

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

**Ústav mikroelektroniky**

SEMESTRÁLNÍ PROJEKT

**Zdroj referenčního napětí  $\pm 2,5$  V s REF-02**

Brno, 2.5.2023

Tomáš Batelka

# Obsah

1. Zadání práce.....	3
2. Popis součástky.....	4
2.1. Funkce.....	4
2.2. Aplikace.....	4
2.3. Parametry.....	5
3. SPICE model.....	6
3.1. Získání modelů.....	6
3.2. Napěťová reference Analog Devices REF-02.....	6
3.3. Operační zesilovač Linear Technology OP97.....	8
4. Zapojení obvodu.....	9
4.1. Schémata.....	9
4.2. Netlist.....	10
4.3. Vlastní knihovna.....	11
5. Experimenty.....	11
5.1. Závislost výstupního napětí naprázdno na vstupním napětí.....	11
5.1.1. Vstupního soubor – kladná úroveň.....	11
5.1.2. Vstupního soubor – záporná úroveň.....	12
5.1.3. Výstup.....	12
5.2. Závislost výstupního napětí na teplotě.....	14
5.2.1. Vstupního soubor – kladná úroveň.....	14
5.2.2. Vstupního soubor – záporná úroveň.....	14
5.2.3. Výstup.....	15
5.3. Zatěžovací charakteristika napěťové reference.....	16
5.3.1. Výpis vstupního souboru – kladná úroveň.....	16
5.3.2. Výpis vstupního souboru – záporná úroveň.....	16
5.3.3. Výstup.....	17
6. Závěr.....	18
6.1. Porovnání hodnot.....	18

## 1. Zadání práce

- a) Získejte z Internetu nebo jiným způsobem model SPICE a katalogový list („datasheet“) napěťové reference REF-02 fy Analog Devices.
- b) Součástku stručně popište – funkce, parametry, výčet možných aplikací.
- c) S integrovaným obvodem sestavte zdroj symetrického referenčního napětí  $\pm 2,5V$  podle doporučeného zapojení uvedeného v katalogovém listu. Popište co nejdetailněji funkci zapojení.
- d) Změřte závislost obou výstupních napětí naprázdno na vstupním napájecím napětí zdroje. Z grafu odečtěte dolní hranici napájecího napětí pro správnou funkci reference.
- e) Změřte závislosti obou výstupních napětí na teplotě v rozsahu od  $-50$  do  $+125$  stupňů Celsia. Porovnejte s katalogovými údaji.
- f) Proved'te další experiment dle vlastního uvážení.
- g) Odevzdejte protokol s těmito údaji:
  - hlavička se zadáním, s jménem autora a datem odevzdání,
  - charakteristika modelované součástky podle bodu b),
  - SPICE model prvku spolu s údaji o způsobu jeho získání,
  - schémata z katalogového listu s odkazem na tento list a popis testovaného zapojení podle bodu c),
  - výpisy vstupních souborů SPICE (případně výstupy ze schématického editoru) pro dané simulace dle bodů d), e) f), doprovázené popisem simulací s jejich výsledky (relevantní výpisy z výstupních souborů a výstupy z PROBE),
  - slovní komentář k získaným výsledkům,
  - přehled literatury a všech dalších použitých zdrojů informací včetně Internetovské adresy, odkud byl stažen katalogový list a další údaje o součástce,
  - výpis vlastní knihovny, v níž bude model integrovaného obvodu, případně modely dalších součástek, které jste pro Váš projekt použili.

## **2. Popis součástky**

### **2.1. Funkce**

Napěťová reference REF-02 poskytuje stabilní výstup o napětí 5,0 V s minimální změnou v závislosti na výkyvech napájecího napětí, změnách okolní teploty nebo změnách zátěže [1].

### **2.2. Aplikace**

Výčet možných aplikací REF-02 [1]:

- Basic reference
- Low cost current source
- Precision current source with adjustable output
- Precision boosted output generator
- Bipolar voltage reference
- Adjustable reference with positive and negative swing
- Temperature sensing and approximation

## 2.3. Parametry

*Tabulka 1: Parametry napětové reference REF-02 [1]*

$V_{IN} = 15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $I_{LOAD} = 0\text{ mA}$ , all grades, unless otherwise noted. Nongraded refers to REF02Z.

