

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikácií

Meranie na modulátoroch

Zadanie úloh

1. Zrealizujte nevyvážený, jednoducho vyvážený a dvojito vyvážený modulátor pomocou predložených prípravkov: diód a translátorov.
2. Zistite impedančné pomery jednotlivých typov modulátorov - vstupná a výstupná impedancia, pri frekvenciách 800Hz , 2000Hz a 3000Hz.
3. Po zrealizovaní jednotlivých typov modulátorov sledujte priebehy výstupného signálu na osciloskope a zakreslite ich.
4. Zmerajte úroveň jednotlivých produktov modulácie jednotlivých typov modulátorov a graficky znázornite príslušné čiarové frekvenčné spektrum. Zhodnoťte výhody a nevýhody zrealizovaných modulátorov.

Teoretický úvod

Modulácia je prenesenie signálu z hovorového pásma (300-3400 Hz) do vysokofrekvenčného pásma (60- 1008 kHz –tzv. primárna skupina), ktoré má tú výhodu že je možné prenášať viac signálov na jednom médiu, lebo primárna skupina je rozdelená na 16 kanálov po 4 kHz.

Poznáme tieto základné typy amplitúdových modulátorov:

- jednocestný nevyvážený (nesymetrický)
- jednocestný vyvážený (symetrický)
- dvojcestný vyvážený (kruhový)

Toto delenie je založené na použitej konštrukcii a počte použitých nelineárnych prvkov – diód, ktoré prevádzkujeme pri napätí, ktoré je blízko bodu zlomu V-A charakteristiky diódy.

Amplitúdové modulátory pozostávajú z dvoch generátorov, z generátora nosného vysokofrekvenčného signálu $F(t)$ a generátora modulačného nízkofrekvenčného signálu $f(t)$, pričom pre dobré fungovanie musí platiť, aby amplitúda modulačného signálu (A) bola menšia ako amplitúda nosného signálu (V) teda $A < V$. Amplitúda V musí byť taká veľká, aby dokázala otvoriť diódu v priepustnom smere a zároveň menšia ako pierazové napätie diódy v závernom smere.

Modulovaný výstupný signál v závislosti od času sa vyznačuje tým, že modulačný signál $f(t)$ v ňom tvorí obálku, zatiaľ čo vnútro obálky vyplňa nosný signál $F(t)$. Toto platí pre všetky amplitúdové modulátory.

Na výstupe amplitúdových modulátorov dostávame kombinačné zložky vstupného signálu (v našom prípade modulačnej frekvencie 3 kHz) a nosnej frekvencie (60 kHz) :

$$A: m_p F + n_n f$$

$$B: m_p F + n_p f$$

$$C: m_n F + n_n f$$

$$D: m_n F + n_p f$$

kde $m, n = 0, 1, 2, \dots$; n -nepárne , p -párne

Známy je tiež pojem rád modulácie daný vzťahom $r = m + n$.

Jednocestný nevyvážený (nesymetrický) modulátor je jednoduchý, má len jednu diódu, namodulovaný signál len veľmi malú časť energie sústredenú v postranných pásmach okolo nosnej frekvencie. Modulátor prenáša i jednosmernú zložku, čo je dosť nevýhodné pre prenosové systémy z hľadiska prenosu signálu. Je najjednoduchší, má ale najväčšie tlenie a v praxi sa nepoužíva. Na výstupe sa vyskytujú zložky A, B, C, D.

