr. 5.17: Výstupní průběh napětí původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 1 MHz, amplituda 1 V_{pp})



Obr. 5.18: Výstupní průběh napětí navrženého univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 1 MHz, amplituda 1 V_{pp})



Obr. 5.19: Výstupní průběh napětí původního univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 2 MHz, amplituda 1 V_{pp})



Obr. 5.20: Výstupní průběh napětí navrženého univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (frekvence 2 MHz, amplituda 1 V_{pp})

Z obrázků, které jsou výše uvedeny lze vidět, že při nižších vstupních frekvencích a vyšších vstupních amplitudách se srovnávané obvody chovají podobně. Při nižších vstupních amplitudách a vyšších vstupních frekvencích už jde ale vidět, že se u původního obvodu na rozdíl od navrženého liší amplituda jednotlivých půlperiod

signálu a také, že překmit způsobený závěrnou zotavovací dobou diod je u původního obvodu o několik milivoltů větší. Díky těmto výsledkům je prokázáno, že z nově navrženého obvodu lze dostávat lepší výsledky než z obvodu původního.

5.3. POROVNÁNÍ PŮVODNÍCH UNIVERZÁLNÍCH PŘESNÝCH DVOUCESTNÝCH USMĚRŇOVAČŮ

Jak již bylo dříve zmíněno, k realizaci byly vybrány dohromady dva obvody, které byly porovnávány mezi sebou. Jeden z nich, konkrétně původní univerzální přesný dvoucestný usměrňovač z obr. 3.3 byl dále porovnáván s druhým, již realizovaným základním univerzálním dvoucestným usměrňovačem z obr. 3.5. Úkolem tohoto porovnání bylo zjistit, který ze dvou obvodů dosahuje lepších výsledků a jestli je výhodnější použít pouze proudový konvektor nebo proudový konvektor ve spojení s operačním zesilovačem.

Na následujících stránkách jsou vždy dva obrázky. První z nich ukazuje výstupní charakteristiku napětí obvodu s proudovým konvektorem. Druhý pak výstupní charakteristiku napětí obvodu s proudovým konvektorem a operačním zesilovačem. Tyto výstupní charakteristiky mají obrácenou polaritu, to ale v porovnání např. amplitudy a překmitů způsobených ZZDD to nevádí.

Nejprve jsou tyto dva obvody porovnávány bez použití řídicího napětí U_B pro diody, následně pak s ním. Obvody jsou porovnávány pro různé vstupní amplitudy a pro různé kmitočty.

První dva obrázky nám ukazují srovnání obvodů při amplitudě vstupního signálu 300 mV a frekvenci 100 kHz.

Další dva obrázky ukazují skoro to samé, akorát je použita jiná vstupní frekvence a to 1 MHz.

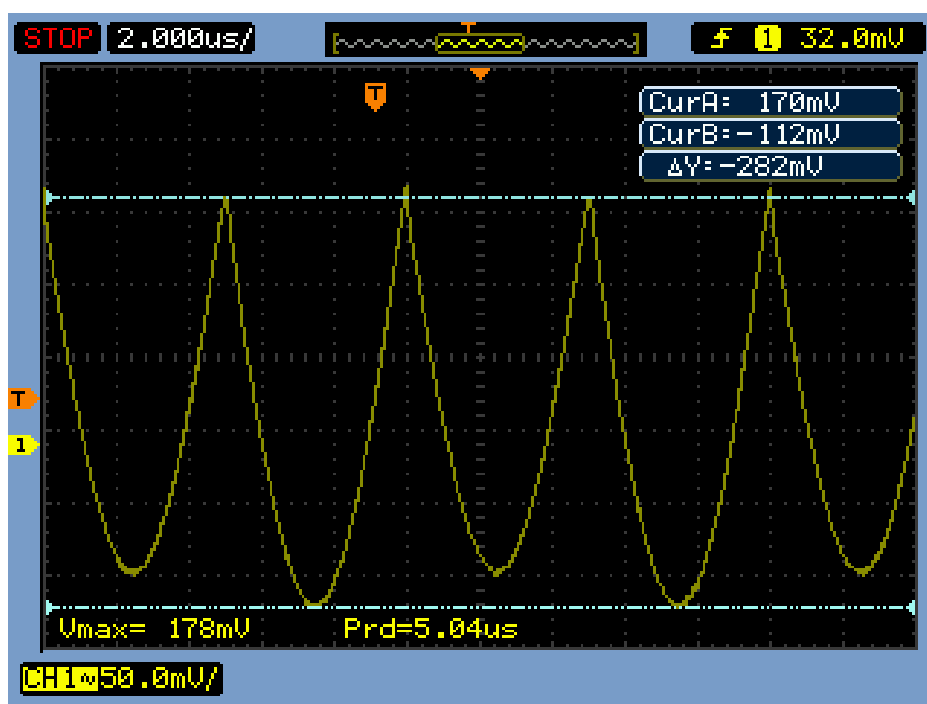
Následující dva ukazují výstupní charakteristiky napětí se vstupními signály s frekvencí 100 kHz a amplitudami 500 mV.

Na dalších dvou obrázcích lze vidět výstupní charakteristiky napětí se vstupními signály s frekvencí 1 MHz a amplitudami 500 mV.

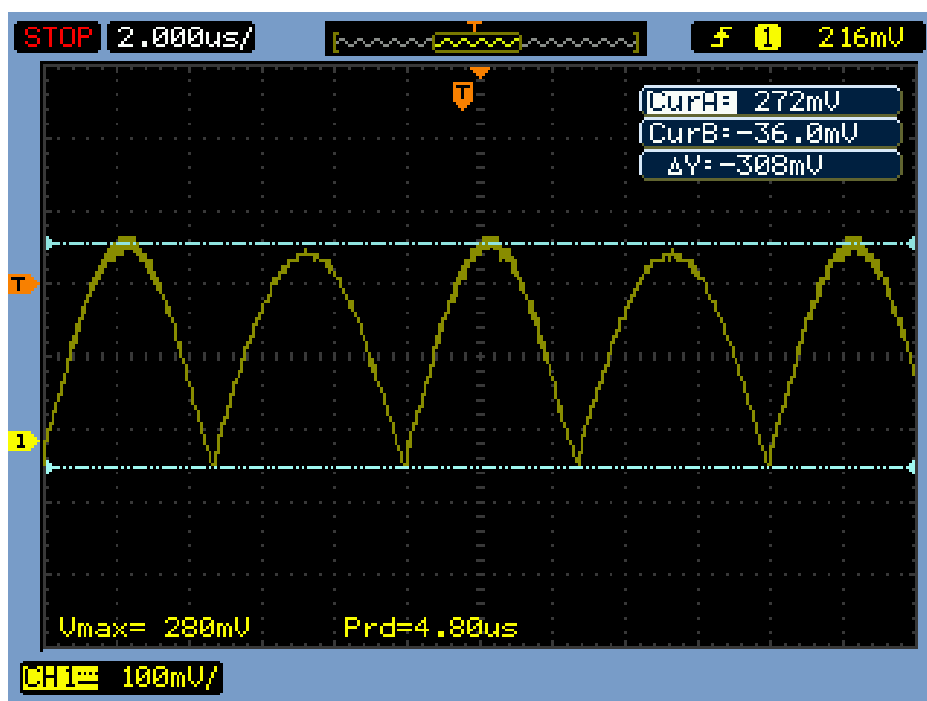
Na všech těchto obrázcích jsou vidět výstupní charakteristiky napětí bez použití napěťového řízení diod.

Na dalších osmi obrázcích je vidět to samé jako u prvních osmi, ale je zde použito napěťové řízení diod.

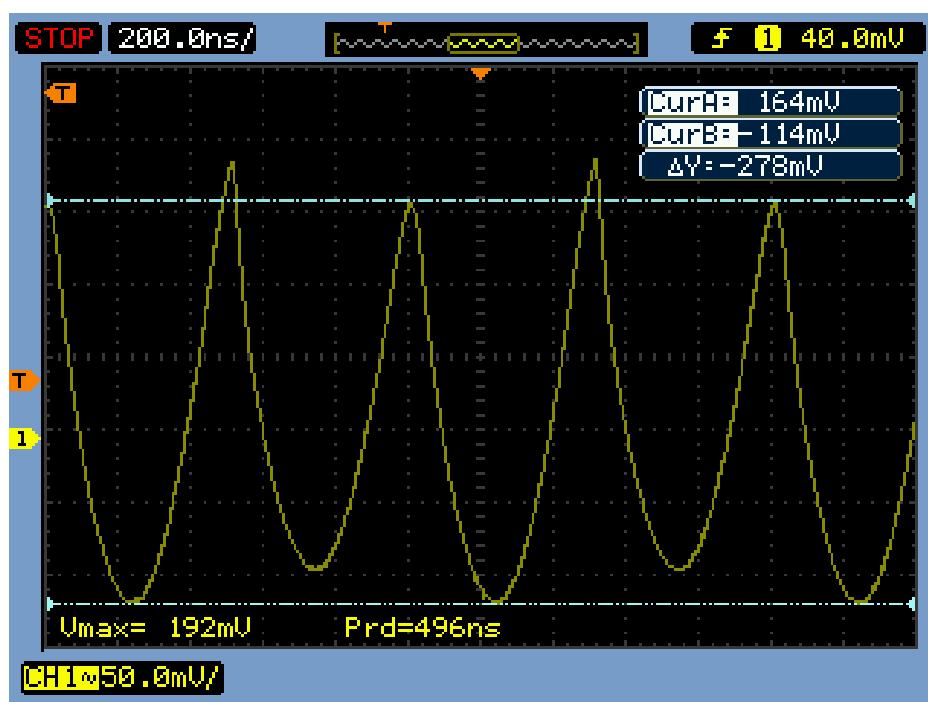
Výstupní charakteristiky signálu původních univerzálních přesných dvoucestných usměrňovačů bez použití napětového řízení diod



