

$$\frac{R_2}{\frac{1}{R_X} + j\omega C_X} = \frac{R_L}{\frac{1}{R_X} + j\omega C_N}$$

$$R_X = R_N \frac{R_1}{R_2}, \quad C_X = C_N \frac{R_2}{R_1}.$$

$$\operatorname{tg} \Delta = \frac{1}{\omega \cdot R_N \cdot C_N} = \frac{1}{\omega \cdot R_X \cdot C_X}$$

Схема моста переменного тока для определения потерь в диэлектрике (например в кабелях высокого напряжения)

$$Z_1 = R_X + j \frac{1}{\omega C_X}, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = j \frac{1}{\omega C_N}, \quad Z_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2}$$

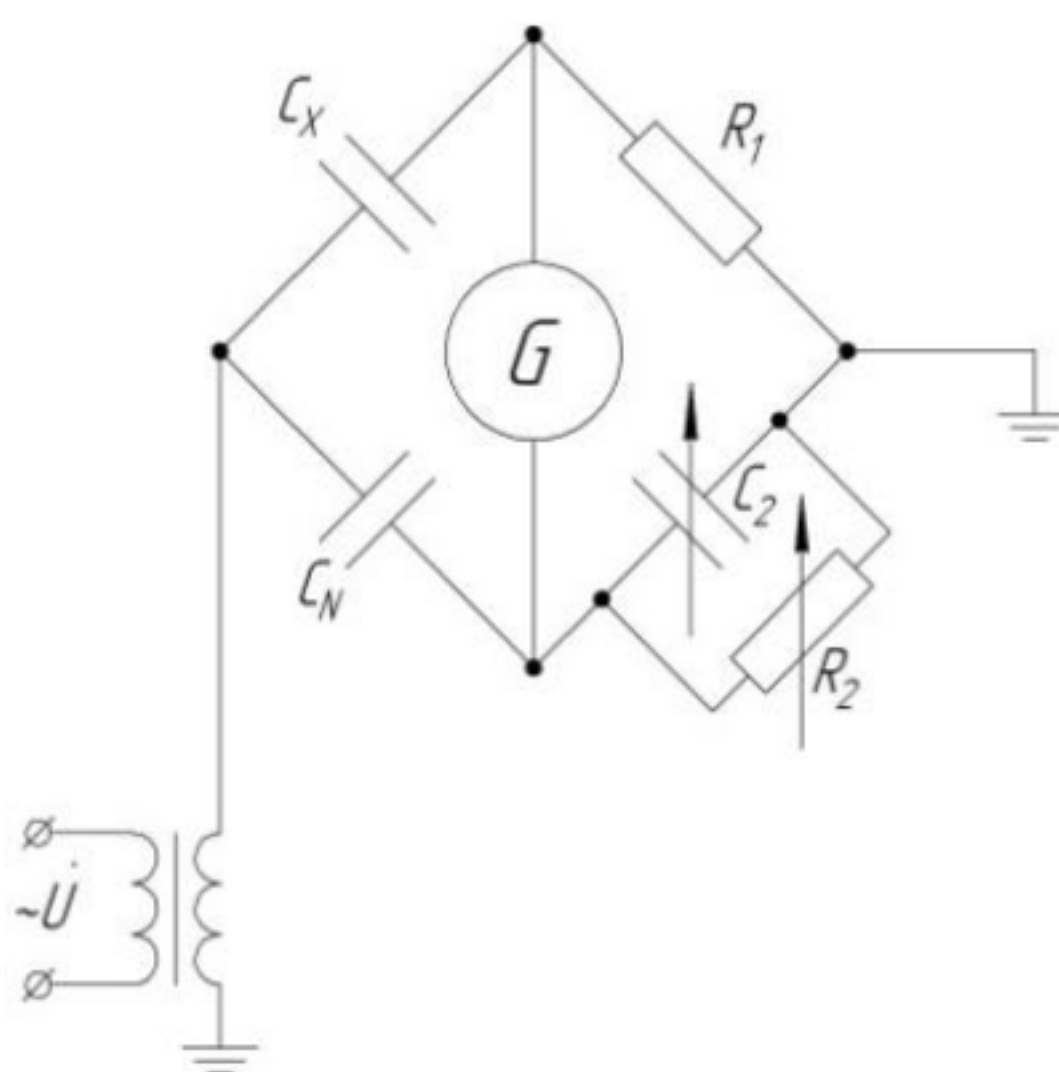


Рис. 5.6. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения потерь в диэлектрике.

Условия равновесия моста

$$\frac{R_X + \frac{1}{j\omega C_X}}{R_1} = \frac{1}{j\omega C_N} \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)$$

Или

$$R_X = R_1 \frac{C_2}{C_N}, \quad C_X = C_N \frac{R_2}{R_1},$$

$$\operatorname{tg} \Delta = \omega \cdot C_X \cdot R_X$$

Схемы мостов переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением $R_X \ll R_N$ и большим активным сопротивлением $R_X \gg R_N$.

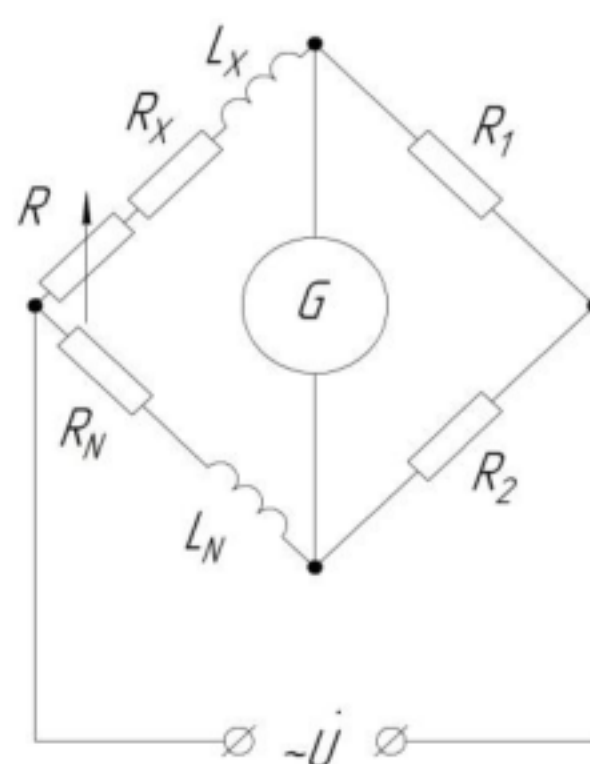


Рис.5.7. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением $R_x \ll R_N$

$$Z_1 = R + R_x + j\omega L_x,$$

$$Z_2 = R_1,$$

$$Z_3 = R_N + j\omega L_N,$$

$$Z_4 = R_2,$$

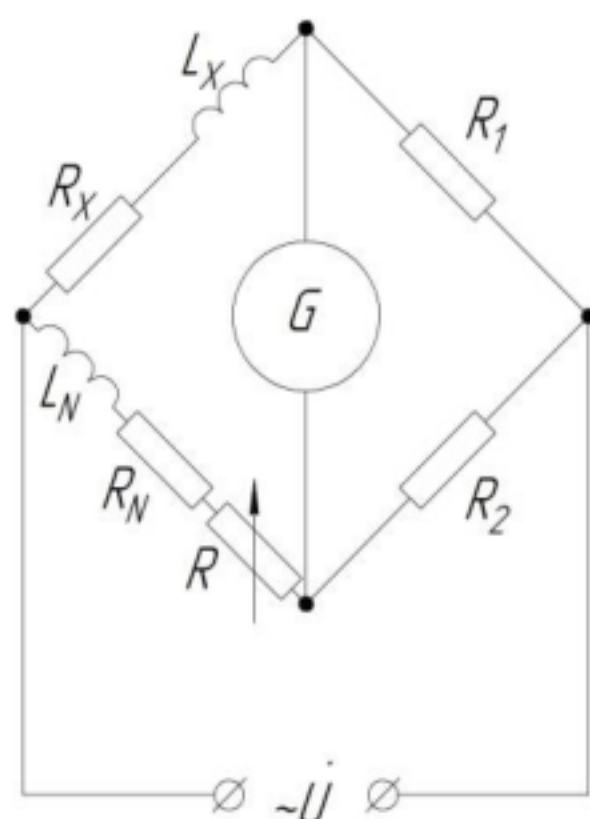


Рис.5.8. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с большим активным сопротивлением $R_x \gg R_N$

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x,$$

$$Z_2 = R_1,$$

$$Z_3 = R + R_N + j\omega L_N,$$

$$Z_4 = R_2,$$

Условие равновесия моста:

$$(R + R_x + j\omega L_x) \cdot R_2 = (R_N + j\omega L_N) \cdot R_1,$$

$$(R_x + j\omega L_x) \cdot R_2 = (R + R_N + j\omega L_N) \cdot R_1,$$

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2} - R; \quad L_x = L_N \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_x = (R_N + R) \frac{R_1}{R_2}, \quad L_x = L_N \frac{R_1}{R_2}.$$

Схема моста переменного тока для определения индуктивности и добротности катушки с использованием образцового конденсатора.

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = R_2, \quad Z_4 = \frac{R}{1 + j\omega C}.$$

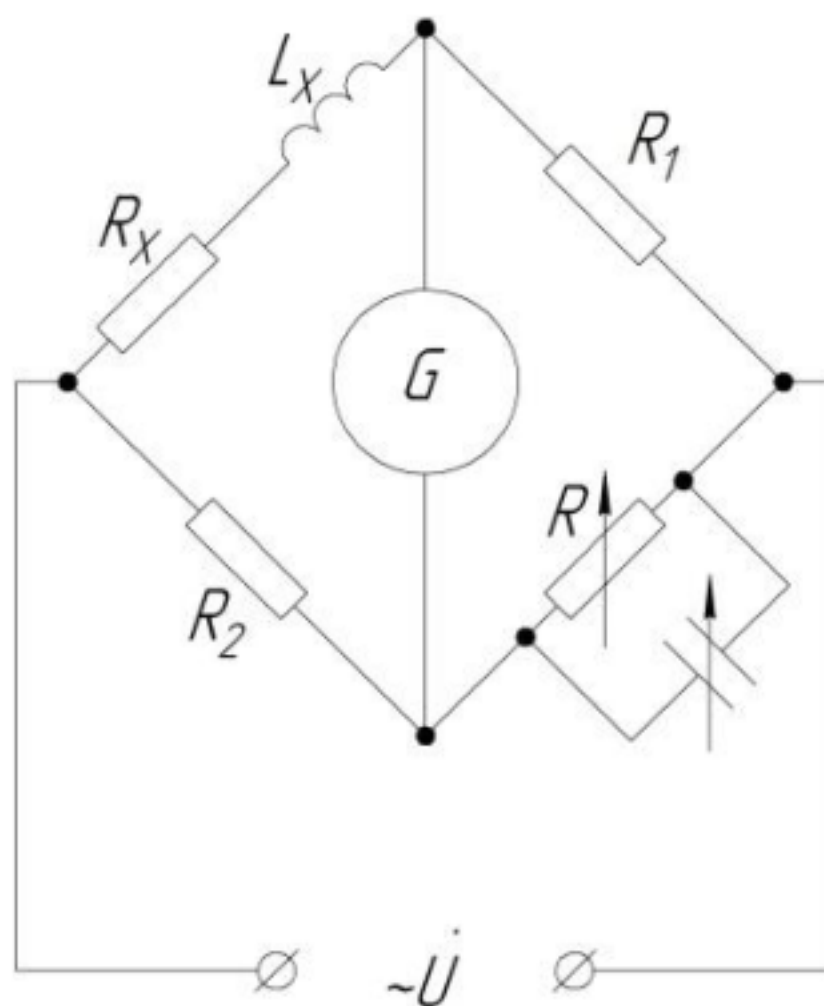


Рис.5.9. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения индуктивности и добротности катушки с помощью образцового конденсатора.

Условие равновесия моста:

$$\frac{(R_x + j\omega L_x) \cdot R}{1 + j\omega CR} = R_1 \cdot R_2$$

Или

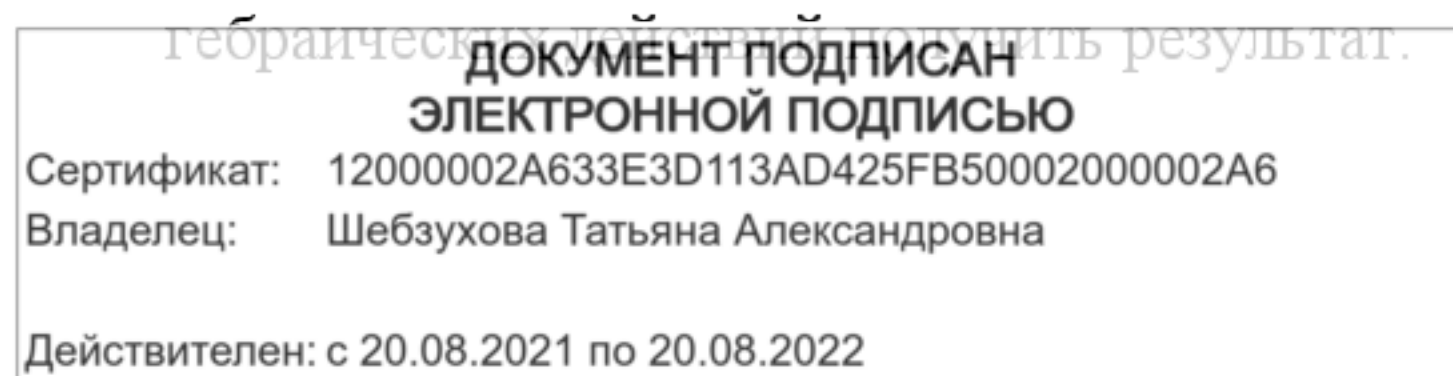
$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R}; \quad L_x = C \cdot R_1 \cdot R_2.$$

По полученным значениям R_x и L_x или C и R определяем добротность катушки:

$$Q = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega \cdot C \cdot R.$$

На основании вышеизложенного перед непосредственным измерением следует произвести предварительные расчёты ожидаемых значений элементов моста переменного тока.

Подставив значения физических величин, не составит труда с помощью простых ал-



Контрольные вопросы:

1. Приведите векторную диаграмму конденсатора с малыми диэлектрическими потерями.
2. Приведите векторную диаграмму конденсатора с большими диэлектрическими потерями.
3. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего малыми потерями и формулы расчётных величин.
4. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего большими потерями и формулы расчётных величин.
5. Приведите схему моста переменного тока для определения потерь в диэлектрике и формулы расчётных величин.
6. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением и формулы расчётных величин.
7. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с большим активным сопротивлением и формулы расчётных величин.
8. Приведите схему моста переменного тока для определения индуктивности и добротности катушек с использованием образцового конденсатора и формулы расчётных величин.
9. Для чего используются мосты постоянного тока?
10. Для чего используются мосты переменного тока?
11. Какие типы мостов Вы знаете?
12. С какой целью используется двойной мост постоянного тока?
13. Как определить условие равновесия моста постоянного тока?
14. Как определить условие равновесия моста переменного тока?

Практическая работа №14. Методы электрических измерений неэлектрических величин.

Цель: приобрести навыки владения методов электрических измерений неэлектрических величин.