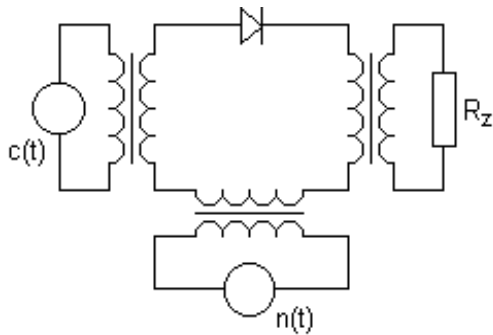
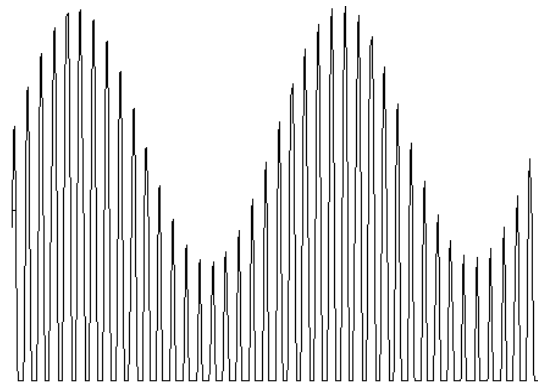


Schéma zapojenia nevyváženého modulátora



Priebeh namodulovaného signálu na výstupe

Jednocestný vyvážený (symetrický) modulátor obsahuje menej kombinačných zložiek a čiastočne potláča nosnú frekvenciu (na polovicu až tretinu postranných zložiek). Na výstupe modulátora je signál len ak má vstupný nízko-frekvenčný signál nenulovú hodnotu. Diódy musia byť párované a transformátory vyvážené vzhľadom na stred. Jednosmerná zložka nie je prítomná. Na výstupe sa vyskytujú zložky A, B.

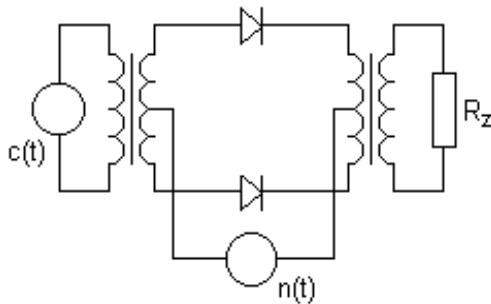
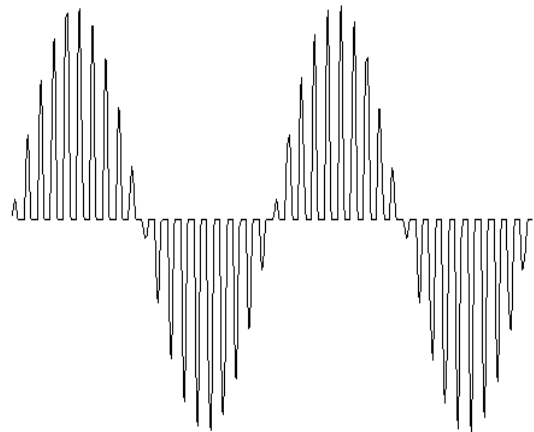


Schéma zapojenia jednocestného vyváženého modulátora



Priebeh namodulovaného signálu na výstupe

Dvojcestný vyvážený (kruhový) modulátor, úplne potláča nosný signál (dvadsatina až tridsatina postranných zložiek) a na výstupe je signál len, ak je n_f vstupný signál nenulový. Musí platiť podmienka, aby boli párované diódy a to aspoň dve a dve (pozdĺžne spolu a priečne spolu), ideálne je aby boli všetky rovnaké. Transformátory musia byť vyvážené vzhľadom na stred. Jednosmerná zložka nie je prítomná.

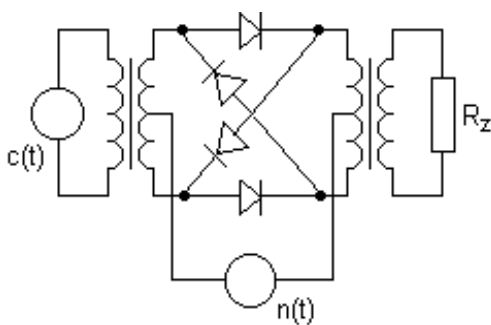
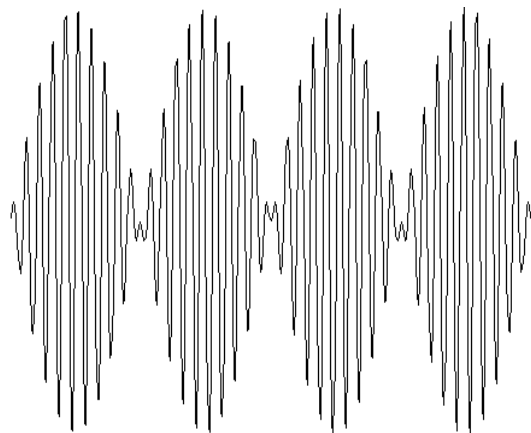