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
OUTPUT VOLTAGE	$V_O$	A and E grades	4.985	5.000	5.015	V
		H grade and nongraded	4.975	5.000	5.025	V
		C grade	4.950	5.000	5.050	V
OUTPUT ADJUSTMENT RANGE <sup>1</sup>	$\Delta V_{TRIM}$	A, E, H grades and nongraded, POT = 10 k $\Omega$	$\pm 3.0$	$\pm 6.0$		%
		C grade, POT = 10 k $\Omega$	$\pm 2.7$	$\pm 6.0$		%
INITIAL ACCURACY	$V_{OERR}$	A and E grades			$\pm 15$	mV
					$\pm 0.3$	%
		H grade and nongraded			$\pm 25$	mV
					$\pm 0.5$	%
		C grade			$\pm 50$	mV
TEMPERATURE COEFFICIENT	$TCV_O$				$\pm 1$	%
		A grade and non-graded, $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		3	8.5	ppm/ $^\circ\text{C}$
		E and H grades, $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$		10	25	ppm/ $^\circ\text{C}$
		C grade, $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ (-J and -Z packages)		20	65	ppm/ $^\circ\text{C}$
		C grade, $-40 \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ (-P and -S packages)		20	65	ppm/ $^\circ\text{C}$
LINE REGULATION <sup>2</sup>	$\Delta V_O/\Delta V_{IN}$	A, E, H grades and nongraded, $V_{IN} = 8\text{ V to } 36\text{ V}$		60	100	ppm/V
		A, E, H grades and nongraded, $V_{IN} = 8\text{ V to } 36\text{ V}$ , $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$		70	120	ppm/V
		A, E, H grades and nongraded, $V_{IN} = 8\text{ V to } 36\text{ V}$ , $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		90	150	ppm/V
		C grade, $V_{IN} = 8\text{ V to } 36\text{ V}$		90	150	ppm/V
		C grade, $V_{IN} = 8\text{ V to } 36\text{ V}$ , $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ (-J and -Z packages)		110	180	ppm/V
		C grade, $V_{IN} = 8\text{ V to } 36\text{ V}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ (-P and -S packages)		110	180	ppm/V
LOAD REGULATION <sup>2</sup>	$\Delta V_O/\Delta I_{LOAD}$	A and E grades, $I_{LOAD} = 0\text{ mA to } 10\text{ mA}$		60	100	ppm/mA
		A and E grades, $I_{LOAD} = 0\text{ mA to } 8\text{ mA}$ , $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$		60	100	ppm/mA
		A and E grades, $I_{LOAD} = 0\text{ mA to } 8\text{ mA}$ , $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		70	120	ppm/mA
		H grade and nongraded, $I_{LOAD} = 0\text{ mA to } 10\text{ mA}$		60	100	ppm/mA
		H grade and nongraded, $I_{LOAD} = 0\text{ mA to } 8\text{ mA}$ , $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$		70	120	ppm/mA
		H grade and nongraded, $I_{LOAD} = 0\text{ mA to } 8\text{ mA}$ , $-50^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		90	150	ppm/mA
		C grade, $I_{LOAD} = 0\text{ mA to } 8\text{ mA}$		60	150	ppm/mA
		C grade, $I_{LOAD} = 0\text{ mA to } 5\text{ mA}$ , $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ (-J and -Z packages)		80	180	ppm/mA
		C grade, $I_{LOAD} = 0\text{ mA to } 5\text{ mA}$ , $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ (-P and -S packages)		80	180	ppm/mA
DROPOUT VOLTAGE	$V_{DO}$				2	V
QUIESCENT CURRENT	$I_{IN}$	A, E, H grades and nongraded		1.0	1.4	mA
		C grade		1.0	1.6	mA
LOAD CURRENT	$I_{LOAD}$					
		A, E, H grades and nongraded			10	mA
		C grade			8	mA
					-0.3	mA
SHORT CIRCUIT TO GND	$I_{SC}$	$V_O = 0\text{ V}$		30		mA
VOLTAGE NOISE	$e_{N\text{ p-p}}$	0.1 Hz to 10.0 Hz (-S, -Z and -P packages)		15		$\mu\text{V p-p}$
		0.1 Hz to 10.0 Hz (-J package)		20		$\mu\text{V p-p}$
LONG-TERM STABILITY <sup>3</sup>	$\Delta V_O$	After 1000 hours of operation		50		ppm
TURN-ON SETTLING TIME	$t_R$	Output settling to within $\pm 0.1\%$ of final value		5		$\mu\text{s}$
TEMPERATURE SENSOR <sup>4</sup>						
Voltage Output at TEMP Pin	$V_{TEMP}$			580		mV
Temperature Sensitivity	$TCV_{TEMP}$			1.96		mV/ $^\circ\text{C}$

<sup>1</sup> Refer to the Output Adjustment section.

<sup>2</sup> Specification includes the effects of self-heating.

<sup>3</sup> Long-term stability is noncumulative; the drift in subsequent 1000-hour periods is significantly lower than in the first 1000-hour periods. Refer to the [Application Note AN-713](#).

<sup>4</sup> Refer to the Temperature Monitoring section.

