

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника (РЛ)»  
Кафедра «Технология приборостроения (РЛ6)»

---

Занятие №4 – "Амплитудный аналоговый детектор, Балансный модулятор"  
по дисциплине «Информационные РЭС»

Выполнил ст. группы РЛ6-91  
Филимонов С.В.

Преподаватель Руденко Н.Р.

Москва, 2024  
Амплитудный аналоговый детектор

<b>Амплитудный аналоговый детектор .....</b>	<b>3</b>
Задание 1 .....	3
Задание 2 .....	5
Синхронный детектор .....	9
<b>Исследование балансного модулятора .....</b>	<b>10</b>
<b>Детектирование балансно-модулированного сигнала .....</b>	<b>21</b>
<b>Вывод .....</b>	<b>22</b>

# Амплитудный аналоговый детектор

Задание к лабораторной работе:

1. Измените к схеме однотоктного амплитудного модулятора амплитуду и частоту сигналов несущей и модуляции и установите их влияние на про детектированный сигнал. Подберите новые параметры RC – фильтра.
2. Измените в схеме двухтактного амплитудного модулятора амплитуду и частоту сигналов несущей и модуляции и установите их влияние на про детектированный сигнал. Подберите новые параметры RC – фильтра.

## Задание 1

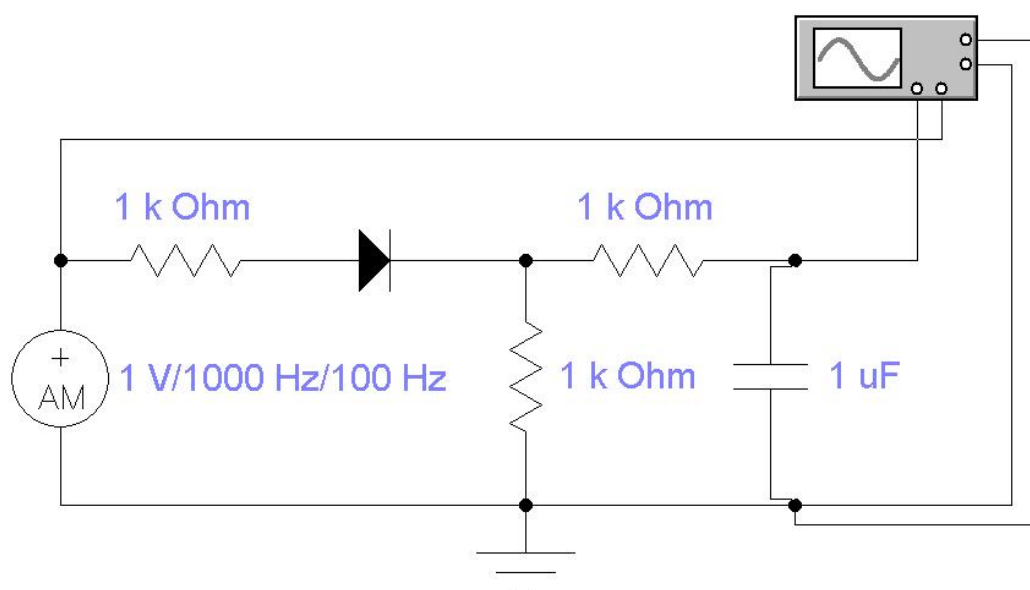


Рис. 1.1 – Схема однотоктного амплитудного детектора.

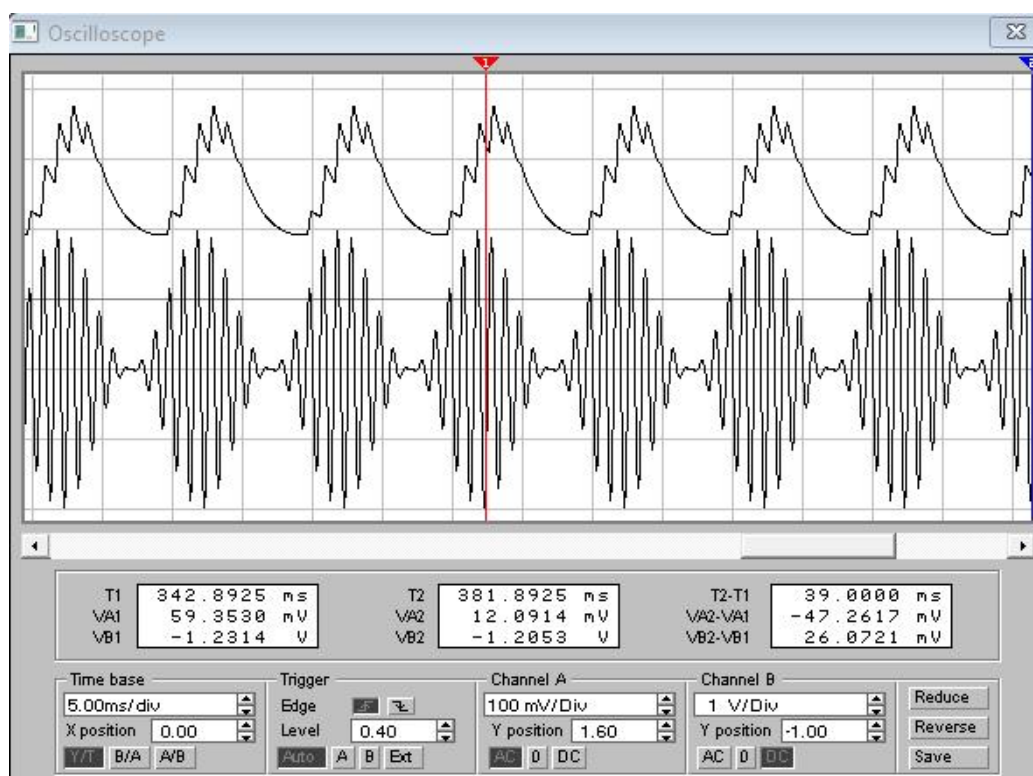


Рис. 1.2 – Временные диаграммы амплитудно-детектированного сигнала.

Коэффициент модуляции  $m = A_{\text{мод}}/A_{\text{нес}}$ ,  $m = 1$  соответствует 100% модуляции (полная модуляция),

Новые характеристика АМ сигнала:

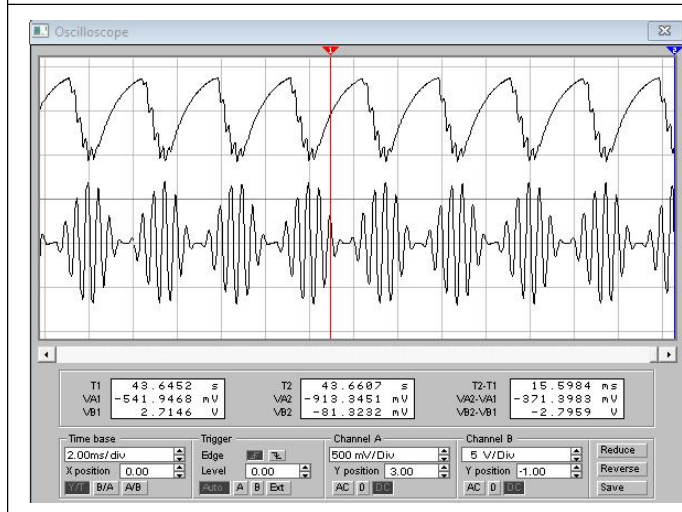
- Частота несущей –  $f_{\text{нес}} = 2000 \text{ Гц}$ .
- Частота модуляции –  $f_{\text{мод}} = 300 \text{ Гц}$ .
- Амплитуда несущей –  $A_{\text{нес}} = 2 \text{ В}$ .
- Амплитуда модуляции –  $A_{\text{мод}} = A_{\text{нес}} = \text{В}$ .

Чтобы фильтр эффективно удалял несущую, частота среза фильтра должна быть немного выше максимальной частоты модуляции  $f_{\text{мод}}(\text{max})$ , но существенно ниже частоты несущей  $f_{\text{нес}}$ . Выберем  $f_{\text{ср}} = 500 \text{ Гц}$

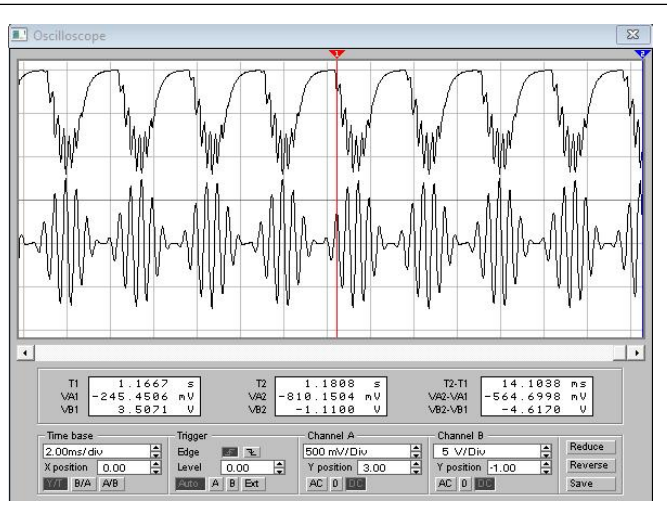
$$f_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow \frac{1}{2\pi RC} = 500 \Rightarrow \frac{1}{RC} = 3141.6$$

Выберем  $R = 1000 \text{ Ом}$ ,  $C = 0.3 \text{ мкФ}$ . Согласно стандартному ряду [E24](#)  $R = 1000 \text{ Ом}$ ,  $C = 0.33 \text{ мкФ}$ .

Временные диаграммы амплитудно-детектированного сигнала до перерасчета  $RC$  фильтра



Временные диаграммы амплитудно-детектированного сигнала после перерасчета  $RC$  фильтра



Влияние амплитуды и частоты сигналов несущей и модуляции на протектированный сигнал:

- При увеличении амплитуды модулирующего сигнала возрастет глубина модуляции, что приведет к более четкому выделению информации в детектированном сигнале.
- При увеличении частоты модуляции необходимо корректировать параметры фильтра для пропускания всех полезных частот.

## Задание 2

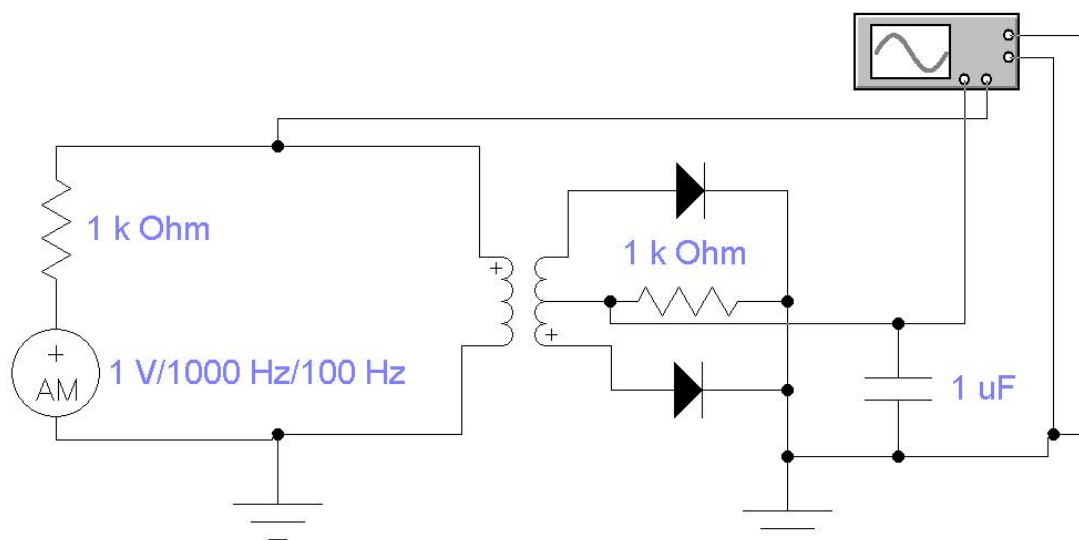


Рис. 2.1 – Схема двухтактного амплитудного детектора.