Schéma zapojenia dvojcestného vyváženého modulátora



Priebeh namodulovaného signálu na výstupe

Riešenie

Úloha č. 1:

Súpis prístrojov

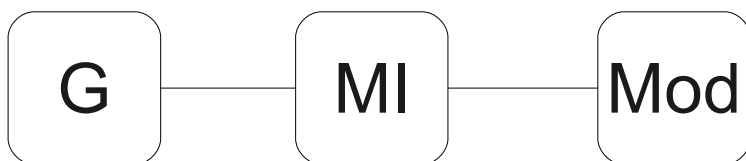
- generátor nízkočfrekvenčných signálov G3-112/1
- tranzistorový merač impedancii Tesla 12 XL 020
- diódový mostík
- translátor (3x)
- 600Ω rezistor

Pomocou pripravených diód a translátorov sme zrealizovali jednocestný nevyvážený, jednocestný vyvážený a dvojcestný vyvážený modulátor.

Úloha č. 2:

Pre zrealizované modulátory sme merali vstupnú a výstupnú impedanciu. Pri meraní výstupnej impedancie sme na výstup zapojili merač impedancii paralelne s impedanciou 600Ω , pričom sme merali impedanciu postupne pre vstup naprázdno a nakrátko. Podobne sme postupovali aj pri meraní vstupnej impedancie s tým rozdielom, že sme nezapojili impedanciu 600Ω , na vstup sme zapojili merač impedancii a výstup bol naprázdno a nakrátko.

Schéma zapojenia



G – generátor
MI – merač impedancii
Mod – modulátor

Tabuľka nameraných hodnôt

-jednocestný nevyvážený modulátor

f [kHz]	0,8	φ [°]	2	φ [°]	3	φ [°]
Z_0 [Ω]	11500	58	21500	50	29500	40
Z_k [Ω]	8500	54,5	14800	45	19300	38
Z_{vstup} [Ω]	9886,86	56,25	17838,16	47,5	23861,06	39
Z_0 [Ω]	580	0	590	0	590	0
Z_k [Ω]	570	0	560	0	565	0
$Z_{\text{výstup}}$ [Ω]	574,98	0	574,8	0	577,36	0

-jednocestný vyvážený modulátor

f [kHz]	0,8	φ [°]	2	φ [°]	3	φ [°]
Z_0 [Ω]	19500	61	36500	49	50700	37
Z_k [Ω]	18800	60	37000	48,5	51000	37,5
Z_{vstup} [Ω]	19146,8	60,5	36749,15	48,75	50849,78	37,25
Z_0 [Ω]	588	0	590	0	590	0
Z_k [Ω]	590	0	590	0	590	0
$Z_{\text{výstup}}$ [Ω]	589	0	590	0	590	0

-dvojcestný vyvážený modulátor

f [kHz]	0,8	φ [°]	2	φ [°]	3	φ [°]
Z_0 [Ω]	133	14	133	13	134	13
Z_k [Ω]	133	14	134	13	134	13
Z_{vstup} [Ω]	133	14	133,5	13	134	13
Z_0 [Ω]	118	10	115	10	117	10
Z_k [Ω]	119	10	119,5	10	119	10
$Z_{\text{výstup}}$ [Ω]	118,5	10	117,23	10	118	10