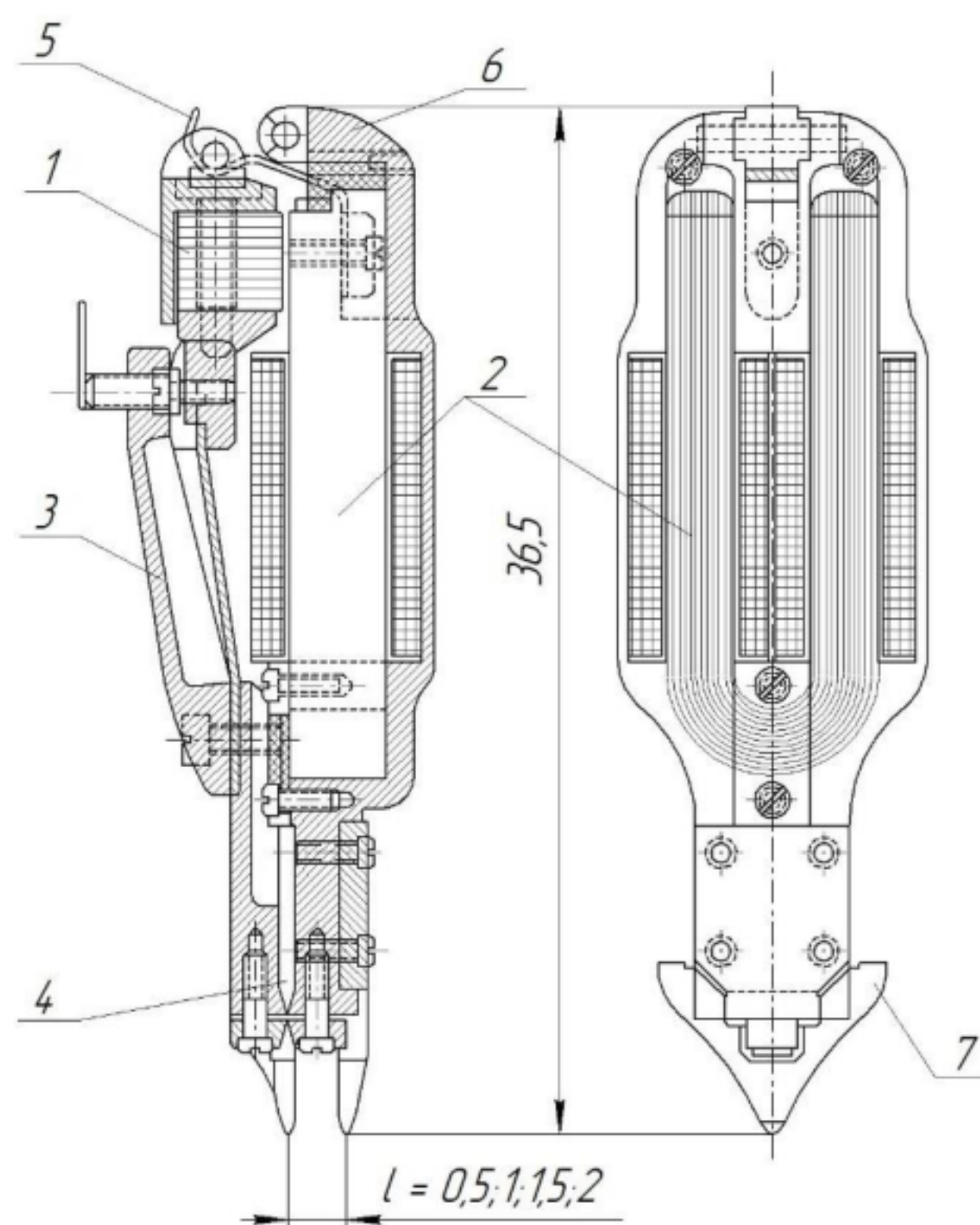
Основы теории:

Одними из первых приборов, которые позволяют производить измерения неэлектрических величин путём преобразования их в величины электрические, являются тензометры.

Тензометр – прибор, предназначенный для измерения линейных и угловых деформаций.

Так как абсолютные изменения длин при деформациях могут составлять миллионные доли метра (микроны), то их необходимо преобразовать в величины электрические, которые современные средства измерений позволяют измерять с очень высокой степенью точности.

Высокой точностью, в частности отличаются магнитные методы измерений. Кроме того, они отличаются простотой и кратковременностью процесса измерения.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Электромагнитный тензометр Лера

Рис.6.1. Электромагнитный тензометр.

Линейная деформация вызывает изменение величины воздушного промежутка между якорем (1) и сердечником электромагнита (2). Якорь укреплен на подвижной ножке (3), имеющей шарнир (4). Арретир тензомера состоит из плоской пружины (5) и эксцентрика (6). Дифференциальный микрометрический винт служит для установки индикатора на нуль. Прибор прижимается к детали (если необходимо измерить деформацию) или деталям (если между ними присутствует прецессия расстояния) заплечиками (7).

Пример расчёта магнитной цепи электромагнитного тензомера

Упрощённая магнитная система тензомера с катушкой представлена на Рис.6.2., на Рис.6.3. представлена кривая намагничивания материала магнитопровода.

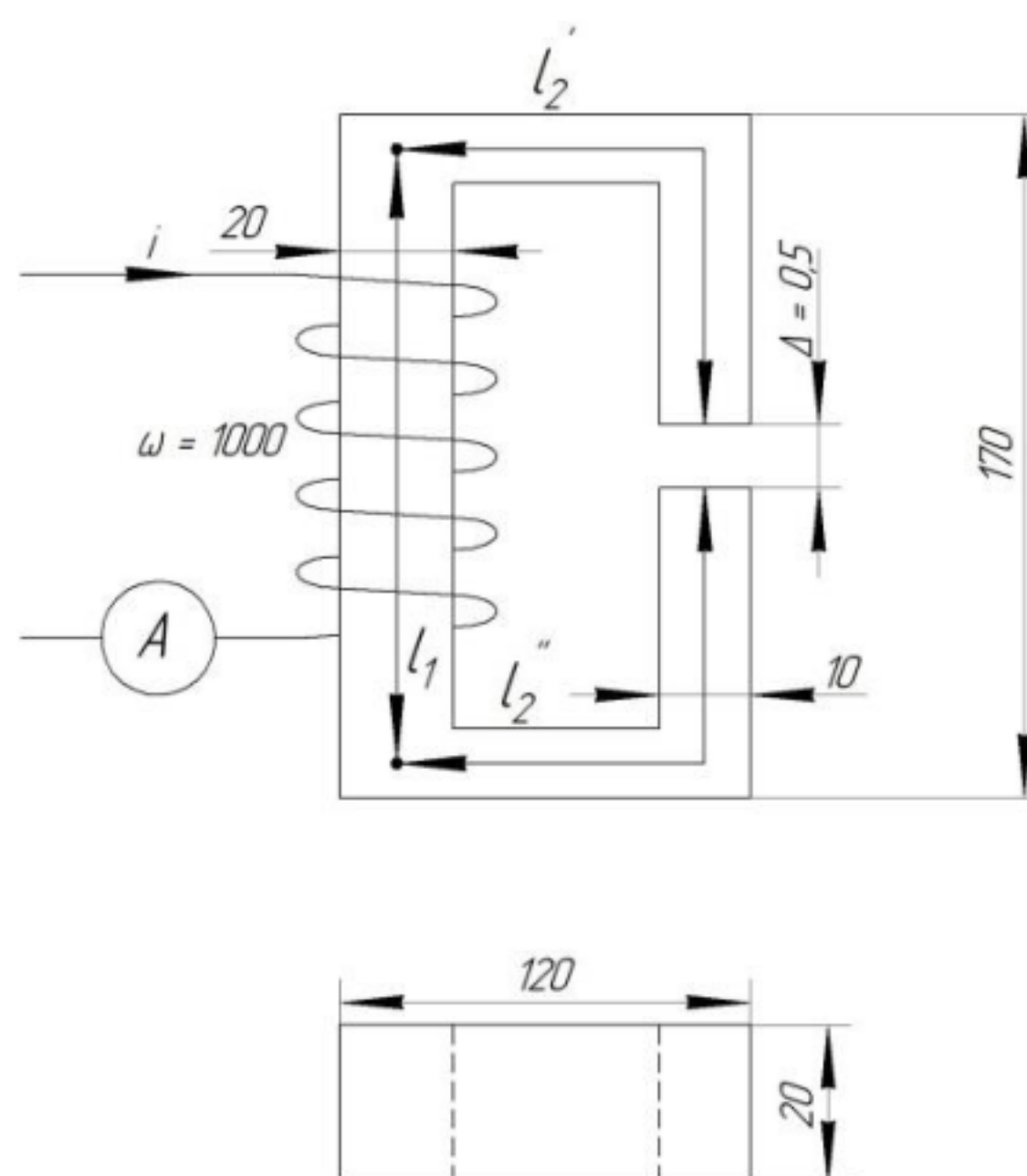
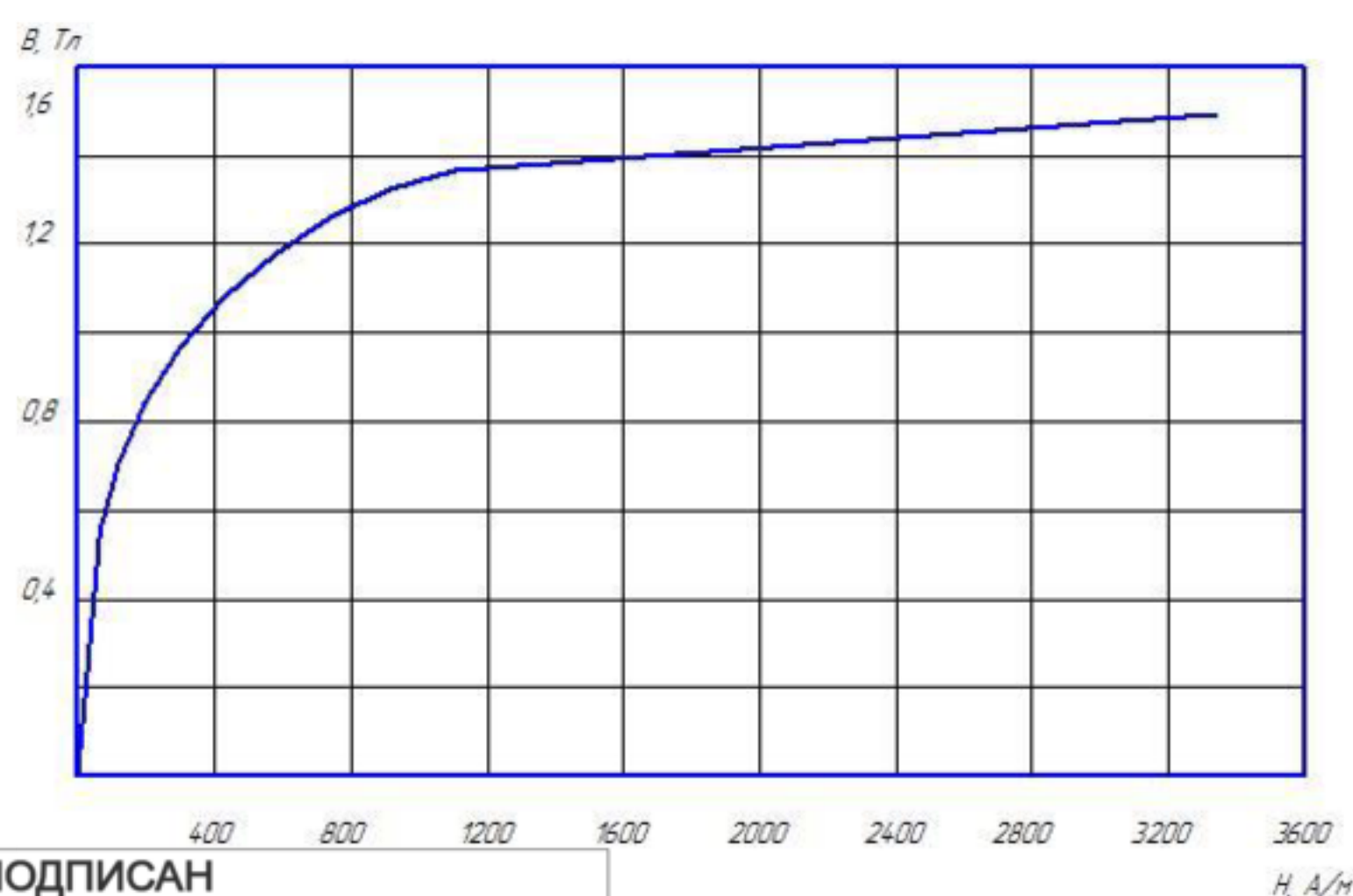


Рис.6.2. Магнитная система тензомера с катушкой.

$$l_1 = 160 \text{ мм}, \quad l_2' + l_2'' = 370 \text{ мм}, \quad S_1 = 4 \text{ см}^2, \quad S_2 = 2 \text{ см}^2, \quad S_{\Delta} = 2 \text{ см}^2.$$



**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рис.6.3. Кривая намагничивания материала магнитопровода.

Метод измерения деформации (прецессии расстояния между деталями) можно предложить следующий:

поместим между заплечиками (7) тензометра датчик магнитометра и, автоматическим изменением тока в катушке, будем поддерживать индукцию в зазоре $B_{\Delta const} = 1,2$ Тл. При изменении величины зазора (расстояния между заплечиками тензометра) будет изменяться сопротивление магнитной цепи, представленной на Рис.6.2.

Таким образом по изменению тока в катушке можно судить об изменении величины зазора (деформации).

По закону полного тока

$$I \cdot \omega = \sum_{i=1}^n H_n \cdot l_n,$$

откуда
$$I = \frac{\sum_{i=1}^n H_n \cdot l_n}{\omega}.$$

Определим падение магнитного напряжения в магнитной цепи и ток в катушке при $\Delta = 0,5$ мм.

По условию магнитная индукция в зазоре и на участке $l'_2 = l''_2$ должна быть 1,2 Тл. Этому значению индукции соответствует (согласно кривой намагничивания) напряжённость магнитного поля $H_{\Delta} = H_2 = 550$ а/м. В соответствии с законом постоянства магнитного потока $\Phi = B_{\Delta} \cdot S_{\Delta} = B_2 \cdot S_2 = B_1 \cdot S_1$, откуда

$$B_1 = \frac{B_2 \cdot S_2}{S_1} = \frac{1,2 \cdot 2}{4} = 0,6 \text{ Тл.}$$

Значению магнитной индукции B_1 соответствует (согласно кривой намагничивания) напряжённость магнитного поля $H_1 = 100$ а/м.

Напряжённость магнитного поля в зазоре определим из уравнения

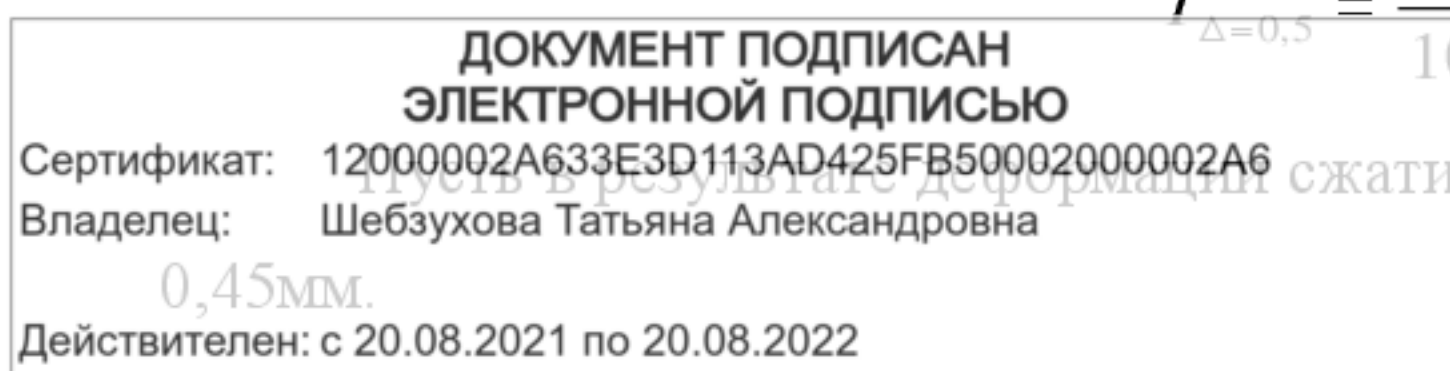
$$B = \mu_0 \mu \cdot H.$$

$$H_{\Delta} = \frac{B_{\Delta}}{\mu_0} = \frac{1,2 \text{ Тл}}{1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}} = 9,6 \cdot 10^5 \text{ а/м.}$$

$$\sum H \cdot l_{\Delta=0,5} = 100 \cdot 0,16 + 550 \cdot 0,37 + 9,6 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 699,5 [a].$$

Откуда ток в катушке:

$$I_{\Delta=0,5} = \frac{699,5}{1000} = 0,6995 [A].$$



С уменьшением зазора уменьшится и падение магнитного напряжения:

$$\sum H \cdot l_{\Delta=0,5} = 100 \cdot 0,16 + 550 \cdot 0,37 + 9,6 \cdot 10^5 \cdot 0,45 \cdot 10^{-3} = 651,5[a].$$

Для поддержания $B_{\Delta const}$ уменьшится и ток в катушке:

$$I_{\Delta=0,45} = \frac{651,5}{1000} = 0,6515[A].$$

Зарегистрировать уменьшение тока: $\Delta I = 0,6995 - 0,6515 = 0,048[A] = 48 \text{ мА}$ не представляет ни малейшего затруднения.