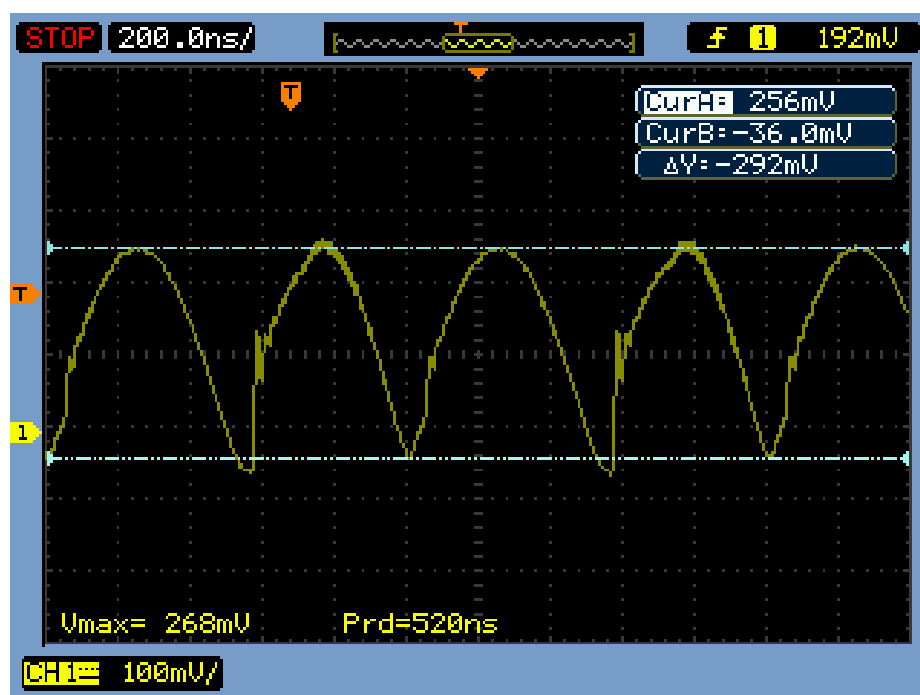
Obr. 5.21: Obvod s proudovým konvejorem (frekvence 100kHz, amplituda 300mV)



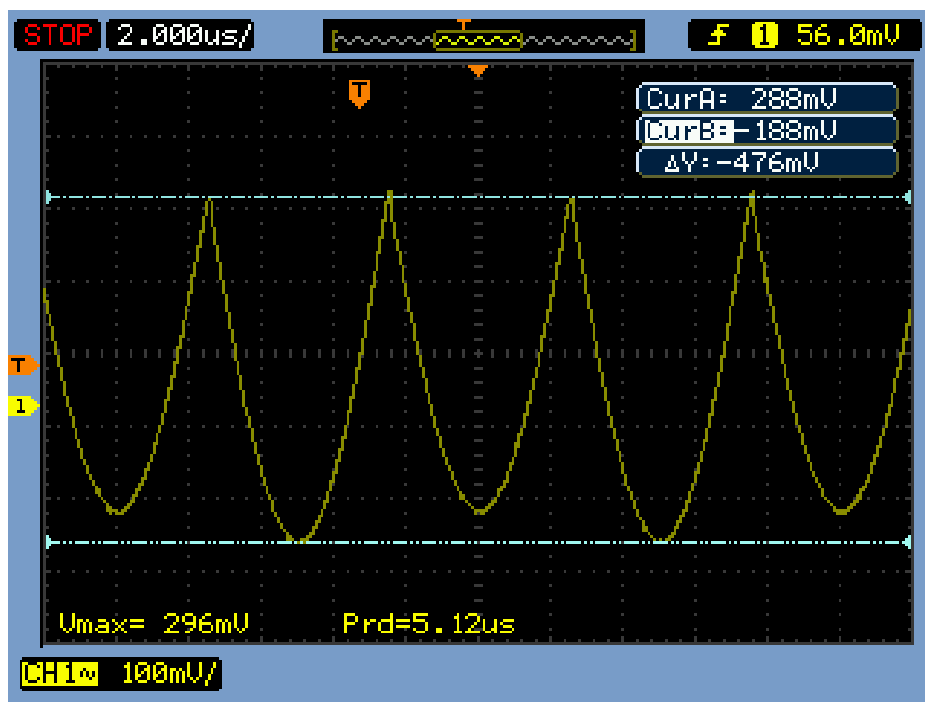
Obr. 5.22: Obvod s proudovým konvejorem a operačním zesilovačem (frekvence 100 kHz, amplituda 300mV)



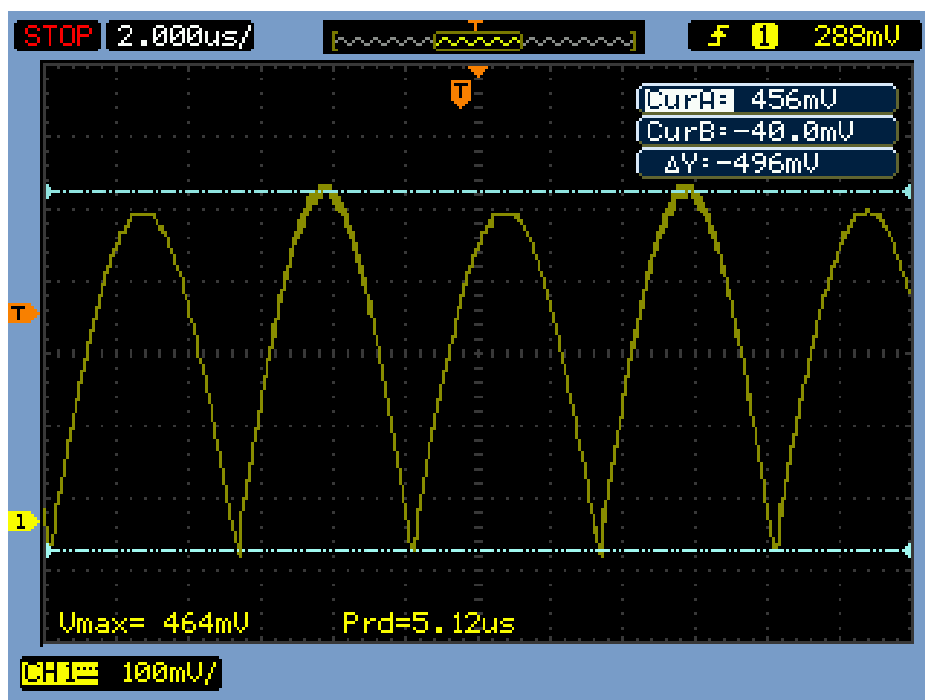
Obr. 5.23: Obvod s proudovým konvejorem (frekvence 1 MHz, amplituda 300mV)



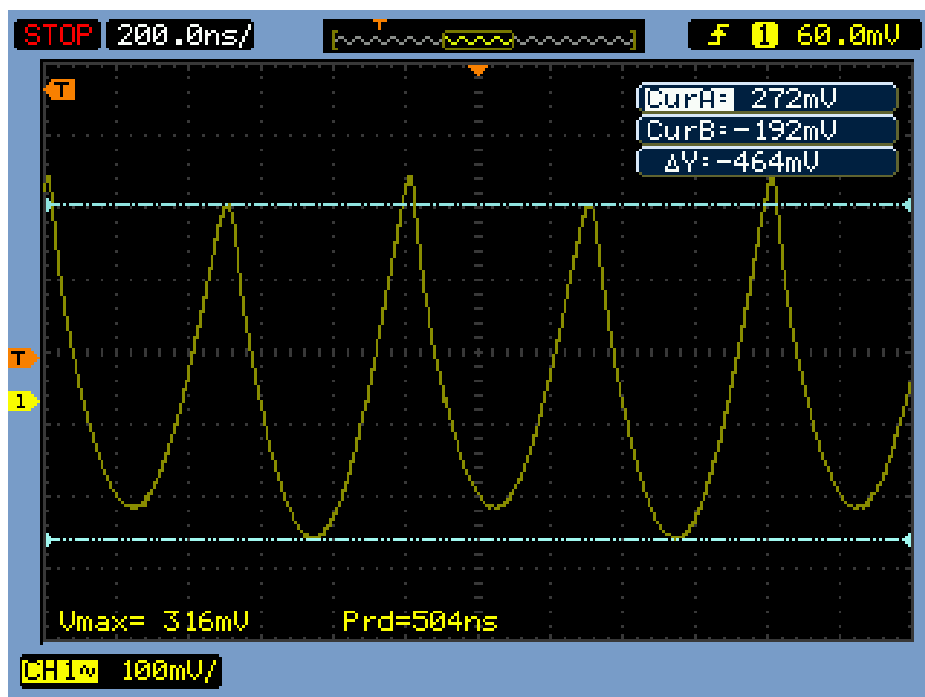
Obr. 5.24: Obvod s proudovým konvejorem a operačním zesilovačem (frekvence 1 MHz, amplituda 300mV)