Vzorové výpočty pre frekvenciu 0,8 kHz

$$Z_{\text{vstup}} = \sqrt{Z_0 \cdot Z_k} = \sqrt{11500 \cdot 8500} = 9886,86 \Omega$$

$$\varphi = \frac{\varphi_0 + \varphi_k}{2} = \frac{58 + 54,5}{2} = 56,25^\circ$$

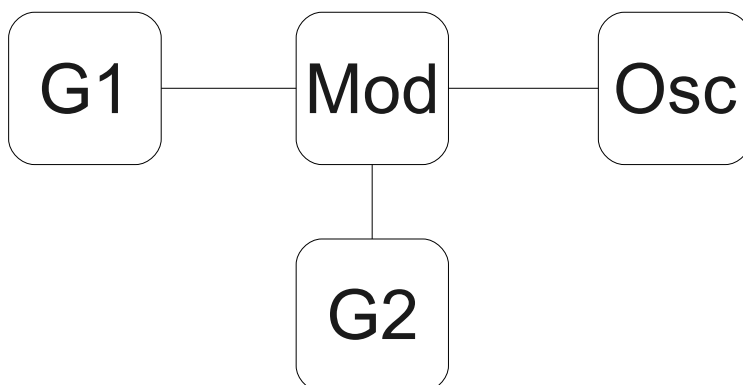
Úloha č. 3:

Súpis prístrojov

- Tesla RC oscillator BM 344
- Tesla RC generátor BM 344
- Tektronix 2205 Oscilloscope H/M 24274
- univerzálny merač úrovne 12 XN 084k

Na výstup jednotlivých modulátorov sme zapojili osciloskop. Na generátore 1 sme nastavili hodnotu $f = 3$ kHz (predstavoval modulačný signál) a na druhom generátore sme nastavili frekvenciu $F = 60$ kHz (predstavoval nosný signál). Následne sme na obrazovke osciloskopu sledovali priebehy výstupného signálu.

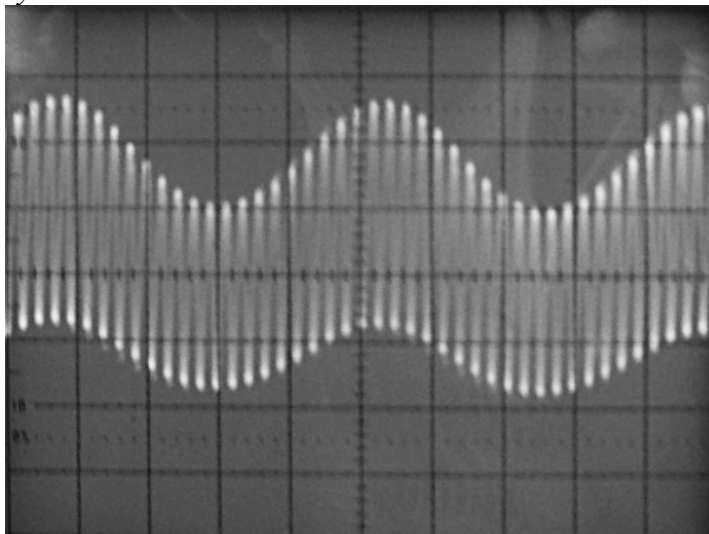
Schéma zapojenia



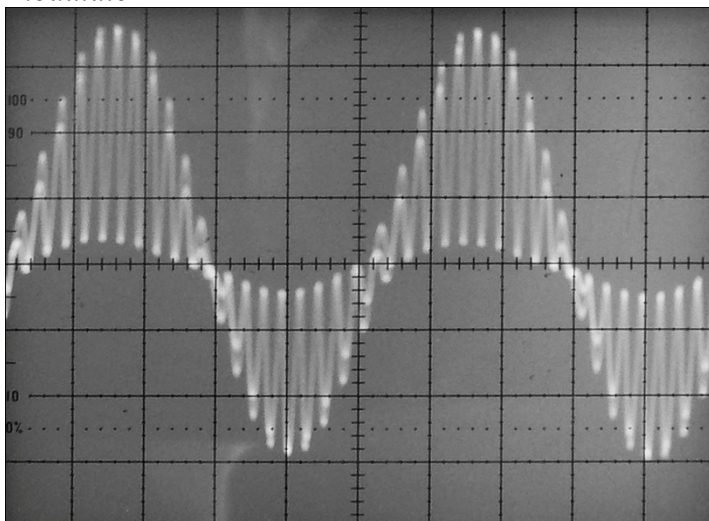
G1 – generátor
 G2 – generátor
 Mod – modulátor
 Osc - osciloskop