Шкалу амперметра можно проградуировать непосредственно в миллиметрах (или микронах).

Контрольные вопросы:

1. Какими приборами измеряется сила тока, напряжение и сопротивление?
2. Назовите преимущества приборов электромагнитной системы.
3. На каком принципе основано действие приборов магнитоэлектрической системы?
4. Для чего к амперметру подключают шунт?
5. По какой формуле можно вычислить величину добавочного сопротивления, присоединяемого к вольтметру?
6. Какими приборами измеряют расход электрической энергии?
7. Для чего служат датчики?
8. Изобразите схему включения ваттметра.
9. По какой формуле вычисляется неизвестное сопротивление, измеренное мостом, при его электрическом равновесии?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

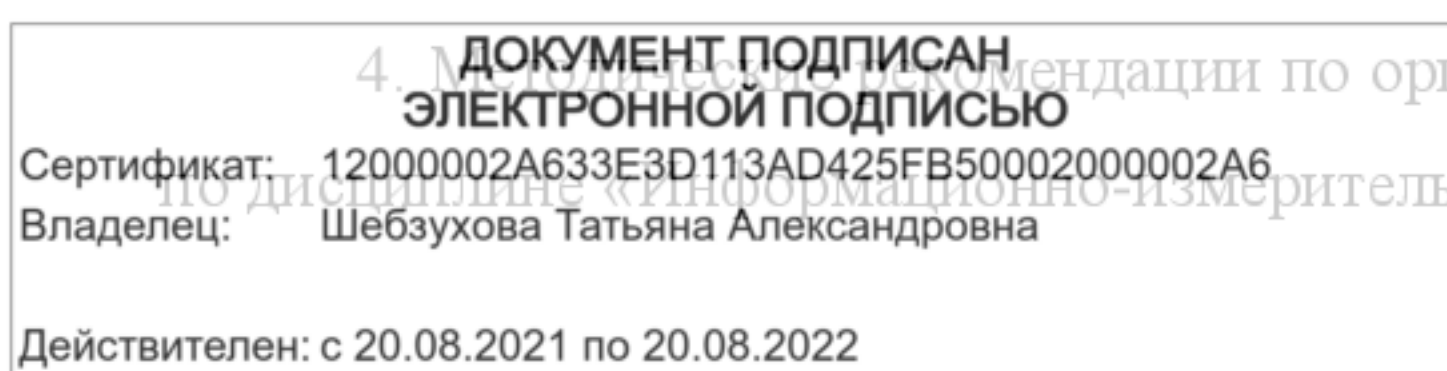
1. Шошин, Е. Л. Электроника. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / Е. Л. Шошин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 238 с. — ISBN 978-5-4497-0508-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/100742.html>
2. Электроника : учебное пособие / В. И. Никулин, Д. В. Горденко, С. В. Сапронов, Д. Н. Резеньков. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 198 с. — ISBN 978-5-4497-0520-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/94213.html>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника : учебно-методическое пособие / К. П. Латышенко. — 2-е изд. — Саратов : Вузовское образование, 2019. — 209 с. — ISBN 978-5-4487-0458-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/79677.html>
2. Водовозов, А. М. Основы электроники : учебное пособие / А. М. Водовозов. — 2-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 140 с. — ISBN 978-5-9729-0346-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/86566.html>

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».
2. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным работам по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».
3. Методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».



4. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

***5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,
необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> - ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРО-
НИКА»

для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

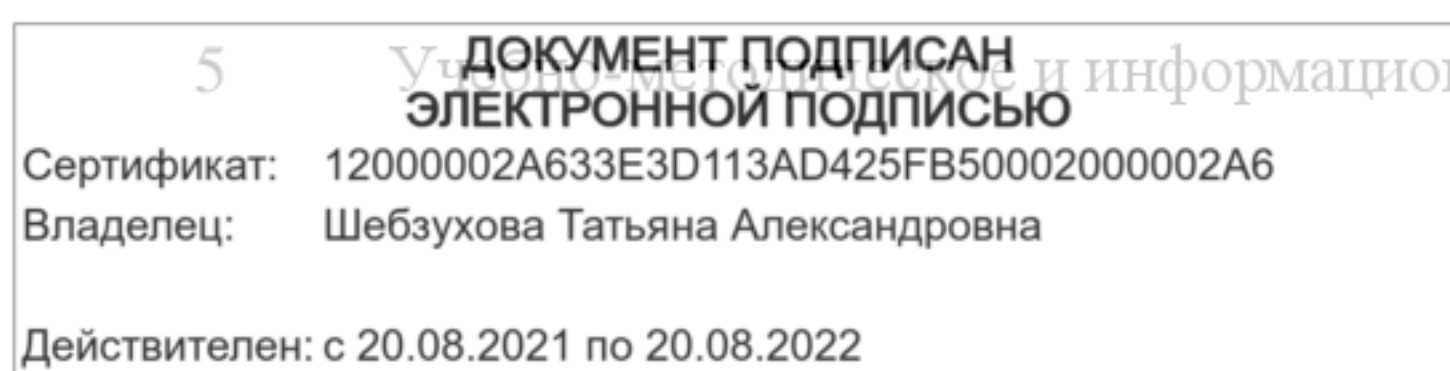
**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование лабораторных работ	
4.	Содержание лабораторных работ	
4.1	Лабораторная работа №1. Параметрический стабилизатор напряжения.	
4.2	Лабораторная работа №2. Характеристики биполярного транзистора.	
4.3	Лабораторная работа №3. Характеристики полевого транзистора.	
4.4	Лабораторная работа №4. Неуправляемые выпрямители.	
4.5	Лабораторная работа №5. Каскад усилителя переменного тока на биполярном транзисторе.	
4.6	Лабораторная работа №6. Усилитель на полевом транзисторе	
4.7	Лабораторная работа №7. Тиристор.	
7.8	Лабораторная работа №8. Тиристорный регулятор тока	
4.9	Лабораторная работа №9. Тиристорный регулятор напряжения	
4.10	Лабораторная работа №10. Операционный усилитель	
4.11	Лабораторная работа №11. Генератор прямоугольных импульсов.	
4.12	Лабораторная работа №12. Изучение принципов построения и функциональных возможностей триггеров различных типов.	
4.13	Лабораторная работа №13. Аналоговые электромеханические измерительные приборы.	
4.14	Лабораторная работа №14. Потенциометры и измерительные мосты	
4.15	Лабораторная работа №15.	
4.16	Лабораторная работа №16. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы	
4.17	Лабораторная работа №17. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы	
4.18	Лабораторная работа №18. Измерения сопротивления изоляции	
4.19	Лабораторная работа №19. Модулирование электрических колебаний	



- 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
 - 5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
 - 5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины
- Приложения

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины является освоение принципов действия полупроводниковых приборов, усилительных, импульсных, логических, цифровых и преобразовательных устройств и основным особенностям их использования в электротехнических и электромеханических установках, освоение современных средств и методов электрических измерений, обработки и представления их результатов.

Задачи дисциплины является в результате изучения дисциплины специалист должен приобрести умение четко представлять принцип действия электронных элементов и устройств, экспериментальным путем определить их параметры и характеристики, а также оценивать технико-экономическую эффективность применения этих устройств, оптимально выбрать средство измерения для поставленной задачи измерения, выполнить измерение, обработать и надлежащим образом представить его результаты.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства:

– Комплект типового лабораторного оборудования «Теоретические основы электротехники».

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения. Переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

3. Наименование лабораторных работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
5 семестр			
1	Лабораторная работа № 1. Параметрический стабилизатор напряжения. Ознакомить студентов со схемой, принципом работы методом расчёта и возможностями параметрического стабилизатора напряжения.	1,5	
2	Лабораторная работа № 2. Характеристики биполярного транзистора. Освоить методику получения входных и выходных характеристик транзистора, а также параметров.	1,5	
3	Лабораторная работа № 3. Характеристики полевого транзистора.		

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	Изучение особенностей работы полевого транзистора с управляемым переходом, освоение методики получения его стокозатворной и выходных характеристик.		
4	Лабораторная работа №4. Неуправляемые выпрямители. Изучение схем однофазных и трёхфазных выпрямителей, сравнение теоретических и экспериментальных значений выпрямленного напряжения, ознакомление с формами кривых выпрямленного напряжения.		
5	Лабораторная работа №5. Каскад усилителя переменного тока на биполярном транзисторе. Изучить схему каскада усилителя переменного тока с общим эмиттером, практически освоить методику установки начальной рабочей точки транзистора в режиме А, методику получения амплитудной и частотной характеристик усилителя, определения его входного и выходного сопротивлений, проанализировать влияние на коэффициент усиления значений параметров отдельных элементов схемы.		
6	Лабораторная работа №6. Усилитель на полевом транзисторе. Исследовать работу усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком, снять его амплитудную и амплитудно-частотную характеристики, определить входное и выходное сопротивления.		
7	Лабораторная работа №7. Тиристор. Исследовать процессы отпирания и запираания тиристора, снять статические вольтамперные характеристики цепи управления и анодной цепи.		
8	Лабораторная работа №8. Тиристорный регулятор тока. Исследовать работу тиристорного регулятора выпрямленного тока с фазным управлением.		
9	Лабораторная работа №9. Тиристорный регулятор напряжения. Изучить принципы регулирования напряжения с использованием полупроводниковых приборов; снять регулировочную и нагрузочную характеристики регулятора напряжения.		
	Итого за 5 семестр:	3	
6 семестр			
	Лабораторная работа №10. Операционный усилитель.		
10	ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна		

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	циями, выполняемыми с помощью операционных усилителей и соответствующими схемами их включения.		
11	Лабораторная работа №11. Генератор прямоугольных импульсов. Изучить принципиальную схему, назначение отдельных её элементов и работу генератора прямоугольных импульсов на базе операционного усилителя.		
12	Лабораторная работа №12. Изучение принципов построения и функциональных возможностей триггеров различных типов. Изучение принципов построения и функциональных возможностей триггеров различных типов.		
13	Лабораторная работа №13. Аналоговые электромеханические измерительные приборы Измерение тока, напряжения, мощности, $\cos \varphi$ электромеханическими измерительными приборами.	1,5	
14	Лабораторная работа №14. Потенциометры и измерительные мосты Измерение активного сопротивления 4-х плечным мостом постоянного тока.		
15	Лабораторная работа №15. Потенциометры и измерительные мосты Измерение индуктивности и добротности катушек и ёмкости конденсаторов 4-х плечным мостом переменного тока.	1,5	
16	Лабораторная работа №16. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы Измерение тока, напряжения, сопротивления, частоты электронными измерительными приборами.		
17	Лабораторная работа №17. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы. Исследование периодических процессов с помощью электронно-лучевого осциллографа.		
18	Лабораторная работа №18. Измерения сопротивления изоляции. Измерение сопротивления изоляции проводниковых материалов и электрических машин.		
	Итого за 6 семестр:	3	
	Итого:	6	

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа №1. Параметрический стабилизатор напряжения

Цель работы: Ознакомить студентов со схемой, принципом работы методом расчёта и возможностями параметрического стабилизатора напряжения.

Основы теории:

Основным элементом параметрического стабилизатора напряжения является стабилитрон, вид вольтамперной характеристики которого представлен на рис. 1.1.

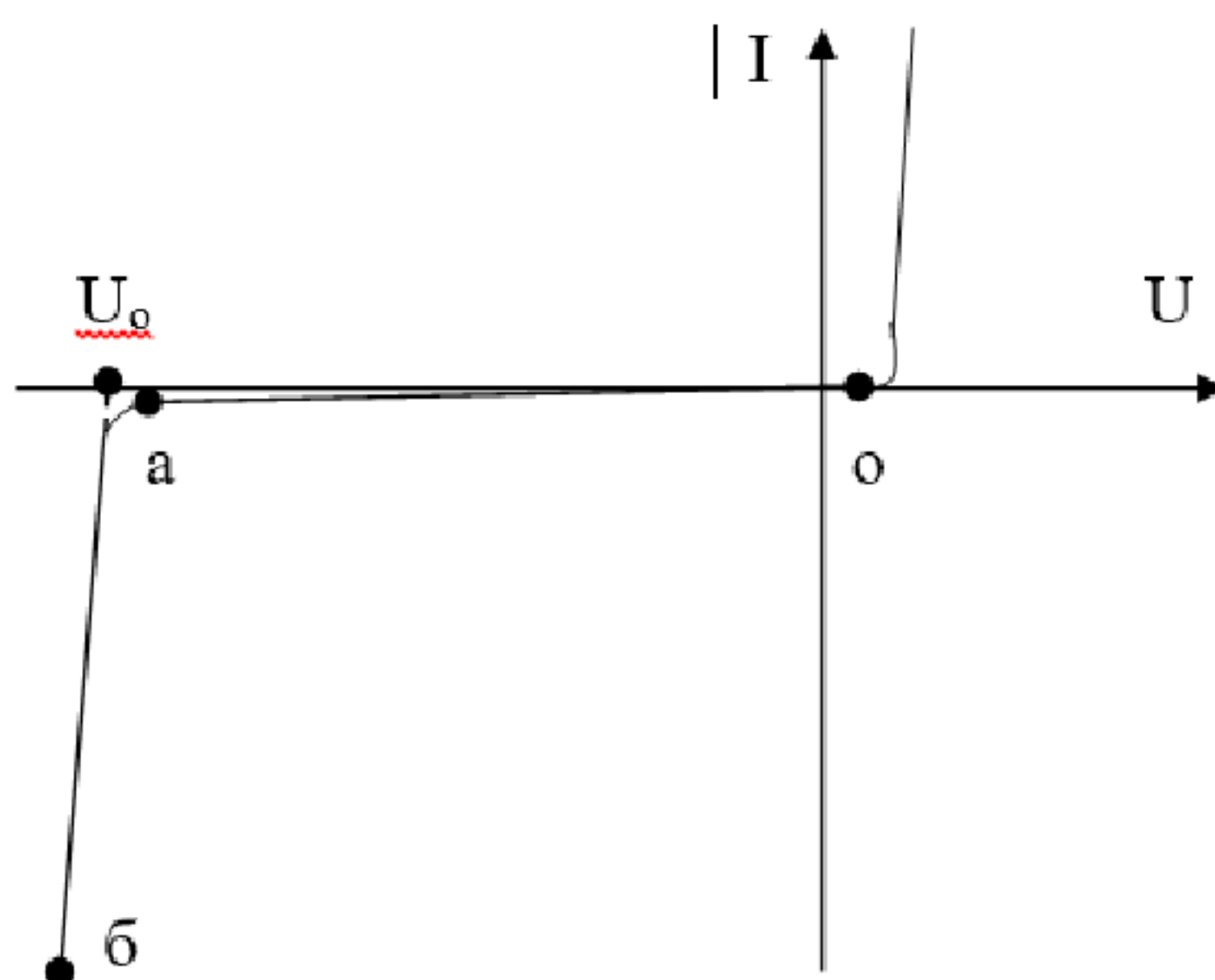


Рисунок 1.1

При включении напряжения в проводящем направлении характеристика стабилитрона ничем не отличается от характеристики обычных диодов, используемых в схемах выпрямителей. При обратном включении напряжения до некоторого его значения сопротивление стабилитрона остаётся очень высоким, ток через него практически отсутствует (участок характеристики «оа»). При дальнейшем увеличении напряжения наступает пробой диода, в результате которого его сопротивление резко падает, вследствие чего незначительному увеличению напряжения соответствует значительное увеличение тока (участок «аб»). В схемах стабилизаторов напряжения стабилитроны используются в режиме пробоя.

