

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

---

КАФЕДРА №23

ОТЧЕТ ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ \_\_\_\_\_

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

Канд. техн. наук, доцент  
должность, уч. степень, звание

подпись, дата

О.Л. Балышева  
инициалы, фамилия

**ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1**

**Исследование амплитудных спектров периодических сигналов**

по курсу: Радиотехнические цепи и сигналы

СТУДЕНТ ГР. № 2221  
номер группы

подпись, дата

А.И. Швечко  
инициалы, фамилия

Санкт-Петербург  
2023

**ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ**  
Лабораторная работа №1.2  
**Исследование амплитудных спектров периодических сигналов**

Студенты группы № 2221 Швечко Алина, Высоцкая Полина, Золотухин Александр,  
Николаев Александр

Преподаватель каф. № 23  
№ кафедры

*Балышева*

Балышева О.Л.  
Фамилия, инициалы

**Задание №1. Изучение и измерение аппаратной функции (АФ) анализатора спектра осциллографа.**

**1.1 Измерение положения максимума (АФ) на частотной оси анализатора спектра.**

Таблица 1.1

f, кГц	20	40	60	80	100
f <sub>max</sub> АФ, кГц	20	40	60	80	100

**1.2 Измерение разрешающей способности анализатора спектра**

Таблица 1.2

M, мкс	1000	500	250	100
ΔАФ, кГц	2	5,6	10	17,5
ΔАФ, кГц (теор)	2	4	8	20

**Задание №2. Исследование амплитудного спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов**

**2.1 Измерение амплитудного спектра**

Таблица 2.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f, кГц	21,25	40	60	80	100	120	140	160	180	200
A, мВ	1160	960	600	300	0	200	280	260	160	0

Таблица 2.2

№	1	2	3	4	5	6	7
f, кГц	12,5	32,5	52,5	72,5	92,5	112,5	132,5
A, мВ	2000	0	800	0	400	0	300

Таблица 2.3

№	1	2	3	4	5	6	7	8
f, кГц	5	17,5	30	42,5	55	67,5	80	92,5
A, мВ	680	670	600	450	380	200	100	0

Дата «5» февраля 2024 г.

Подпись преподавателя

1. Цель работы: ознакомление с методикой измерения амплитудного спектра с использованием анализатора спектра цифрового осциллографа. Изучение и измерение аппаратной функции (АФ) анализатора. Измерение амплитудного спектра периодической последовательности импульсов.

## 2. Описание лабораторной установки.

Лабораторный макет состоит из генератора исследуемых сигналов АКП-3403 и анализатора спектра, встроенного в осциллограф АКП-4115/1А. Структурная схема лабораторной установки показана на рис. 1. Анализатор спектра находится внутри цифрового осциллографа.

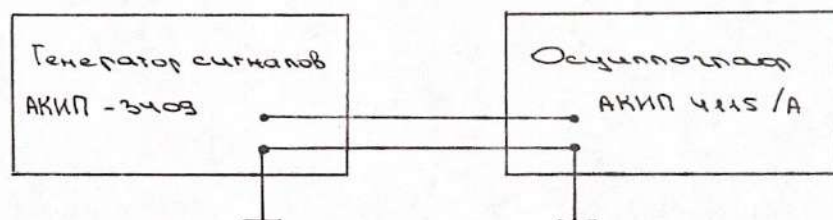


Рис. 1 - Структурная схема лабораторной установки

## 3. Задание № 1. Изучение и измерение аппаратной функции (АФ) анализатора спектра осциллографа.

1.1. Измерение положения максимума АФ на частотной оси анализатора спектра.

Таблица 1.1

$f, \text{кГц}$	20	40	60	80	100
$f_{\text{max, АФ}}$	20	40	60	80	100

$$f = 20 \text{ кГц}$$



1.2. Измерение разрешающей способности анализатора спектра.

Таблица 1.2

$M, \text{мкс}$	1000	500	250	100
$\Delta A\gamma, \text{кГы}$	2	5,6	10	17,5
$\Delta A\gamma, \text{кГы (теор)}$	2	4	8	20

$$f = 20 \text{ кГы}, M = 1 \text{ мкс}$$

4. Задача № 2. Исследование амплитудного спектра периодической помехообразовательности при различных значениях.

2.1. Измерение амплитудного спектра.

Таблица 1.3.