## 3. SPICE model

### 3.1. Získání modelů

Model REF-02 jsme našli pomocí internetového vyhledávače Google a to pomocí následujícího dotazu "*REF02 filetype:lib*", kde uvozovky způsobí vyhledání přesné fráze a filtr filetype vybere pouze ty výsledky, jejichž přípona odpovídá zadané hodnotě (v našem případě lib). Staženou knihovnu jsem poté přesunul do adresáře obsahující soubor (\*.cir) s popisem obvodu. Stejným způsobem jsme také našli operační zesilovač OP97.

### 3.2. Napěťová reference Analog Devices REF-02

Následuje SPICE model napěťové reference REF-02 od společnosti Analog Devices [2]:

```
*$
* REF02 SPICE MACROMODEL                                9/91, Rev. A
*                                                         (JCB / PMI)
*
* Copyright 1991 by Analog Devices, Inc.
*
* Refer to "README.DOC" file for License Statement.  Use of this model
* indicates your acceptance with the terms and provisions in the License
Statement.
*
* N   ODE NUMBERS
*
*           VIN
*           |  GND
*           |  |  TRIM
*           |  |  |  VOUT
*           |  |  |  |
.SUBCKT REF-02/AD  2  4  5  6
*
* 1.23V REFERENCE
*
I1      4  10  1.22889E-6
R1      10  4  1000E3  TC=3E-6
G1      4  10  21  4  1E-6
F1      4  10  VS  61.5E-9
*
* LINE REGULATION ZERO
*
E1      20  4  2  4  73.8
R11     20  21  1E6
R12     21  4  1
C4      20  21  27E-8
```

```

*
* INTERNAL OP AMP
*
G2      4  11  10  19  2E-3
R2      4  11  150E6
C1      4  11  2.6E-10
D1      11 12  DX
V1      2  12  1.3
*
* SECONDARY POLE
*
G3      4  13  11  0  1E-6
R3      4  13  1E6
C2      4  13  2.4E-13
*
* OUTPUT STAGE
*
ISY     2   4   0.385E-3
FSY     2   4   V1  -1
G4      4  14  13  0  25E-6
R4      4  14  40E3
R7     17 19  6.13008E3
R8     19  4   2E3
R9     19  5  25E3
R10     5   4  1E12
Q1     16 14  17  QN
VS     18 17  DC  0
L1     18  6  1E-7
*
* OUTPUT CURRENT LIMIT
*
Q2     15  2  16  QN
R6      2 16  19
R5      2 15  18E3
C3      2 15  1E-6
G5     14  4  2  15  1
*
.MODEL  QN  NPN(IS=1E-15  BF=1000)
.MODEL  DX  D(IS=1E-18)
.ENDS

```

### 3.3. Operační zesilovač Linear Technology OP97

Následuje SPICE model operačního zesilovače OP97 od společnosti Linear Technology [3]:

```
*$
.SUBCKT OP-97/LT 3 2 7 4 6
* INPUT
RC1 7 80 8.842E+03
RC2 7 90 8.842E+03
Q1 80 2 10 QM1
Q2 90 3 11 QM2
DDM1 2 3 DM2
DDM2 3 2 DM2
C1 80 90 5.460E-12
RE1 10 12 2.246E+02
RE2 11 12 2.246E+02
IEE 12 4 6.000E-06
RE 12 0 3.333E+07
CE 12 0 1.579E-12
* INTERMEDIATE
GCM 0 8 12 0 2.841E-11
GA 8 0 80 90 1.131E-04
R2 8 0 1.000E+05
C2 1 8 3.000E-11
GB 1 0 8 0 1.960E+02
* OUTPUT
R01 1 6 1.000E+02
R02 1 0 9.000E+02
RC 17 0 1.063E-04
GC 0 17 6 0 9.408E+03
D1 1 17 DM1
D2 17 1 DM1
D3 6 13 DM2
D4 14 6 DM2
VC 7 13 1.785E+00
VE 14 4 1.785E+00
IP 7 4 3.740E-04
DSUB 4 7 DM2
* MODELS
.MODEL QM1 NPN (IS=8.000E-16 BF=7.500E+04)
.MODEL QM2 NPN (IS=8.008E-16 BF=1.500E+05)
.MODEL DM1 D (IS=1.179E-19)
.MODEL DM2 D (IS=8.000E-16)
.ENDS OP-97/LT
```