Схема параметрического стабилизатора напряжения, изображенная на рис. 1.2, состоит из стабилизатора $Ст$ и балластного сопротивления $Rб$. На вход стабилизатора подаётся напряжение от регулируемого источника питания $Uп$. Сопротивление нагрузки $Rн$ включается параллельно со стабилитроном. Напряжение питания должно быть выше

напряжения пробоя, тогда разность напряжений $U_{\text{п}} - U_{\text{ст}}$ падает на балластном сопротивлении. Снижение напряжения питания приведёт к небольшому снижению напряжения на стабилитроне, при этом ток через него, а следовательно, через $R_{\text{б}}$ резко уменьшится, что приведёт к уменьшению падения напряжения на $R_{\text{б}}$. Та-ким образом, снижение напряжения $U_{\text{п}}$ приводит почти к такому же снижению напряжения на балластном сопротивлении и лишь к незначительному снижению стабилизируемого напряжения на нагрузке.

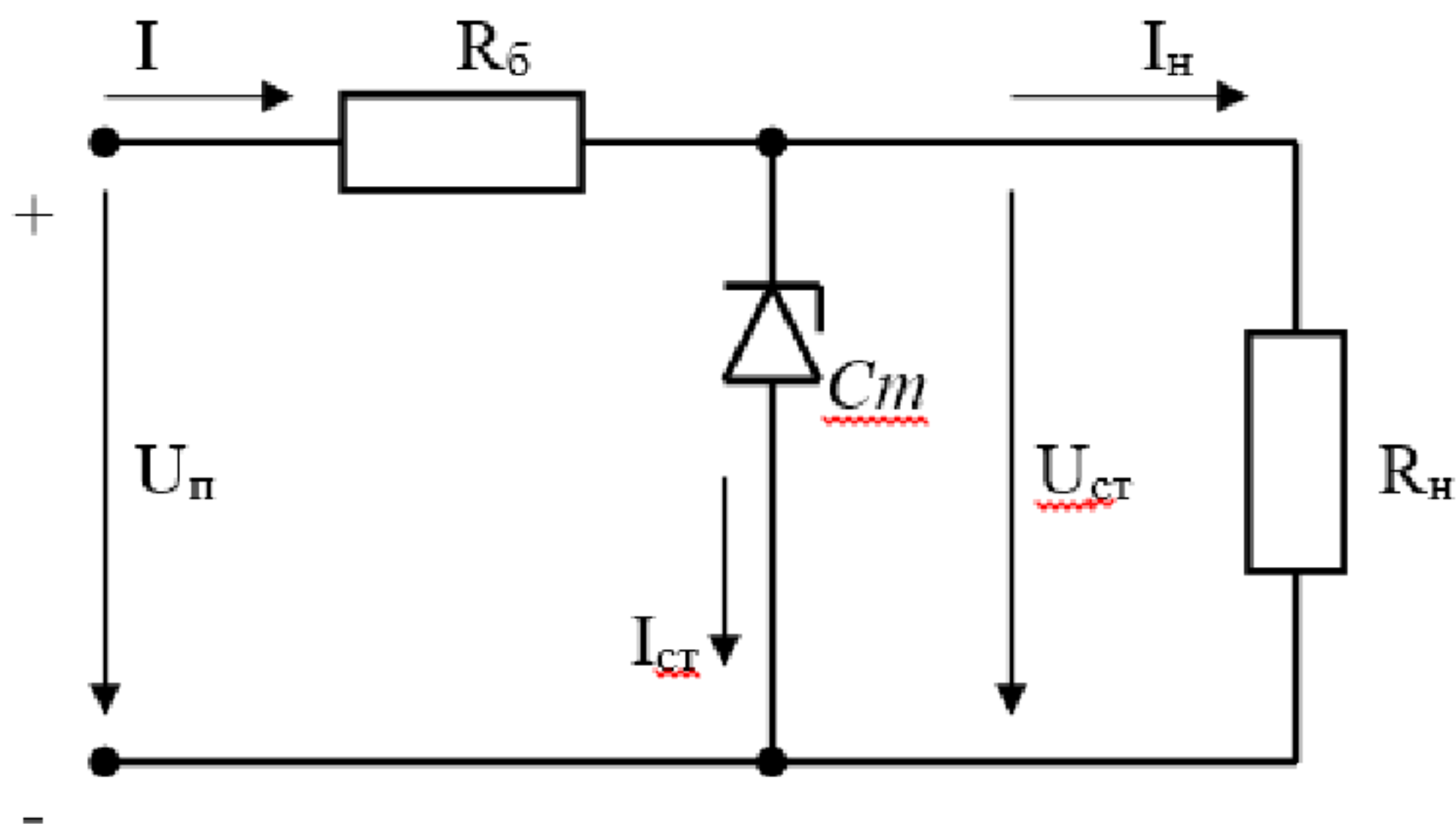


Рисунок 1.2

При повышении $U_{\text{п}}$ напряжение $U_{\text{ст}}$ увеличится незначительно, вследствие чего токи $I_{\text{ст}}$ и I возрастут настолько, что основная часть повышения напряжения распределится на $R_{\text{б}}$.

Для количественной оценки эффекта стабилизации характеристику стабилитрона в области рабочей полярности напряжения представим состоящей из двух прямых (рис. 1.1). До напряжения U_0 будем считать сопротивление стабилитрона бесконечно большим; при напряжениях, больших U_0 , наклон вольтамперной характеристики определяется динамическим сопротивлением

$$R_{\text{ст}} = \Delta U_{\text{ст}} / \Delta I_{\text{ст}},$$

на этом участке напряжение на стабилитроне

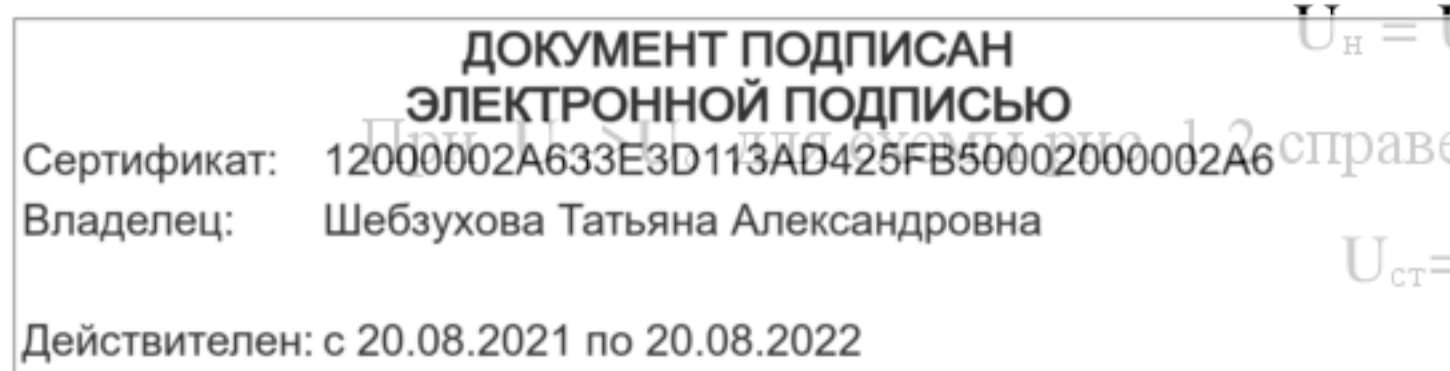
$$U_{\text{ст}} = U_0 + R_{\text{ст}} I_{\text{ст}}.$$

При $U_{\text{ст}} < U_0$ стабилитрон закрыт, эффект стабилизации отсутствует и напряжение на нагрузке равно

$$U_{\text{н}} = U_{\text{п}} R_{\text{н}} / (R_{\text{б}} + R_{\text{н}}).$$

справедлива система уравнений:

$$U_{\text{ст}} = U_0 + R_{\text{ст}} I_{\text{ст}}$$



$$U_{\text{п}} = I R_{\text{б}} + U_{\text{ст}}$$

$$I = I_{\text{ст}} + I_{\text{н}}$$

$$I_{\text{н}} = U_{\text{ст}} / R_{\text{н}}$$

При заданных напряжении источника питания, сопротивлении нагрузки и напряжении на стабилитроне (которое, конечно, должно быть в пределах рабочего участка его характеристики) система (1) позволяет найти выражение для вычисления необходимого балластного сопротивления:

$$R_{\text{б}} = R_{\text{ст}} R_{\text{н}} (U_{\text{п}} - U_{\text{ст}}) / [U_{\text{ст}} R_{\text{ст}} + R_{\text{н}} (U_{\text{ст}} - U_{\text{о}})] \quad (2)$$

Наименьшее напряжение питания, при котором будет сохраняться стабилизация, как следует из (1),

$$U_{\text{п min}} = U_{\text{о}} (R_{\text{б}} / R_{\text{н}} + 1)$$

при этом

$$U_{\text{ст}} = U_{\text{о}}, \quad I_{\text{ст}} = 0, \quad I = I_{\text{н}} = U_{\text{о}} / R_{\text{н}} = U_{\text{п}} / (R_{\text{н}} + R_{\text{б}}).$$

Из (3) следует, что $R_{\text{б}}$ желательно иметь как можно меньше, чтобы расширить диапазон возможного снижения напряжения питания, поэтому при вычислении $R_{\text{б}}$ в (2) необходимо принять $U_{\text{п}} = U_{\text{п min}}$, а значение $U_{\text{ст}}$, учитывая нелинейность вольтамперной характеристики, принять несколько больше $U_{\text{о}}$ (в начале линейной части рабочего участка характеристики).

Используя систему уравнений (1), можно также найти значение стабилизированного напряжения, соответствующее значению $U_{\text{п}}$, при принятом $R_{\text{б}}$:

$$U_{\text{ст}} = R_{\text{н}} (R_{\text{ст}} U_{\text{п}} + R_{\text{б}} U_{\text{о}}) / [R_{\text{н}} R_{\text{б}} + R_{\text{ст}} (R_{\text{н}} + R_{\text{б}})]$$

Приращению $U_{\text{п}}$ будет соответствовать приращение $U_{\text{ст}}$:

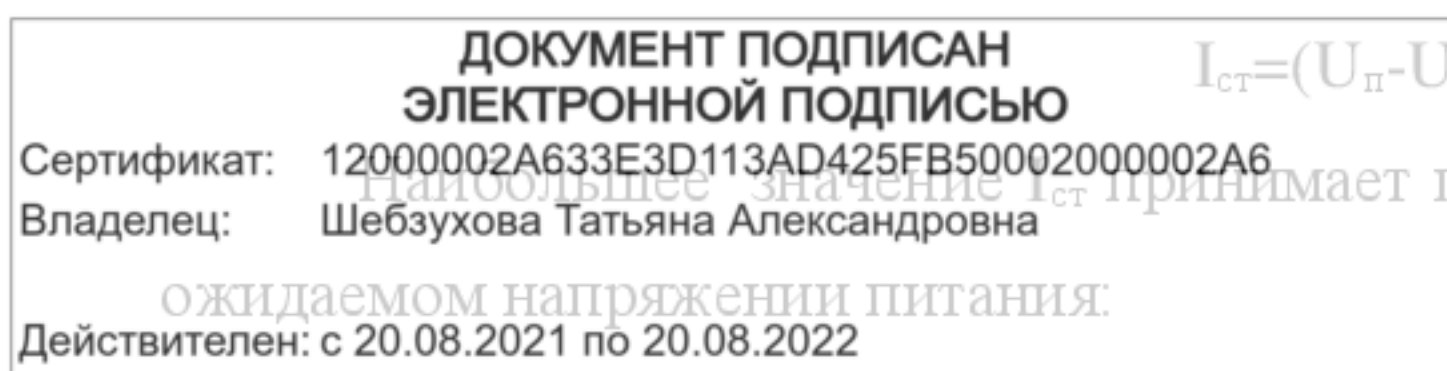
$$\Delta U_{\text{ст}} = \Delta U_{\text{п}} R_{\text{н}} R_{\text{ст}} / [R_{\text{н}} R_{\text{б}} + R_{\text{ст}} (R_{\text{н}} + R_{\text{б}})]$$

Эффект стабилизации напряжения определяется отношением:

$$\Delta U_{\text{ст}} / \Delta U_{\text{п}} = R_{\text{н}} R_{\text{ст}} / [R_{\text{н}} R_{\text{б}} + R_{\text{ст}} (R_{\text{н}} + R_{\text{б}})]$$

Чем меньше это отношение, тем выше эффект стабилизации. Из (6) следует, что $\Delta U_{\text{ст}} / \Delta U_{\text{п}}$ тем меньше, чем больше $R_{\text{б}}$. Таким образом, при расширении нижнего диапазона изменения $U_{\text{п}}$ за счёт уменьшения $R_{\text{б}}$ эффект стабилизации уменьшается, поэтому величину балластного сопротивления необходимо выбирать таким образом, чтобы удовлетворить оба требования: и в отношении качества стабилизации, и в отношении нижнего порога напряжения питания. Кроме того, ток стабилитрона не должен превышать ток, допустимый по условиям нагрева. Из (1) следует:

$$I_{\text{ст}} = (U_{\text{п}} - U_{\text{о}} - I_{\text{н}} R_{\text{б}}) / (R_{\text{б}} + R_{\text{ст}}),$$



Наибольшее значение $I_{\text{ст}}$ принимает при отсутствии нагрузки и при максимальном

$$I_{\text{ст max}} = (U_{\text{п max}} - U_o) / (R_6 + R_{\text{ст}}) < I_{\text{ст доп}}$$

После расчёта балластного сопротивления по формуле (2) необходимо проверить выполнение условия (7). Если последнее условие не выполняется, то необходимо либо увеличить R_6 , либо выбрать более мощный стабилитрон.

В некоторых случаях возникает необходимость стабилизации напряжения питания при изменении сопротивления нагрузки. При $R_n = 0$ всё приложенное напряжение падает на сопротивлении R_6 . Минимальное сопротивление нагрузки, при котором начинается эффект стабилизации, может быть найден из выражения (3):

$$R_{n \text{ min}} = R_6 U_o / (U_{\text{п}} - U_o)$$

при этом R_n напряжение $U_{\text{ст}} = U_o$. С увеличением R_n напряжение на стабилитроне будет расти, и при отсутствии нагрузки ($R_n = \infty$) примет наибольшее значение:

$$U_{\text{ст max}} = (U_{\text{п}} R_{\text{ст}} + U_o R_6) / (R_{\text{ст}} + R_6)$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

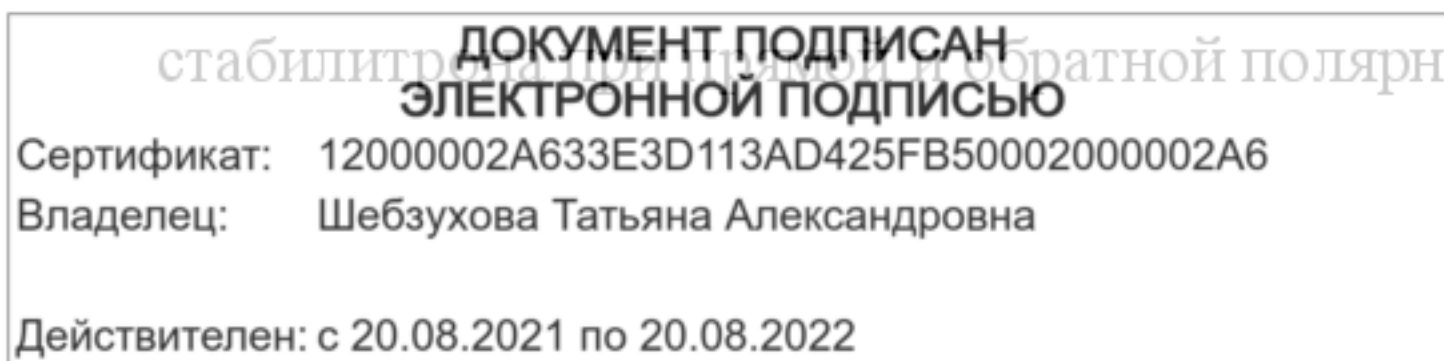
В данной лабораторной работе необходимо выполнить следующее:

- снять вольтамперную характеристику стабилитрона;
- определить параметры рабочего участка характеристики: U_o и $R_{\text{ст}}$;
- вычислить значение балластного сопротивления при заданных сопротивлении нагрузки и минимальном напряжении источника питания;
- определить зависимость стабилизируемого напряжения от напряжения источника питания при постоянном R_n ;
- определить зависимость стабилизируемого напряжения от сопротивления нагрузки при постоянном $U_{\text{п}}$.