$N^\circ$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f, \text{кГы}$	21,25	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$A, \text{мВ}$	1160	960	600	300	0	200	280	260	160	0

$$t_u = 10 \text{ мкс}, T = 50 \text{ мкс}$$

Таблица 1.4.

$N^\circ$	1	2	3	4	5	6	7
$f, \text{кГы}$	12,5	32,5	52,5	72,5	92,5	112,5	132,5
$A, \text{мВ}$	2000	0	200	0	400	0	300

$$t_u = 25 \text{ мкс}, T = 50 \text{ мкс}$$

Таблица 1.5

$N^\circ$	1	2	3	4	5	6	7	8
$f, \text{кГы}$	5	17,5	30	42,5	55	67,5	80	92,5
$A, \text{мВ}$	620	630	600	450	380	200	100	0

$$t_u = 10 \text{ мкс}, T = 30 \text{ мкс}$$

5. Теоретический расчет  $\Delta A_{\text{Ф}}$ : (результаты занесены в таблицу 1.2).

$$\Delta A_{\text{Ф}} = \frac{2}{M}$$

$$\Delta A_{\text{Ф}1} = \frac{2}{1000} = 2 \text{ мГц}$$

$$\Delta A_{\text{Ф}2} = \frac{2}{500} = 4 \text{ мГц}$$

$$\Delta A_{\text{Ф}3} = \frac{2}{250} = 8 \text{ мГц}$$

$$\Delta A_{\text{Ф}4} = \frac{2}{100} = 20 \text{ мГц}$$

6. Задача №3. Расчет амплитудного спектра периодической последовательности импульсов.

6.1. Вывод формулы для коэффициентов амплитудного спектра сигнала.

Для вывода формулы применим комплексную функцию Фурье:

$$S(t) = \frac{1}{2} \sum_{-\infty}^{\infty} A_n \cdot e^{jn\omega t}$$

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{2}{T} \int_0^{t_4} s(t) \cdot e^{-jn\omega t} \cdot dt = \frac{2}{T} \int_0^{t_4} E \cdot e^{-jn\omega t} \cdot dt = \\ &= \frac{2E}{T} \int_0^{t_4} e^{-jn\omega t} \cdot dt = \frac{2E}{T} \left( -\frac{1}{jn\omega} \right) \cdot e^{-jn\omega t} \Big|_0^{t_4} = \\ &= \frac{2E}{T} \left( -\frac{T}{2jn\pi} \right) \cdot e^{-jn\omega t} \Big|_0^{t_4} = -\frac{E}{jn\pi} \cdot e^{jn\omega t} \Big|_0^{t_4} = \\ &= -\frac{E}{jn\pi} \cdot e^{-jn\omega t_4} + \frac{E}{jn\pi} \cdot 1 = \frac{E}{jn\pi} (1 - e^{-jn\omega t_4}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{E}{jn\pi} \cdot e^{-jn\omega t_4} \cdot \left( e^{\frac{jn\omega t_4}{2}} - e^{-\frac{jn\omega t_4}{2}} \right) = \\
&= \frac{2E}{n\pi} \cdot e^{-jn\omega t_4} \cdot \left( \frac{e^{\frac{jn\omega t_4}{2}} - e^{-\frac{jn\omega t_4}{2}}}{2j} \right) = \\
&= \frac{2E}{n\pi} \cdot \sin \frac{jn\omega t_4}{2} \cdot e^{-jn\omega t_4} = \frac{2E}{n\pi} \cdot \sin \frac{n\pi t_4}{T} \cdot e^{-\frac{jn\omega t_4}{2}}, \\
&= \frac{2E}{n\pi} \cdot \sin \frac{n\pi t_4}{T} \cdot e^{-\frac{jn\pi t_4}{2T}}
\end{aligned}$$

Таким образом мы получили формулу для амплитудного спектра сигнала в виде:

$$A_n = \frac{2E}{n\pi} \cdot \sin \frac{n\pi t_4}{T} \quad (1)$$

Формула фазового спектра:

$$\varphi = -\frac{n\pi t_4}{T} \quad (2)$$

6.2. Нарисовать соответствующие амплитудный и фазовый спектры с указанием заданных параметров ( $E$  - амплитуда импульсов,  $T$  - период следования,  $t_4$  - длительность импульсов).

Выразить символы в прописных.