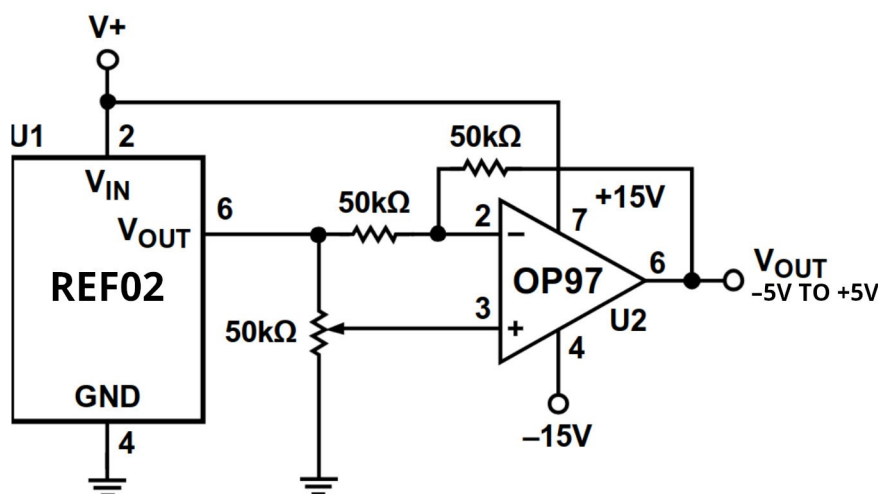
## 4. Zapojení obvodu

Pro naši aplikaci jsme zvolili zapojení jako nastavitelná reference s kladnou a zápornou úrovní napětí. Obvod zobrazený na Obrázek 1 rozšiřuje rozsah negativního nastavení přes rozsah dosažitelný pomocí jednoduchého ladícího obvodu tím, že používá operační zesilovač s potenciometrem vstupujícím do neinvertujícího vstupu operačního zesilovače [1]. Výstupní napětí operačního zesilovače lze nastavit změnou hodnoty potenciometru: na operačním zesilovači je napětí +5 V, když je potenciometr nastaven na nejvyšší hodnotu odporu, a -5 V, když je nastaven na nejnižší hodnotu odporu [1]. V této konfiguraci je proud zátěže odebírán operačním zesilovačem, proto by měl být použit operační zesilovač s nízkým offsetem a proudem, který splňuje nebo překračuje proudové požadavky zátěže [1].

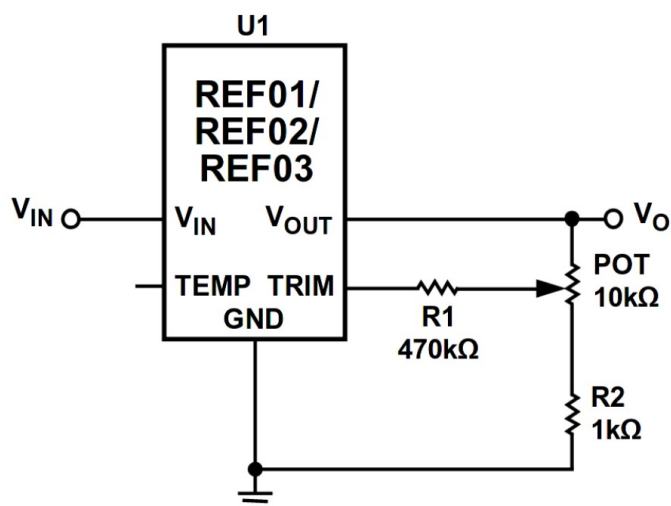
Pro naši aplikaci jsme potenciometr o odporu 50 k $\Omega$  nahradili potenciometrem o odporu 25 k $\Omega$ . Obvod jsme také doplnili o dva rezistory s odporem 12,5 k $\Omega$ , jeden mezi zem a potenciometr a druhý mezi potenciometr a výstup napěťové reference. Toto doplnění omezí výstupní napětí operačního zesilovače z  $\pm 5$  V na  $\pm 2,5$  V.

Výstupní napětí reference REF-02 lze upravit pomocí jednoduchého ladícího obvodu, jehož schéma je uvedeno níže (viz Obrázek 2) [1].

### 4.1. Schémata



Obrázek 1: Zapojení jako nastavitelná reference s kladnou a zápornou úrovní napětí [1]



Obrázek 2: Volitelný dolad'ovací obvod [1]

## 4.2. Netlist

### BPC-MPS - Projekt

Vinp vin\_p 0 DC 15

Vinn 0 vin\_n DC 15

Xref	vin_p	0	ref_trim	ref_vout	REF-02/AD
Xout_adj	ref_vout	ref_trim	0		OUT_ADJ
Rref_vout	ref_vout	opamp_inv			50k
Xopamp	div_high	opamp_inv	vin_p	vin_n	vout OP-97/LT
Rfeedback	opamp_inv	vout			50k
Rdiv_vout	ref_vout	div_high			12.5k
Rpot	div_high	div_low			25k
Rdiv_gnd	div_low	0			12.5k

.LIB "anlg\_dev.lib"

.LIB "linear\_tech.lib"

.LIB "subckts.lib"

.END

Potenciometr Xpot jsme vzhledem k potížím, nahradili rezistorem Rpot. Potíží bylo to, že při použití podobvodu s potenciometrem docházelo k posunutí mezí výstupního napětí obvodu. U horní meze došlo k posunutí z 2,5000 V na 2,9124 V a u spodní meze z -2,5000 V na -2.3624 V. Náhrada potenciometru rezistorem také pomohla k urychlení simulací.