Порядок выполнения работы следующий:

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Собрать схему, изображённую на рис. 1.3.
3. Не подключая сопротивления нагрузки и меняя напряжение питания в соответствии со значениями, записанными в таблице 1.1, снять вольт-амперную характеристику

стабилитрон, измерить обратную полярность напряжения.



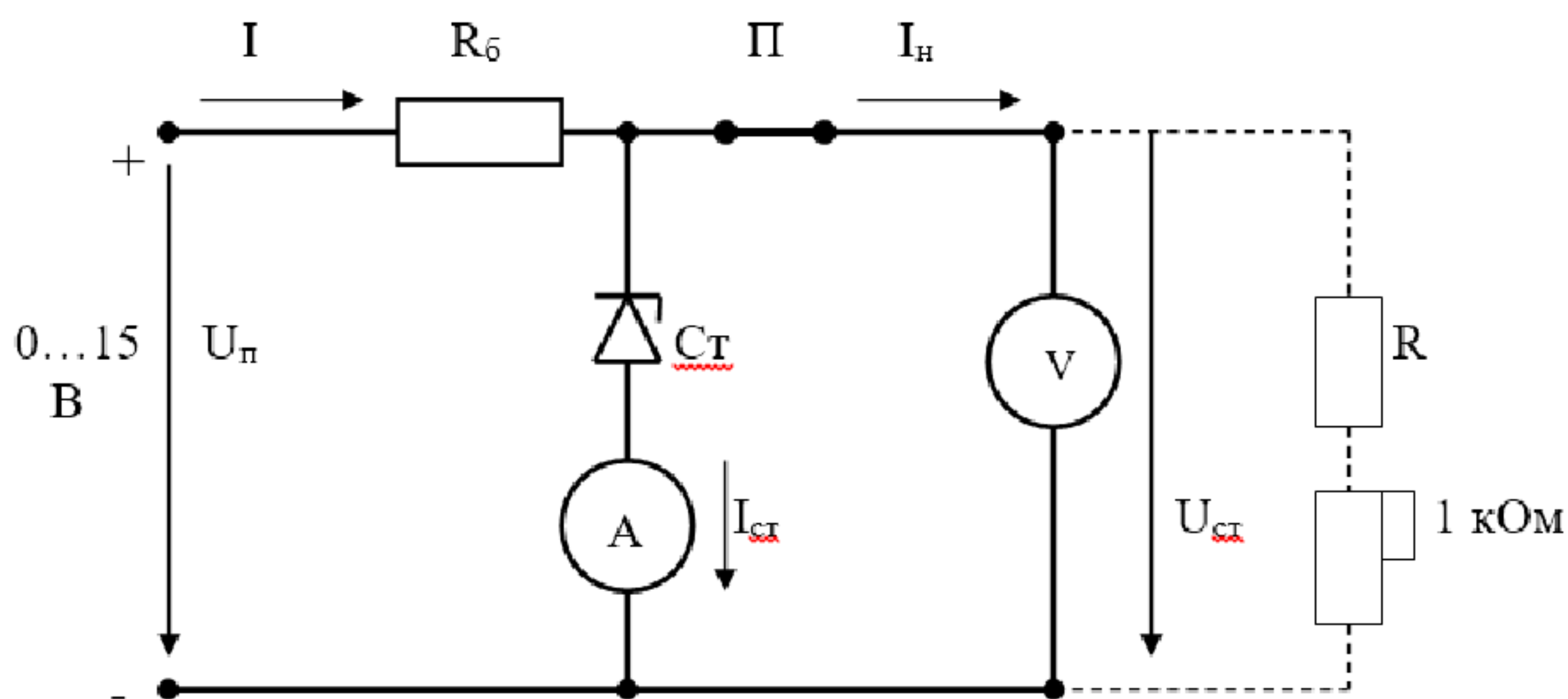


Рисунок 1.3

4. По данным таблицы 1.1 построить вольтамперную характеристику стабилитрона, определить значения U_0 и $R_{ст}$

Таблица 1.1.

$U_{ст}, В$	Положительная полярность							Отрицательная полярность						
	0,4	0,55	0,6	0,67	0,7	0,74	0,77	6	8	9	9,5	9,6	9,7	9,8
$I_{ст}, мА$														

5. Для $U_{п\ min}$ и $R_{н}$, заданных преподавателем, вычислить $R_{б}$ и выбрать из имеющихся ближайшее большее.

6. Установить в схеме заданное $R_{н}$ и принятое $R_{б}$, проверить при заданном $U_{п\ min}$ значение $U_{ст}$, записать его и сравнить со значением, принятым при вычислении $R_{б}$.

7. Задавая значения напряжения питания, указанные в таблице 1.2, при постоянном $R_{н}$, заданном преподавателем, записать в таблицу полученные значения стабилизированного напряжения.

Таблица 1.2.

$U_{п}, В$	10	11	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
$U_{ст}, В$									

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

8. Построить график зависимости $U_{ст} = f(U_{п})$.
9. По формуле (8) вычислить минимальное сопротивление нагрузки, при котором происходит стабилизация напряжения. В схеме рис. 1.3 амперметр и переключку «П» поменять местами. Плавное уменьшение переменным резистором 1 кОм сопротивление нагрузки, при $U_{п} = 15В$ установить токи в цепи нагрузки, указанные в таблице 1.3, и записать соответствующие этим токам напряжения на нагрузке. Вычислить по записанным в таблице формулам напряжение на балластном сопротивлении, ток, потребляемый от источника питания, ток через стабилитрон и сопротивление нагрузки. Отметить сопротивление нагрузки, при котором стабилитрон запирается, сравнить его с вычисленным. По данным таблицы построить график зависимости $U_{ст} = f(I_{н})$.

Таблица 1.3.

$I_{н}, мА$	6	7	8	9	10	12	15	18
$U_{ст}, В$								
$U_{б} = U_{п} - U_{ст}$								
$I = U_{б} / R_{б}$								
$I_{ст} = I - I_{н}$								
$R_{н} = U_{ст} / I_{н}$								

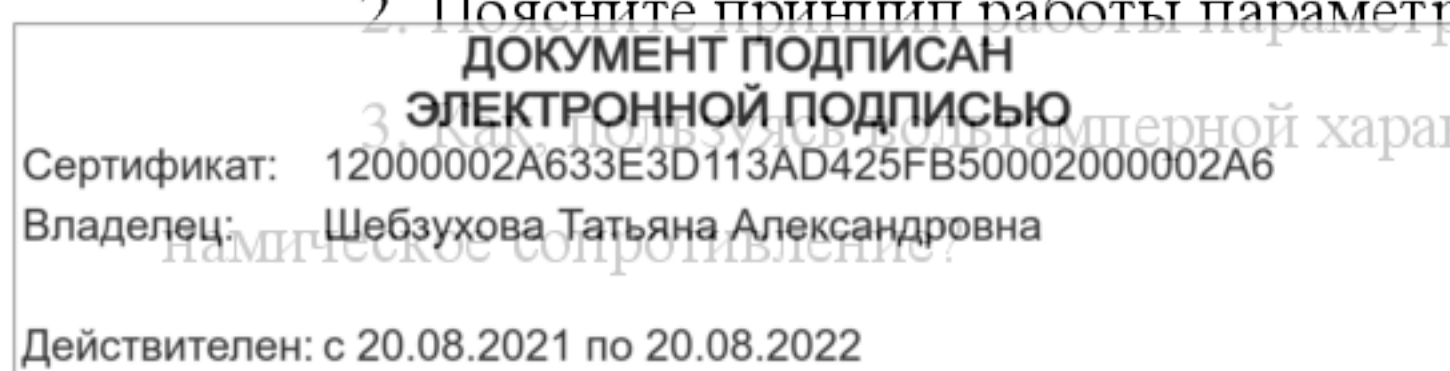
Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Опишите вольтамперную характеристику стабилитрона.
2. Поясните принцип работы параметрического стабилизатора напряжения.
3. Как по вольтамперной характеристике стабилитрона, рассчитать его ди-



4. От чего зависит нижний порог стабилизируемого напряжения?
5. Как величина балластного сопротивления влияет на качество стабилизации напряжения?
6. Чем ограничивается минимальное значение балластного сопротивления?
7. Как сопротивление нагрузки влияет на качество работы стабилизатора напряжения?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Лабораторная работа №2. Характеристики биполярного транзистора

Цель работы: Освоить методику получения входных и выходных характеристик транзистора, а также определения его динамических параметров.

Основы теории:

При выполнении расчётов схем с биполярными транзисторами используют их входные и выходные характеристики.

Входными характеристиками называют зависимость тока базы i_b от напряжения эмиттер-база $U_{эб}$ при постоянном напряжении коллектор-эмиттер $U_{кэ}$. Вид этих характеристик представлен на рис. 2.1.

Следует заметить, что входные характеристики, полученные при различных напряжениях $U_{кэ}$, отличных от нуля, практически совпадают.

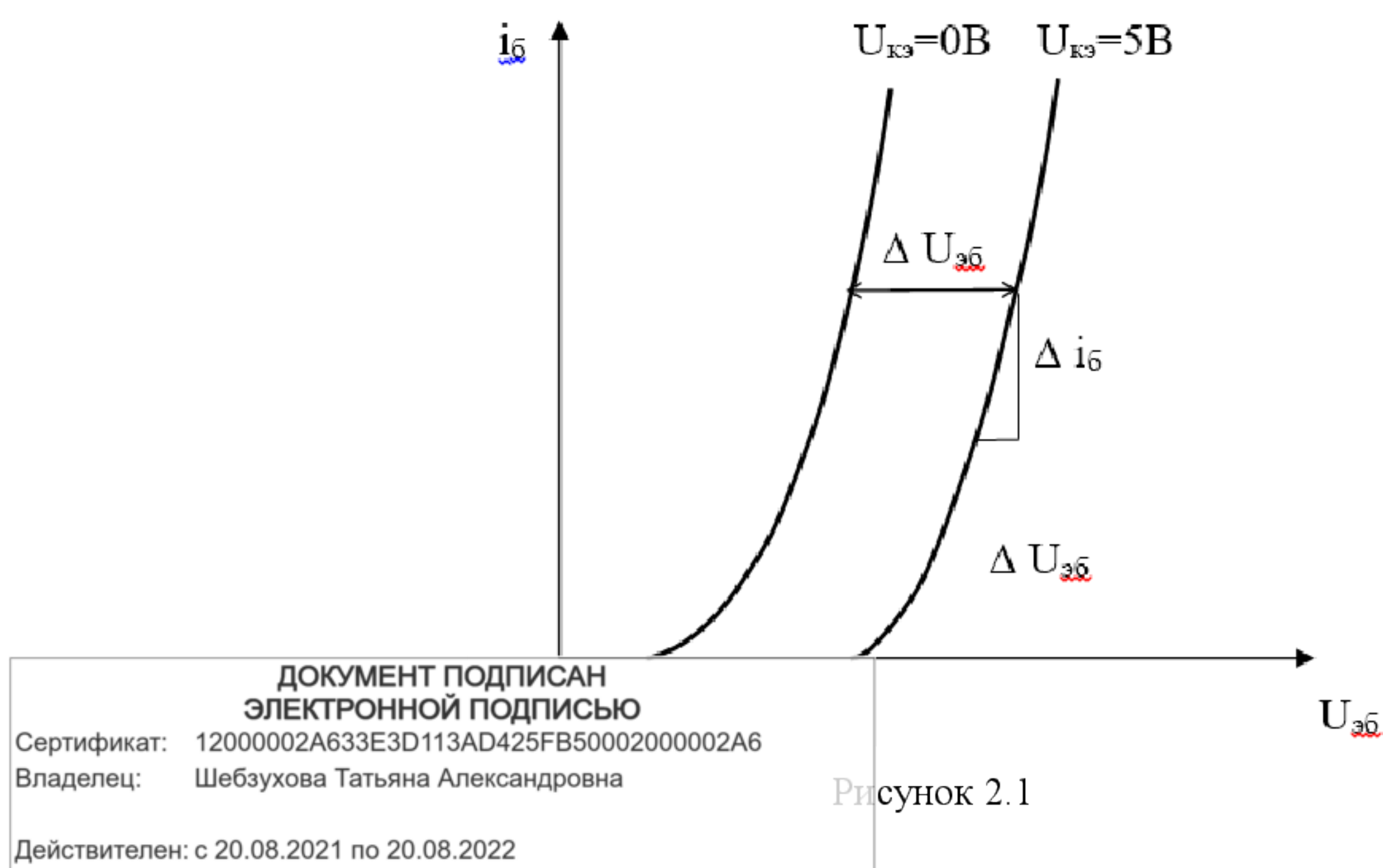
По входным характеристикам определяют такие динамические характеристики транзистора, как входное динамическое сопротивление

$$h_{11} = \Delta U_{эб} / \Delta i_b$$

представляющее собой отношение приращения напряжения $U_{эб}$ к соответствующему приращению тока базы при постоянном напряжении коллектор-эмиттер, и коэффициент обратной связи по напряжению

$$h_{12} = \Delta U_{эб} / \Delta U_{кэ}$$

представляющий собой отношение соответствующих друг другу приращений напряжений эмиттер-база и коллектор-эмиттер при постоянном токе базы.



Выходные характеристики отражают зависимость тока коллектора I_k от напряжения коллектор-эмиттер при различных токах базы, их вид представлен на рис. 2.2. По выходным характеристикам определяют такие параметры, как коэффициент усиления тока базы

$$h_{21} = \Delta I_k / \Delta i_b$$

представляющий собой отношение приращения тока коллектора к соответствующему приращению тока базы при постоянном напряжении коллектор-эмиттер, и выходная динамическая проводимость

$$h_{22} = \Delta I_k / \Delta U_{кэ}$$

представляющая собой отношение приращения тока коллектора к соответствующему приращению напряжения коллектор-эмиттер при постоянном токе базы.

Вследствие нелинейности как входных, так и выходных характеристик все перечисленные параметры имеют различные значения для различных рабочих точек.

Область выходных характеристик, в которой они практически линейны и в которой ток коллектора мало зависит от напряжения коллектор-эмиттер, а определяется током базы, называют активной зоной. При увеличении тока коллектора и напряжения $U_{кэ}$ растёт мощность тепловых потерь в транзисторе. Эти потери не должны превышать допустимого для данного транзистора значения $p_{к доп}$:

$$p_k = U_{кэ} I_k < p_{к доп}$$

Линия допустимых потерь на рис. 2.2 проведена пунктиром.