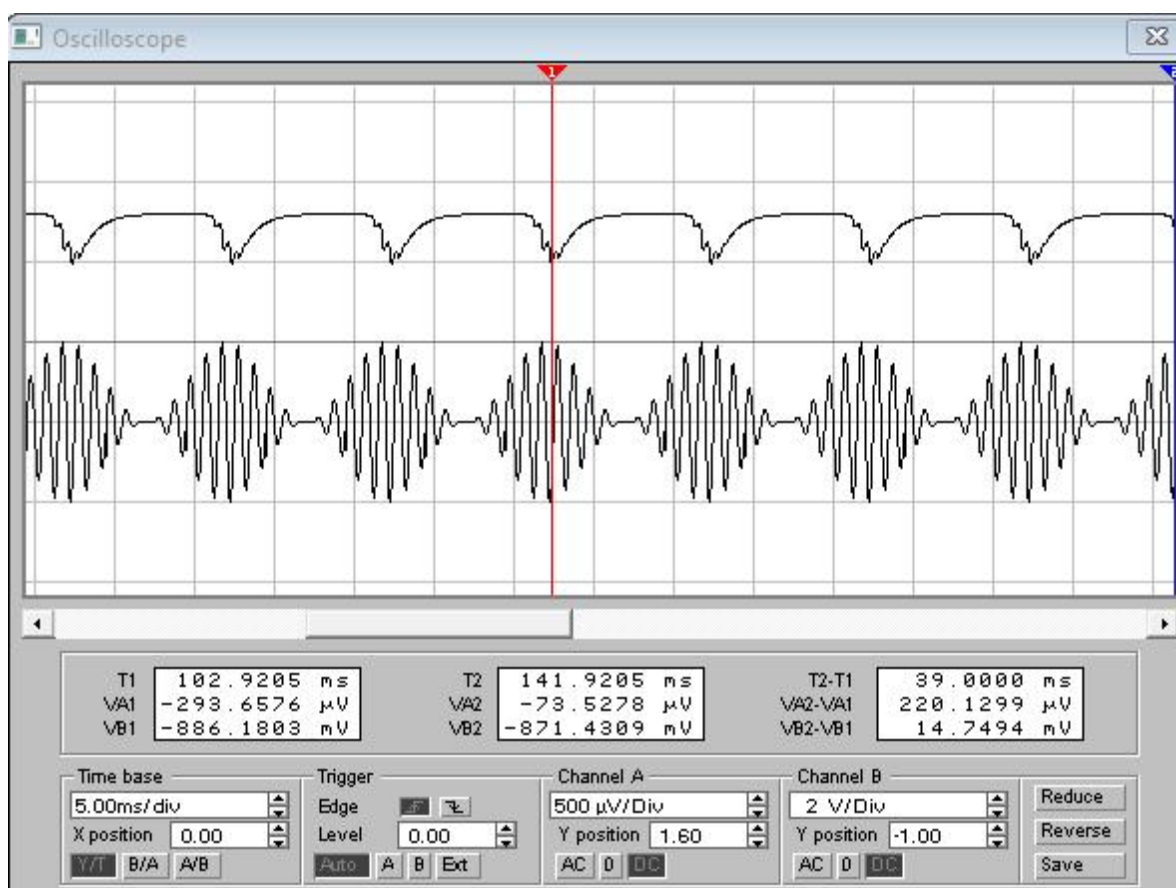


Рис. 2.2 – Временные диаграммы амплитудно-детектированного сигнала.

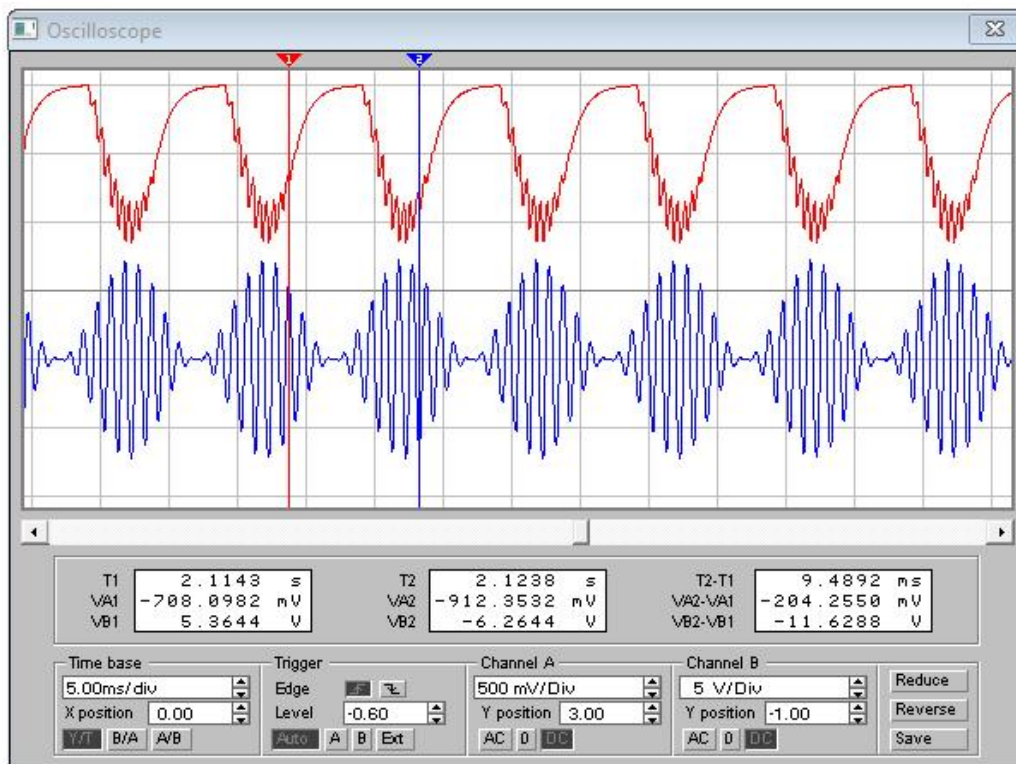


Рис. 2.3 – График двухтактного амплитудного модулятора с измененной амплитудой (увеличена на 1 В).

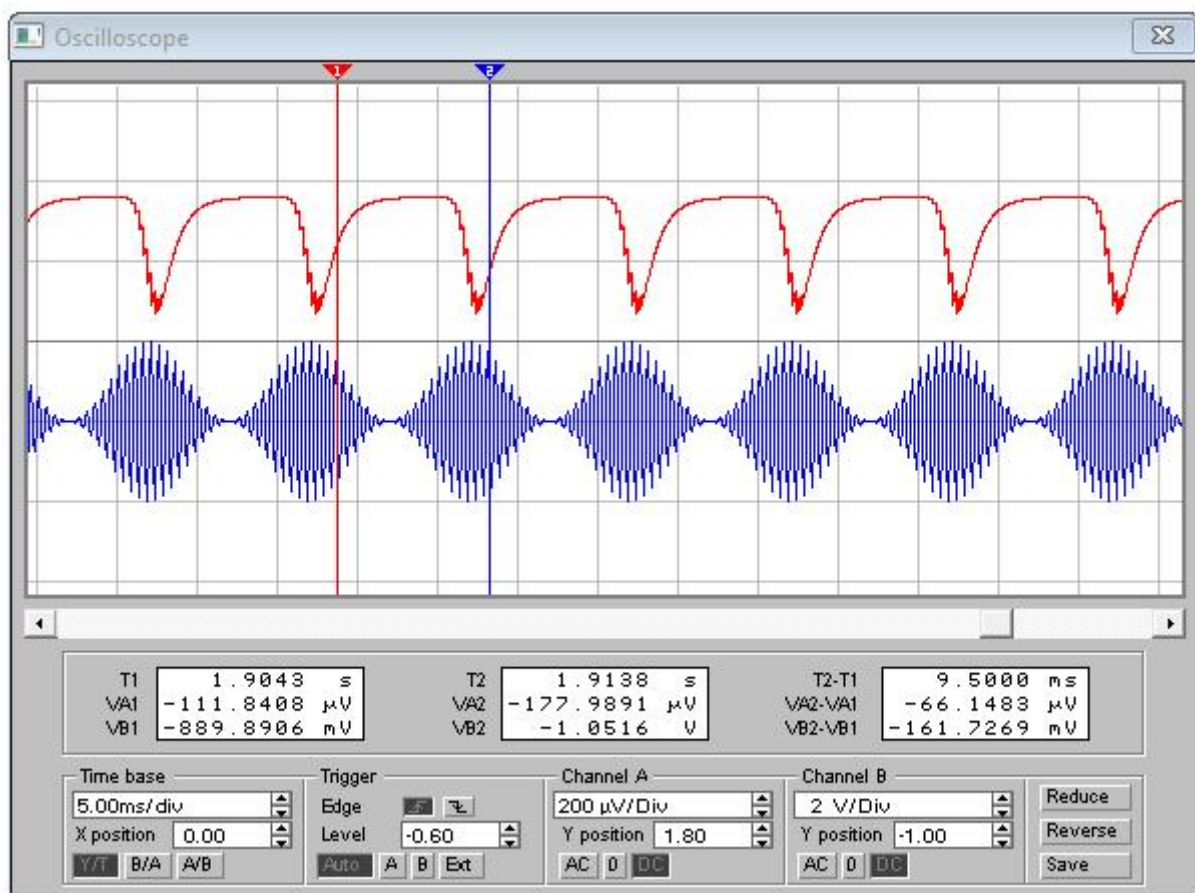


Рис. 2.4 – График двухтактного амплитудного модулятора при исходной амплитуде и измененной частоте модуляции (увеличена в двараза).