## 4.3. Vlastní knihovna

BPC-MPS - Projekt - Knihovna

```
.SUBCKT OUT_ADJ vout trim gnd
    R1 trim r1 470k
    R2 r2 gnd 1k
    Xpot vout r1 r2 POT PARAMS: VALUE=10k SET=.168
.ENDS
```

```
.SUBCKT POT 1 T 2 PARAMS: VALUE=1 SET=0.5
    RT 1 T {VALUE*(1-MIN(1-1f,SET))}
    RB T 2 {VALUE*MAX(1f,SET)}
.ENDS
```

Podobvod doladřovacího obvodu OUT\_ADJ slouží k docílení co nejpřesnějšího výstupního napětí reference [1].

Rezistory v podobvodu potenciometru POT používají funkce MIN a MAX proto, aby nedošlo k nulové hodnotě odporu.

## 5. Experimenty

### 5.1. Závislost výstupního napětí naprázdno na vstupním napětí

#### 5.1.1. Vstupního soubor – kladná úroveň

BPC-MPS - Projekt

```
Vinp vin_p 0 DC 15
Vinn 0 vin_n DC 15
```

Xref	vin_p	0	ref_trim	ref_vout	REF-02/AD
Xout_adj	ref_vout	ref_trim	0		OUT_ADJ
Rref_vout	ref_vout	opamp_inv			50k
Xopamp	<i>div_high</i>	opamp_inv	vin_p	vin_n	vout OP-97/LT
Rfeedback	opamp_inv	vout			50k
Rdiv_vout	ref_vout	div_high			12.5k
Rpot	div_high	div_low			25k
Rdiv_gnd	div_low	0			12.5k

```
.DC Vinp 0 30 .5 ; Odkrokuje napětí napěťového zdroje v rozmezí 0-30 V
; s krokem 0.5 V
```

```
.PROBE V([vout]) ; Zapiše výsledky DC analýzy do datového souboru
```

```
.LIB "anlg_dev.lib"  
.LIB "linear_tech.lib"  
.LIB "subckts.lib"
```

```
.END
```

### 5.1.2. Vstupního soubor – záporná úroveň

#### BPC-MPS - Projekt

```
Vinp vin_p 0 DC 15  
Vinn 0 vin_n DC 15
```

Xref	vin_p	0	ref_trim	ref_vout	REF-02/AD
Xout_adj	ref_vout	ref_trim	0		OUT_ADJ
Rref_vout	ref_vout	opamp_inv			50k
Xopamp	div_low	opamp_inv	vin_p	vin_n	vout OP-97/LT
Rfeedback	opamp_inv	vout			50k
Rdiv_vout	ref_vout	div_high			12.5k
Rpot	div_high	div_low			25k
Rdiv_gnd	div_low	0			12.5k

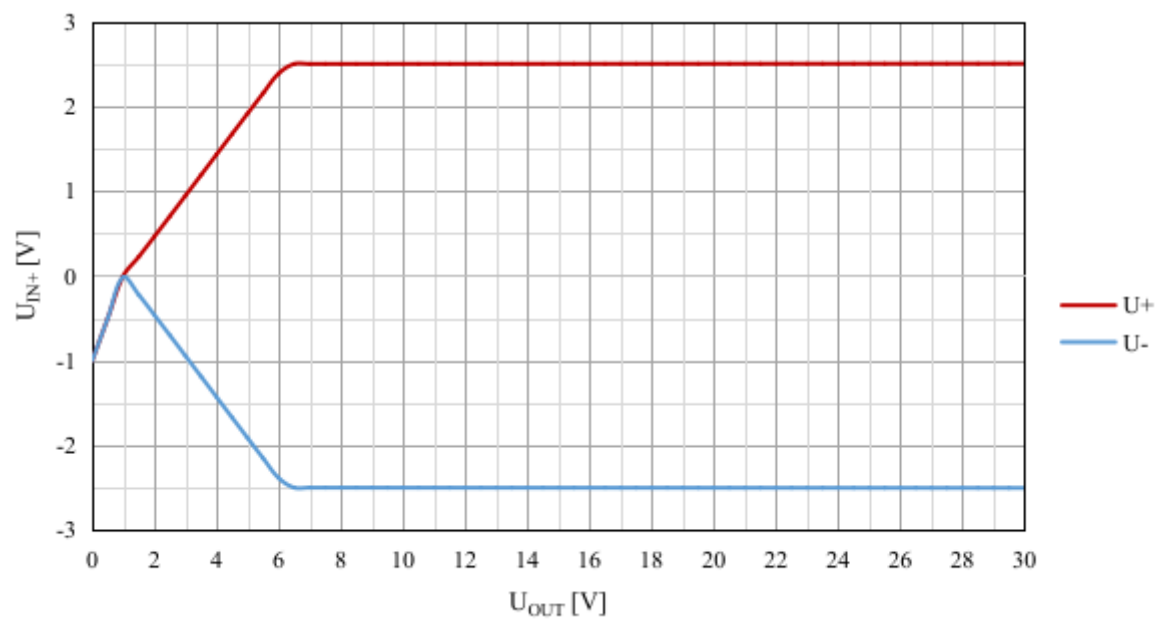
```
.DC Vinp 0 30 .5 ; Odkrokuje napětí napěťového zdroje v rozmezí 0-30 V  
; s krokem 0.5 V  
.PROBE V([vout]) ; Zapiše výsledky DC analýzy do datového souboru
```

```
.LIB "anlg_dev.lib"  
.LIB "linear_tech.lib"  
.LIB "subckts.lib"
```

```
.END
```