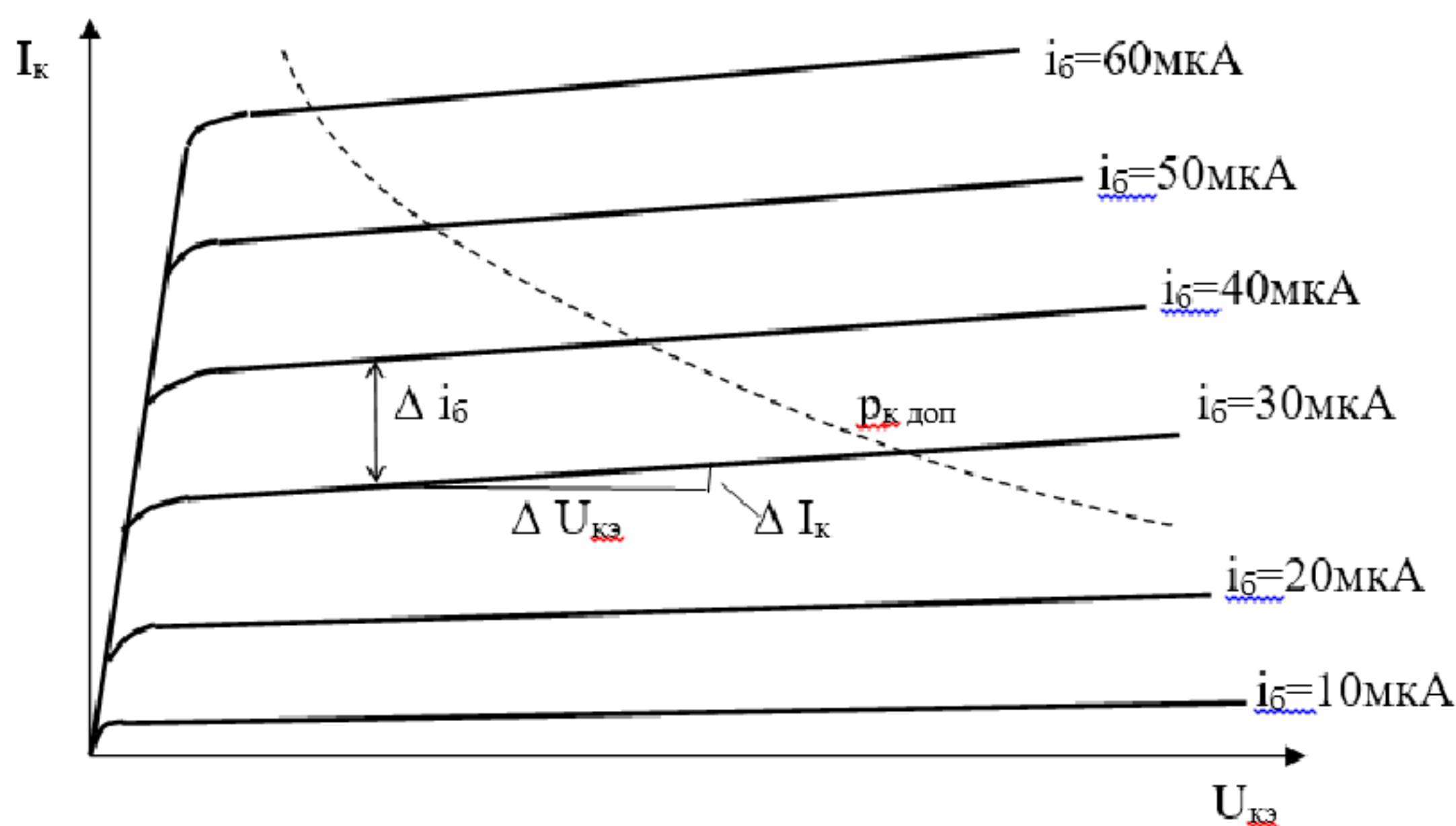


Рисунок 2.2

Указание по технике безопасности:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

при выполнении лабораторных работ приведены

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо получить входные и выходные характеристики транзистора и вычислить значения динамических параметров.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Изучить основные теоретические положения.

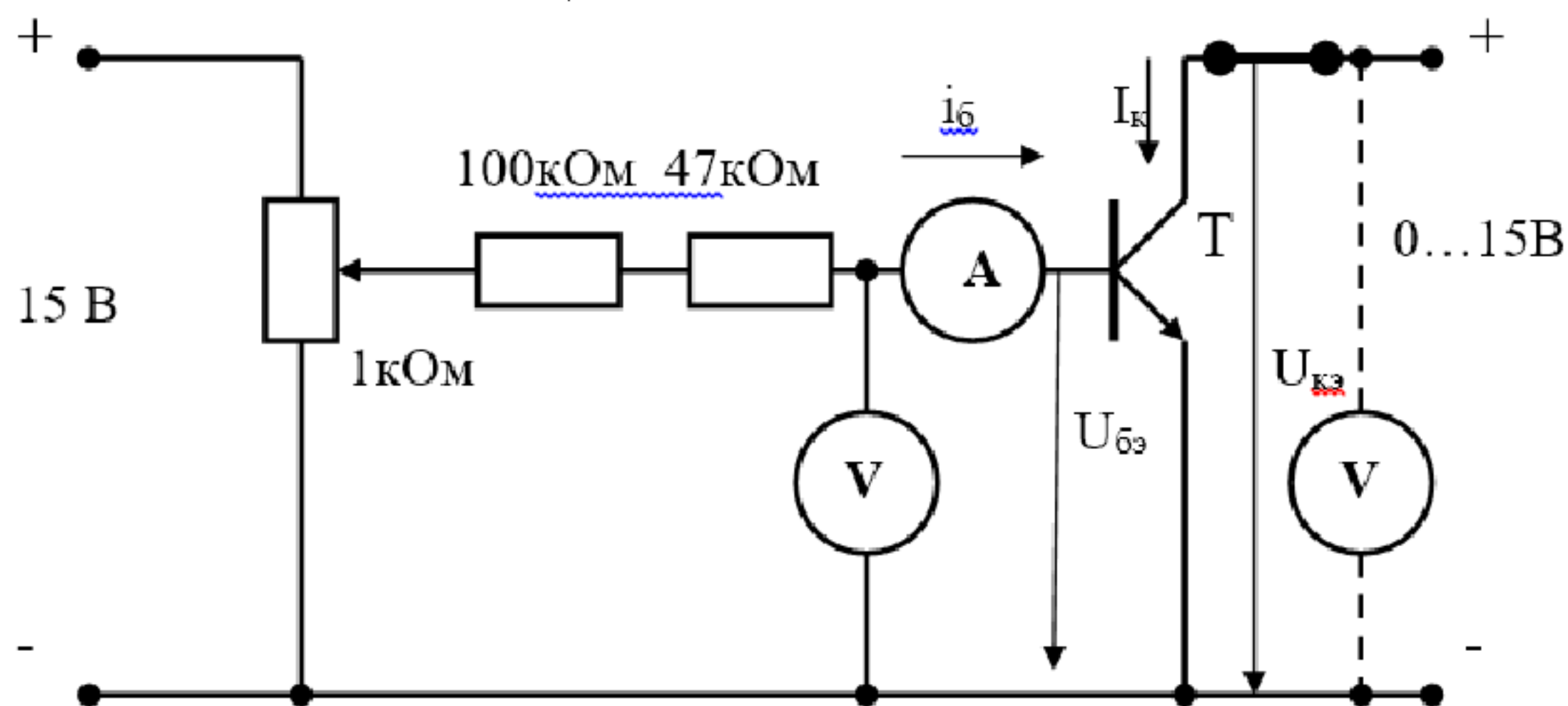


Рисунок 2.3

2. Собрать схему, изображённую на рис. 2.3. В схеме обязательно предусмотреть перемычку «П», необходимую для изменения места включения миллиамперметра.

3. Установить напряжение $U_{кэ}=0$. При токах базы, указанных в таблице 2.1, измерить значения напряжения $U_{бэ}$ и записать их в таблицу. Повторить опыт при $U_{кэ} = 2,5\text{ В}$ и 10 В .

Таблица 2.1.

$i_b, \text{ мкА}$		0	5	10	20	50	80
$U_{бэ}, \text{ В}$	при $U_{кэ}=0$						
	при $U_{кэ}=2,5\text{ В}$						
	при $U_{кэ}=10\text{ В}$						

4. Установить ток базы 20 мкА . Переключить миллиамперметр в цепь коллектора, изменить предел измерения тока до 20 мА . Устанавливая значения напряжения в цепи коллектор-эмиттер, указанные в таблице 2.2, записать в таблицу соответствующие этим напряжениям значения тока коллектора. Измерения повторить при токах базы $40, 60$ и 80 мкА .

Таблица 2.2.

$U_{кз}, В$		0	0,2	0,5	1	2	5	10	15
$I_{к},$ мА	при $i_6=20\text{мкА}$								
	при $i_6=40\text{мкА}$								
	при $i_6=60\text{мкА}$								
	при $i_6=80\text{мкА}$								

5. По данным таблиц 2.1 и 2.2 построить входные и выходные характеристики транзистора.

6. В рабочих точках, указанных преподавателем, определить динамические параметры транзистора.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что представляют собой входные и выходные характеристики транзистора?
2. Расскажите о порядке получения входных и выходных характеристик транзистора.
3. Перечислите динамические параметры биполярного транзистора. Как их получают?
4. Чем ограничена активная зона выходных характеристик транзистора?

Лабораторная работа №3. Характеристики полевого транзистора

Цель работы: Изучение особенностей работы полевого транзистора с управляемым переходом, освоение методики получения его стокзатворной и выходных характеристик.

Основы теории:

В данной лабораторной работе рассматривается полевой транзистор с управляемым переходом. Транзисторы такого типа могут иметь n-канал, в котором носителями зарядов являются электроны, либо p-канал, в котором носителями зарядов являются дырки. Схема конструкции транзистора с n-каналом представлена на рис. 3.1.

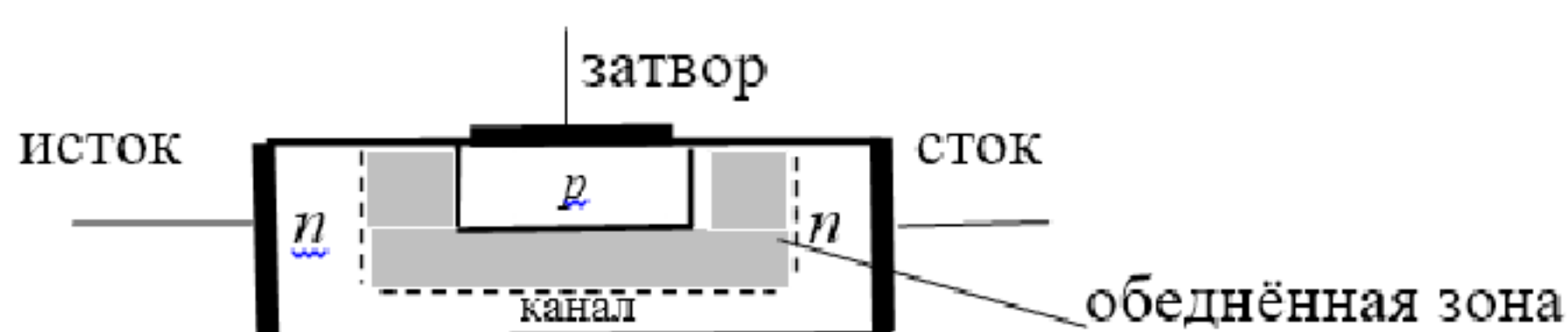
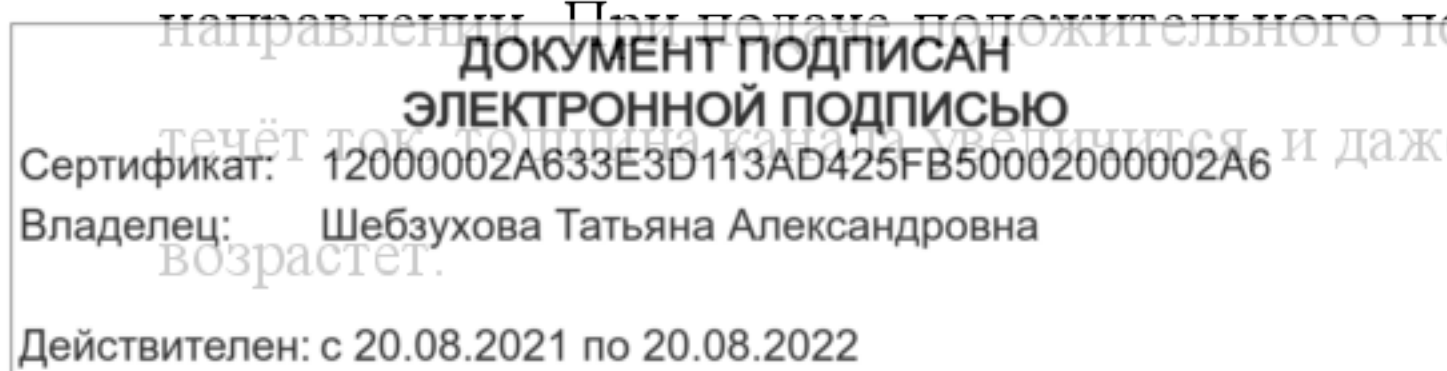


Рисунок 3.1

В кристалл полупроводника n-типа, имеющего малую концентрацию примеси, впаян кристалл p-типа с высокой концентрацией примеси. Вследствие диффузии электронов из n-полупроводника и дырок из p-полупроводника на границе кристаллов образуется обеднённая зона, лишённая носителей зарядов и поэтому имеющая очень высокое сопротивление. Из-за разности концентрации примесей обеднённая зона занимает почти весь объём n-полупроводника, оставляя со стороны, противоположной r-полупроводнику, узкий канал. У транзистора имеется три металлических электрода, один из которых, называемый затвором, соединён с p-полупроводником, два других, называемых истоком и стоком, соединены с кристаллом n-типа с противоположных сторон, так что канал находится между этими электродами. Затвор является управляющим электродом. Если между стоком и истоком приложить разность потенциалов при отсутствии потенциала на затворе, то через канал потечёт ток. При подаче на затвор отрицательного относительно истока потенциала обеднённая зона расширится, толщина канала уменьшится, и сопротивление цепи сток-исток увеличится, вследствие чего ток стока уменьшится. При этом следует заметить, что ток через затвор будет отсутствовать, т.к. напряжение по цепи затвор-исток подано в непроводящем направлении. При подаче положительного потенциала на затвор по цепи затвор-исток потечёт ток.



Графическое изображение транзисторов с управляемым переходом представлено на рис.3.2.



Рисунок 3.2

Для полевых транзисторов используют такие характеристики, как стоко-затворная, представляющая собой зависимость тока стока от напряжения затвор-исток при постоянном напряжении сток-исток, и выходные, представляющие зависимость тока стока от напряжения сток-исток при фиксированных значениях напряжения затвор-исток.

Динамическими параметрами полевых транзисторов являются следующие:

- крутизна стокзатворной характеристики

$$S = di_c / du_{зи} \text{ при постоянном } u_{ис} \text{ и заданном } u_{зи};$$

- внутреннее дифференциальное сопротивление

$$R_{ис \text{ диф}} = du_{ис} / di_c,$$

которое определяют по выходным характеристикам для заданных $u_{ис}$ и $u_{зи}$;

- коэффициент усиления напряжения

$$M = du_{ис} / du_{зи} \text{ при постоянном } i_c \text{ и заданном } u_{зи}.$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

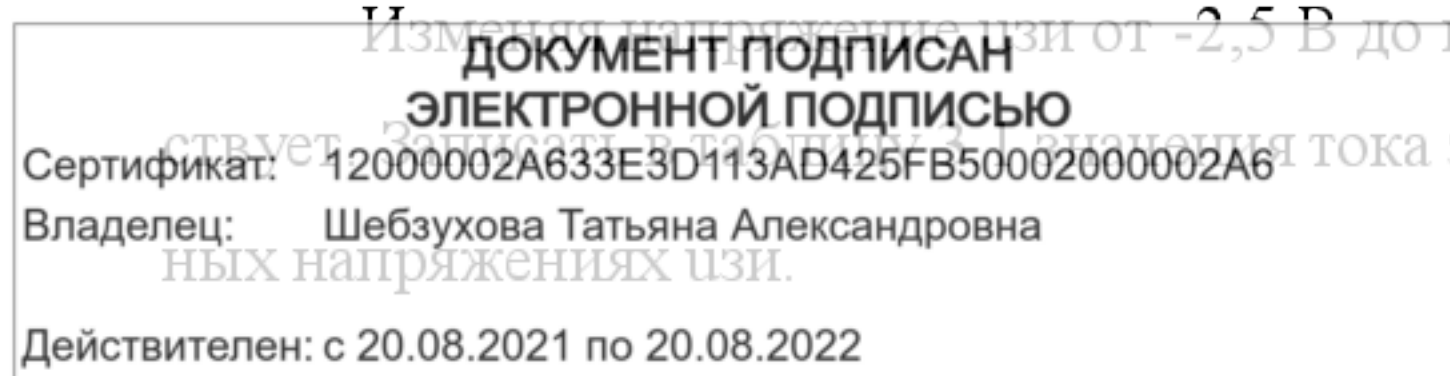
Указания по выполнению лабораторной работы:

При выполнении данной лабораторной работы необходимо получить стоко-затворную и выходные характеристики полевого транзистора с каналом *n*-типа, определить крутизну стокзатворной характеристики и внутреннее дифференциальное сопротивление.