6.3. Построить графики АСД и ФСД заданного сигнала. Для построения графиков АСД и ФСД воспользуемся формулами (1) и (2). Построим график 10-го гармонического. Полученные данные внести в таблицу.



Таблица 1.6

$N_{\text{гнм}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f, \text{Гц}$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$A, \text{мВ}$	0,75	0,60	0,40	0,19	0	0,12	0,17	0,15	0,06	0
$\varphi, \text{град}$	-0,62	-1,26	-1,88	-2,51	-3,14	-3,77	-4,33	-5,03	-5,65	-6,28

График см. Приложение.

7. Анализ изменений параметров при изменении  $E, T, t_u$

1) При изменении  $E$  ( $T = \text{const}; t_u = \text{const}$ ): на графике мы увидим, что при увеличении  $E$  - амплитуда каждой гармоники увеличивается, при уменьшении  $E$  - амплитуда каждой гармоники уменьшается.

2) При изменении длительности импульса  $t_u$  ( $T = \text{const}; E = \text{const}$ ): на графике мы увидим, что при увеличении значения  $t_u$  происходит "сжатие" спектров (ширина спектров уменьшается). Аналогично, при уменьшении значения длительности импульсов, спектр расширяется (ширина спектров увеличивается).

3) При изменении периода  $T$  ( $E = \text{const}; t_u = \text{const}$ ). Период влияет на расстояние между гармониками (соседними). При увеличении периода расстояние между гармониками будет уменьшаться, а частота увеличиваться. При уменьшении, расстояние между соседними гармониками увеличится, а частота уменьшится.

Вывод.

Я ознакомились с методом измерения амплитудного спектра сигнала с помощью анализатора спектра устаревшего оборудования.

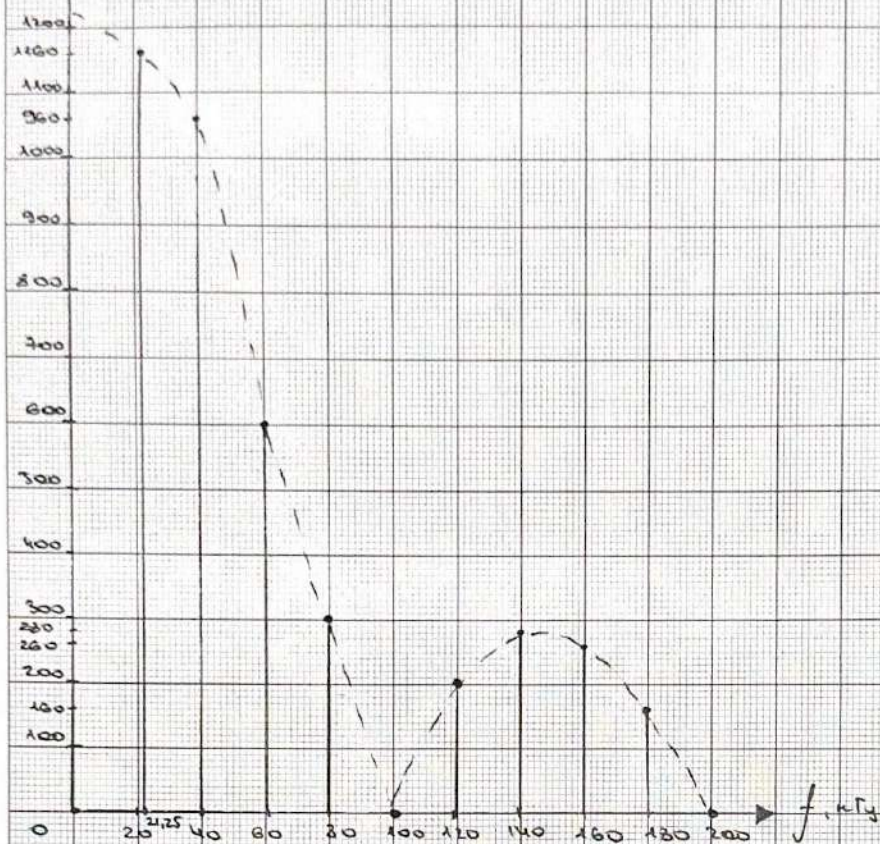
Изучил и измерил аппаратную функцию (АФ) анализатора. Правильно измерил амплитудный спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов.