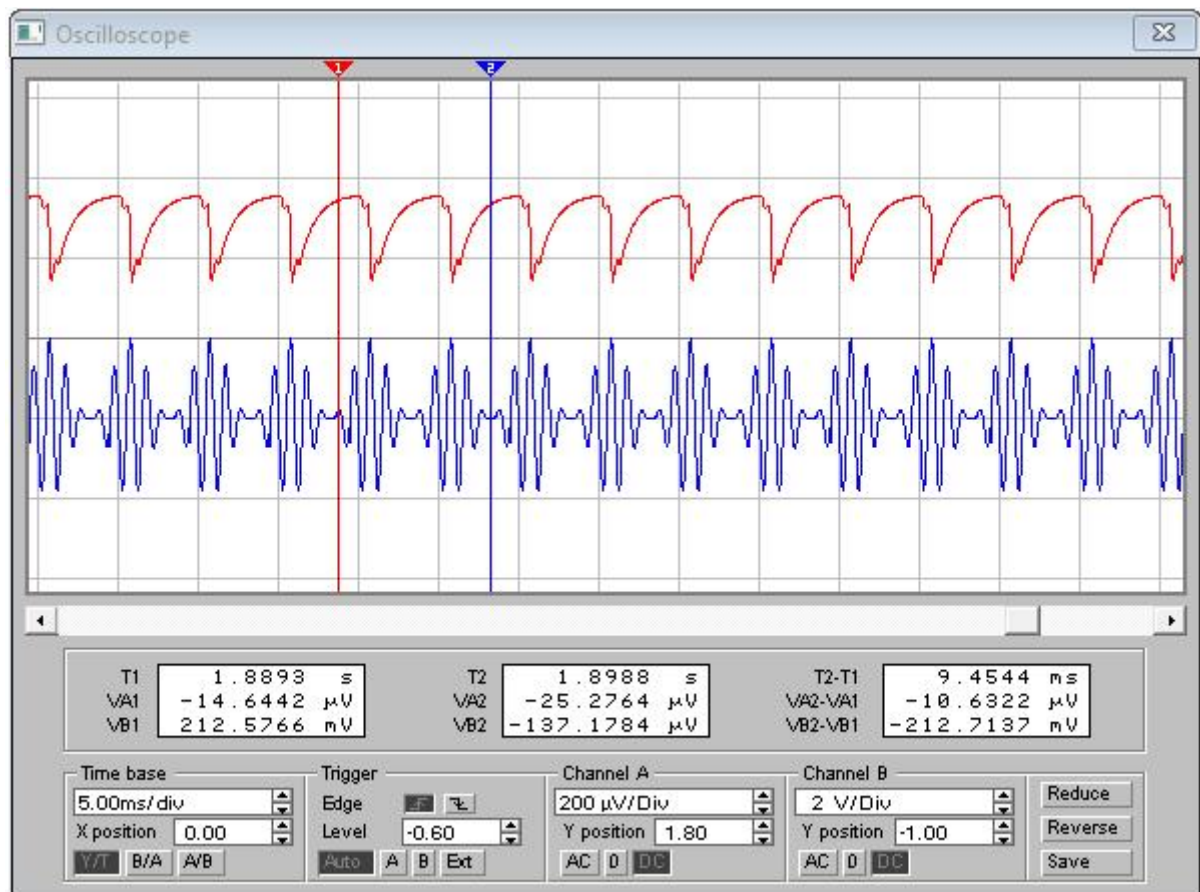


Рис. 2.5 – График двухтактного амплитудного модулятора при исходной амплитуде, частоте модуляции и при увеличенной в два раза частоте сигнала:

Так как при увеличенной в два раза частоте сигнала (100 – 200 Гц) сигнал сильно подвержен искажениям, то надо его пустить на вход ФНЧ, представлено RC – цепью. Уменьшим сопротивление до 750 Ом исходя из следующего соотношения для ФНЧ фильтра:

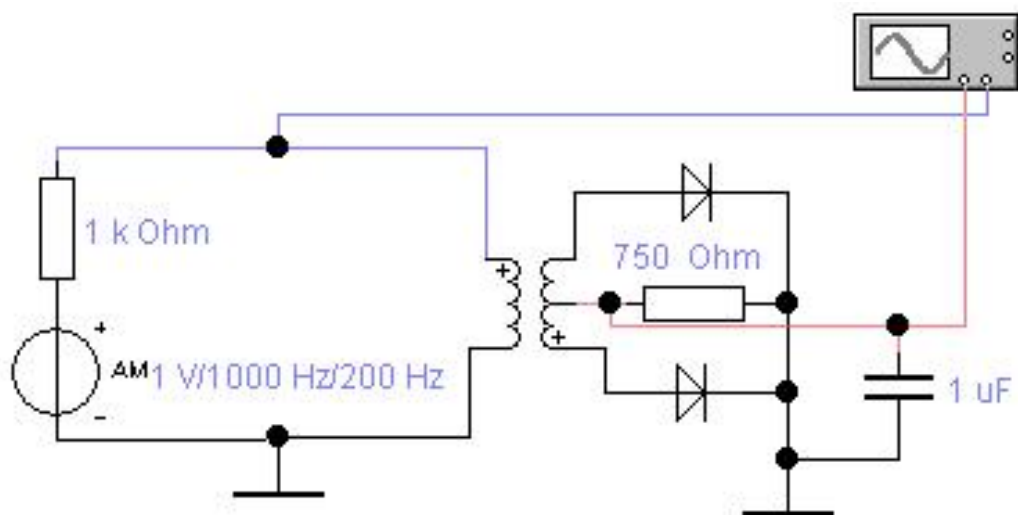


Рис. 2.6 – Схема двухтактного амплитудного детектора с измененными параметрами.



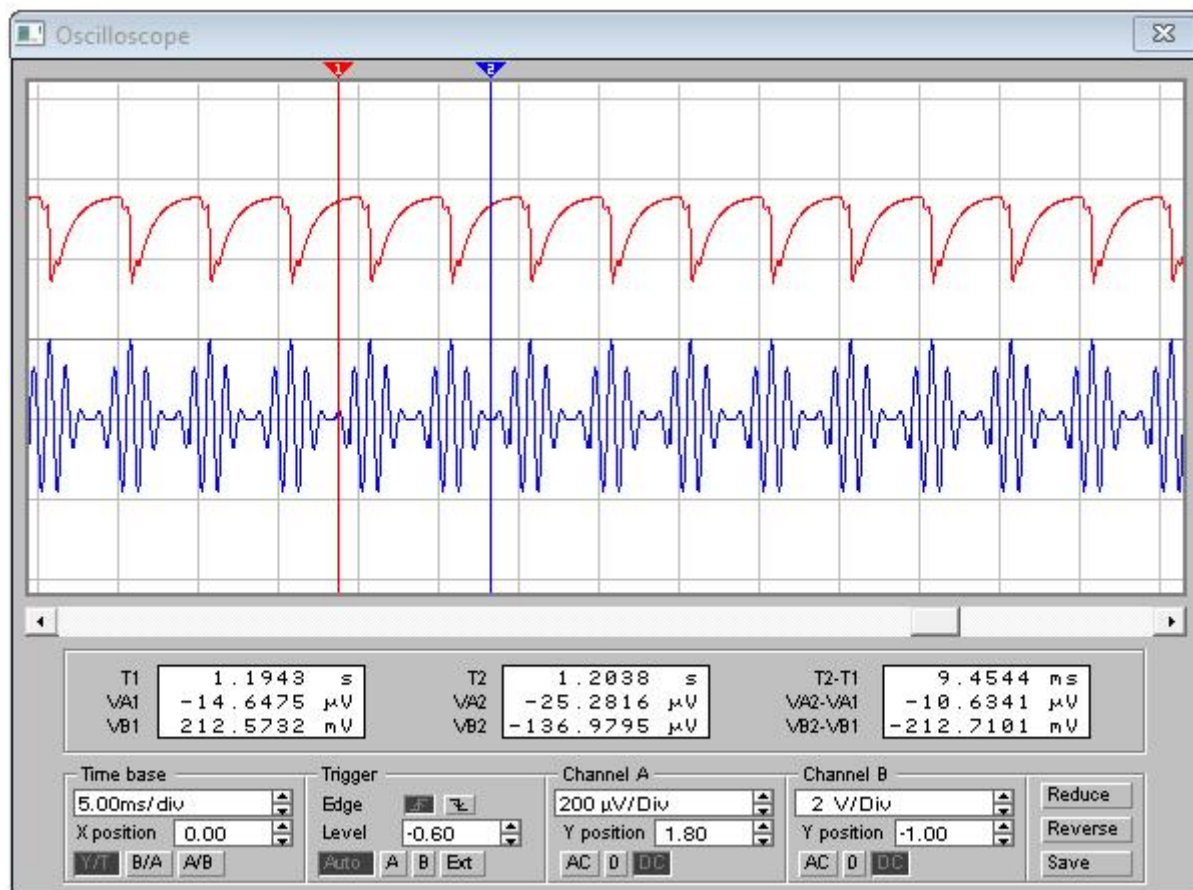


Рис. 2.7 – Временные диаграммы амплитудно-детектированного сигнала.

Влияние амплитуды и частоты сигналов несущей и модуляции на продетектированный сигнал:

- При увеличении амплитуды модулирующего сигнала возрастет глубина модуляции, что приведет к более четкому выделению информации в детектированном сигнале.
- При увеличении частоты модуляции необходимо корректировать параметры фильтра для пропускания всех полезных частот.



## Синхронный детектор

$$5000 = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow 15708 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow \sqrt{LC} = \frac{1}{15708} \Rightarrow LC = 4,05 \cdot 10^{-9}$$

Пусть  $L = 3 \text{ мГн}$ , тогда

$$C = \frac{4,05 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^{-3}} = 1,35 \cdot 10^{-6}$$

Т.к. конденсатора подключены последовательно то посчитанную ёмкость поделим пополам:

$$C_1 = C_2 = 0,68 \text{ мкФ}$$

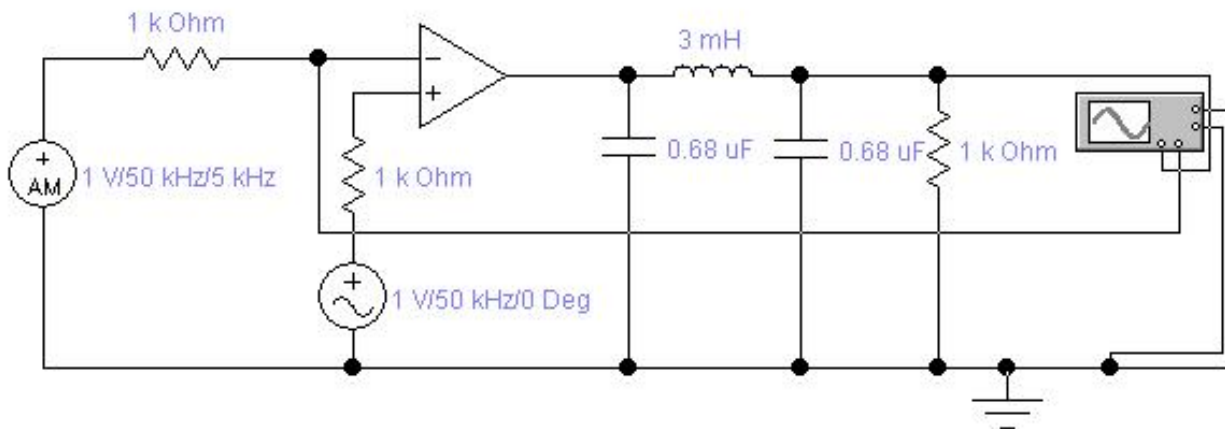


Рис. 3.1 – Схема синхронного детектора.

