

TECHNICKÁ UNIVERZITA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA ELEKTRONIKY A MULTIMEDIÁLNYCH TELEKOMUNIKÁCIÍ

PRÍKLAD ZADANIA

Zadanie č.2

školský rok: 2007/2008

roč./skupina: 1.r / 6.sk

št. odbor: Telekomunikácie

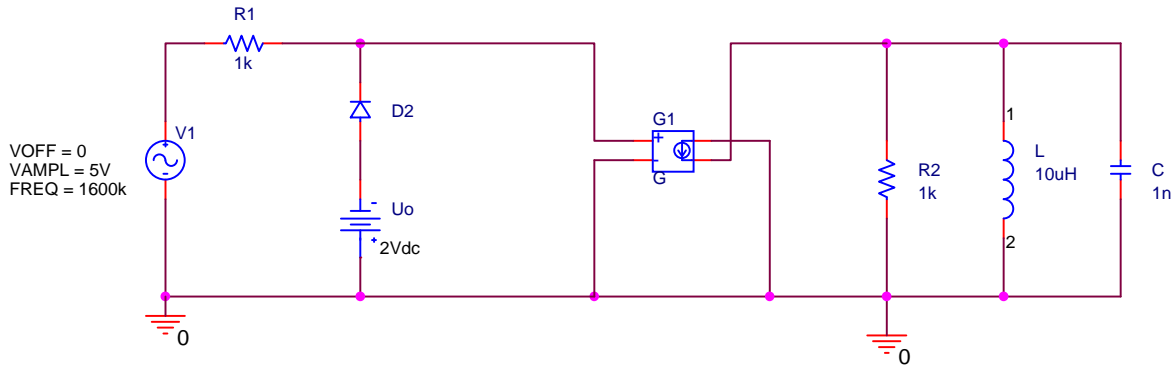
Jožko Mrkvička

mrkvicka@yahoo.com

Zadanie:

Pre obvod na Obr. 26 (odstráňte diódu $D1$) plti: $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 2\text{k}\Omega$, $L = 10\mu\text{H}$, $C = 1000\text{pF}$, $u_1 = U_1 \cos \omega t$, $U_1 = 5\text{V}$, $\omega = 10^7 \text{ rad s}^{-1}$, $U_0 = 2\text{V}$. Zobrazte priebeh prúdu $i(u)$, $i(t)$, zistite jeho maximálnu hodnotu, uhol otvorenia jeho jednosmernú zložku a prvú až piatu harmonickú zložku. Ďalej zobrazte napätie $u_o(t)$ a zistite celkové skreslenie (porovnajate výsledky získané z analýzy .FOUR a .TRAN \rightarrow FFT). Použite ľubovoľný model diódy z knižnice.

Schéma zapojenia:

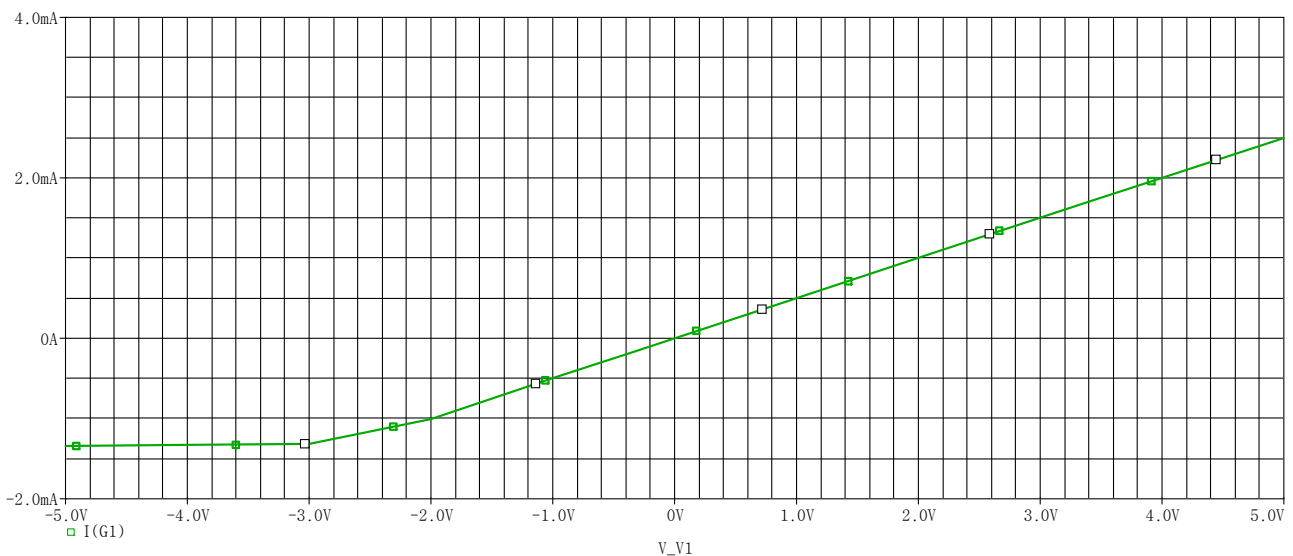


Teória:

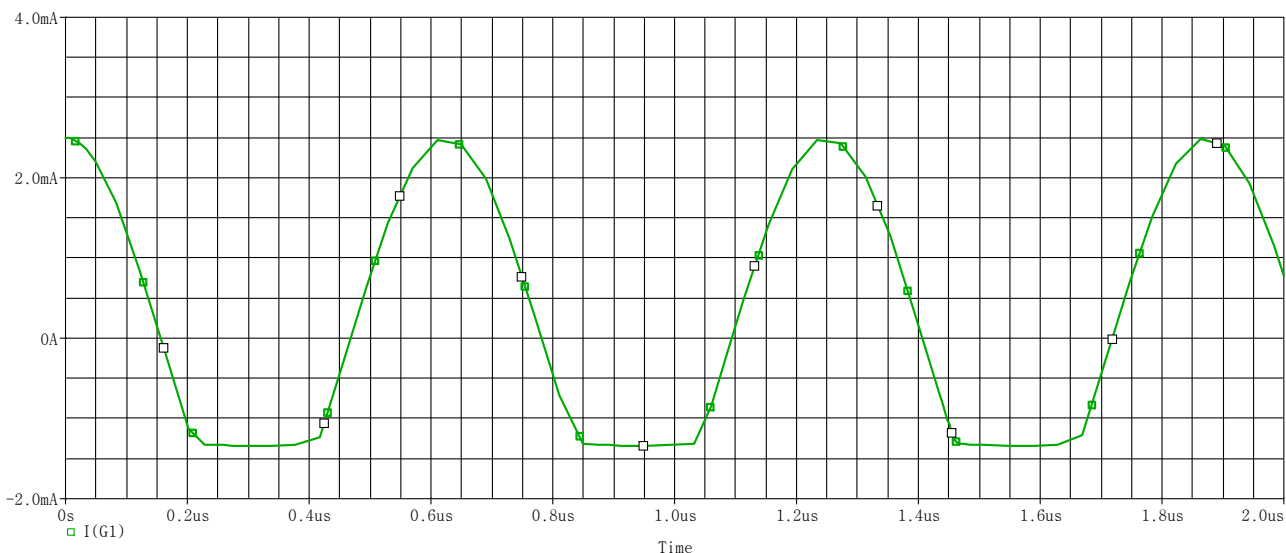
Limitér (obmedzovač) amplitúdy –sú to bezpamätové nelineárne funkčné obvody, ktoré upravujú signál prichádzajúci na ich vstup tak, že na ich výstupe je signál konštantnej amplitúdy. Veľkosť výstupnej amplitúdy sa dá jednoducho nastaviť. V mojom prípade sa veľkosť amplitúdy výstupného signálu dá nastaviť zdrojom, ktorý je v sérii s diódou. V obvode je iba jedna dióda, orientovaná tak že orezáva zápornú polvlnu striedavého signálu, zatiaľ čo kladná ostáva nezmenená. Tento obvod sa veľmi často používa pri frekvenčnej demodulácii. Napätím riadený prúdový zdroj, je riadený vstupným signálom orezaným obmedzovačom, takže priebeh prúdu kopíruje priebeh napätia. Zátťaž pre tento obvod predstavuje paralelný rezonančný obvod ktorý je naladený na určitú frekvenciu, čím sa zabezpečí že prepustí iba signál okolo jeho rezonančnej frekvencie a ostatne frekvencie potláča.