В ходе лабораторной работы, рассчитана корректность и экспериментальные функции. Незначительное отклонение АФ экспериментальной от теоретической может быть обусловлено погрешностью в ходе измерений.



# 1) Амплитудно-частотная характеристика (Таблица 1.3)

$A, \mu B$



$f_H = 10 \text{ кГц}$      $f_L = 50 \text{ кГц}$

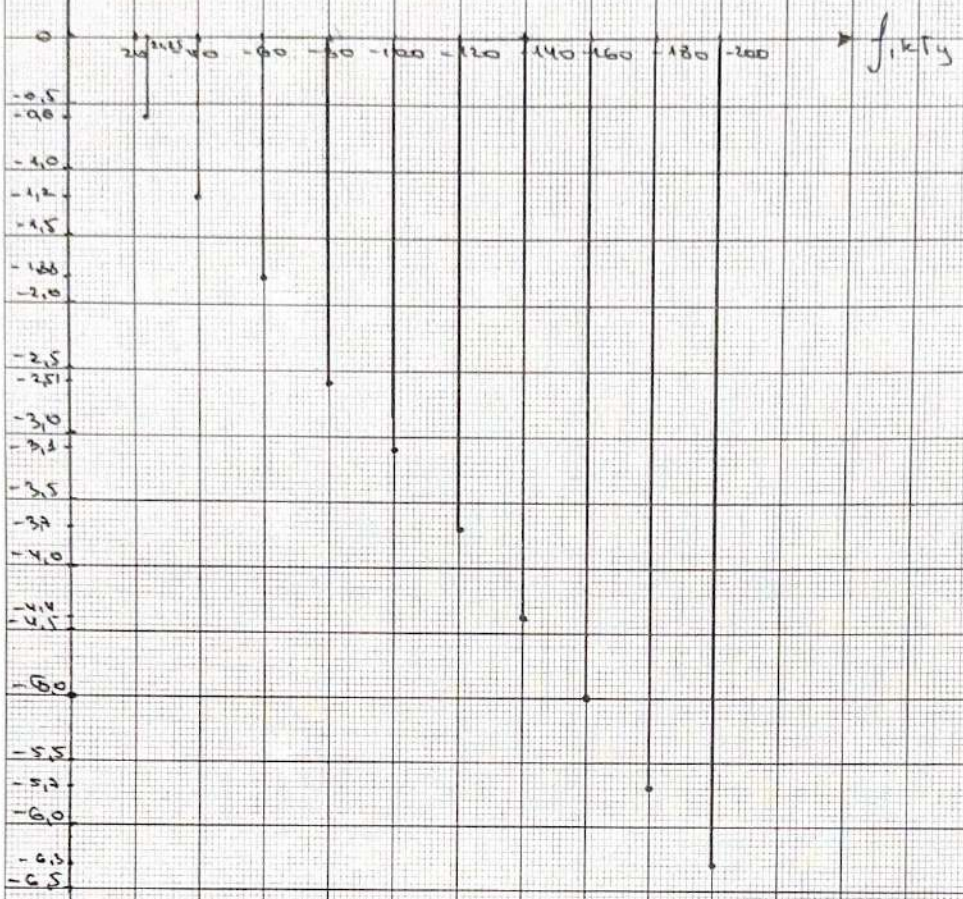


2)  $\varphi$  - фазовая характеристика генератора (к задаче 1.3)