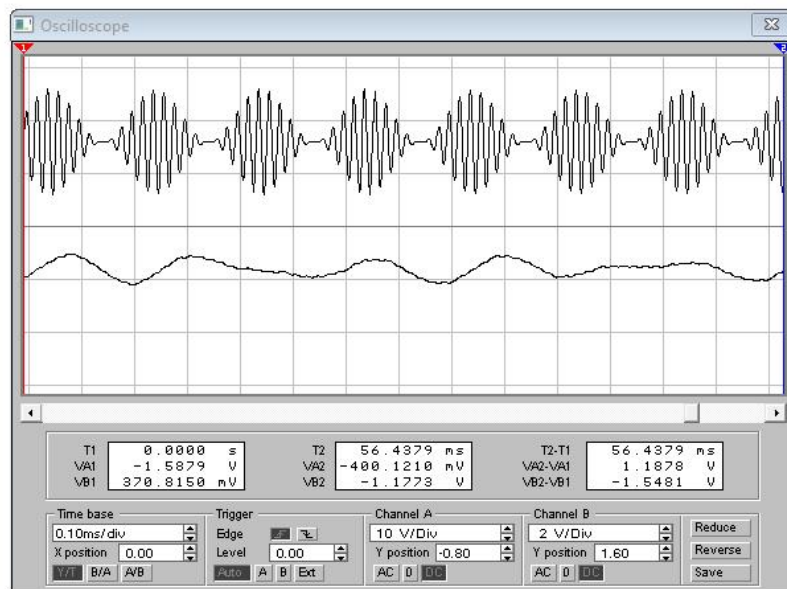


Рис. 3.2 – Временные диаграммы амплитудно-детектированного сигнала.

# Исследование балансного модулятора

## Содержание отчета

1. Результат работы программы Matlab
2. Схема исследуемого модулятора
3. Осциллограммы и спектрограммы исследуемых сигналов
4. Результаты экспериментов и графики построенные по этим результатам

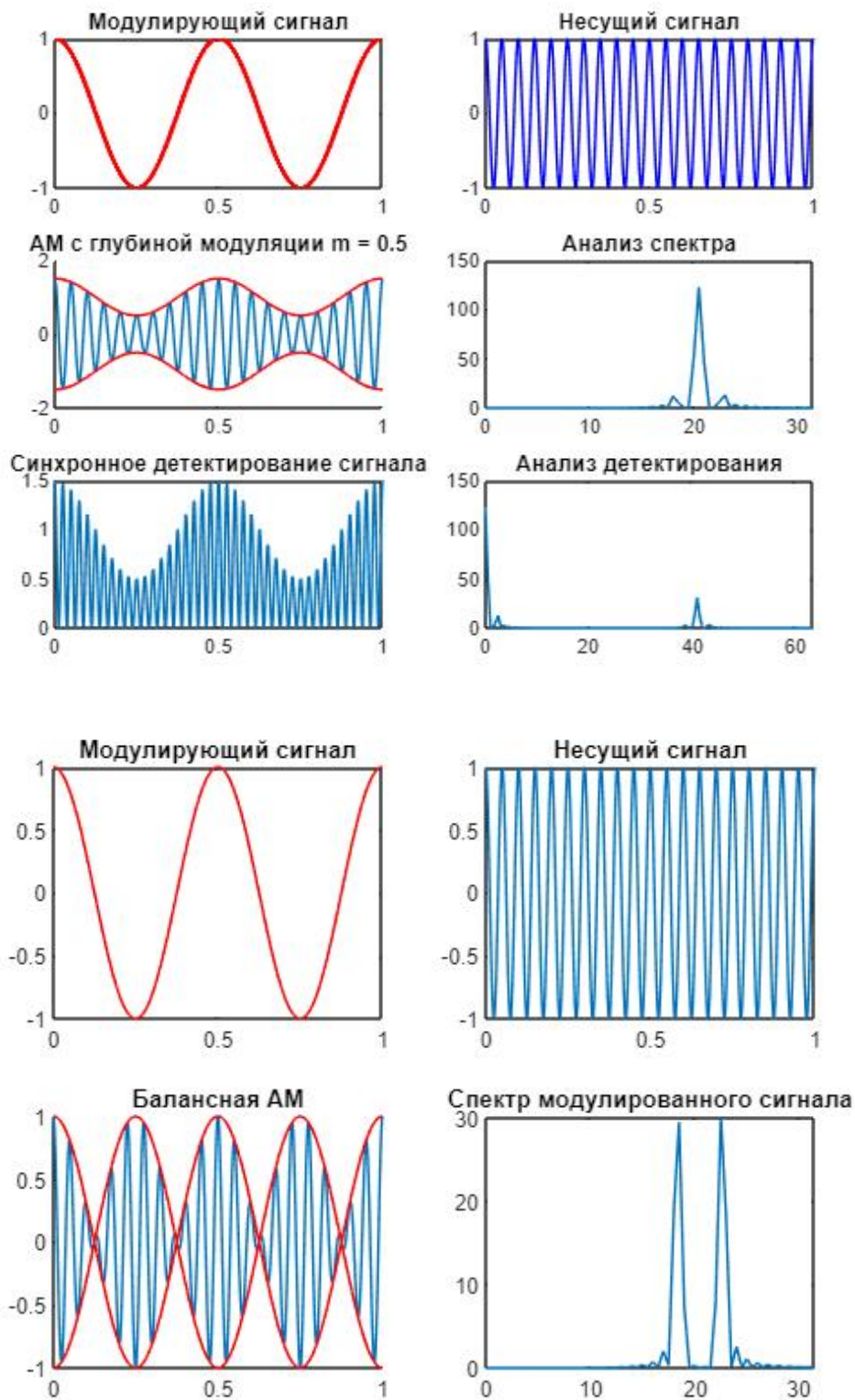


Рисунок 1 – Результат работы программы Matlab

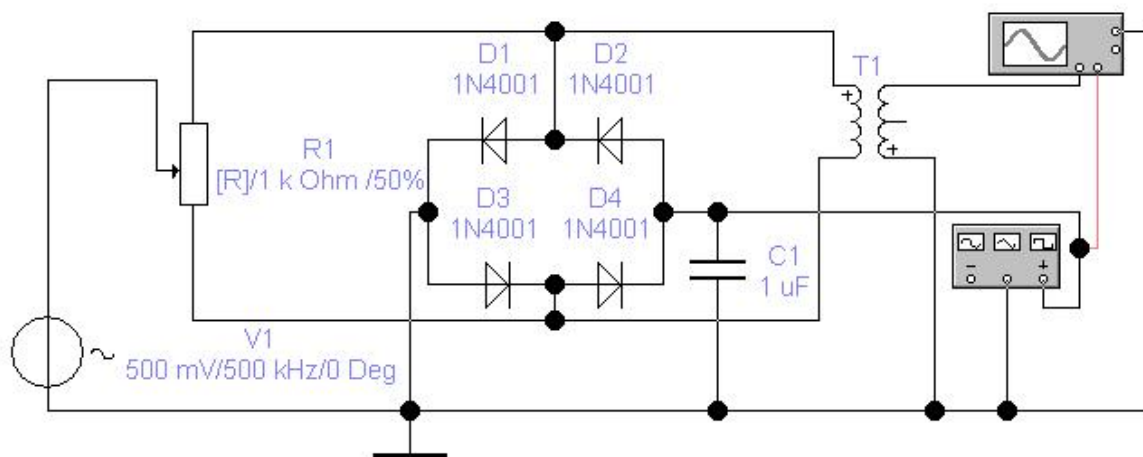


Рисунок 2 – Принципиальная схема исследуемого балансного модулятора

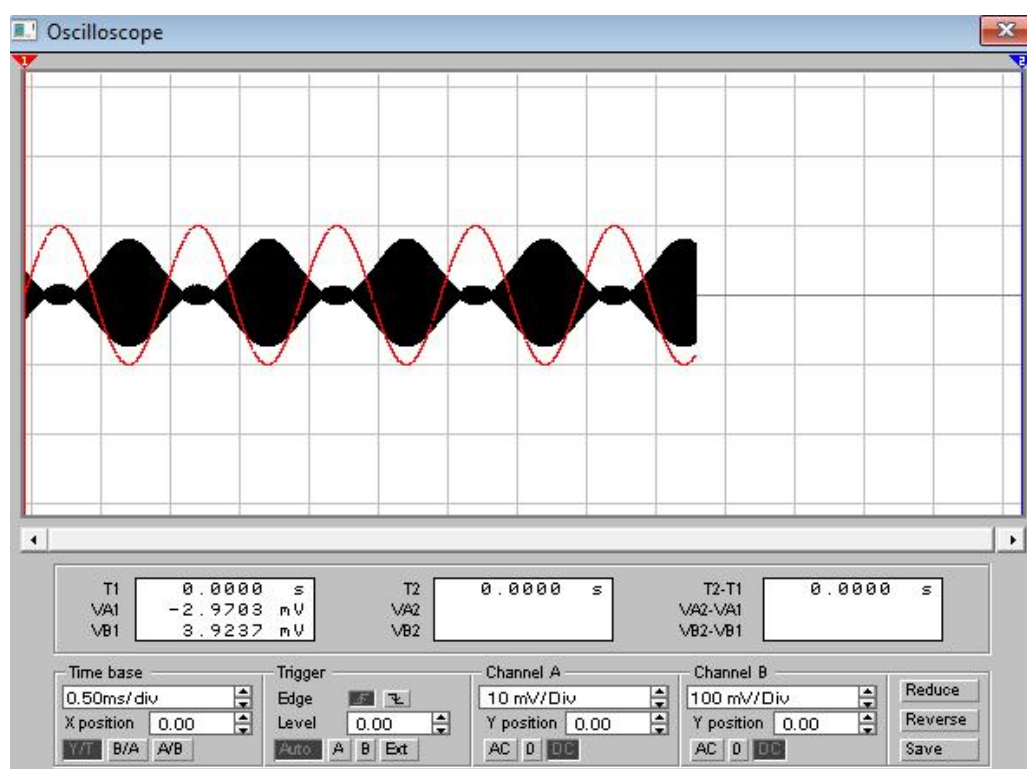


Рисунок 3 – Осциллограмма на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 500 кГц

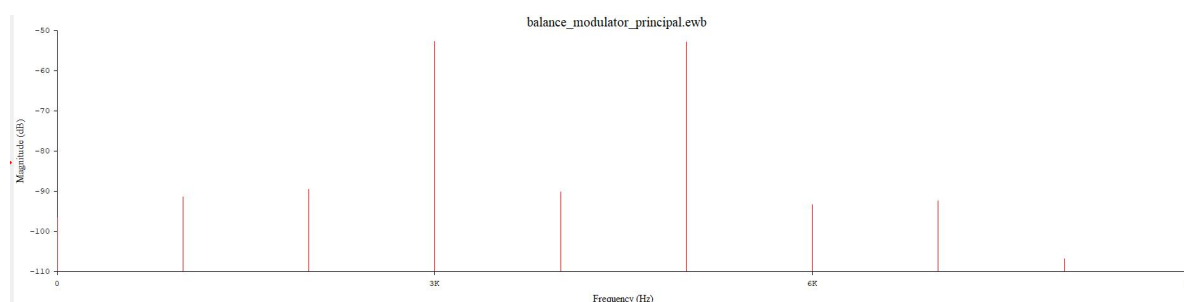


Рисунок 4 – Спектр сигнала на выходе модулятора при положении подстроечного резистора R1 50%