Порядок выполнения работы следующий:

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Собрать схему рис.3.3 для снятия стокзатворной характеристики.

Изменяя напряжение $u_{зи}$ от $-2,5 \text{ В}$ до нуля, убедиться, что ток в цепи затвора отсутствует. Записать значения тока затвора при указанных в таблице положительных напряжениях $u_{зи}$.



3. Амперметр и перемычку «П» поменять местами. При указанных в таблице 3.1 напряжениях затвор-исток записать в таблицу значения тока стока. Построить график стокозатворной характеристики.

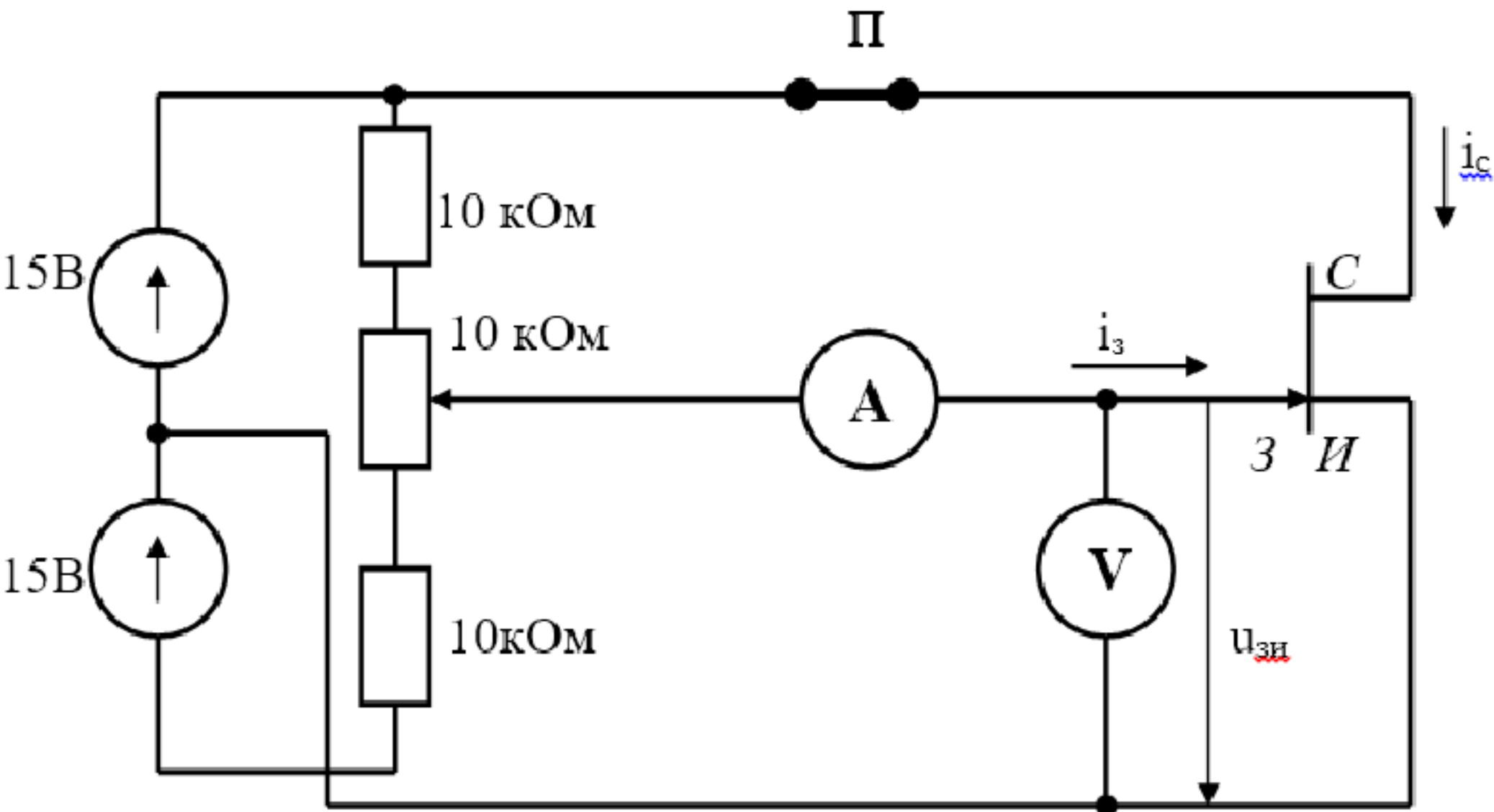


Рисунок 3.3

Таблица 3.1.

$u_{зи}, В$	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	+0,2	+0,4	+0,6
$i_c, мА$									
$i_3, мА$									

4. Собрать схему рис. 3.4 для снятия выходных характеристик транзистора.

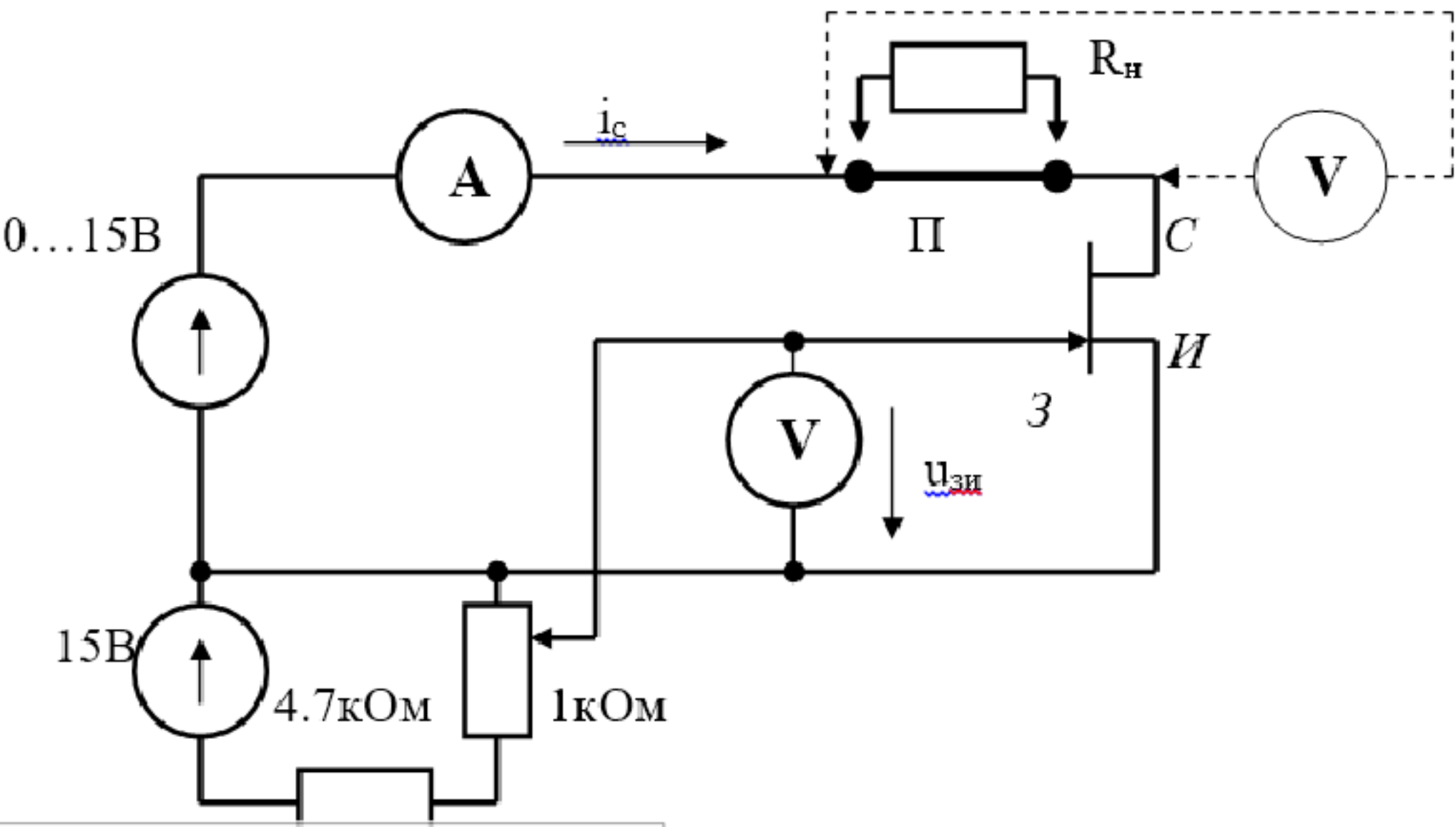


Рисунок 3.4

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Установить напряжение затвор-исток -1,5 В с помощью потенциометра 1кОм. Устанавливая напряжения сток-исток, указанные в таблице 3.2, замерить и записать в таблицу соответствующие значения тока стока. Повторить опыт при указанных в таблице напряжениях $u_{зи}$, для установки положительного значения которого изменить полярность напряжения, снимаемого с нерегулируемого источника питания 15В.

Таблица 3.2.

$U_{си}, \text{ В}$		0	0,5	1	1,5	2	3	4	6	8	10	12	15
$i_c,$ мА	при $u_{зи} = -1,5 \text{ В}$												
	при $u_{зи} = -1 \text{ В}$												
	при $u_{зи} = -0,5 \text{ В}$												
	при $u_{зи} = 0 \text{ В}$												
	при $u_{зи} = +0,5 \text{ В}$												

5. Построить семейство выходных характеристик $i_c = f(U_{си})$.
6. Вычислить крутизну стокзатворной характеристики и внутреннее дифференциальное сопротивление для точек на характеристиках, указанных преподавателем.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Опишите конструкцию полевого транзистора с управляемым переходом.
2. Почему обеднённая зона р-n-перехода располагается в основном в зоне истока-

стока?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Какие носители зарядов имеются в канале полевого транзистора?

5. В результате чего изменяется сопротивление канала полевого транзистора?
6. В каких случаях при работе полевого транзистора отсутствует ток затвора?
7. Что представляет собой стокозатворная характеристика? Как её получают?
8. Что представляют собой выходные характеристики полевого транзистора? Как их получают?
9. Какие Вам известны динамические параметры полевого транзистора? Как их вычисляют?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Лабораторная работа №4. Неуправляемые выпрямители

Цель работы: Изучение схем однофазных и трёхфазных выпрямителей, сравнение теоретических и экспериментальных значений выпрямленного напряжения, ознакомление с формами кривых выпрямленного напряжения.

Основы теории:

Основная часть электроэнергии вырабатывается и передаётся от генераторов к потребителям в виде энергии переменного тока. Для питания потребителей постоянного тока используют выпрямители, которые выполняют, в основном, с использованием полупроводниковых приборов. В схемах неуправляемых выпрямителей используют диоды. В зависимости от мощности нагрузки и требований к качеству выпрямленного напряжения применяют различные схемы выпрямления.

Наиболее простой является схема однофазного однополупериодного выпрямления (рис. 4.1), используемая для потребителей малой мощности, допускающих значительный уровень пульсаций выпрямленного напряжения. Форма кривой выпрямленного таким выпрямителем напряжения (жирная линия) представлена на рис. 4.2. Для сглаживания пульсаций напряжения параллельно нагрузке обычно включают электролитический конденсатор большой ёмкости.