$\varphi, \text{ рад}$

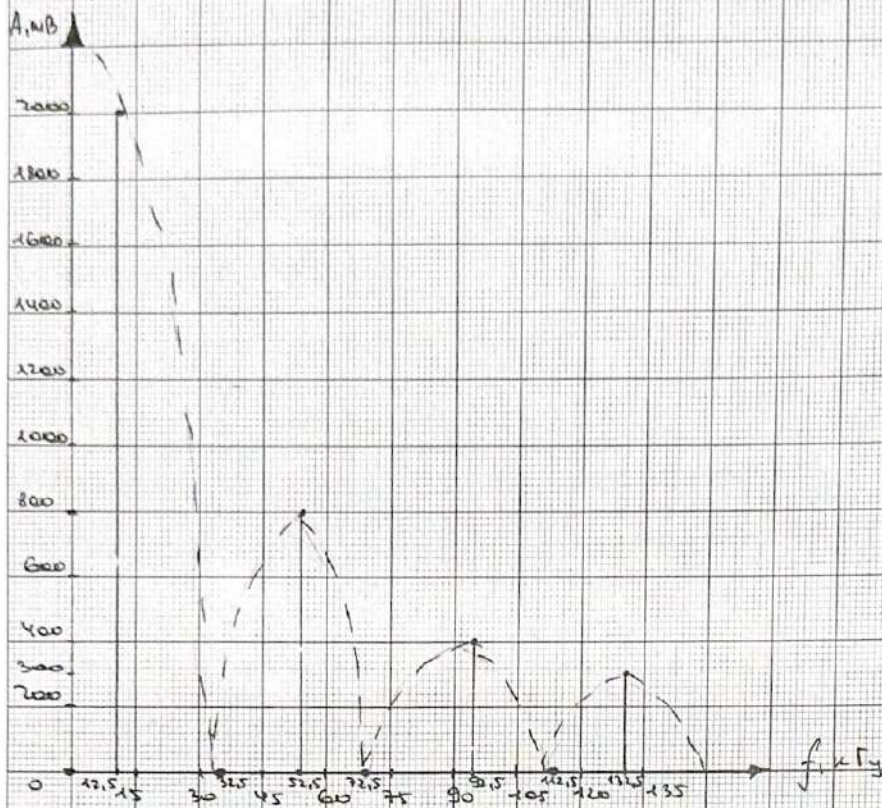
$E_u = 20 \text{ В}$

$T = 50 \text{ мкс}$





### 3) Амплитудно-фазовая характеристика (Таблица 14)

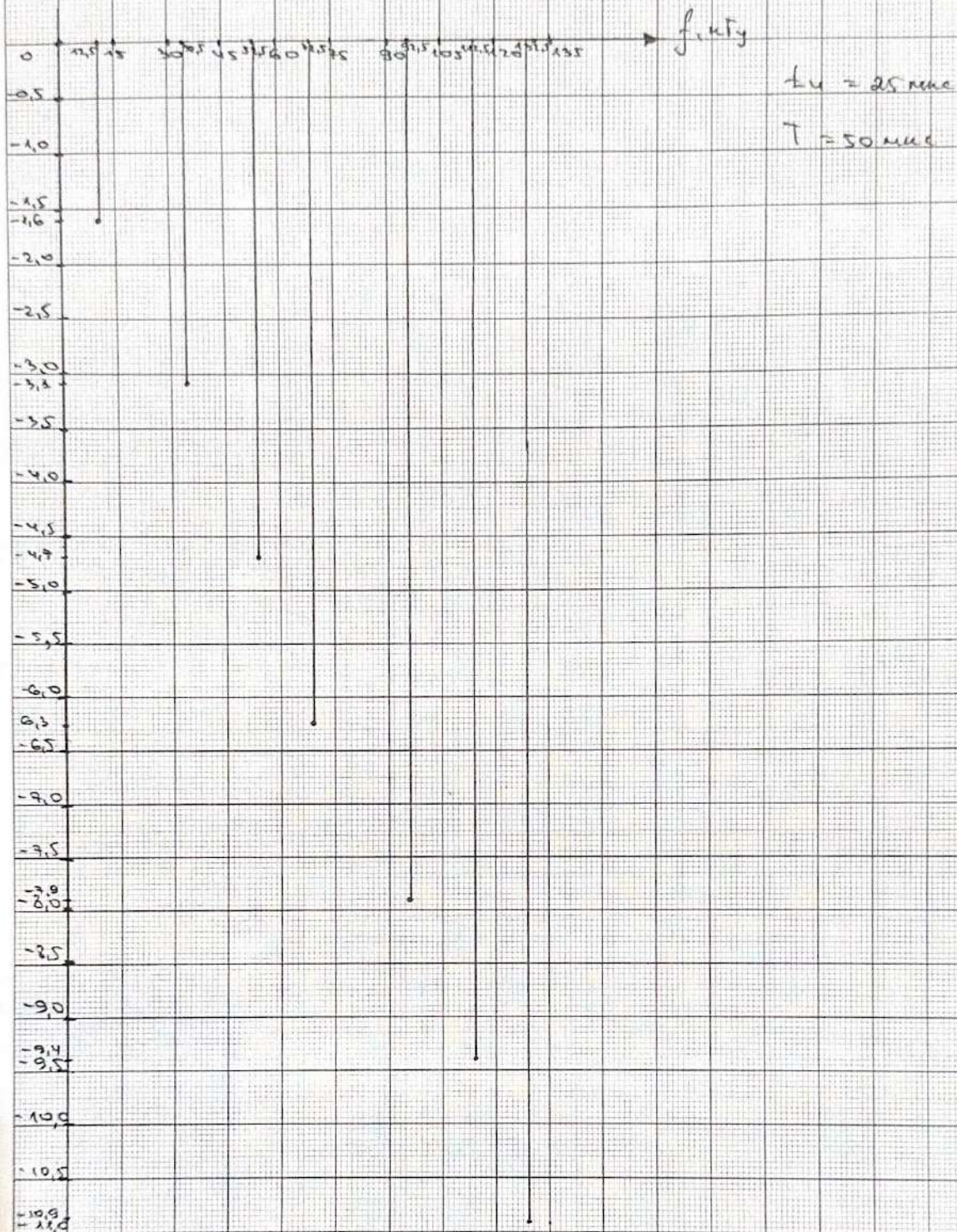


$$t_u = 25 \text{ мкс}$$