GRAFY :

Závislosť prúdu i od napätia u – $i(u)$



Závislosť prúdu od času - i(t)



Hodnota maximálneho prúdu odčítana z grafu I(t) a jej hodnota je: $I_{\max} = 2,475\text{mA}$

Výstup z fourierovej analýzy pre prúd i(t)

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(G_G1)

DC COMPONENT = 2.733785E-04

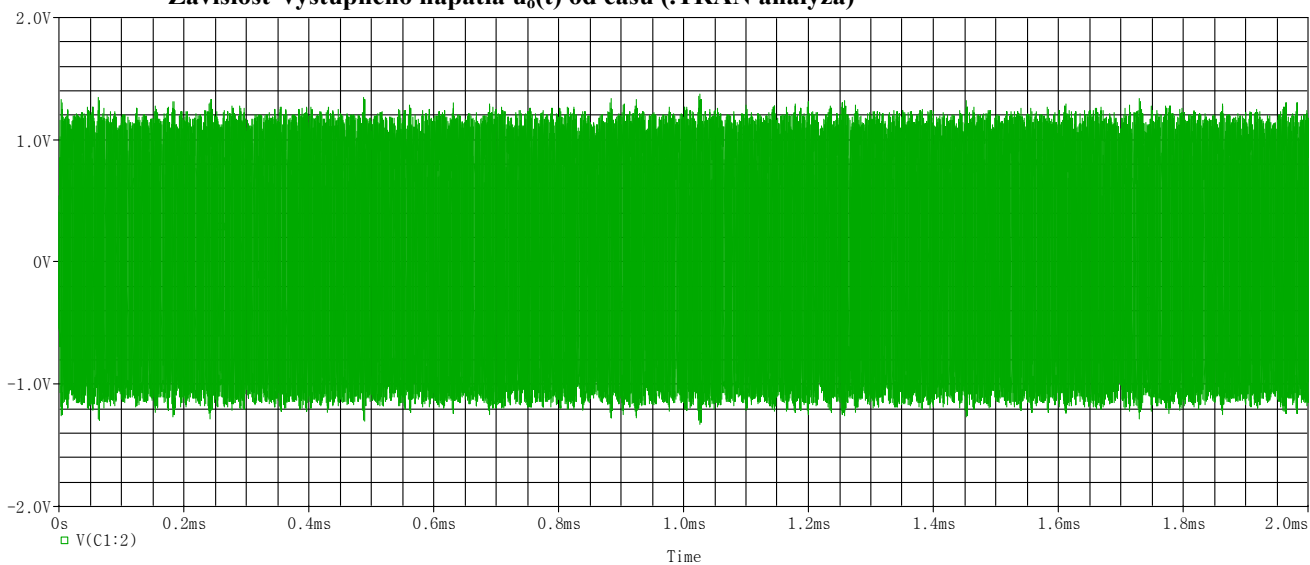
HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
-------------	----------------	-------------------	----------------------	-------------	------------------------

1	1.600E+06	2.092E-03	1.000E+00	7.645E+01	0.000E+00
2	3.200E+06	3.109E-04	1.486E-01	4.395E+01	-1.089E+02
3	4.800E+06	2.407E-04	1.150E-01	-1.175E+02	-3.469E+02
4	6.400E+06	1.161E-04	5.549E-02	1.076E+02	-1.982E+02
5	8.000E+06	1.304E-04	6.231E-02	5.712E+01	-3.251E+02