Priebehy výstupného signálu

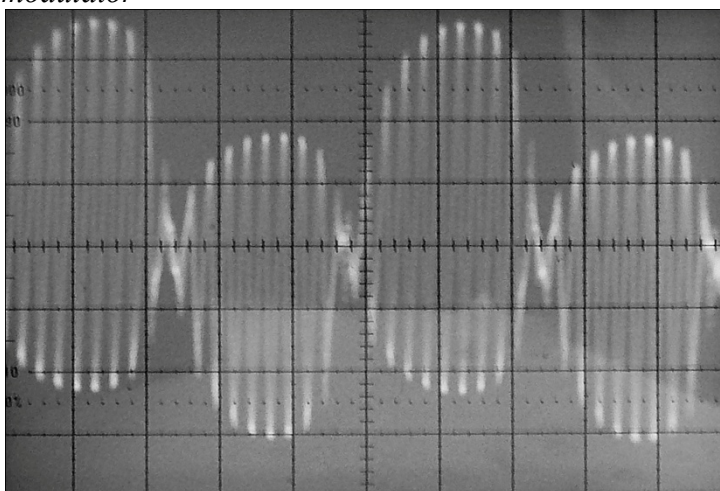
-jednocestný nevyvážený modulátor



-jednocestný vyvážený modulátor



-dvojcestný vyvážený modulátor

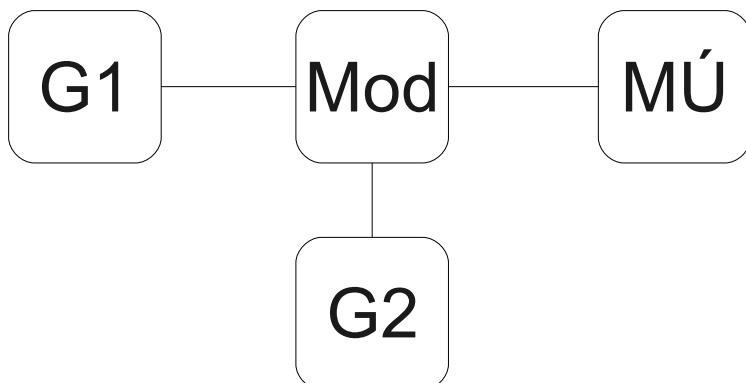


Úloha č. 4:

Po odpojení osciloskopu sme na výstup jednotlivých modulátorov zapojili merač úrovne a pomocou neho sme merali úroveň jednotlivých produktov modulácie pre jednotlivé typy modulátorov. Na modulátore bola nastavená počas celého merania rovnaká hodnota frekvencie aj amplitúdy

modulačného aj modulovaného signálu. Na merači úrovne sme naladili pásmo v blízkosti meranej frekvencie tak, aby bola maximálna úroveň v meranom frekvenčnom pásme.

Schéma zapojenia



G1 – generátor
 G2 – generátor
 Mod – modulátor
 MÚ – merač úrovne

Tabuľka nameraných hodnôt pre $f=3\text{kHz}$ a $F=60\text{kHz}$

-jednocestný nevyvážený modulátor

	f	2f	3f	F-2f	F-f	F	F+f	F+2f	2F-f	2F	2F+f	3F
f [kHz]	3	6	9	54	57	60	63	66	117	120	123	180
U(x) [mV]	24	1	0,08	0,016	3,4	52	3	0,05	0,46	3	0,4	0,4
U(x)/U(F)	0,4615	0,0192	0,0015	0,0003	0,0654	1	0,0577	0,0010	0,0088	0,0577	0,0077	0,0077