### 5.1.3. Výstup

Na Obrázek 3 můžeme vidět závislost výstupního napětí na vstupním napětí reference. Z těchto dat můžeme určit dolní mez napájecího napětí pro správnou funkci reference. Tato mez se nachází při napětí 6,5 V. Z této hodnoty pak můžeme vypočítat dropout napětí  $U_{DO} = U_{IN} - U_{OUT} = 6,5 - 2,5 = 4,0 \text{ V}$ .



Obrázek 3: Závislost výstupního napětí naprázdno na vstupním napětí [4]

## 5.2. Závislost výstupního napětí na teplotě

### 5.2.1. Vstupního soubor – kladná úroveň

BPC-MPS - Projekt

```
Vinp vin_p 0 DC 15
Vinn 0 vin_n DC 15
```

```
Xref      vin_p      0      ref_trim ref_vout REF-02/AD
Xout_adj   ref_vout   ref_trim 0      OUT_ADJ
Rref_vout  ref_vout   opamp_inv      50k
Xopamp     div_high  opamp_inv  vin_p  vin_n vout OP-97/LT
Rfeedback  opamp_inv  vout      50k
Rdiv_vout  ref_vout   div_high      12.5k
Rpot       div_high  div_low      25k
Rdiv_gnd   div_low    0      12.5k
```

```
.DC temp -50 125 1 ; Odkrokuje teplotu v rozmezí -50-30 °C s krokem 1 °C
.PROBE V([vout]) ; Zapiše výsledky DC analýzy do datového souboru
```

```
.LIB "anlg_dev.lib"
.LIB "linear_tech.lib"
.LIB "subckts.lib"
```

```
.END
```

### 5.2.2. Vstupního soubor – záporná úroveň

BPC-MPS - Projekt

```
Vinp vin_p 0 DC 15
Vinn 0 vin_n DC 15
```

```
Xref      vin_p      0      ref_trim ref_vout REF-02/AD
Xout_adj   ref_vout   ref_trim 0      OUT_ADJ
Rref_vout  ref_vout   opamp_inv      50k
Xopamp     div_low  opamp_inv  vin_p  vin_n vout OP-97/LT
Rfeedback  opamp_inv  vout      50k
Rdiv_vout  ref_vout   div_high      12.5k
Rpot       div_high  div_low      25k
Rdiv_gnd   div_low    0      12.5k
```