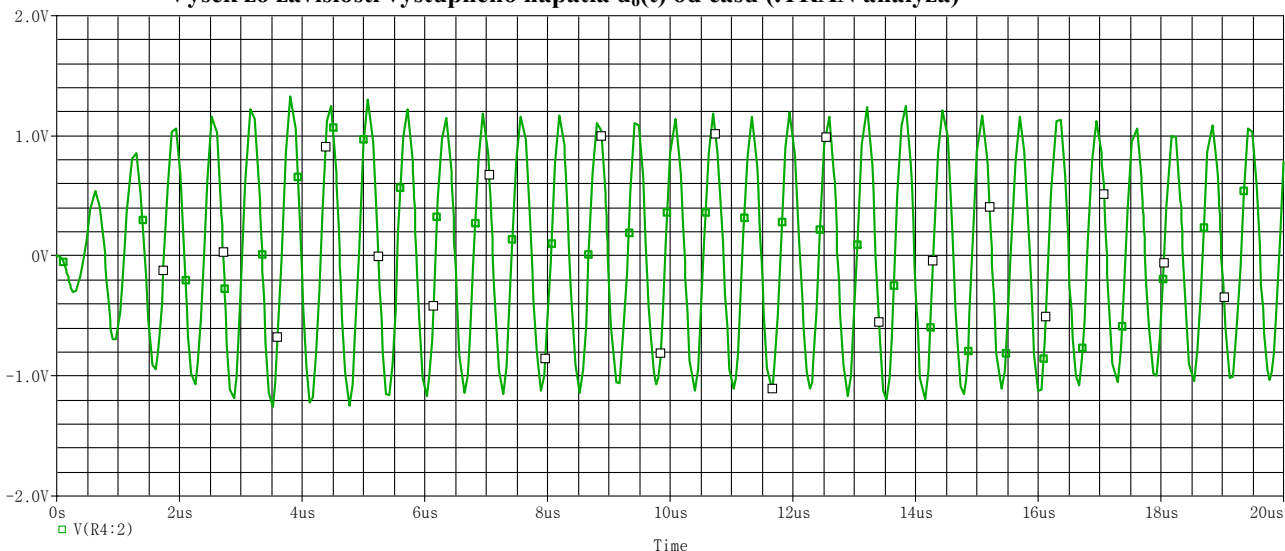
TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.055876E+01 PERCENT

Hodnota jednosmernej zložky prúdu i (ako nultá harmonická) : $I_{js} = 273,38\mu\text{A}$

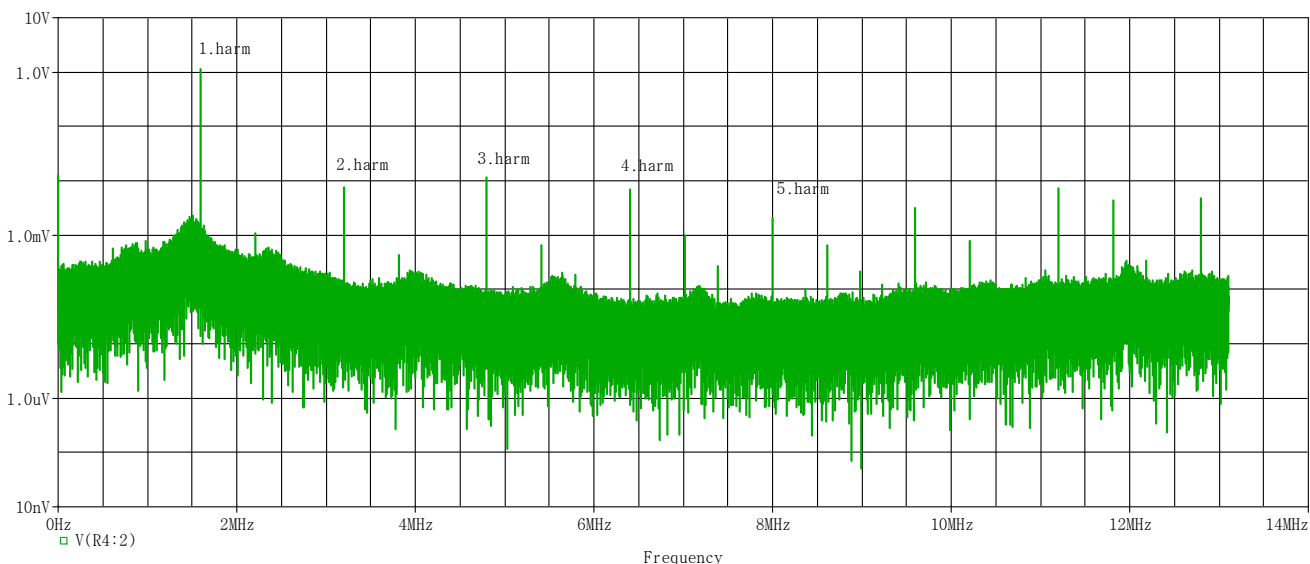
Závislosť výstupného napätia $u_o(t)$ od času (.TRAN analýza)