Коэффициент модуляции:

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}$$

Частота генератора	150 Гц	170	180	200	250	500	800
Коэффициент Мам	0.767	0.760	0.721	0.726	0.457	0.281	0.205

Частота генератора	1 кГц	10	20	30	40	45	50	100
Коэффициент Мам	0.101	0.764	0.879	0.899	0.936	0.944	0.949	0.958

Табл. 1 – Таблица измеренных и рассчитанных значений коэффициента модуляции

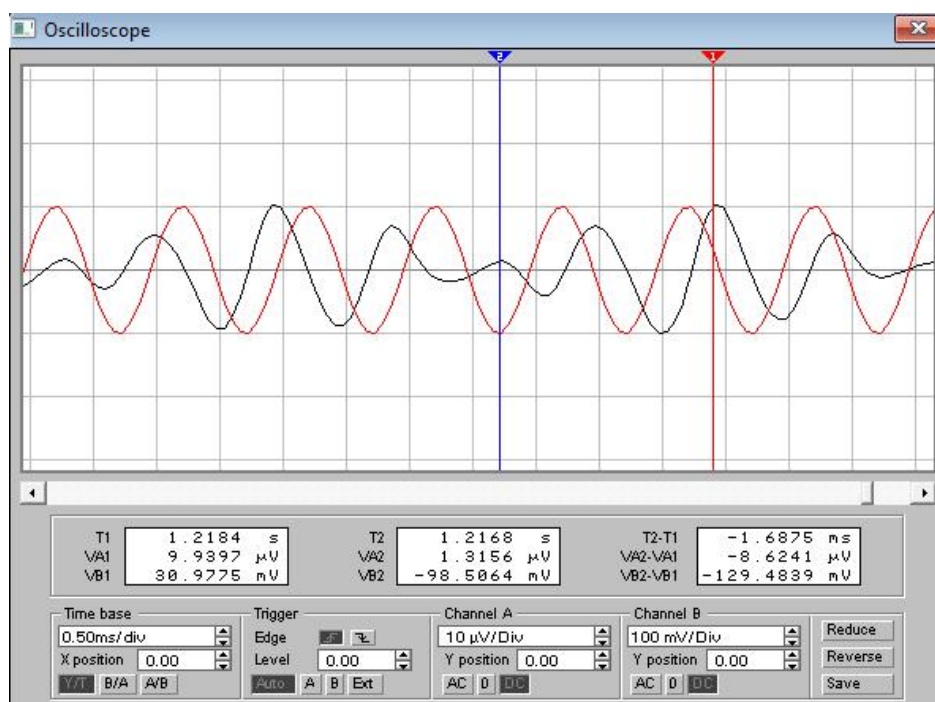


Рисунок 5 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 150 Гц,  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$

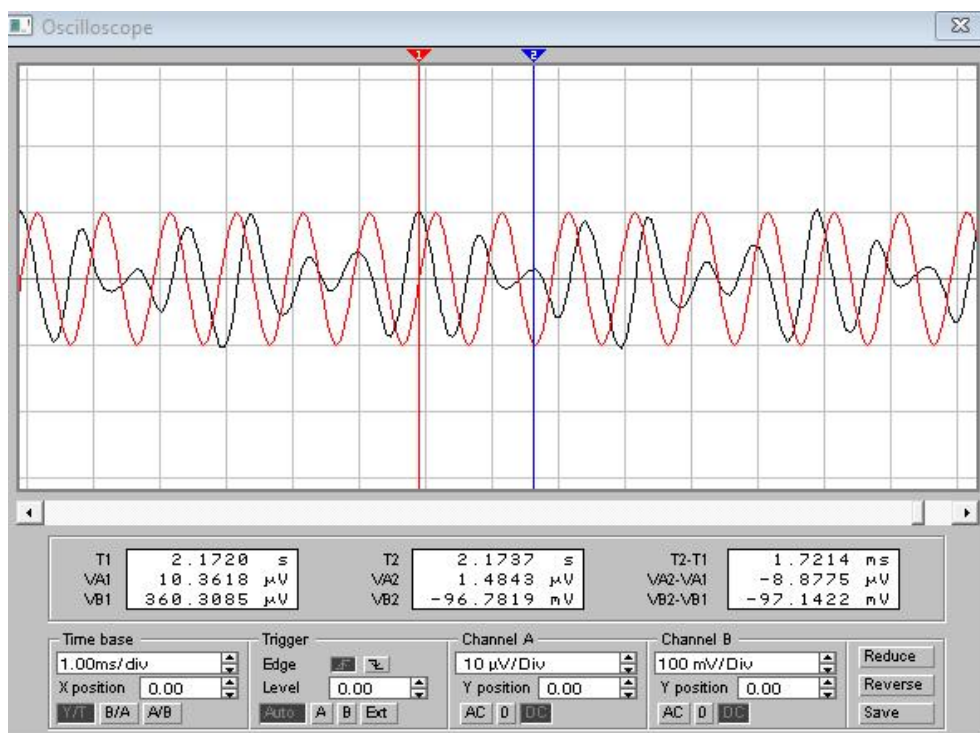


Рисунок 6 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 170 Гц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$



Рисунок 7 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 180 Гц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$



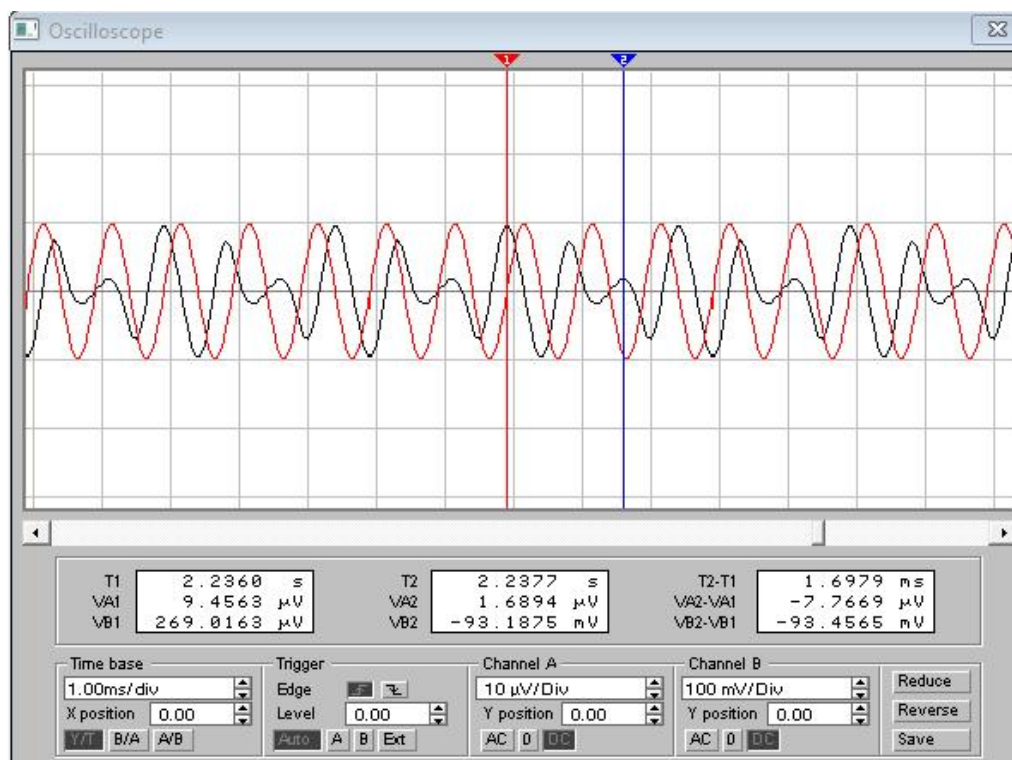


Рисунок 8 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 200 Гц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

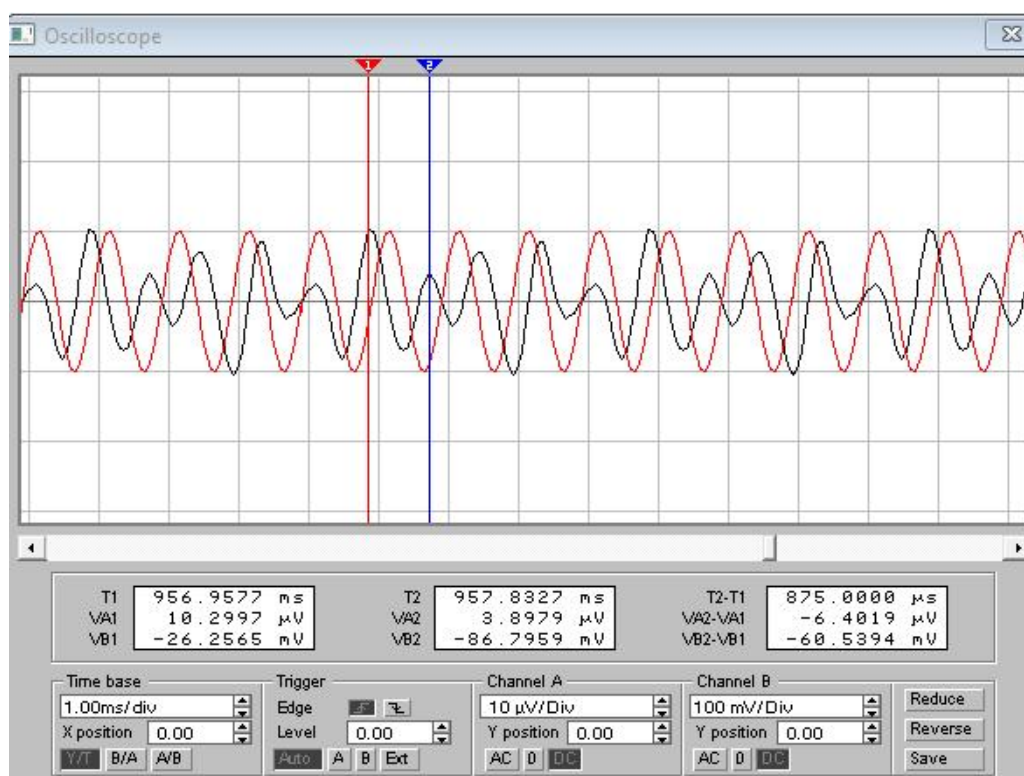


Рисунок 9 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 250 Гц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$