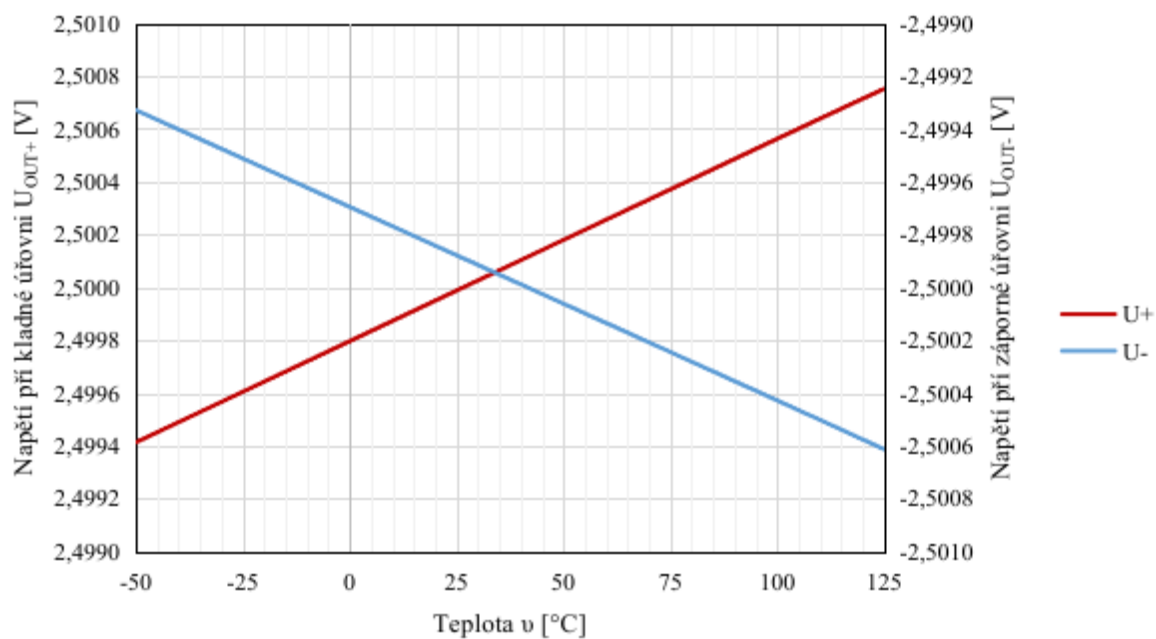
```
.DC temp -50 125 1 ; Odkrokuje teplotu v rozmezí -50-30 °C s krokem 1 °C
.PROBE V([vout]) ; Zapiše výsledky DC analýzy do datového souboru
```

```
.LIB "anlg_dev.lib"
.LIB "linear_tech.lib"
.LIB "subckts.lib"
```

```
.END
```

### 5.2.3. Výstup

Z Obrázek 4 je patrné, že ačkoliv vlivem teploty dochází ke změně napětí na výstupu, je tato změna minimální. Podle proměřeného intervalu dochází ke změně o 7 ppm/°C v kladné úrovni a v záporné o -8 ppm/°C.



Obrázek 4: Závislost výstupního napětí na teplotě [4]

## 5.3. Zatěžovací charakteristika napěťové reference

### 5.3.1. Výpis vstupního souboru – kladná úroveň

BPC-MPS - Projekt

Vinp vin\_p 0 DC 15

Vinn 0 vin\_n DC 15

Xref	vin_p	0	ref_trim	ref_vout	REF-02/AD
Xout_adj	ref_vout	ref_trim	0		OUT_ADJ
Rref_vout	ref_vout	opamp_inv			50k
Xopamp	<i>div_high</i>	opamp_inv	vin_p	vin_n	vout OP-97/LT
Rfeedback	opamp_inv	vout			50k
Rdiv_vout	ref_vout	div_high			12.5k
Rpot	div_high	div_low			25k
Rdiv_gnd	div_low	0			12.5k

*Iload*      *vout*      *0*      *0*

*.DC Iload 0 15m 10u ; Odkrokuje teplotu v rozmezí 0-15 mA s krokem 1 mA*

*.PROBE V([vout]) ; Zapiše výsledky DC analýzy do datového souboru*

.LIB "anlg\_dev.lib"

.LIB "linear\_tech.lib"

.LIB "subckts.lib"

.END

### 5.3.2. Výpis vstupního souboru – záporná úroveň

BPC-MPS - Projekt

Vinp vin\_p 0 DC 15

Vinn 0 vin\_n DC 15

Xref	vin_p	0	ref_trim	ref_vout	REF-02/AD
Xout_adj	ref_vout	ref_trim	0		OUT_ADJ
Rref_vout	ref_vout	opamp_inv			50k
Xopamp	<i>div_low</i>	opamp_inv	vin_p	vin_n	vout OP-97/LT
Rfeedback	opamp_inv	vout			50k
Rdiv_vout	ref_vout	div_high			12.5k
Rpot	div_high	div_low			25k
Rdiv_gnd	div_low	0			12.5k