Výšek zo závislosti výstupného napätia $u_0(t)$ od času (.TRAN analýza)



Rýchla fourierová analýza (FFT) výstupného napätia u_0 s logaritmickou mierkou osi Y



Skreslenie výstupného napätia $u_0(t)$ z Fourierovej analýzy:

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(C_C)

DC COMPONENT = 1.383212E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	1.600E+06	1.137E+00	1.000E+00	-1.461E+02	0.000E+00
2	3.200E+06	4.097E-02	3.605E-02	1.463E+02	4.386E+02
3	4.800E+06	6.356E-02	5.593E-02	7.995E+00	4.464E+02
4	6.400E+06	4.676E-02	4.114E-02	-8.623E+01	4.983E+02
5	8.000E+06	3.966E-02	3.490E-02	-6.365E+01	6.671E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 8.565922E+00 PERCENT

Výpočet:

Hodnota maximálneho prúdu odčítana z grafu $i(t)$ a jej hodnota je: $I_{\max} = 2,475\text{mA}$

$$I_{\max} = \frac{U_{1\max}}{R_2} = \frac{5\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 2,5\text{mA}$$

Uhol otvorenia

$$U_x = U_0 - U_b = 2 - 0 = 2\text{V}$$

$U_1 = 5\text{V}$ - amplitúda vstupného napätia

$U_0 = 2\text{V}$ - jednosmerný zdroj

$U_b = 0\text{V}$ - jednosmerná zložka signálu U_1

$$\varphi = \arccos \frac{U_x}{U_1} = \frac{2\text{V}}{5\text{V}} = 66,42^\circ$$

Výpočet uhla otvorenia z priebehu prúdu $i(t)$:

$$t_0 = t_c - t_z = 625\text{ns} - 175\text{ns} = 450\text{ns}$$

$$2\varphi' = \frac{t_0}{t_c} * \pi = \frac{450\text{ns}}{625\text{ns}} * \pi = 0,72\pi = 129,6^\circ$$

Výpočet harmonických zložiek :

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \cos n\omega_0 t \quad - \text{vyjadrenie prúdu } i \text{ fourierovým radom}$$

Špičkový prúd :

$$I_p = \frac{U_1 - U_0}{R_2} = \frac{5\text{V} - 2\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 1,5\text{mA}$$

Hodnota jednosmernej zložky prúdu i (ako nultá harmonická) : $I_{js} = 273,38\mu\text{A}$

Nultá harmonická prúdu $i(t)$

$$I_0 = \frac{I_p}{\pi} * \frac{\sin \varphi - \varphi \cos \varphi}{1 - \cos \varphi} = \frac{1,5\text{mA}}{180} * \frac{\sin 66,42 - 66,42 \cdot \cos 66,42}{1 - \cos 66,42} = 356\mu\text{A}$$

Prvá harmonická prúdu $i(t)$

$$I_{1N} = \frac{I_p}{\pi} * \frac{\varphi - \sin \varphi \cos \varphi}{1 - \cos \varphi} = \frac{1,5\text{mA}}{180} * \frac{66,42 - \sin 66,42 \cdot \cos 66,42}{1 - \cos 66,42} = 0,917\text{mA}$$

$$I_1 = I_{1\max} - I_{1N} = 2,5\text{mA} - 0,917\text{mA} = 1,583\text{mA}$$

Druhá harmonická prúdu $i(t)$

$$I_{2N} = \frac{I_p}{\pi} * \frac{\cos \varphi \sin n\varphi - n \sin \varphi \cos n\varphi}{(1 - \cos \varphi) \cdot n \cdot (n^2 - 1)} = \frac{1,5\text{mA}}{180} * \frac{\cos 66,42 \sin 2 * 66,42 - 2 \cdot \sin 66,42 \cos 2 * 66,42}{(1 - \cos 66,42) \cdot 2 \cdot (2^2 - 1)} = 356\mu\text{A}$$