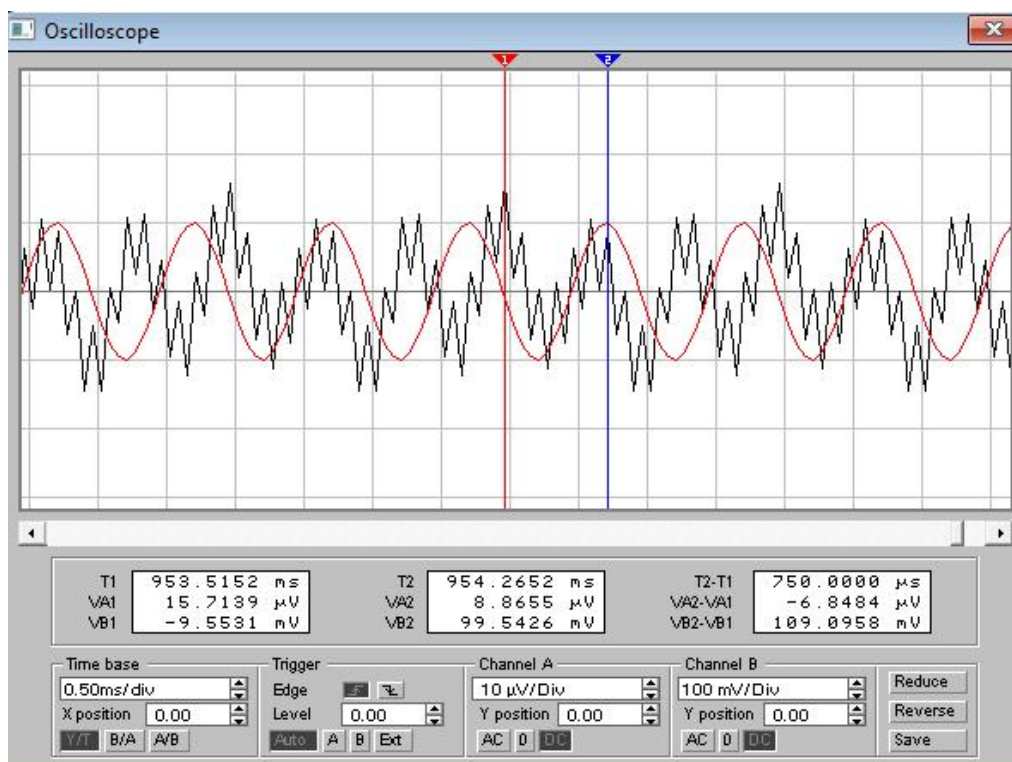


Рисунок 10 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 500 Гц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

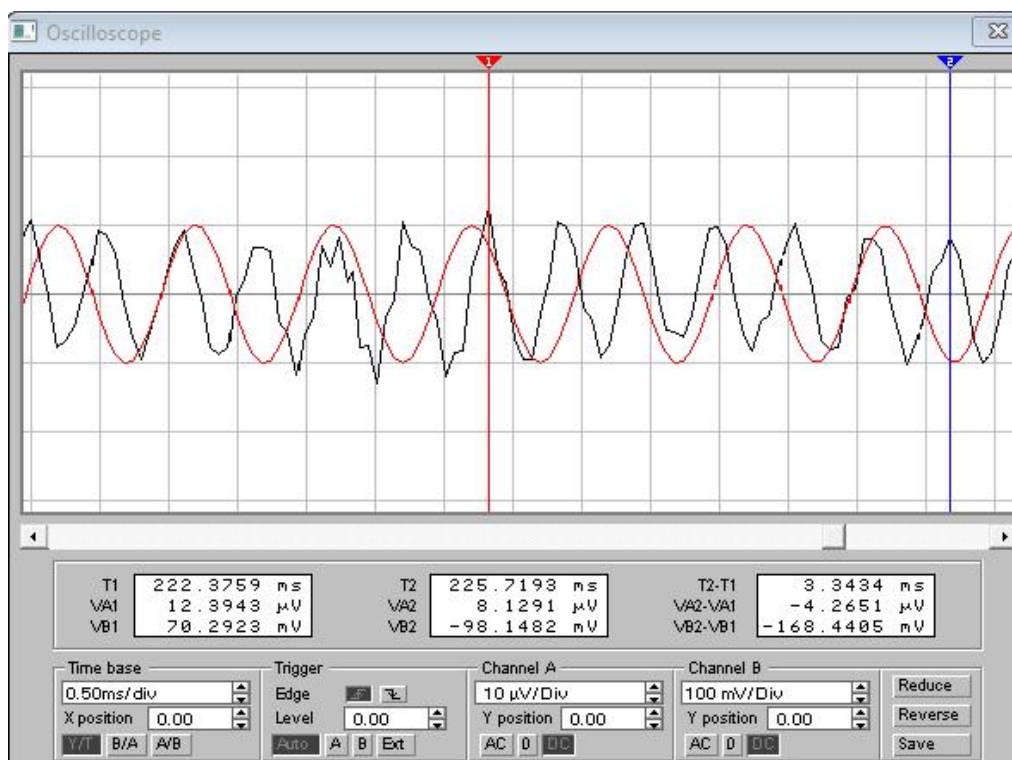


Рисунок 11 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 800 Гц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

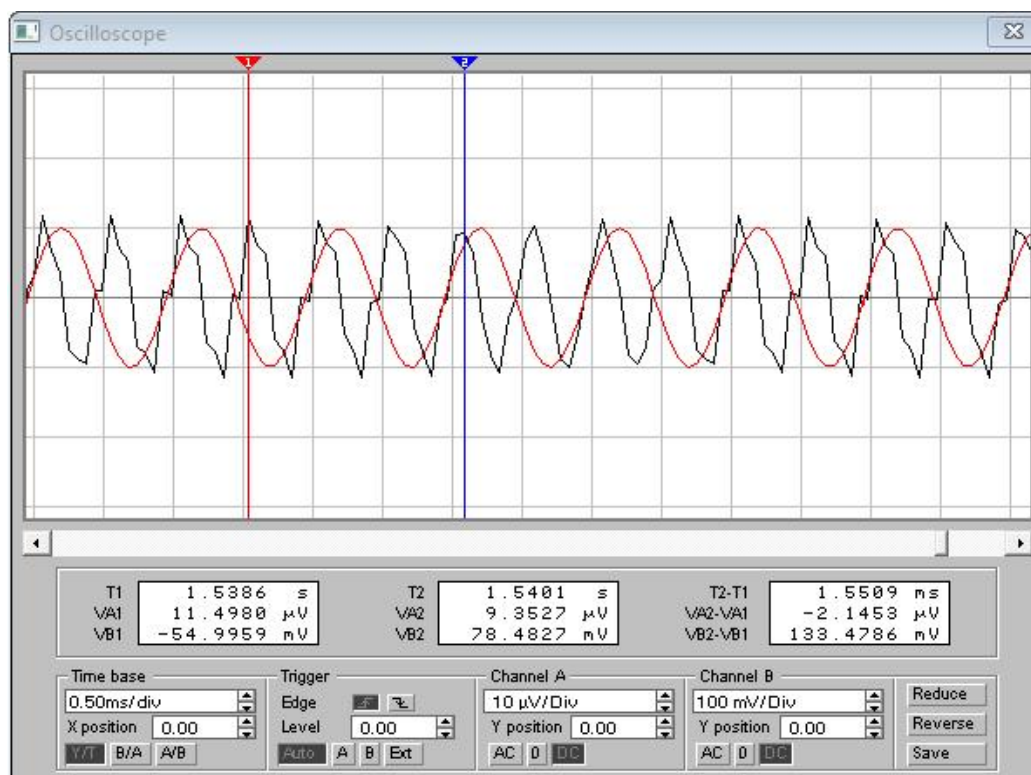


Рисунок 11 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 1 кГц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

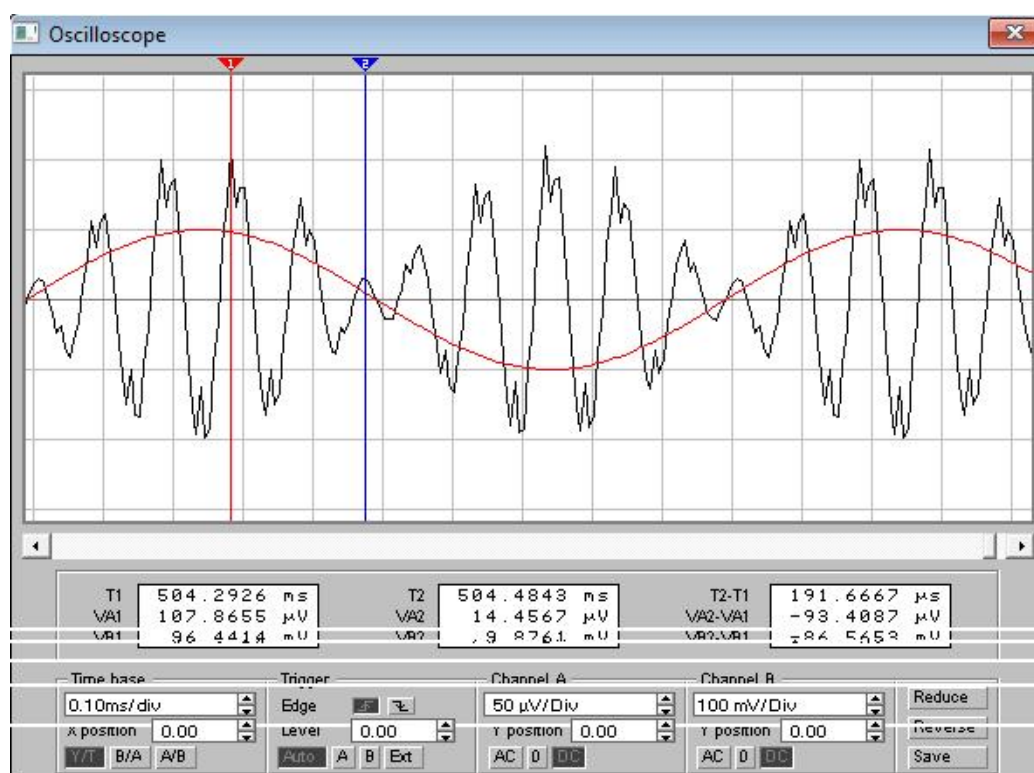


Рисунок 12 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 10 кГц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

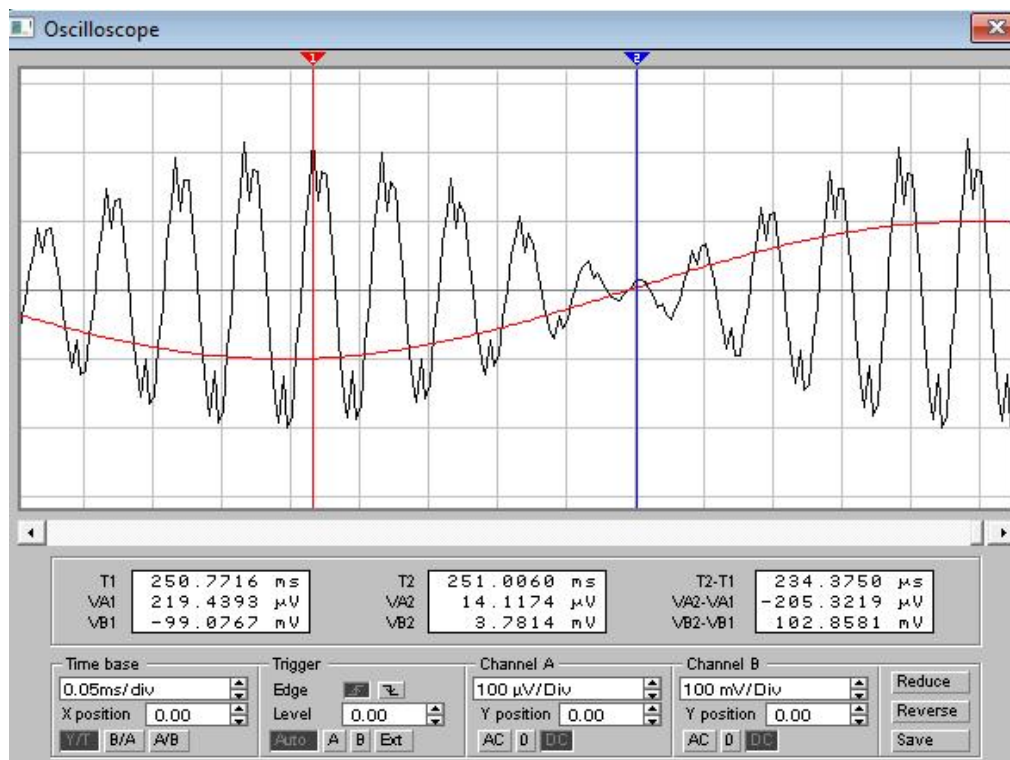


Рисунок 13 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 20 кГц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