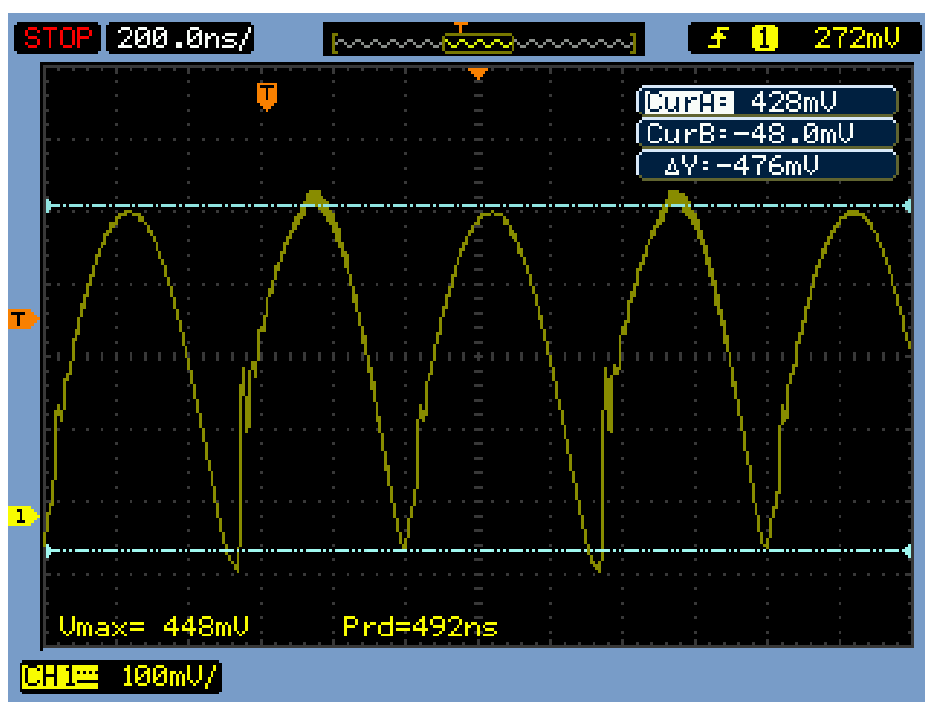
Obr. 5.25: Obvod s proudovým konvejorem (frekvence 100 kHz, amplituda 500mV)



Obr. 5.26: Obvod s proudovým konvejorem a operačním zesilovačem (frekvence 100 kHz, amplituda 500mV)

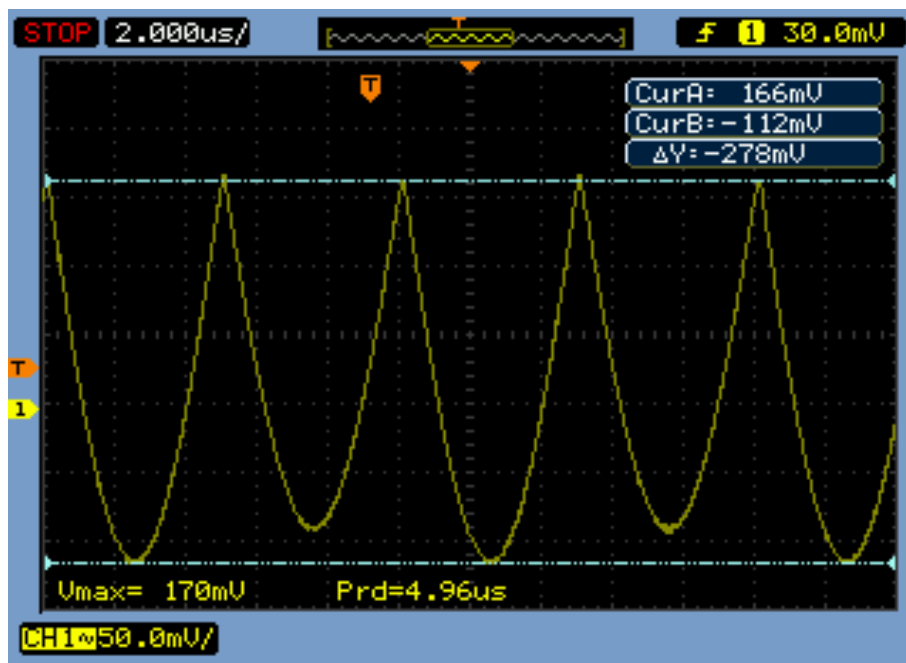


Obr. 5.27: Obvod s proudovým konvejorem (frekvence 1 MHz, amplituda 500 mV)

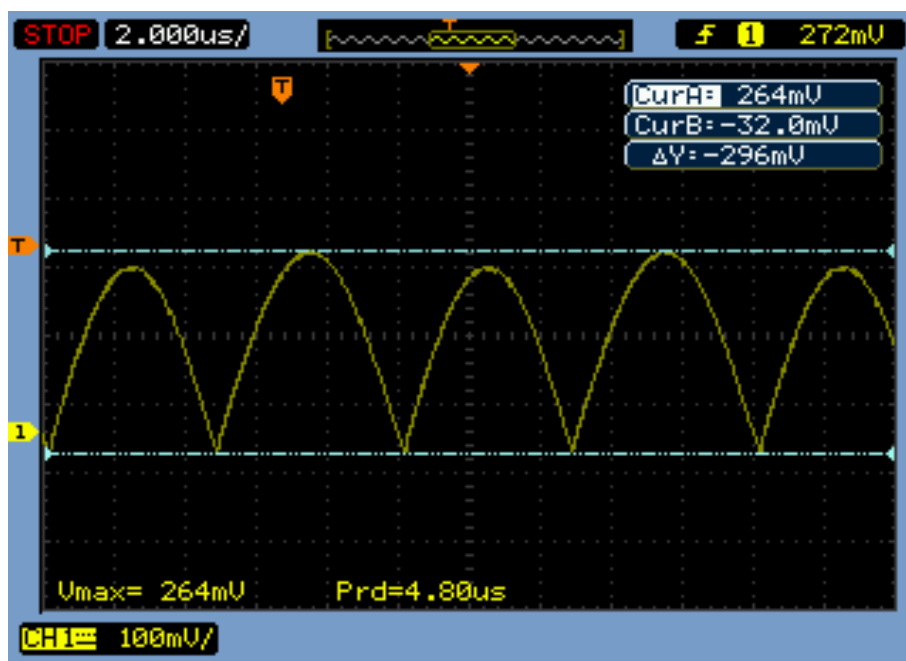


Obr. 5.28: Obvod s proudovým konvejorem a operačním zesilovačem (frekvence 1 MHz, amplituda 500 mV)

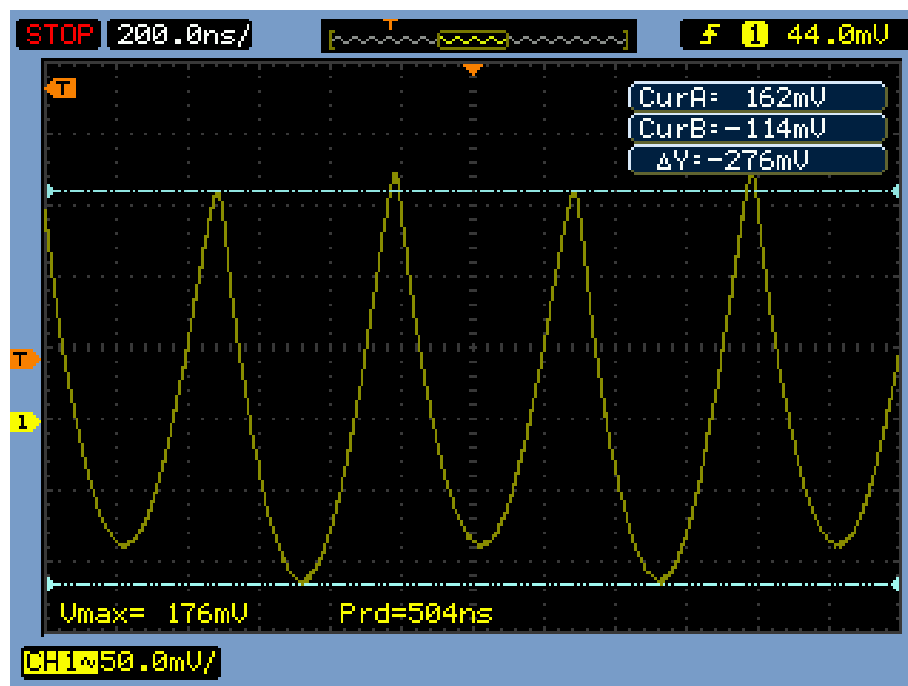
Výstupní charakteristiky signálu původních univerzálních přesných dvoucestných usměrňovačů s použitím napěťového řízení diod