Tretia harmonická prúdu $i(t)$

$$I_{3N} = \frac{I_p}{\pi} * \frac{\cos \varphi \sin n\varphi - n \sin \varphi \cos n\varphi}{(1 - \cos \varphi) \cdot n \cdot (n^2 - 1)} = \frac{1,5\text{mA}}{180} * \frac{\cos 66,42 \sin 3 * 66,42 - 3 \cdot \sin 66,42 \cos 3 * 66,42}{(1 - \cos 66,42) \cdot 3 \cdot (3^2 - 1)} = 1,42\mu\text{A}$$

Štvrtá harmonická prúdu $i(t)$

$$I_{4N} = \frac{I_p}{\pi} * \frac{\cos \varphi \sin n\varphi - n \sin \varphi \cos n\varphi}{(1 - \cos \varphi) \cdot n \cdot (n^2 - 1)} = \frac{1,5 \text{mA}}{180} * \frac{\cos 66,42 \sin 4 * 66,42 - 4 \cdot \sin 66,42 \cos 4 * 66,42}{(1 - \cos 66,42) \cdot 4 \cdot (4^2 - 1)} = \underline{0,105 \mu\text{A}}$$

Piatá harmonická prúdu i(t)

$$I_{5N} = \frac{I_p}{\pi} * \frac{\cos \varphi \sin n\varphi - n \sin \varphi \cos n\varphi}{(1 - \cos \varphi) \cdot n \cdot (n^2 - 1)} = \frac{1,5 \text{mA}}{180} * \frac{\cos 66,42 \sin 5 * 66,42 - 5 \cdot \sin 66,42 \cos 5 * 66,42}{(1 - \cos 66,42) \cdot 5 \cdot (5^2 - 1)} = \underline{0,49 \mu\text{A}}$$

Rezonančná frekvencia paralelného rezonančného obvodu:

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10\mu\text{H} \cdot 1\text{nF}}} = 1592 \text{kHz} \cong 1,6 \text{MHz}$$

Hodnoty harmonických očitane z grafu závislosti výstupného napätia $u_o(t)$ analýza FFT

1.harmonická	f = 1,6MHz	1,1316V
2.harmonická	f = 3,2MHz	7,57mV
3.harmonická	f = 4,8MHz	11,49mV
4.harmonická	f = 6,4MHz	6,9mV
5.harmonická	f = 8MHz	2,07mV

$$THD_{tran} = \sqrt{\frac{U_{2m}^2 + U_{3m}^2 + U_{4m}^2 + U_{5m}^2}{U_{1m}^2}} = \sqrt{\frac{7,57\text{mV}^2 + 11,49\text{mV}^2 + 6,9\text{mV}^2 + 2,07\text{mV}^2}{1,1316\text{V}^2}} = \frac{0,01553}{1,28} = 0,01372$$

$$THD_{tran} = 0,01372 * 100\% = 1,372\%$$

Zhodnotenie:

Tento obvod je zložený z obmedzovača (v mojom prípade obmedzuje len amplitúdu zápornej polvlny) u ktorého hodnotu obmedzenia nastavujeme veľkosťou napätia U_0 a to takým spôsobom, že keď hodnota signálu na jeho vstupe prekročí hodnotu približne $U_0 + 0,7\text{V}$ tak sa otvorí dióda a stiahne amplitúdu na danú hodnotu, čo je cca 2,7V. Napätím riadený prúdový zdroj sleduje priebeh napätia U_2 , čo je striedavé napätie U_1 po prechode obmedzovačom, pričom hodnota prúdu na jeho výstupe je $i = u_2/R_2$ takže na priebehu prúdu i(t) budú orezané záporne polvlny ako u napätia U_2 . Na závislosti i(u) je vidieť bod zlomu ten je spôsobený účinkom obmedzovača, ktorý pri hodnote približne -2,7V začal obmedzovať napätie a to sa nasledne prejavilo na napätím riadenom prúdovom zdroji, u ktorého sa hodnota prúdu tiež obmedzila. Hodnota maximálneho prúdu odčítana z grafu i(t) je $I_{\max} = 2,475\text{mA}$ a hodnota vypočítana je $I_{\max} = 2,5\text{mA}$, vypočítaný uhol otvorenia je $\varphi = 66,42^\circ$ a hodnota získana z priebehu i(t) kde $2\varphi = 129,6^\circ$ táto hodnota nieje presná, keďže z grafu nevieme presne určiť čas otvorenia. Hodnoty jednotlivých harmonických sú uvedene v tabulke:

Harmonická	Frekvencia	Vypočítana	Simulácia .FOUR
0.harmonická	f = 0Hz	$I_0 = 356\mu\text{A}$	$I_0 = 273,38\mu\text{A}$
1.harmonická	f = 1,6MHz	$I_1 = 1,583\text{mA}$	$I_1 = 2,09\text{mA}$
2.harmonická	f = 3,2MHz	$I_2 = 356\mu\text{A}$	$I_2 = 310\mu\text{A}$
3.harmonická	f = 4,8MHz	$I_3 = 1,42\mu\text{A}$	$I_3 = 240,7\mu\text{A}$
4.harmonická	f = 6,4MHz	$I_4 = 0,105\mu\text{A}$	$I_4 = 116,1\mu\text{A}$
5.harmonická	f = 8MHz	$I_5 = 0,49\mu\text{A}$	$I_5 = 130,4\mu\text{A}$

Hodnoty vypočítaných harmonických sa v prípade nultej, prvej a druhej sú podobne hodnotám ktoré som získal zo simulácie, keď by som bral do úvahy fakt, že som si zidealizoval diódu kôly jednoduchšiemu počítaniu a tiež chýb spôsobených zaokruhľovaním a ďalšími faktormi ktoré ovplyvňujú presnosť výpočtu. V prípade ďalších harmonických je rozdiel medzi vypočítanou hodnotou harmonickej a získanej zo simulácie niekoľkonásobný, tento fakt je dosť zaujímavý keďže výpočet koeficientov fourierovho rozvoja je už v zjednodušenom tvare uvedený aj v skriptách, a o jeho správnosti nas ubezpečil aj predsaňajúci pri konzultácii tohto problému.

Napätím riadený prúdový zdroj je zaťažený paralelným rezonančným obvodom s rezonančnou frekvenciou $f_R = 1,6\text{MHz}$ z čoho vyplýva že daný PRO obvod vyberá prvú harmonickú zatiaľ čo ostatné harmonické potlača a teda výstupné skreslenie obvodu by malo byť menšie ako bolo skreslenie zistené pre prúd. Celkové harmonické skreslenie výstupného napätia U_0 z fourierovej analýzy (.FOUR) je $THD_{\text{four}} = 8,56\%$ a to isté skreslenie z analýzy .TRAN—FFT kde som odčítal hodnoty pre jednotlivé harmonické a dosadil do vzťahu pre THD a vyšlo mi, že skreslenie je $THD_{\text{tran}} = 1,372\%$ obe analýzy som robil pri rovnakom časovom intervale $t = 20\text{ms}$ a predsa je vidieť rozdiel medzi hodnotami získanými oboma metódami. Metóda .FOUR by mala byť presnejšia, keďže nam program vypočíta celkové skreslenie zatiaľ čo metóda .TRAN—FFT je

nepresnejšia nakoľko je portabne odčítať hodnoty harmonických kde dochádza k nepresnostiam a nasledne dosadiť do vzťahu kde tiež dôjde k zaokruľovaniu. V oboch prípadoch aj napriek rozdielu vidieť že celkové skreslenie na výstupe je menšie ako je skreslenie pri prúde.

ZDROJE:

[1] Skriptá L. Michaeli : Základy elektroniky, str.115

[2] www.urel.feec.vutbr.cz/~dostal/data/aeo/8-Obvody2BJT.pdf