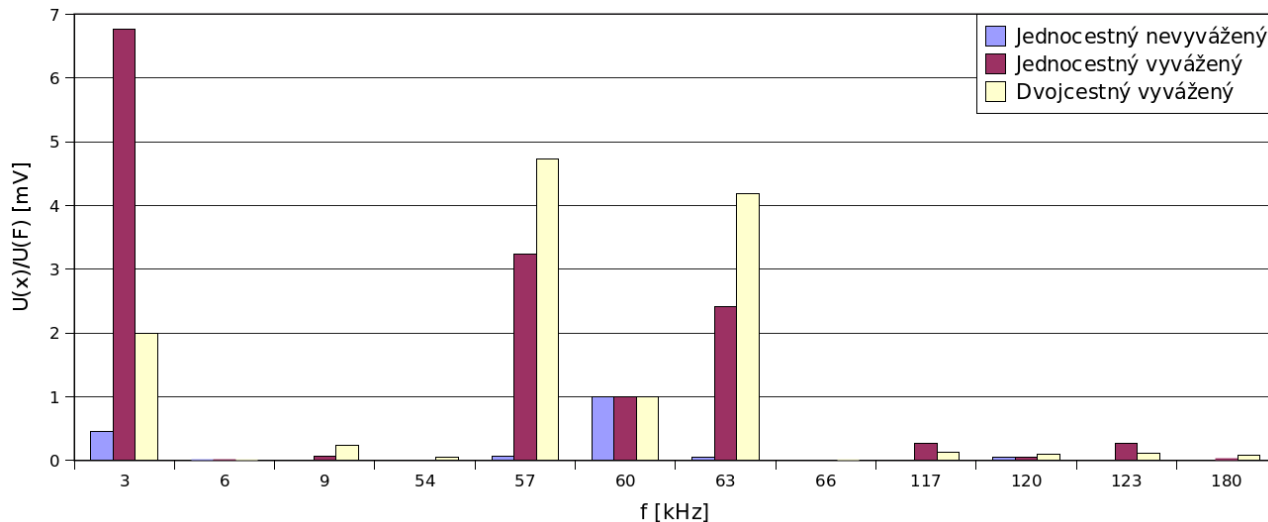
-jednocestný vyvážený modulátor

	f	2f	3f	F-2f	F-f	F	F+f	F+2f	2F-f	2F	2F+f	3F
f [kHz]	3	6	9	54	57	60	63	66	117	120	123	180
U(x) [mV]	230	0,7	2,25	0,12	110	34	82	0,4	9	1,8	9,2	1,3
U(x)/U(F)	6,7647	0,0206	0,0662	0,0035	3,2353	1	2,4118	0,0118	0,2647	0,0529	0,2706	0,0382

-dvojcestný vyvážený modulátor

	f	2f	3f	F-2f	F-f	F	F+f	F+2f	2F-f	2F	2F+f	3F
f [kHz]	3	6	9	54	57	60	63	66	117	120	123	180
U(x) [mV]	22	0,3	2,7	0,6	52	11	46	0,34	1,4	1,1	1,3	0,9
U(x)/U(F)	2,0000	0,0273	0,2455	0,0545	4,7273	1	4,1818	0,0309	0,1273	0,1000	0,1182	0,0818

Graf



Vzorový výpočet pre $f=3\text{kHz}$

$$\frac{U(x)}{U(F)} = \frac{22}{11} = 2$$

Záver

Pomocou predložených prípravkov, diód a translátorov, sme zostrojili tri typy amplitúdových modulátorov: jednocestný nevyvážený, jednocestný vyvážený a dvojcestný vyvážený.

V druhej úlohe sme merali vstupnú a výstupnú impedanciu všetkých troch typov amplitúdových modulátorov pri rôznych frekvenciách. Najprv sme merali hodnoty impedancie na krátko a na prázdno pre vstupnú impedanciu a následne z nich sme vypočítali vstupnú impedanciu. Podobne sme postupovali aj pri meraní výstupnej impedancie, s tým rozdielom, že sme na výstup zapojili impedanciu o veľkosti 600Ω .