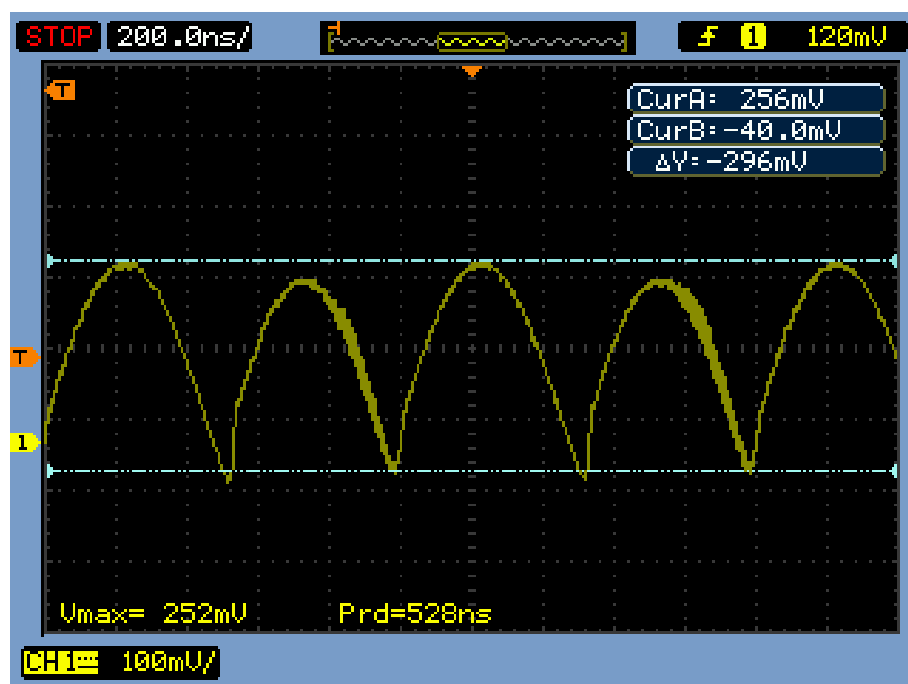
Obr. 5.29: Obvod s proudovým konvejorem (frekvence 100kHz, amplituda 300 mV)



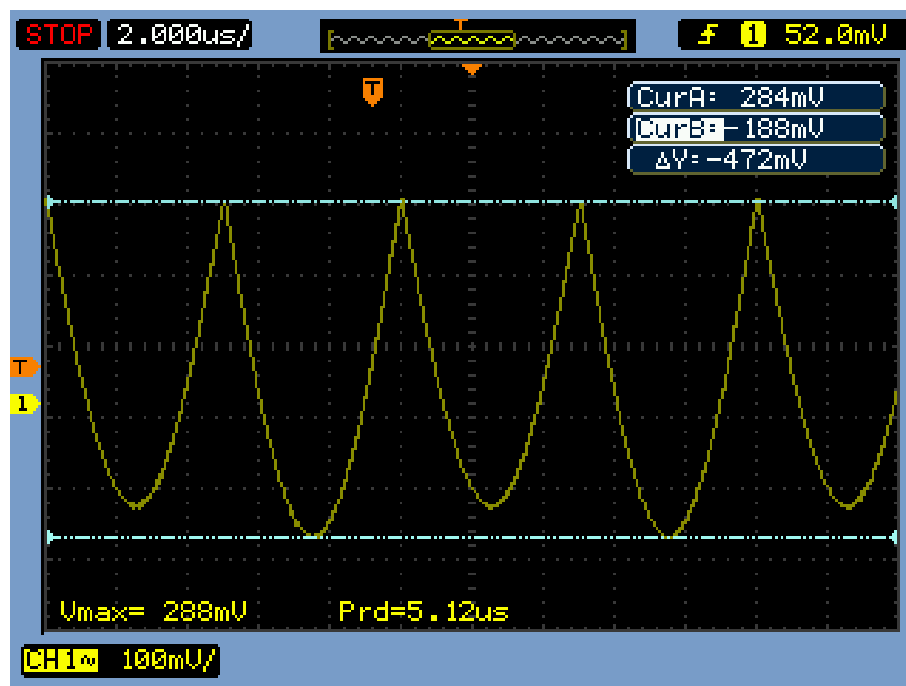
Obr. 5.30: Obvod s proudovým konvejorem a operačním zesilovačem (frekvence 100 kHz, amplituda 300 mV)



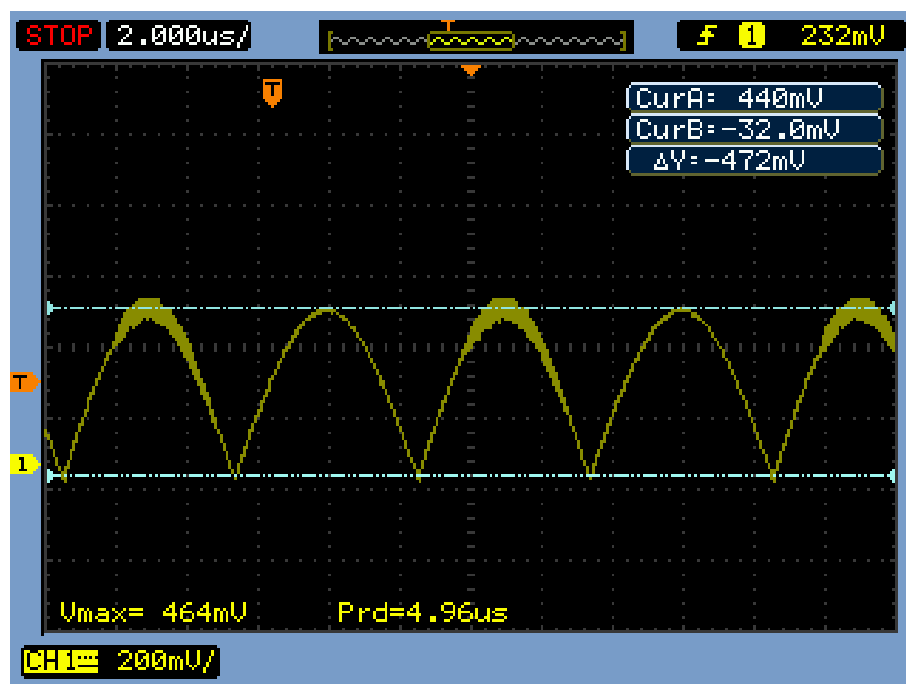
Obr. 5.31: Obvod s proudovým konvejorem (frekvence 1 MHz, amplituda 300 mV)



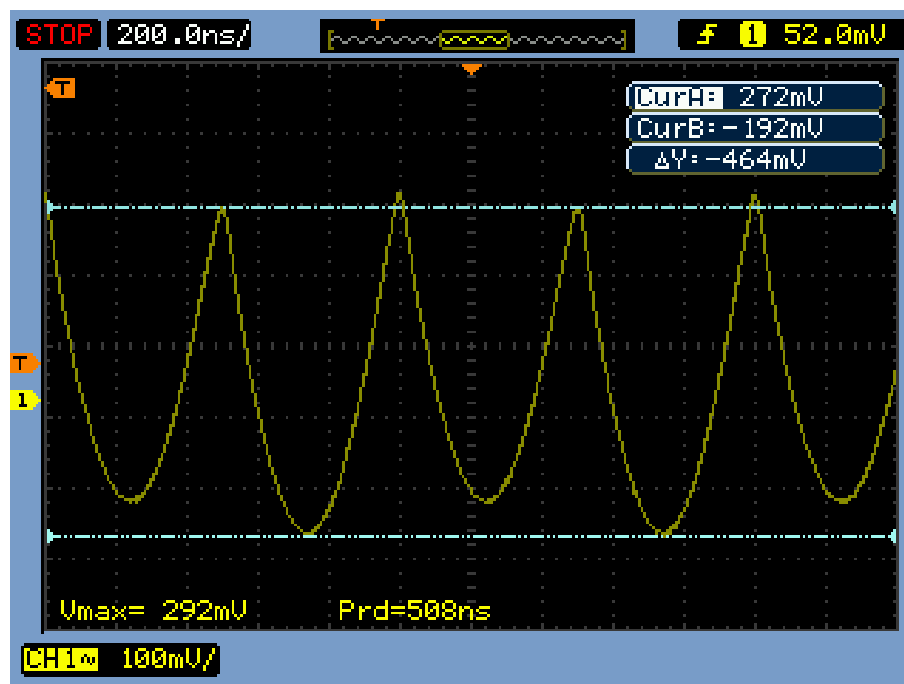
Obr. 5.32: Obvod s proudovým konvejorem a operačním zesilovačem (frekvence 1 MHz, amplituda 300 mV)