$$T = 50 \text{ мкс}$$

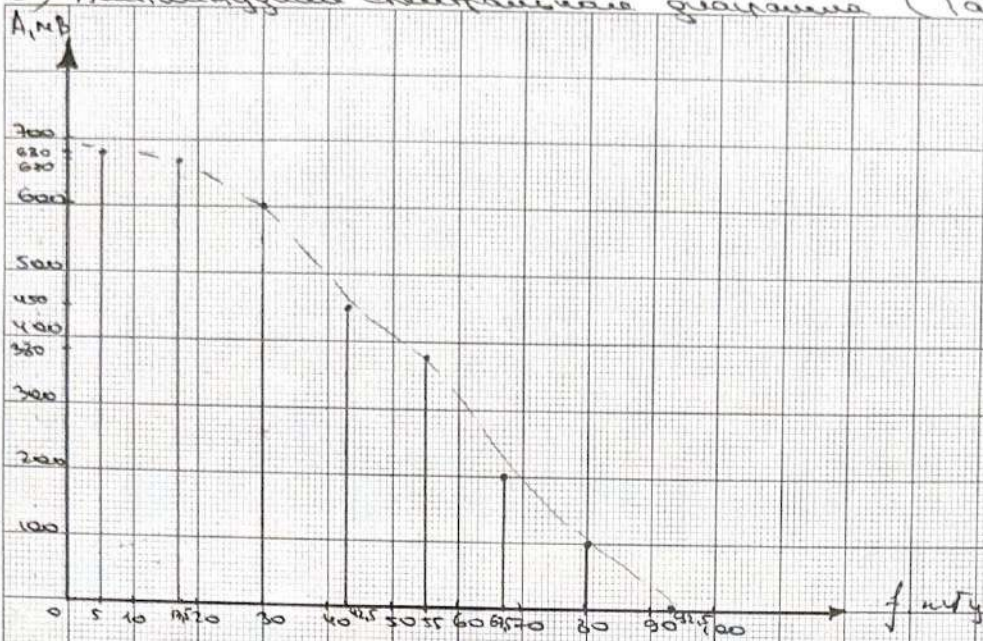


4)  $\varphi$  задавал синусоидальное напряжение (по заданию 1.4)



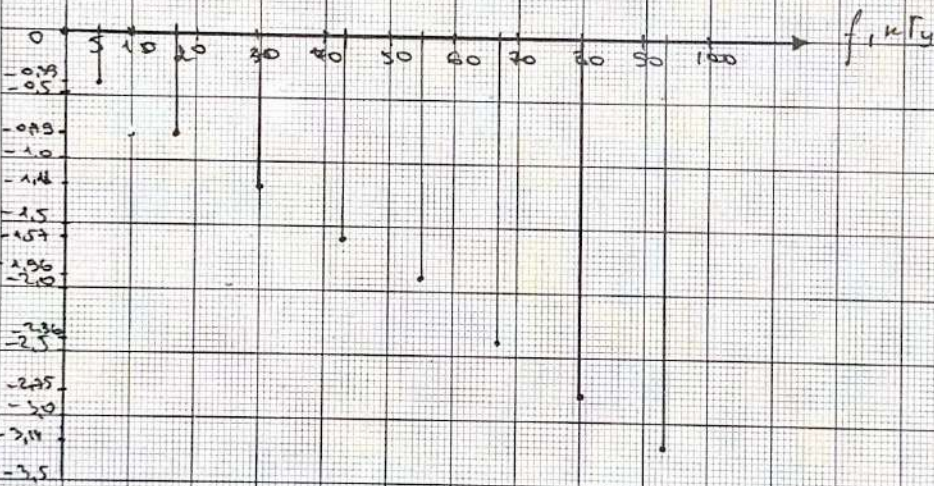


5) Амплитудная частотная характеристика (Таблица 1.5)