*Iload*      *vout*      *0*      *0*



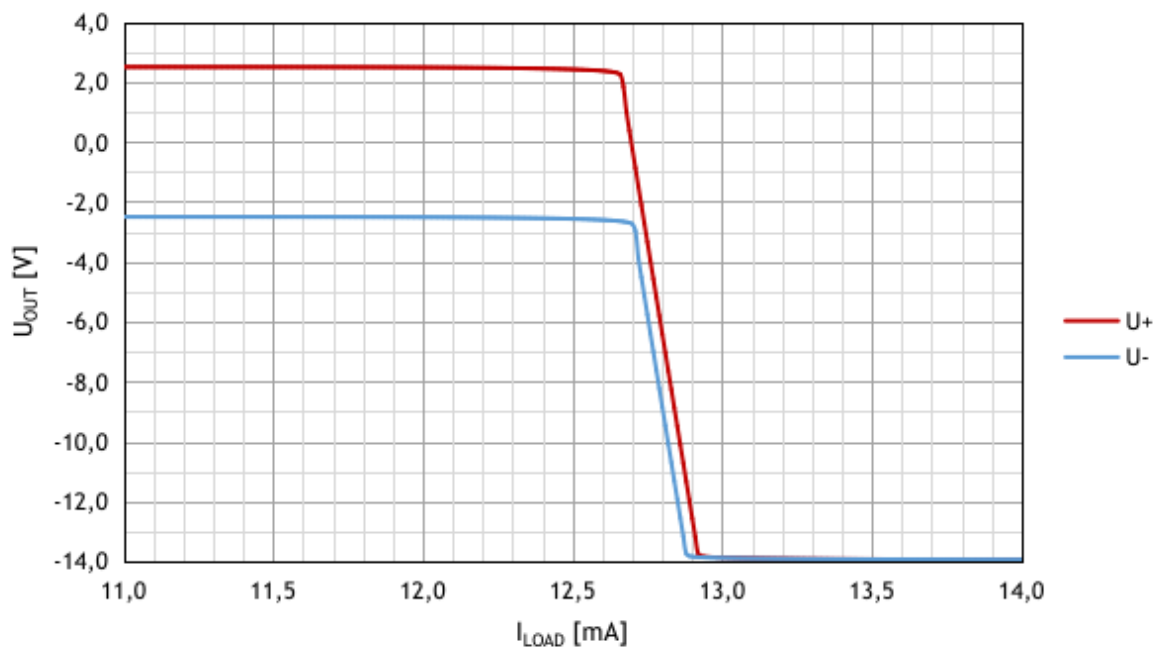
```
.DC Iload 0 15m 10u ; Odkrokuje teplotu v rozmezí 0-15 mA s krokem 1 mA  
.PROBE V([vout]) ; Zapiše výsledky DC analýzy do datového souboru
```

```
.LIB "anlg_dev.lib"  
.LIB "linear_tech.lib"  
.LIB "subckts.lib"
```

```
.END
```

### 5.3.3. Výstup

Na Obrázek 5 jsou vyneseny zatěžovací charakteristiky napěťové reference. Z obrázku je patrné, že napěťová reference se chová jako tvrdý napěťový zdroj až do proudu 12,65 mA pro kladnou úroveň napětí a 12,70 mA pro zápornou.



Obrázek 5: Zatěžovací charakteristika napěťové reference [4]

## 6. Závěr

Při vypracování této úlohy jsme při porovnání odsimulovaných hodnot a charakteristik s těmi v technickém listu zjistili, že modely součástek jsou pouze aproximací těch skutečných. Například závislost výstupního napětí na teplotě je křivka, která při nižších teplotách stoupá a při vyšších klesá. Ovšem námi odsimulovaná závislost je lineární. Ale i přes skutečnost, že jde pouze o aproximace, jsou simulace cenným nástrojem při návrhu elektronických obvodů. Některé hodnoty z technického listu jsou porovnány s těmi odsimulovanými níže – viz Tabulka 2.

### 6.1. Porovnání hodnot

*Tabulka 2: Porovnání hodnot z technického listu s hodnotami odsimulovanými [1][4]*

Parametr	Symbol	Technický list	Simulace	Jednotka
Teplotní koeficient	$TCV_0$	3 (typical) – 8,5 (max)	7–8	ppm/°C
Dropout voltage	$V_{DO}$	2	4	V
Proud zátěží	$I_{LOAD}$	8–10	12,65–12,70	mA

## Použité zdroje

- [1]: Analog Devices. *Precision 2.5 V, 5.0 V, and 10.0 V Voltage References* [elektronický dokument]. 2016 [cit. 2.5.2023]. Dostupný z: [https://courses.e-ce.uth.gr/Software/Electronics\\_II/orcad/model/linear\\_tech.lib](https://courses.e-ce.uth.gr/Software/Electronics_II/orcad/model/linear_tech.lib)
- [2]: Analog Devices. *Library of Analog Devices Opamps, Transistor Arrays, Analog Multipliers, Buffer, Switches, Voltage References*. 20.7.2001 [přístup 2.5.2023]. Dostupný z: [http://robustdesignconcepts.com/files/pspice/libs/anlg\\_dev.lib](http://robustdesignconcepts.com/files/pspice/libs/anlg_dev.lib)
- [3]: Linear Technology Corporation. *Library of Linear Technology op-amps and reference diodes models*. 31.5.1999 [přístup 2.5.2023]. Dostupný z: [https://raw.githubusercontent.com/jfargentino/kicad/master/linear\\_tech.lib](https://raw.githubusercontent.com/jfargentino/kicad/master/linear_tech.lib)
- [4]: Analog Devices. *LTspice XVII*. 27.4.2023 [přístup 2.5.2023]. Dostupný z: <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>