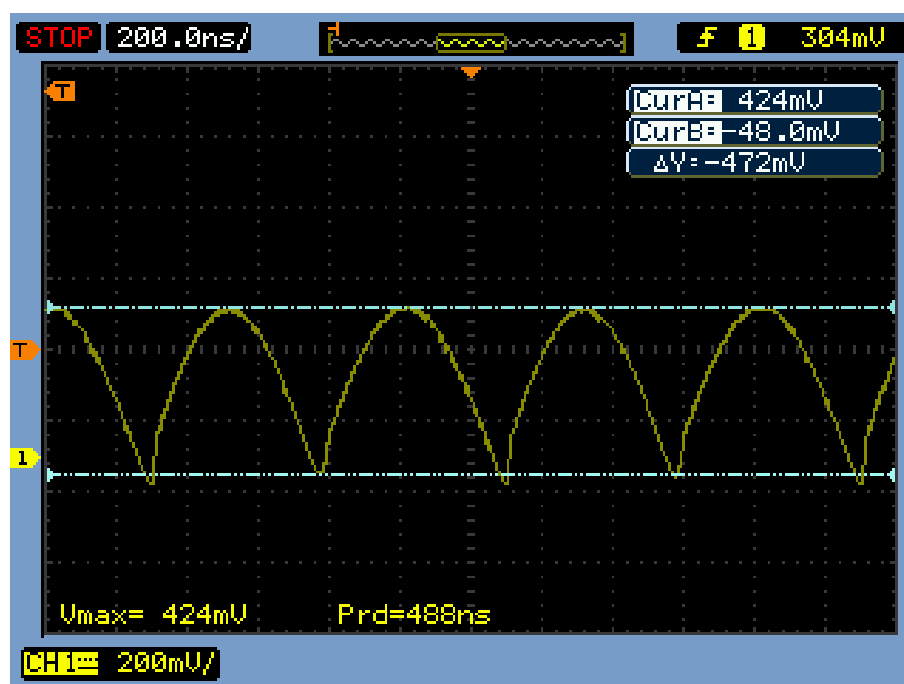
Obr. 5.33: Obvod s proudovým konvejorem (frekvence 100kHz, amplituda 500 mV)



Obr. 5.34: Obvod s proudovým konvejorem a operačním zesilovačem (frekvence 100 kHz, amplituda 500 mV)



Obr. 5.35: Obvod s proudovým konvejorem (frekvence 1 MHz, amplituda 500 mV)



Obr. 5.36: Obvod s proudovým konvejorem a operačním zesilovačem (frekvence 1 MHz, amplituda 500 mV)

Z předchozích obrázků jde vidět, že výstupní amplituda usměrněného dvoucestného signálu se od vstupní amplitudy u obvodu univerzálního přesného dvoucestného usměřňovače s použitím proudového konveju a operačního zesilovače liší o méně mV než u obvodu, kde je použit pouze proudový konveju. Dále jde vidět, že překmit způsobený závěrnou zotavovací dobou diod je u obvodu s operačním konvejem o několik mV menší. Z těchto důvodů se jeví obvod univerzálního přesného dvoucestného usměřňovače s použitím proudového konveju ve spojení s operačním zesilovačem jako lepší než obvod, kde je použit pouze proudový konveju. Toto platí jak pro obvod s napěťovým řízením, tak bez něj.

ZÁVĚR

V rámci této práce lze vidět jedno nové obvodové řešení již existujícího přesného dvoucestného usměrňovače (podkapitola 3.4) a jeden návrh nového univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače (kapitola 4), který vychází z již existujícího zapojení přesného usměrňovače. Na základě simulací byly tyto obvody porovnávány a bylo zjištěno, že nová obvodová řešení mají lepší výstupní výsledky napětí.

Tři vybrané obvody univerzálních dvoucestných přesných usměrňovačů byly dále realizovány. U jednoho z nich se bohužel nepodařilo nic použitelného naměřit. Následně pak byly srovnávány převodní charakteristiky obvodů a výstupní charakteristiky napětí obvodů. Výsledky těchto srovnání jsou zaznamenány v kapitole 5. Díky těmto výsledkům lze říct, že nově navržený obvod má lepší výstupní výsledky a potvrdilo se to, co bylo již dříve ukázáno na simulacích v kapitole 3 a 4.

Všechny simulace, které se v práci vyskytují, proběhly v programech OrCAD a PSpice. Jako operační zesilovač byl použit model THS 4051. Jako proudový konvektor byl použit model OPA861. Jako univerzální proudový konvektor byl použit model MOUCC. Použité diody měly označení 1N4148.

Při realizaci byl použit jako operační zesilovač prvek THS 4052C. Jako proudový konvektor prvek s označením OPA861 a jako univerzální proudový konvektor prvek s označením UCC-N1B 520. Dále byly použity diody 1N4148 MINIMELF, odpory M1206 a kondenzátory s označením C1206 a A/3216-18R.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] GIFT S. J. G., MAUNDY B.: *Versatile precision full-wave rectifiers for instrumentation and measurements*, Manuscript received December 7, 2005; revised May 3, 2007. Digital Object Identifier 10.1109/TIM.2007.904565 [cit. 2013-12-20].

[2] LIU S.I. WU D. S., TSAO H. W., WU J., TSAY J. H.: *Nonlinear circuit applications with current konvejors*. IEE PROCEEDINGS-G, Vol. 140, No. 1 , FEBRUARY 1993. [cit. 2013-12-20].

[3] VRBA, Kamil a Jan JEŘÁBEK. *Vybrané vlastnosti univerzálního proudového konveju, ukázka návrhu aplikace*. Elektrevue – Internetový časopis [online]. 24.10.2006, č. 41, s. 1–9. ISSN 1213-1539. [cit. 2013-12-20].

[4] VRBA, Kamil a David KUBÁNEK. *Přesné usměrňovače s proudovým buzením diod a vliv závěrné zotavovací doby diod na jejich funkci*. Elektrevue – Internetový časopis [online]. 15.02.2010, č. 6, s. 1–6. ISSN 1213-1539. [cit. 2013-12-20].

[5] TOUMAZOU, C., F.J. LIDGEY a S. CHATTONG. *High frequency current conveyor precision full-wave rectifier*. Electronics Letters. 1994, vol. 30, no. 10, p. 745–746. ISSN 00135194. DOI: 10.1049/el:19940539. [cit. 2013-12-20].

[6] HAYATLEH, K., S. PORTA a F.J. LIDGEY. *Temperature independent current conveyor precision rectifier*. Electronics Letters. 1994, vol. 30, no. 25, p. 2091–2093. ISSN 00135194. DOI: 10.1049/el:19941454. [cit. 2013-12-20].

[7] ELORANTA, Petri a Chris TOUMAZOU. *Current Conveyors History, Theory, Applications and Implementation*. 2004, s. 1-42 [cit. 2013-12-20].

[8] LANGHAMMER, L. *Precision full-wave rectifier using universal current conveyor and six diodes*. VUT. Vedoucí práce Jan Jerabek. 2007, s. 1-5 [cit. 2013-12-20].

[9] LANGHAMMER, L. *Nelineární obvodové struktury s proudovými aktivními prvky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Koton, Ph.D. [cit. 2013-12-20].

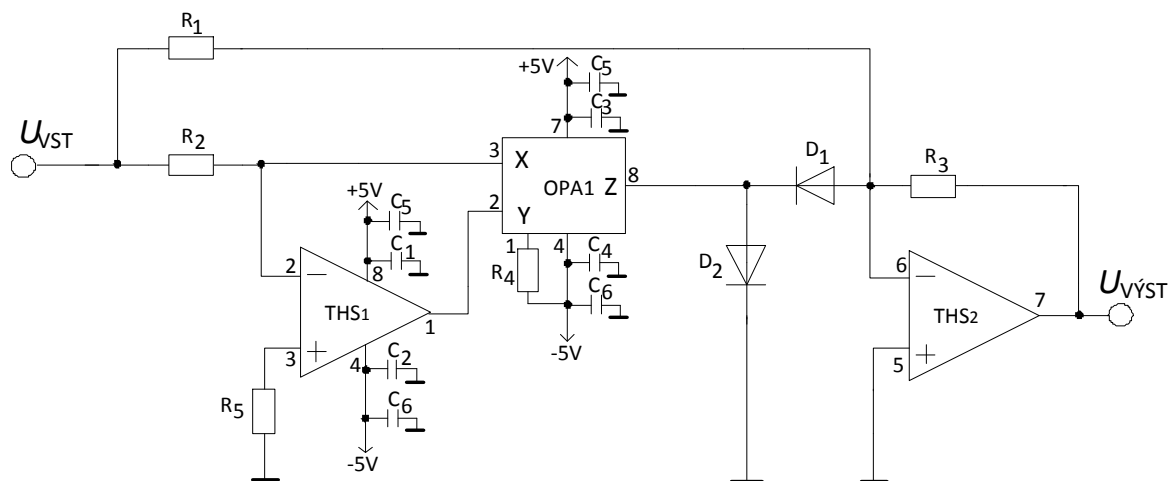
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, VELIČIN A SYMBOLŮ