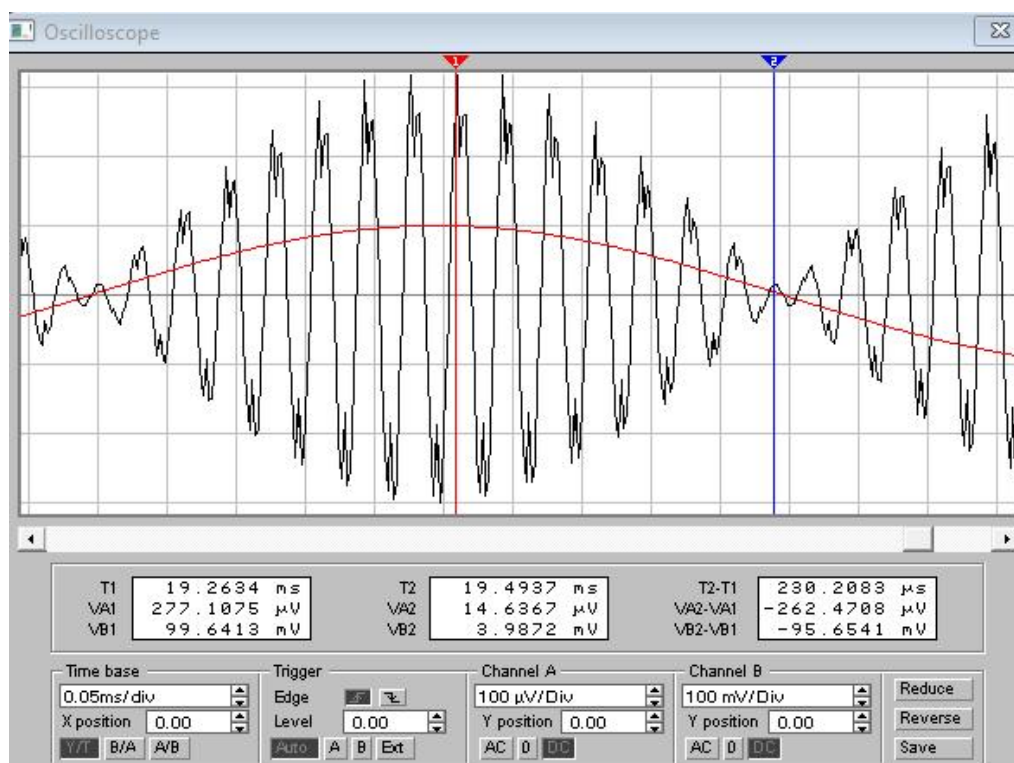


Рисунок 14 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 30 кГц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

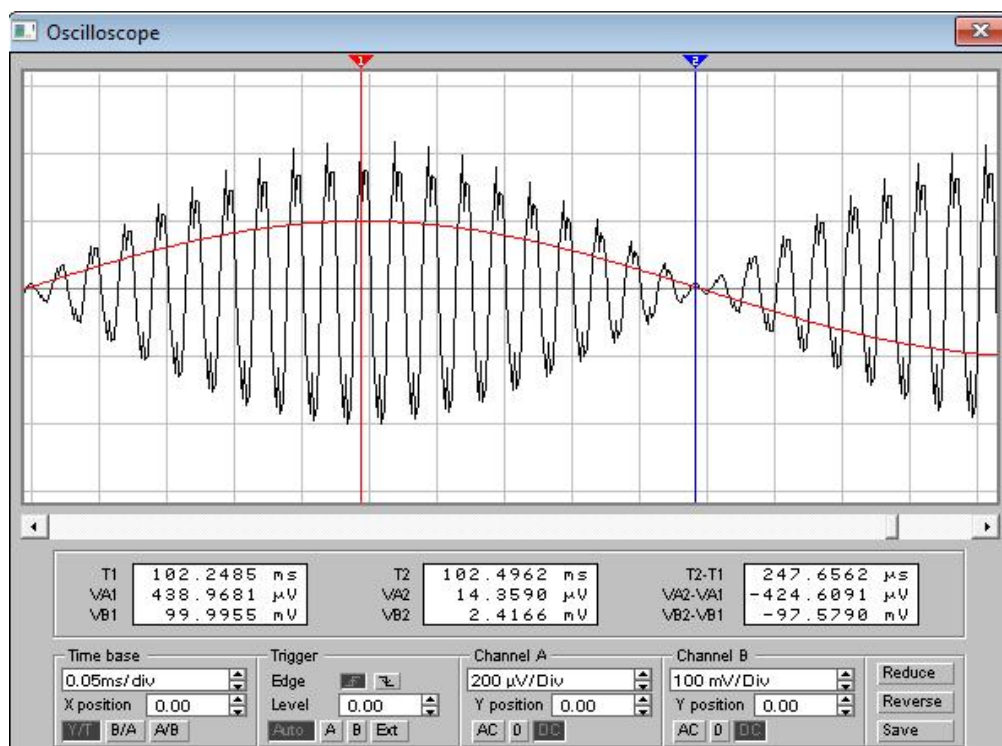


Рисунок 15 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 40 кГц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

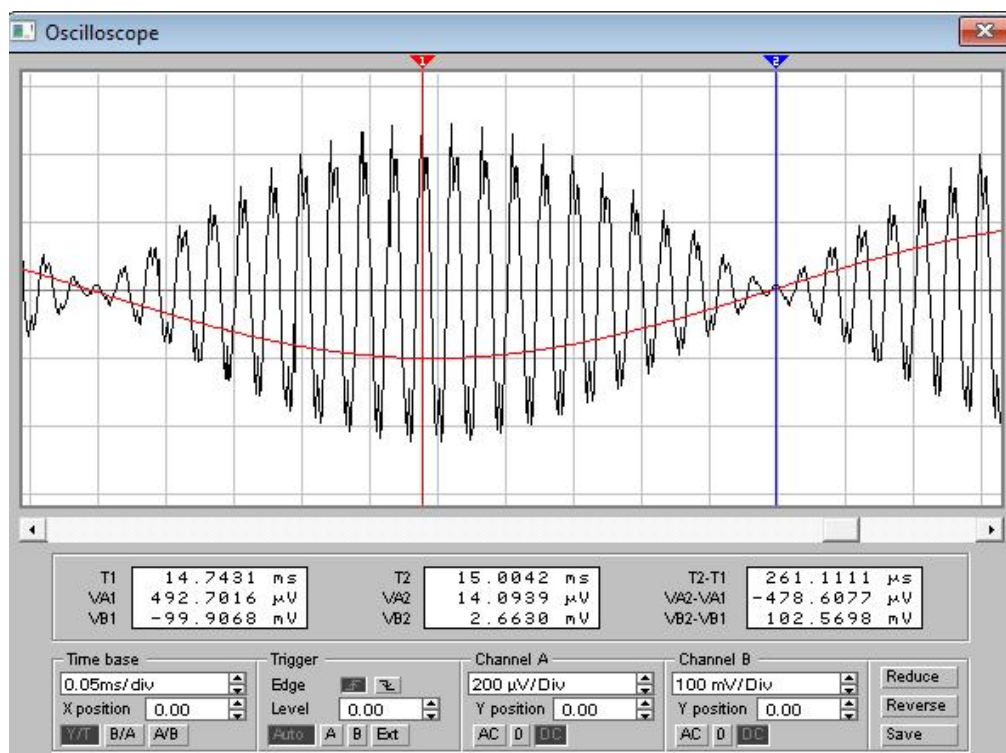


Рисунок 16 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 45 кГц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$



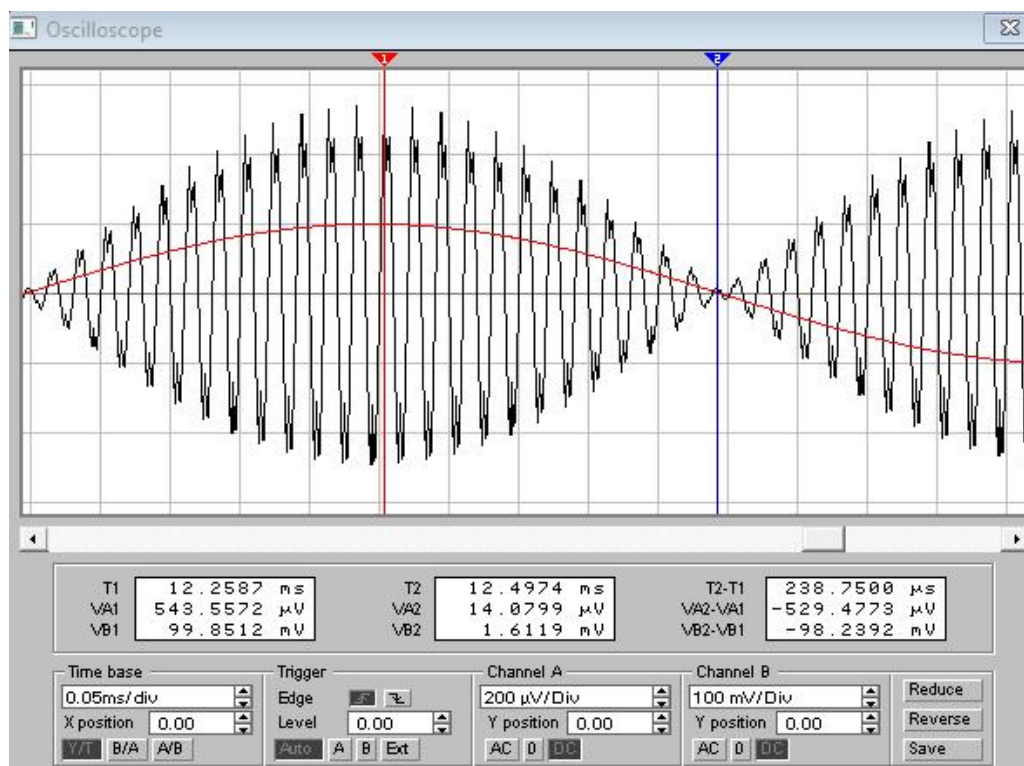


Рисунок 17 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 50 кГц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