Pri jednocestnom nevyváženom modulátore nám vyšla Z_{vstup} v rozmedzí od $9,8\text{k}\Omega$ do skoro $24\text{k}\Omega$. Tieto hodnoty sú také vysoké preto, lebo bola použitá len jedna dióda, ktorá je jedno polperiódu v závernom smere a druhú nie. $Z_{\text{výstup}}$ nám vyšla od $574,8\Omega$ do $577,36\Omega$.

Pri jednocestnom vyváženom modulátore vyšla Z_{vstup} v priemere vyššia ako pri jednocestnom nevyváženom modulátore a pohybovala sa v rozmedzí od $19\text{k}\Omega$ do $51\text{k}\Omega$. Hodnota $Z_{\text{výstup}}$ bola v rozmedzí od 589Ω do 590Ω .

Pri dvojcestnom vyváženom modulátore nám vyšli hodnoty Z_{vstup} od 133Ω do 134Ω , čo je mnohonásobne nižšia hodnota Z_{vstup} oproti jednocestným modulátorom. Tento rozdiel je spôsobený použitím štyroch diód, z čoho vyplýva, že vždy je nejaká dióda v priepustnom smere. Toto sa nám ukázalo aj na hodnotách $Z_{\text{výstup}}$, kde boli hodnoty v rozmedzí od $117,23\Omega$ do $118,5\Omega$.

V tretej úlohe sme po zrealizovaní všetkých troch amplitúdových modulátorov odfotografovali ich priebehy.

Ako je vidieť z obrázka priebehu pre jednocestný nevyvážený modulátor, nepodarilo sa nám ho ideálne zrealizovať, pretože nie je dobre odfiltrovaná záporná polperióda.

V priebehu pre jednocestný vyvážený modulátor vidíme, že sme skoro dosiahli ideálny stav. Tento nebol dosiahnutý preto, lebo sme nepoužili rovnaké diódy (s rovnakými parametrami).

Na obrázku priebehu pre dvojcestný vyvážený modulátor vidíme, že boli takisto použité nerovnaké diódy. Pre nedostatok času sme sa ale nedostali k tomu, aby sme skúsili pohľadať, či niektoré diódy by sa dali spárovať.

V poslednej, štvrtej, úlohe, sme merali modulačné produkty s rádcom $r=3$.

Pri jednocestnom nevyváženom modulátore vidíme, že zložka nosnej frekvencie je niekoľkonásobne vyššia ako postranné zložky, čo pre nás nie je výhodné, pretože sa veľká časť energie vynaloží na zložku, ktorá nám neprenáša žiadnu informáciu.

Jednocestný vyvážený modulátor sa nám nepodarilo zrealizovať podľa ideálnych predstáv, pretože nám vyšla veľmi vysoká jednosmerná zložka, ktorá by mala byť potlačená. Avšak vidíme, že amplitúdy postranných zložiek sú 2-3x väčšie ako amplitúda nosnej frekvencie, tak akoby to malo byť podľa teórie.

Dvojcestný vyvážený modulátor sa nám tiež nepodarilo zrealizovať ideálne, vďaka použitým diódam. Vidíme, že jednosmerná zložka nie je úplne potlačená a ani amplitúdy postranných zložiek nie sú 20-30x väčšie ako amplitúda nosnej frekvencie. Podarilo sa nám dosiahnuť aspoň 4-5 násobok.

Je prekvapivé, že pri jednocestnom nevyváženom sa nám podarilo takmer úplne potlačiť jednosmernú zložku aj napriek tomu, žeby pri tomto modulátore mala byť jednosmerná zložka. Naopak, pri jednocestnom vyváženom a dvojcestnom vyváženom sa nám jednosmerná zložka vyskytuje, aj keď by mala byť potlačená.