<i>CC</i>	Proudový konvektor (current conveyor)
<i>CCII+/-</i>	Proudový konvektor druhé generace
<i>UCC</i>	Univerzální proudový konvektor
<i>ZZDD</i>	Závěrná zotavovací doba diody
<i>OZ</i>	Operační zesilovač
U_{VST}	Vstupní napětí [V]
I_{VST}	Vstupní proud [A]
U_{VYST}	Výstupní napětí [V]
I_{VYST}	Výstupní proud [A]
u_X	Napětí na uzlu X [V]
u_Y	Napětí na uzlu Y [V]
u_Z	Napětí na uzlu Z [V]
i_X	Proud na uzlu X [A]
U_A	Řídící napětí [V]
r_A	Odpor rezistoru R_A
i_Y	Proud na uzlu Y [A]
i_Z	Proud na uzlu Z [A]
t_d	Doba nabíjení parazitní kapacity (delay time) [s]
t_k	Závěrná zotavovací doba diod [s]
t_s	Doba odvádění minoritních nosičů z přechodu (storage time) [s]
f	Frekvence [Hz]
f_r	Pracovní frekvence zesilovače [Hz]
α, β	Reálné kvantify [-]
R_X	Odpor na invertovaném vstupu proudového konvektoru [Ω]
R_{1-11}	Odpory rezistorů 1-11
k	Nízko-frekvenční zisk [-]
τ	Časová konstanta OZ [s]
i_{Z+}	Proud na uzlu Z+ [A]
i_{Z-}	Proud na uzlu Z- [A]
i_{Y+}	Proud na uzlu Y+ [A]
i_{Y-}	Proud na uzlu Y- [A]
u_{Z+}	Napětí na uzlu Z+ [V]
u_{Z-}	Napětí na uzlu Z- [V]
u_{Y+}	Napětí na uzlu Y+ [V]
u_{Y-}	Napětí na uzlu Y- [V]
U_P	Prahové napětí diody [V]
U_{B1-3}	Napětí na stejnosměrných zdrojích 1-3 [V]
I_A	Proud na stejnosměrném zdroji A [A]
I_B	Proud na stejnosměrném zdroji B [A]
D_{1-8}	Diody 1-8
C_{1-10}	Kondenzátory 1-10

PŘÍLOHA

A Původní známé zapojení univerzálního přesného dvoucestného usměrňovače

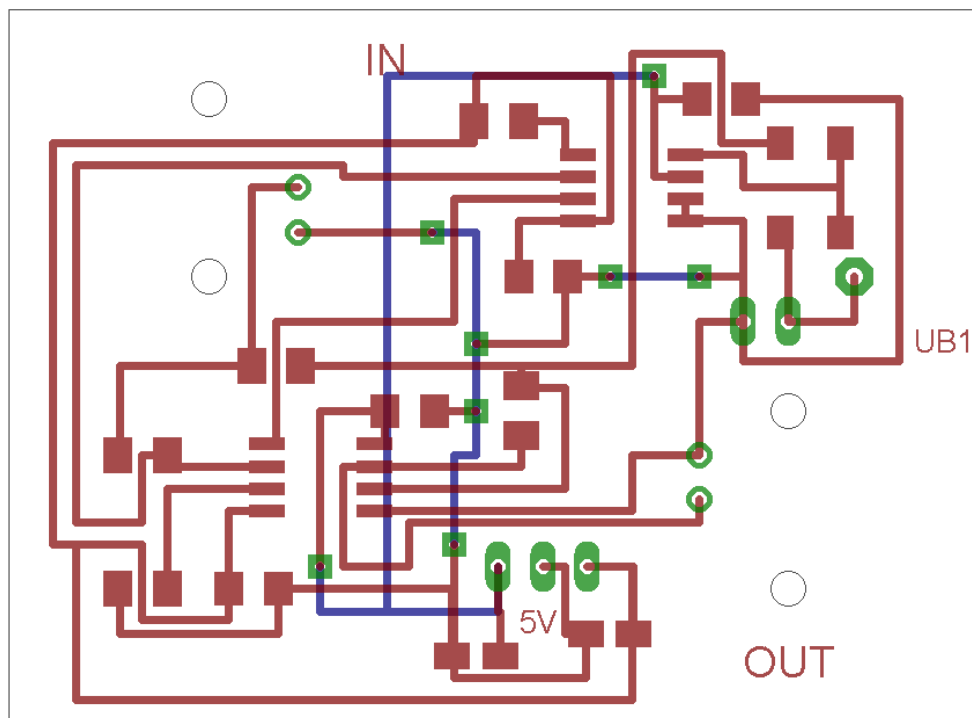
A.1 Původní zapojení



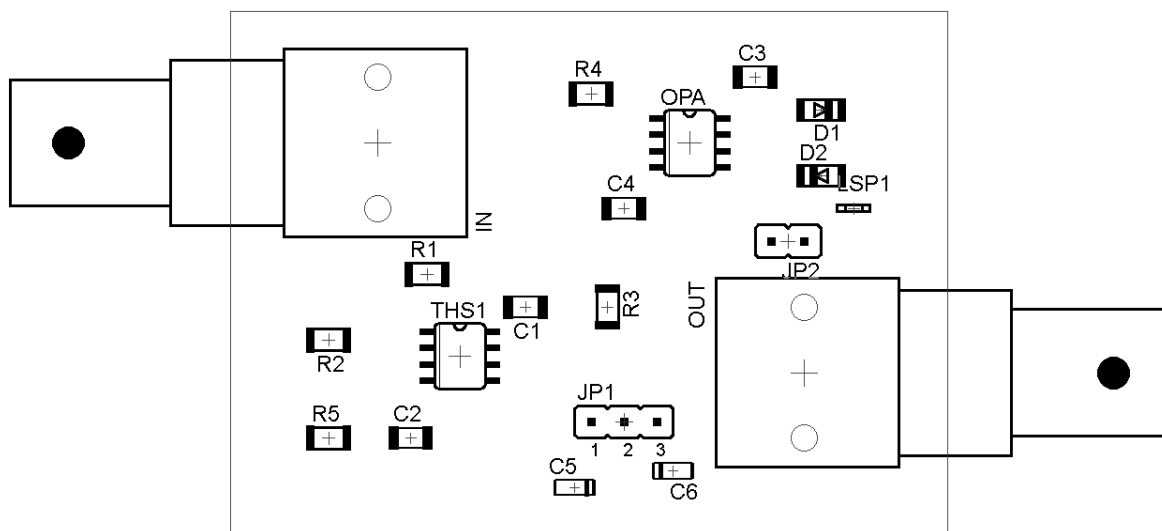
Obr. A.1: Schéma obvodu usměrňovače s operačním konvejem

Seznam součástek:

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ M1206
 $R_2 = 470 \text{ }\Omega$ M1206
 $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ M1206
 $R_4 = 240 \text{ }\Omega$ M1206
 $R_5 = 51 \text{ }\Omega$ M1206
 $D_1 = 1\text{N}4148$ MINIMELF
 $D_2 = 1\text{N}4148$ MINIMELF
 $C_1 = 100 \text{ nF}$ C1206
 $C_2 = 100 \text{ nF}$ C1206
 $C_3 = 100 \text{ nF}$ C1206
 $C_4 = 100 \text{ nF}$ C1206
 $C_5 = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$ A/3216-18R
 $C_6 = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$ A/3216-18R
THS1 = THS4052C SO8
THS2 = THS4052C SO8
OPA1 = OPA861 SO8