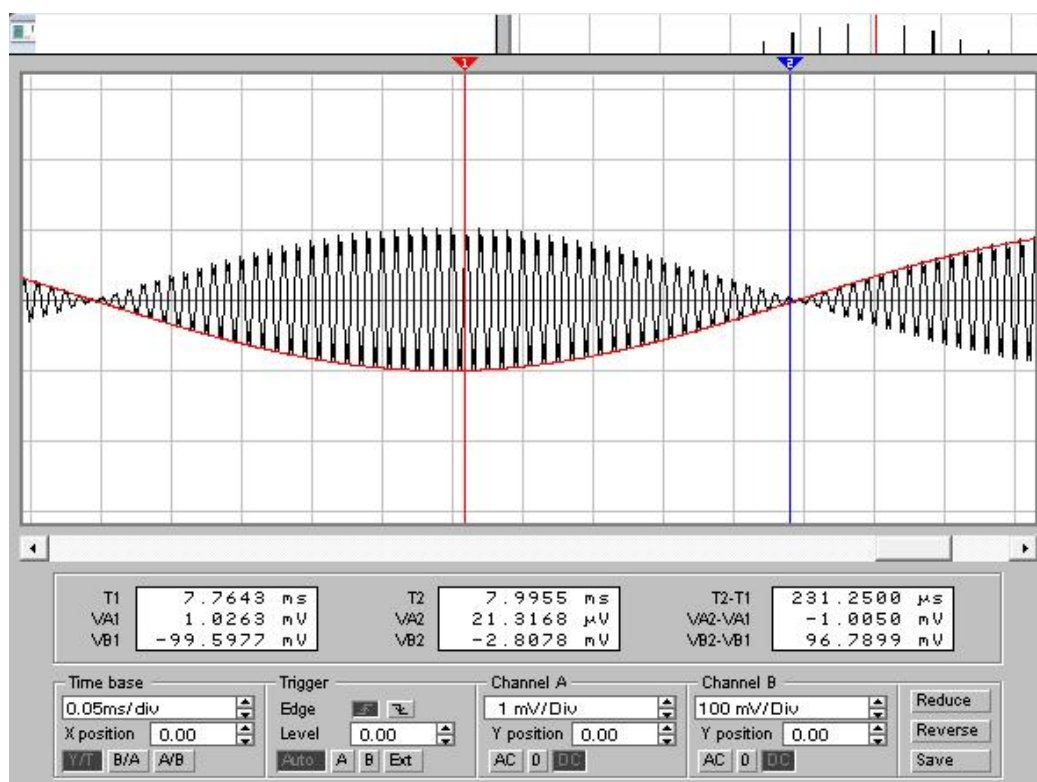


Рисунок 18 – Пример осциллограммы на выходе модулятора при частоте модулирующего генератора 100 кГц,  $U_{max}$ ,  $U_{min}$

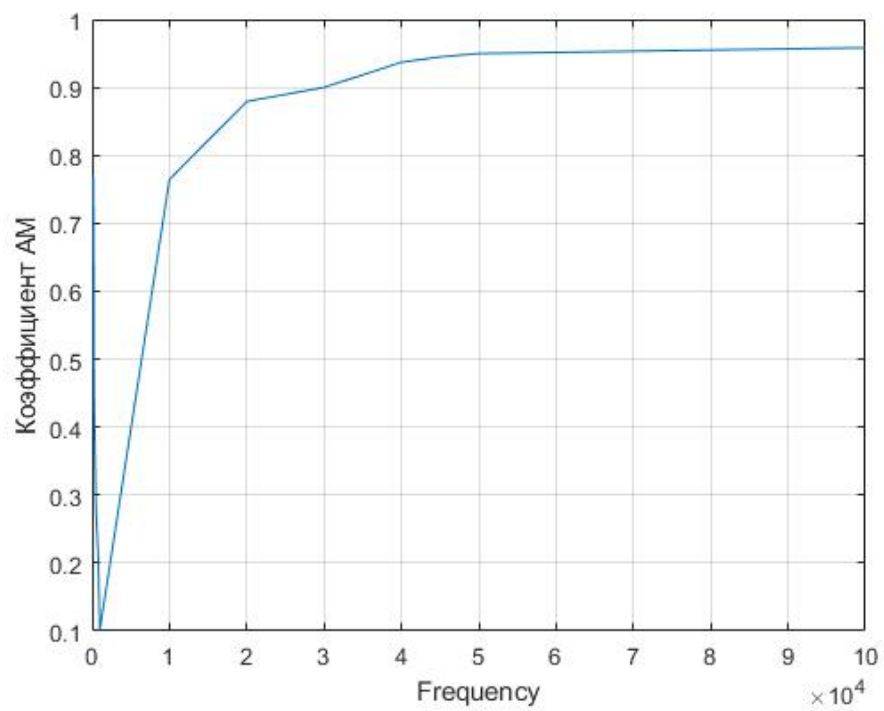


Рисунок 19 – График частотной характеристики модулятора



## Детектирование балансно-модулированного сигнала

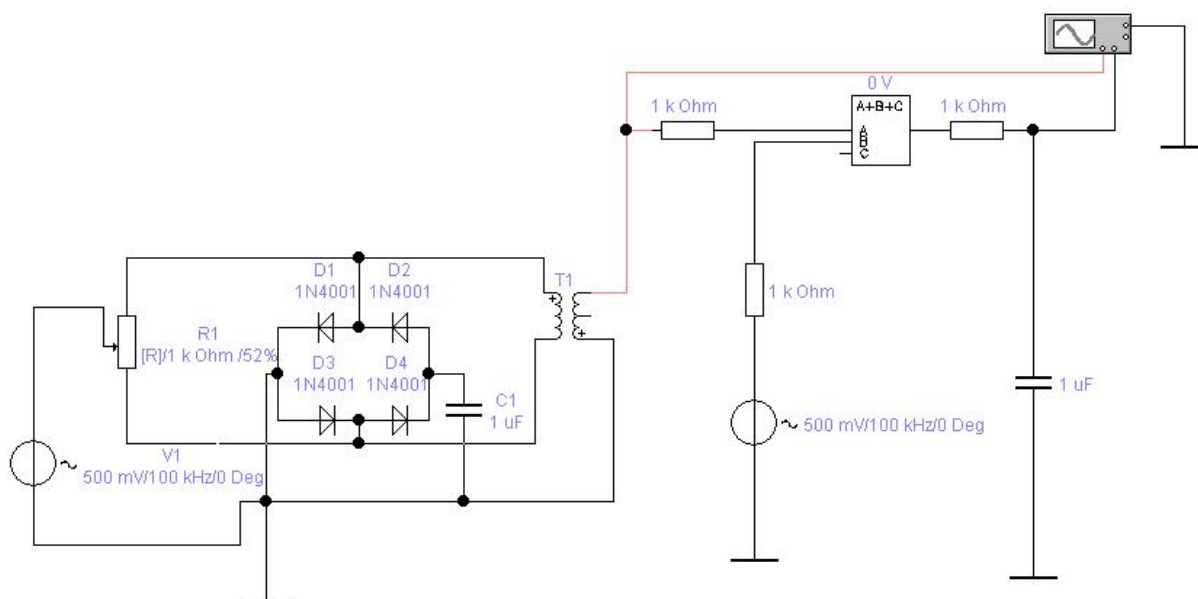


Рисунок 20 – Схема детектора балансно модулированного сигнала

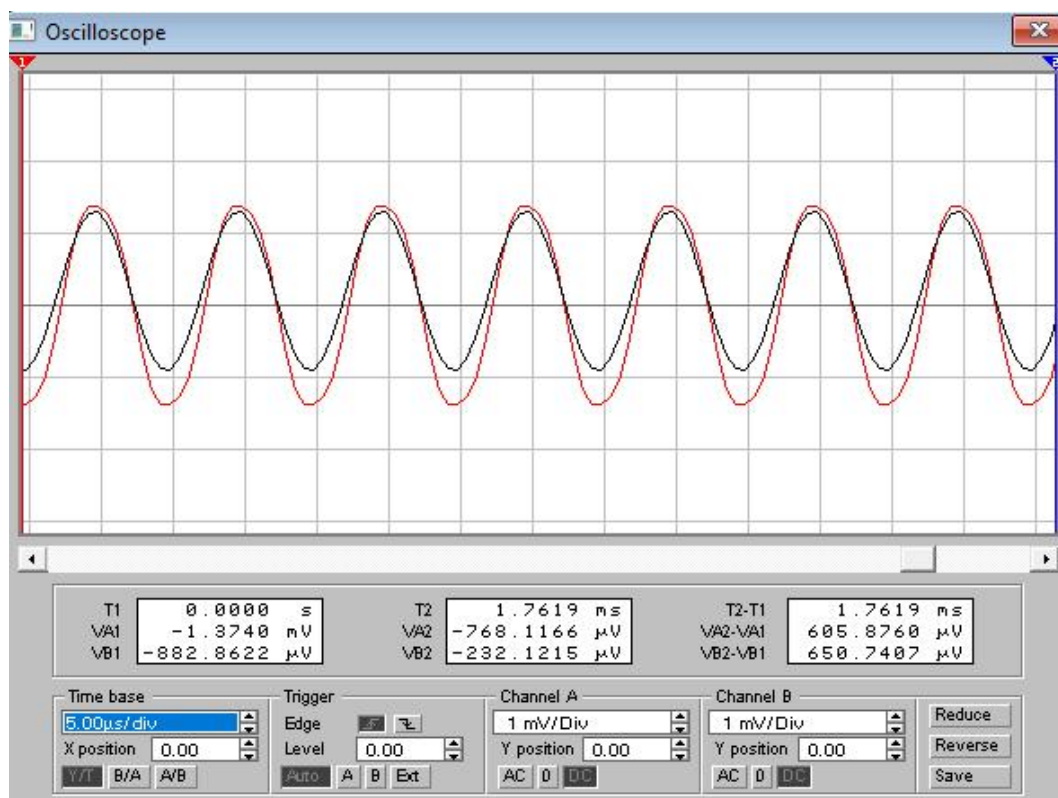


Рисунок 21 – Осциллограмма, содержащая сигнал с выхода балансного модулятора и выхода детектора

## Вывод

В ходе практического занятия была исследована балансная амплитудная модуляция (АМ) с подавлением несущей частоты, а также проведен анализ спектров и сигналов с использованием программной среды Matlab. Получены результаты моделирования сигналов, их синхронного детектирования и балансной модуляции. Проведённые эксперименты подтвердили возможность эффективного подавления несущего сигнала, что приводит к увеличению коэффициента полезного действия модуляции до 100%. Тем не менее, балансная модуляция имеет свои сложности, в частности, необходимость точной синхронизации при демодуляции. Для решения этой проблемы может использоваться метод с неполным подавлением несущей частоты, что позволяет выполнять фазочастотную автосинхронизацию. В итоге, было продемонстрировано, что балансная модуляция оптимально распределяет энергию сигнала, хотя и требует более сложных схем для демодуляции, что ограничивает её практическое применение в некоторых случаях.