$t_u = 10 \text{ мкс}; T = 80 \text{ мкс}$

6) Фазовая частотная характеристика (Таблица 1.5)

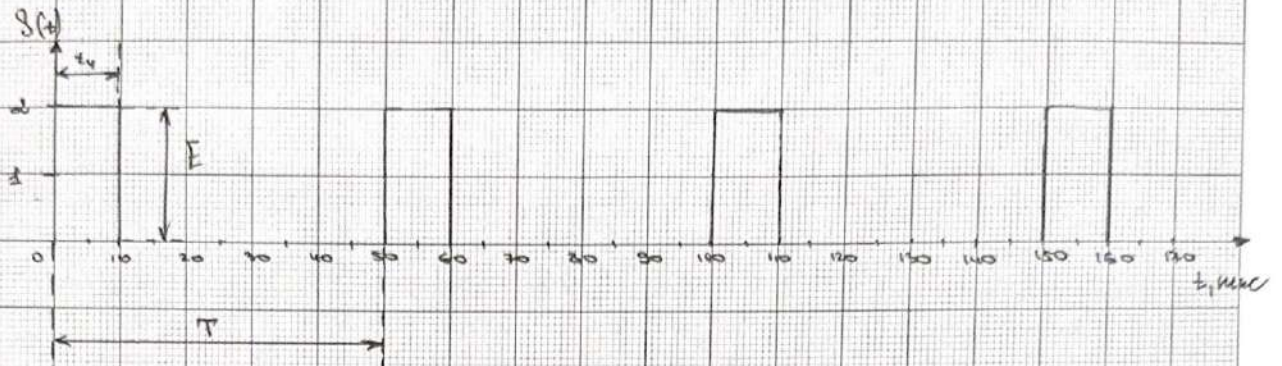


$t_u = 10 \text{ мкс}; T = 80 \text{ мкс}$

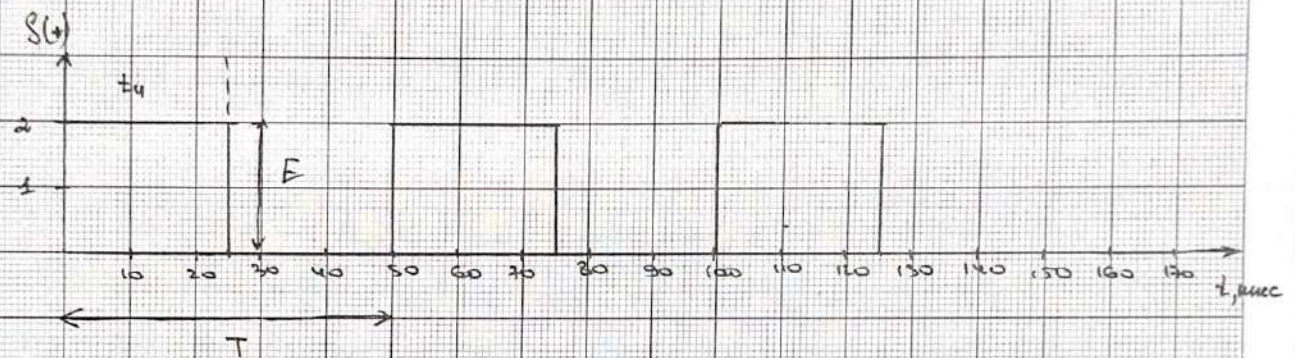


4) Изображение периодичности прямоугольных импульсов (анализ) для функции  $S(t)$ .

a)  $t_u = 10 \text{ мкс}$ ,  $T = 30 \text{ мкс}$



б)  $t_u = 25 \text{ мкс}$ ,  $T = 50 \text{ мкс}$



в)  $t_u = 10 \text{ мкс}$ ,  $T = 20 \text{ мкс}$