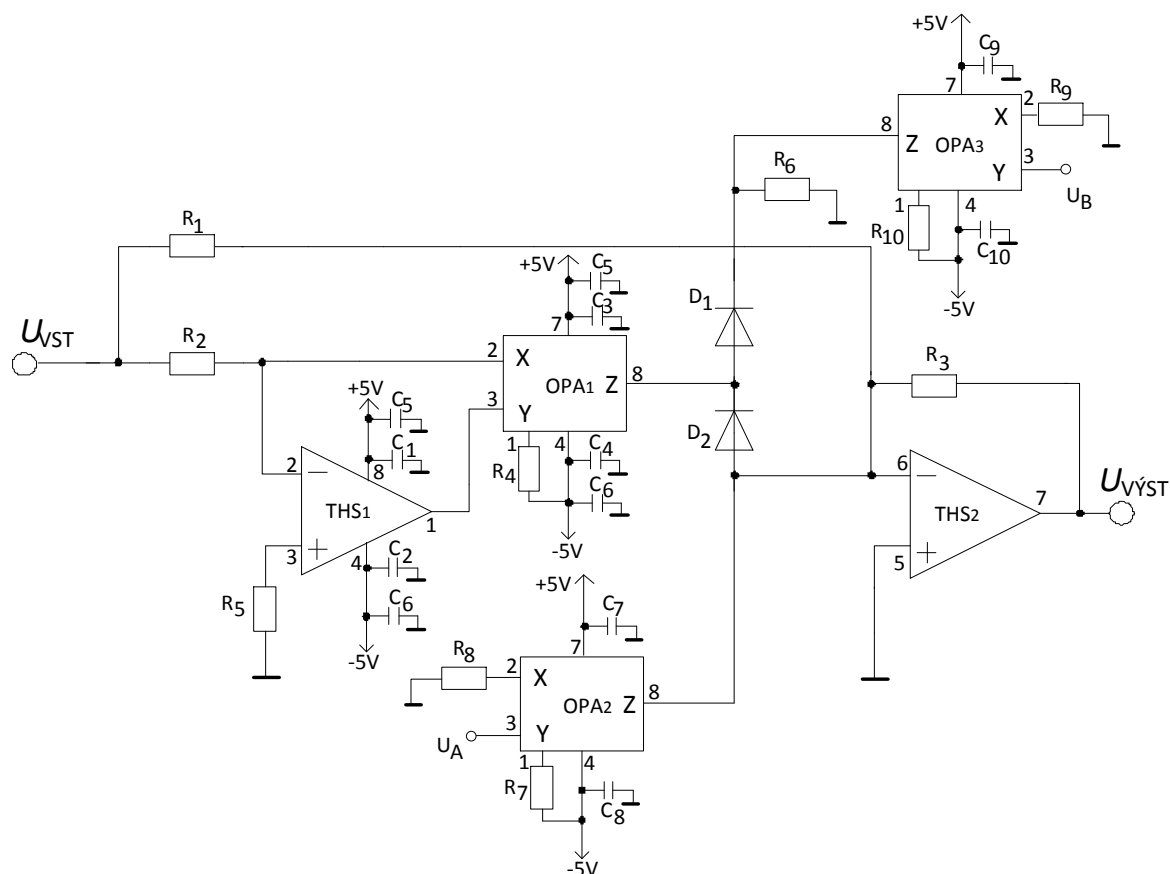
Obr. A.2: Návrh desky plošných spojů (cesty)



Obr. A.3: Návrh desky plošných spojů (součástky)

B Navrhovaná zapojení univerzálního dvoucestného přesného usměrňovače

B.1 První navrhované zapojení

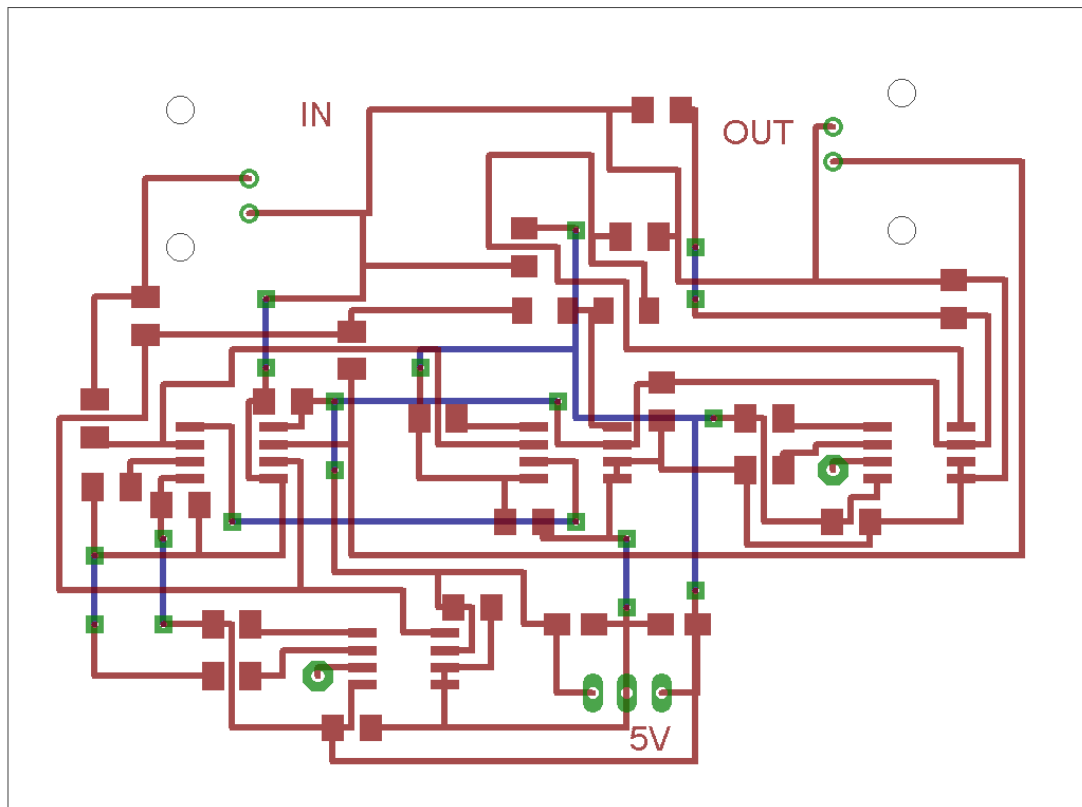


Obr. B.1: Schéma obvodu usměrňovače s operačním konvejem

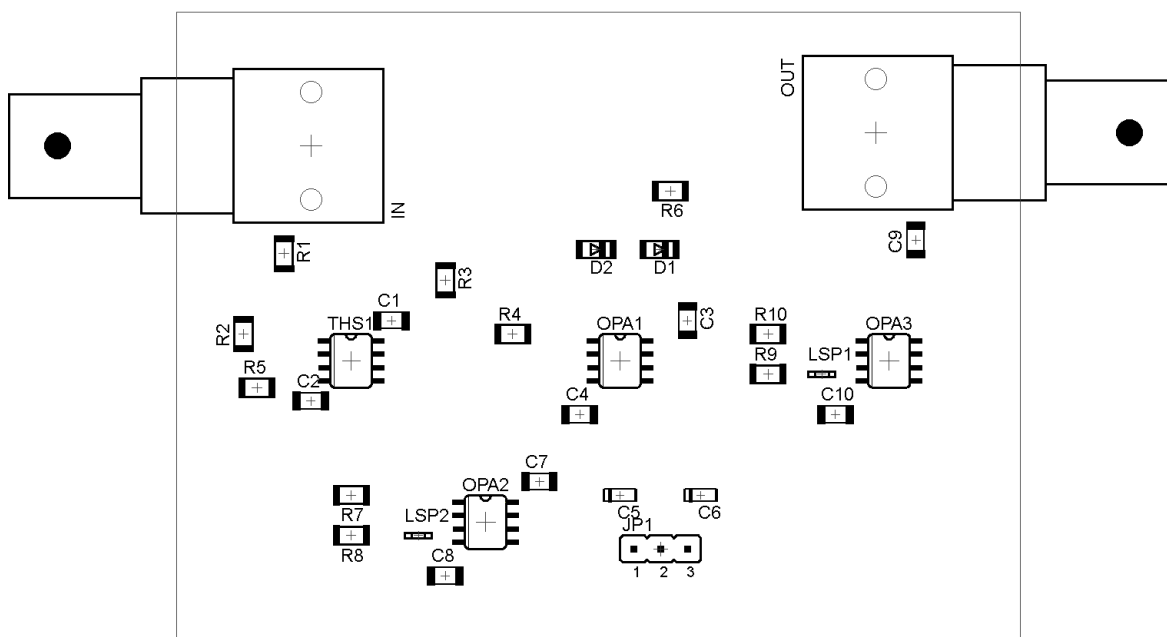
Seznam součástek:

R1 = 1 k Ω M1206
R2 = 470 Ω M1206
R3 = 1 k Ω M1206
R4 = 240 Ω M1206
R5 = 51 Ω M1206
R6 = 4,7 k Ω M1206
R7 = 240 Ω M1206
R8 = 12 k Ω M1206
R9 = 12 k Ω M1206
R10 = 240 Ω M1206
D1 = 1N4148 MINIMELF
D2 = 1N4148 MINIMELF

C1 = 100 nF C1206
 C2 = 100 nF C1206
 C3 = 100 nF C1206
 C4 = 100 nF C1206
 C7 = 100 nF C1206
 C8 = 100 nF C1206
 C9 = 100 nF C1206
 C10 = 100 nF C1206
 C5 = 4,7 μ F A/3216-18R
 C6 = 4,7 μ F A/3216-18R
 THS1 = THS4052C SO8
 THS2 = THS4052C SO8
 OPA1 = OPA861 SO8
 OPA2 = OPA861 SO8
 OPA3 = OPA861 SO8

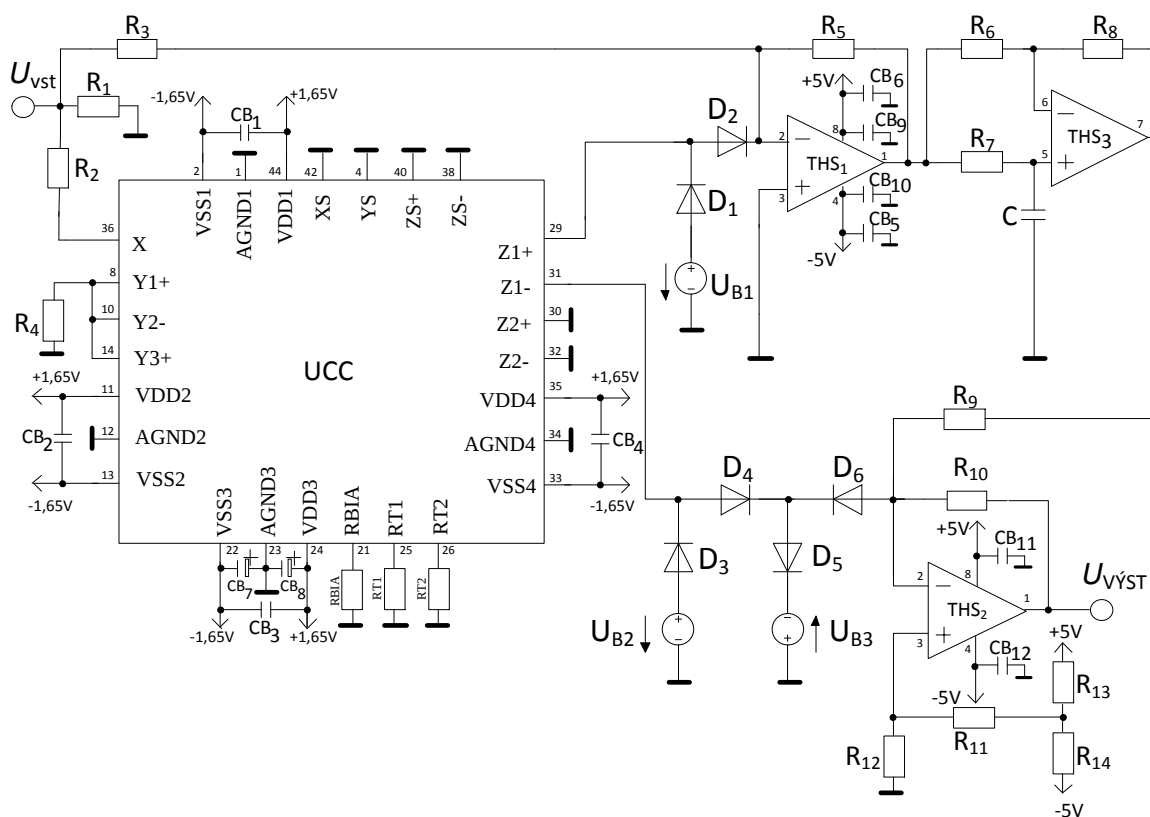


Obr. B.2: Návrh desky plošných spojů (cesty)



Obr. B.3: Návrh desky plošných spojů (součástky)

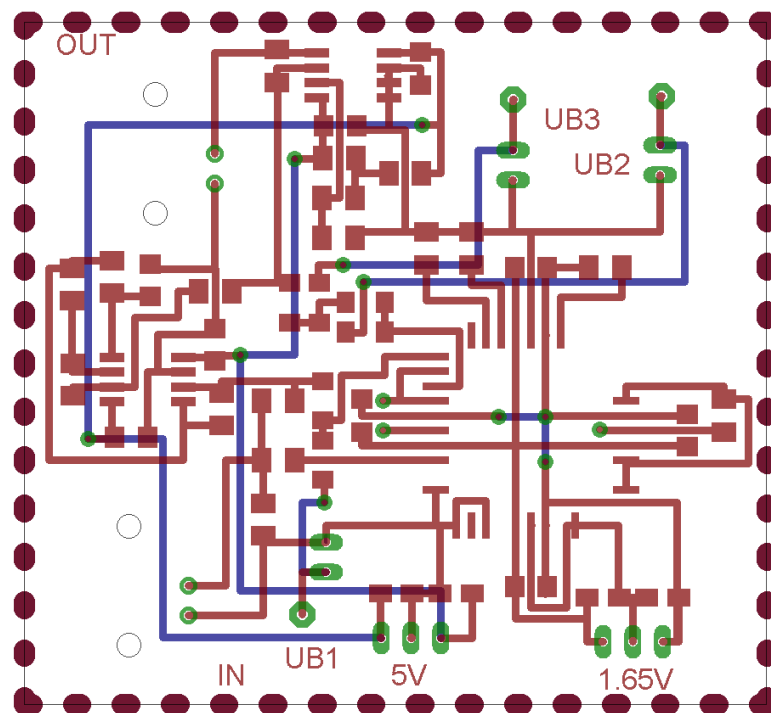
B.1 Druhé navrhované zapojení



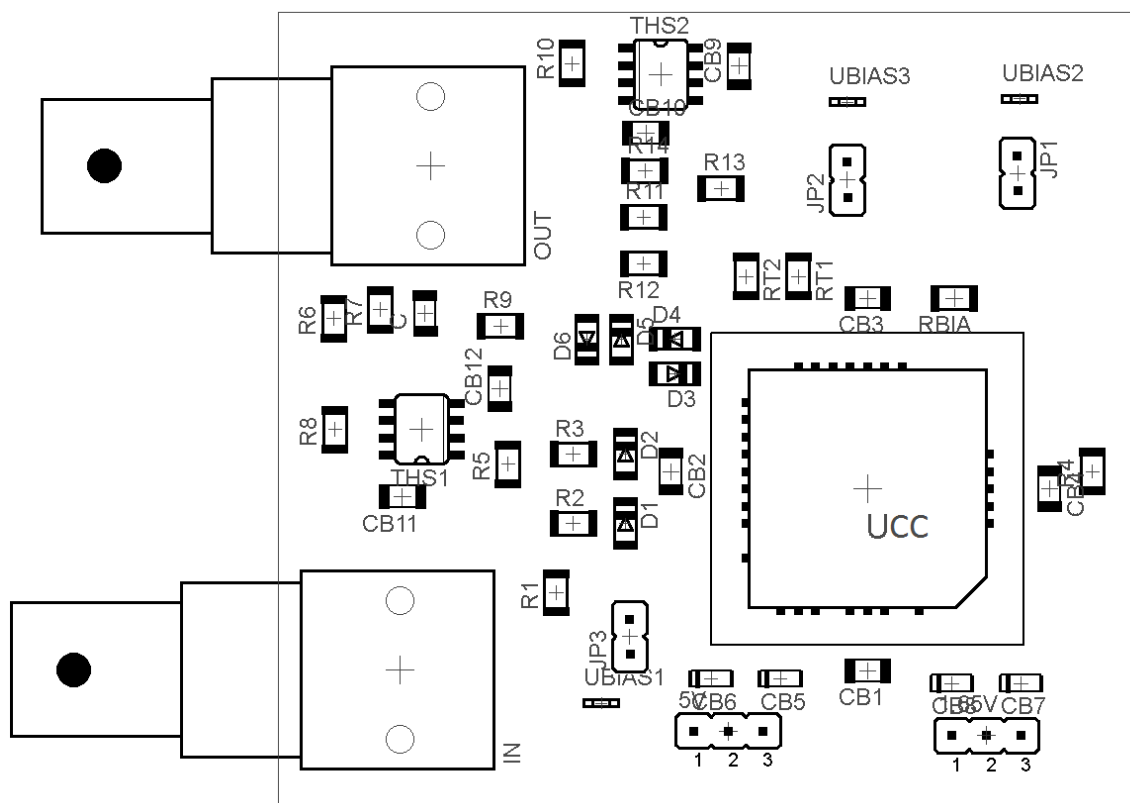
Obr. B.4: Schéma druhého navrhovaného obvodu s UCC

Seznam součástek:

R1 = 51 Ω M1206
R2 = 510 Ω M1206
R3 = 1,1 k Ω M1206
R4 = 51 Ω M1206
R5 = 1,1 k Ω M1206
R6 = 10 k Ω M1206
R7 = 5 k Ω M1206
R8 = 9,6 k Ω M1206
R9 = 1,1 k Ω M1206
R10 = 1,1 k Ω M1206
R11 = 1,1 k Ω M1206
R12 = 1,1 k Ω M1206
R13 = 1,1 k Ω M1206
R14 = 1,1 k Ω M1206
RBIA = 4,7 k Ω M1206
RT1 = 8,2 k Ω M1206
RT2 = 8,2 k Ω M1206
D1-6 = 1N4148 MINIMELF
C = 5 pF C1206
CB1 = 47n + 68p C1206
CB2 = 47n + 68p C1206
CB3 = 47n + 68p C1206
CB4 = 47n + 68p C1206
CB5 = 4,7 μ F A/3216-18R
CB6 = 4,7 μ F A/3216-18R
CB7 = 4,7 μ F A/3216-18R
CB8 = 4,7 μ F A/3216-18R
CB9 = 100 nF C1206
CB10 = 100 nF C1206
CB11 = 100 nF C1206
CB12 = 100 nF C1206
THS1 = THS4052C SO8
THS2 = THS4052C SO8
UCC = UCC-N1B 520



Obr. B.5: Návrh desky plošných spojů (cesty)



Obr. B.6: Návrh desky plošných spojů (součástky)