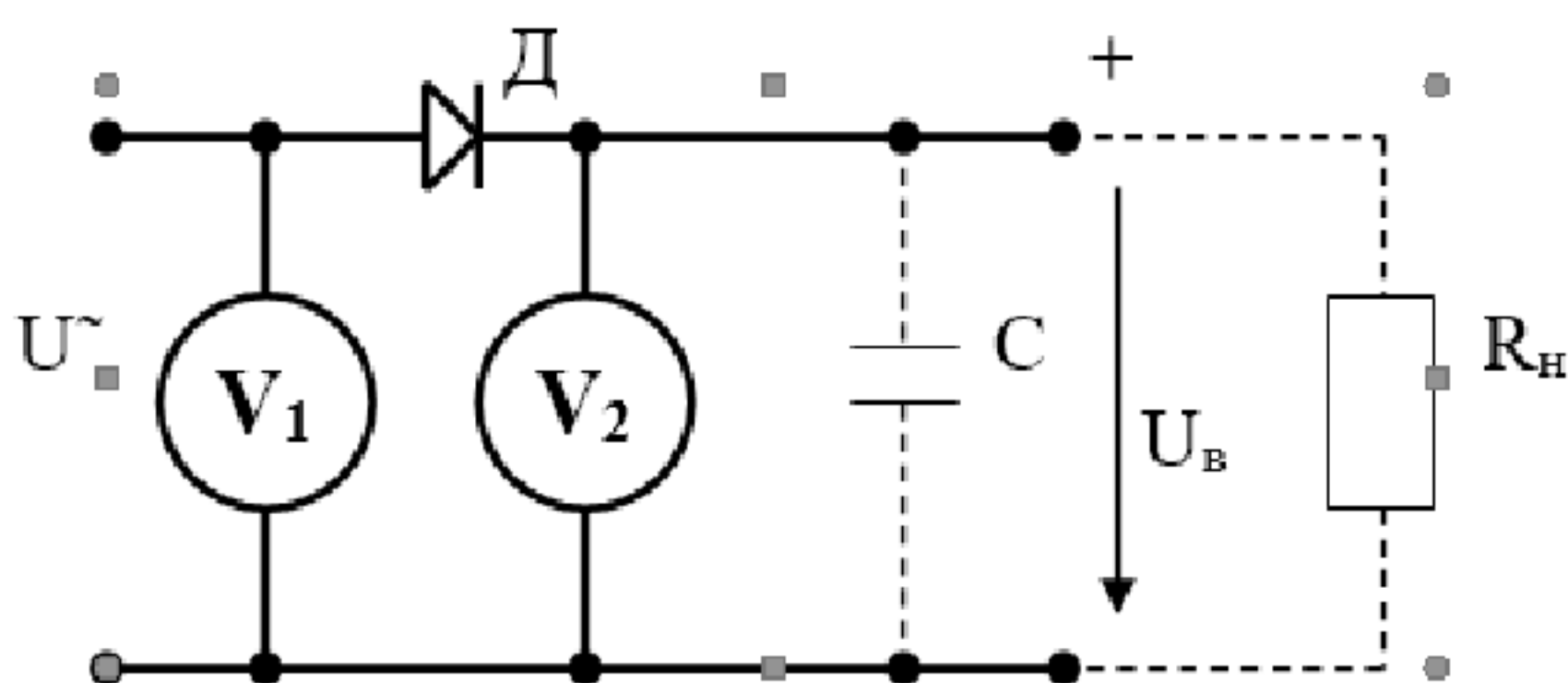


Рисунок 4.1

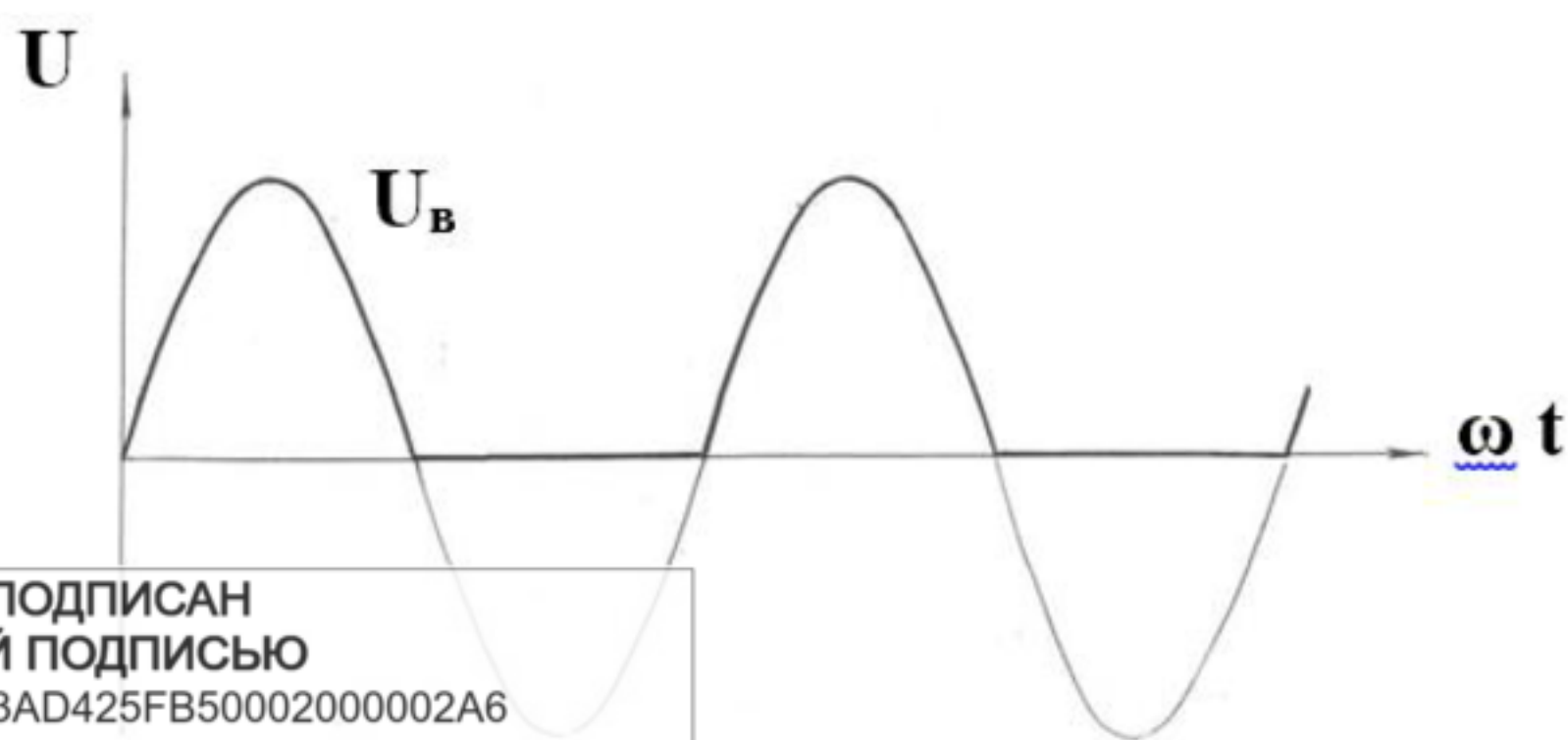


Рисунок 4.2

При питании от однофазной цепи чаще применяют схемы двухполупери-одного выпрямления, имеющие значительно меньший уровень пульсаций выпрямленного напряжения. Существует два вида таких схем: со средней точкой (рис. 4.3) и мостовая (рис. 4.4). На схемах направление тока показано сплошными стрелками при одной полярности питающего напряжения и пунктирными – при противоположной. Достоинством мостовой схемы является отсутствие трансформатора со средней точкой вторичной обмотки. Вместе с тем, в этой схеме ток одновременно проходит через два диода, а не через один, как в схеме со средней точкой, поэтому падение напряжения на диодах в этой схеме будет в два раза больше. В связи с отмеченным обстоятельством схему со средней точкой предпочтительнее использовать при больших токах.

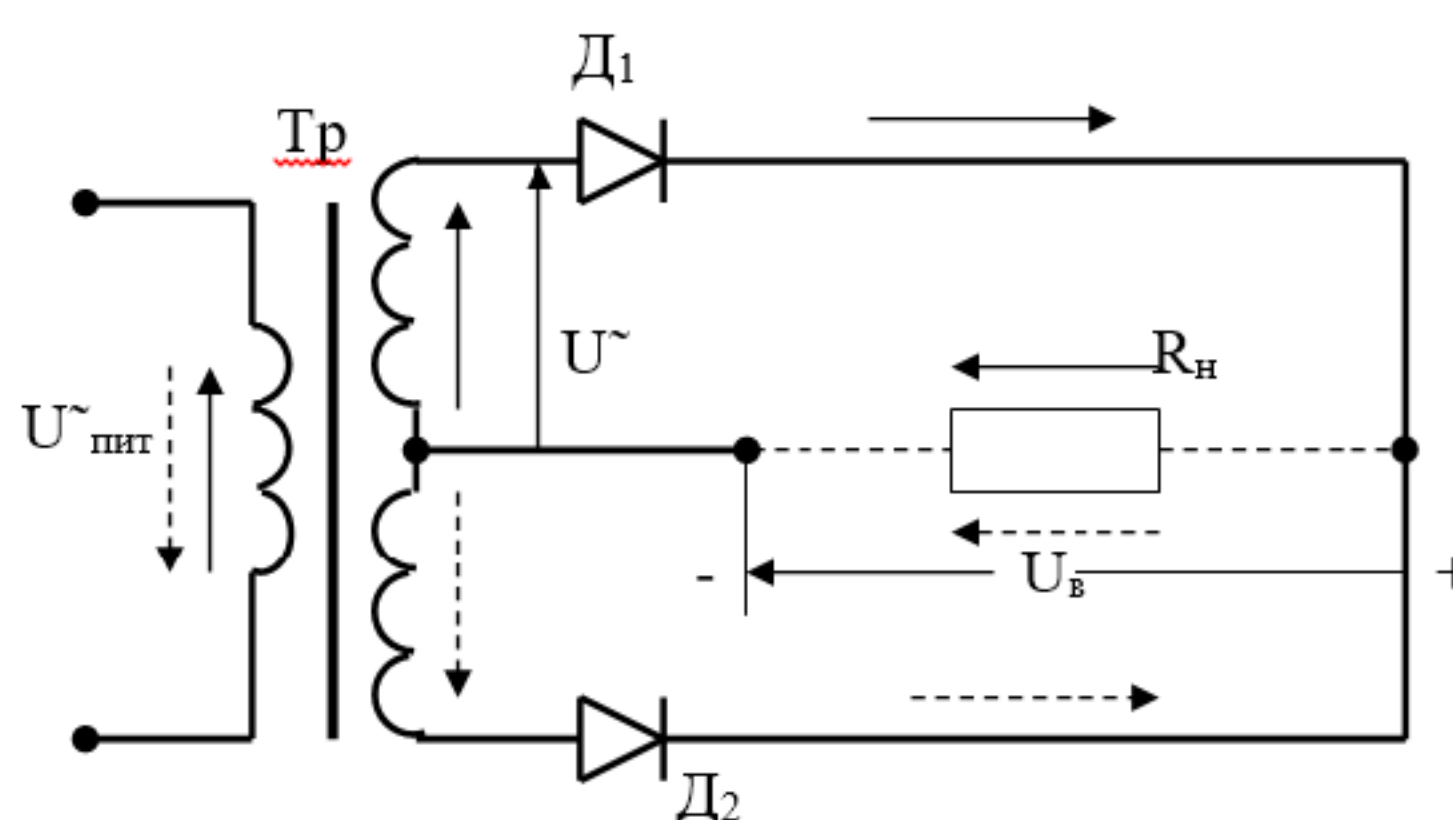


Рисунок 4.3

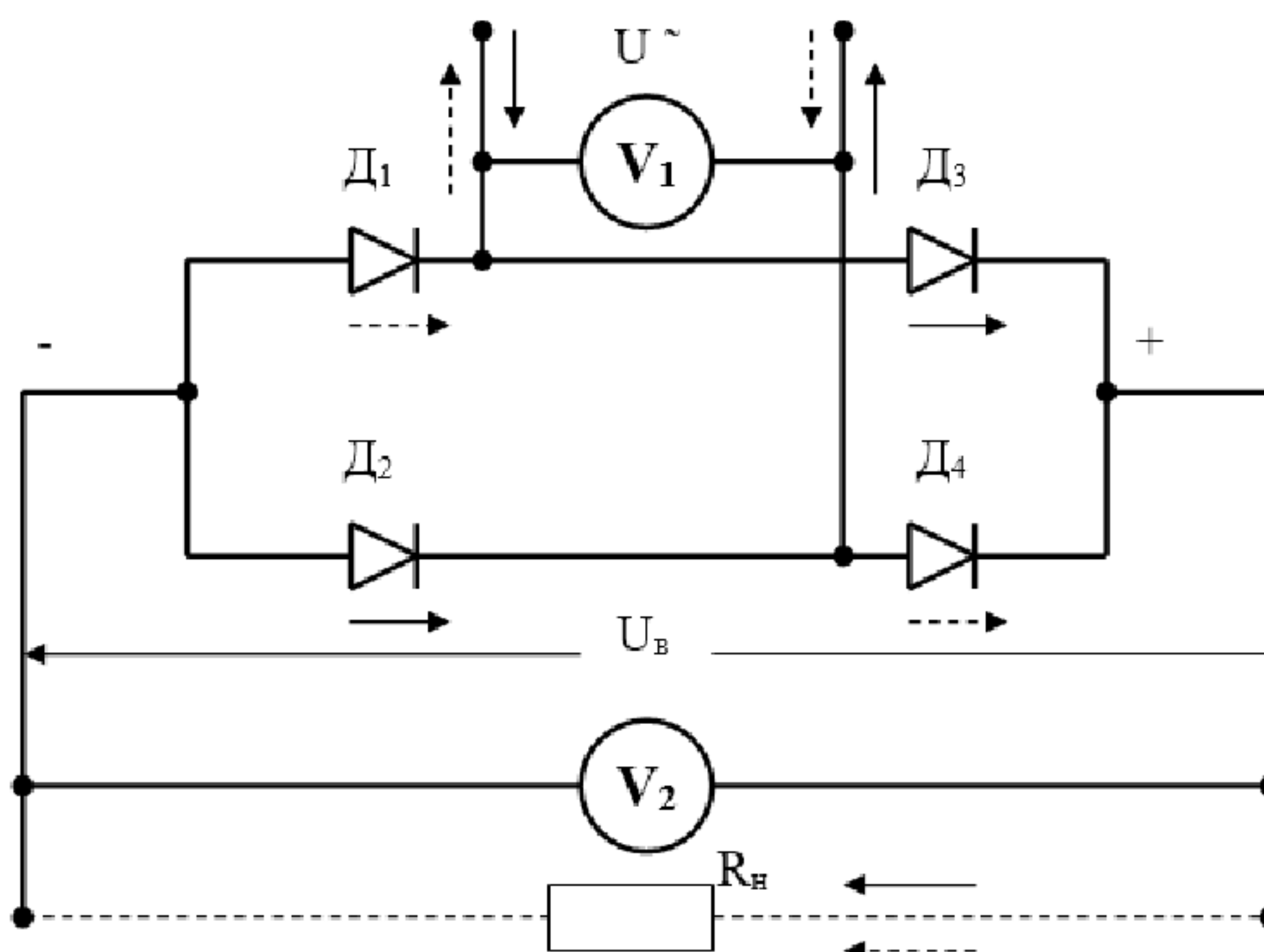


Рисунок 4.4

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

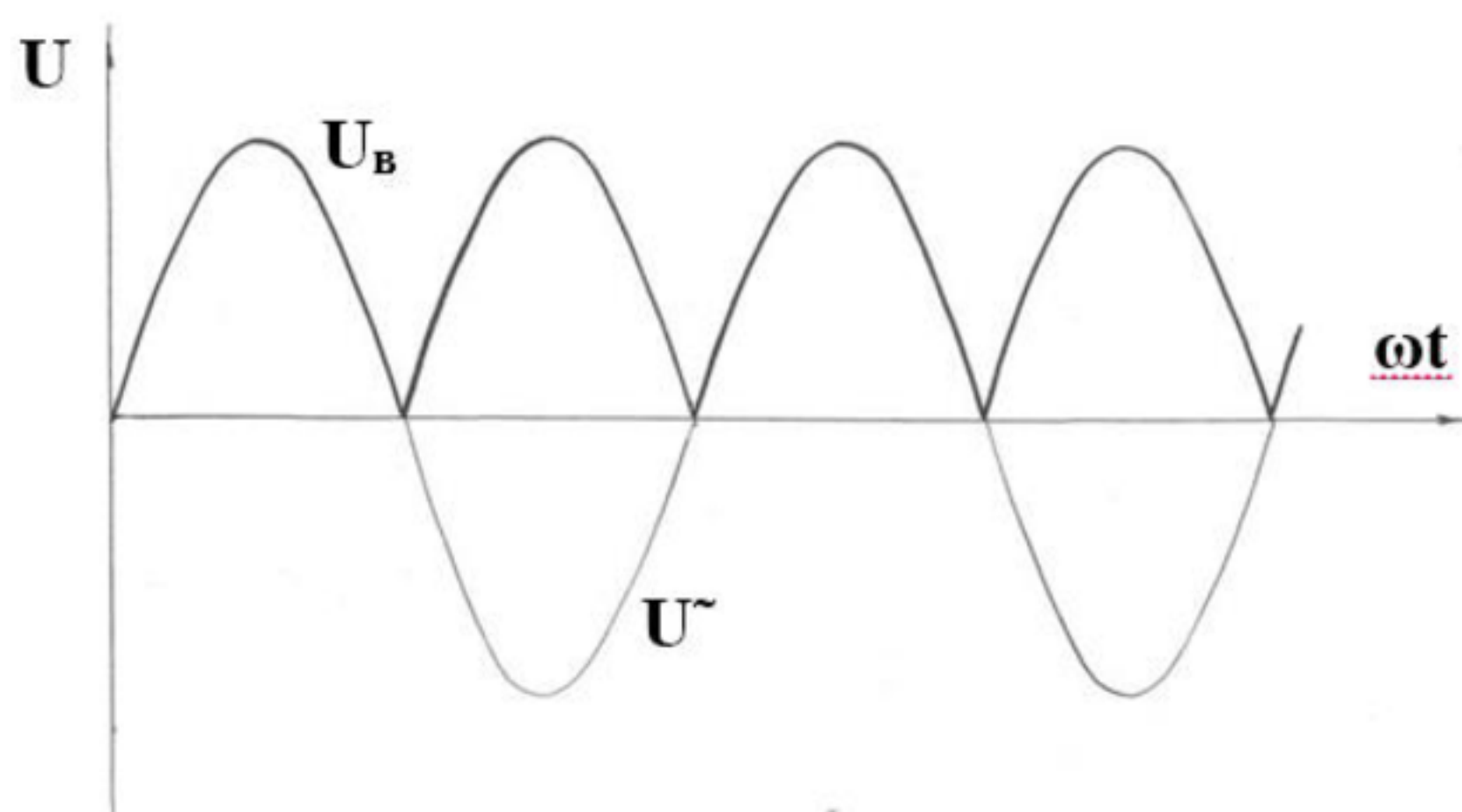


Рисунок 4.5

Кривая выпрямленного напряжения для обеих схем выглядит одинаково, она представлена на рис. 4.5.

Потребители постоянного тока большой мощности обычно питаются через выпрямители от трёхфазных цепей. Трёхфазные схемы выпрямления, как и однофазные, бывают однополупериодными (рис. 4.6) и двухполупериодными (рис. 4.8).

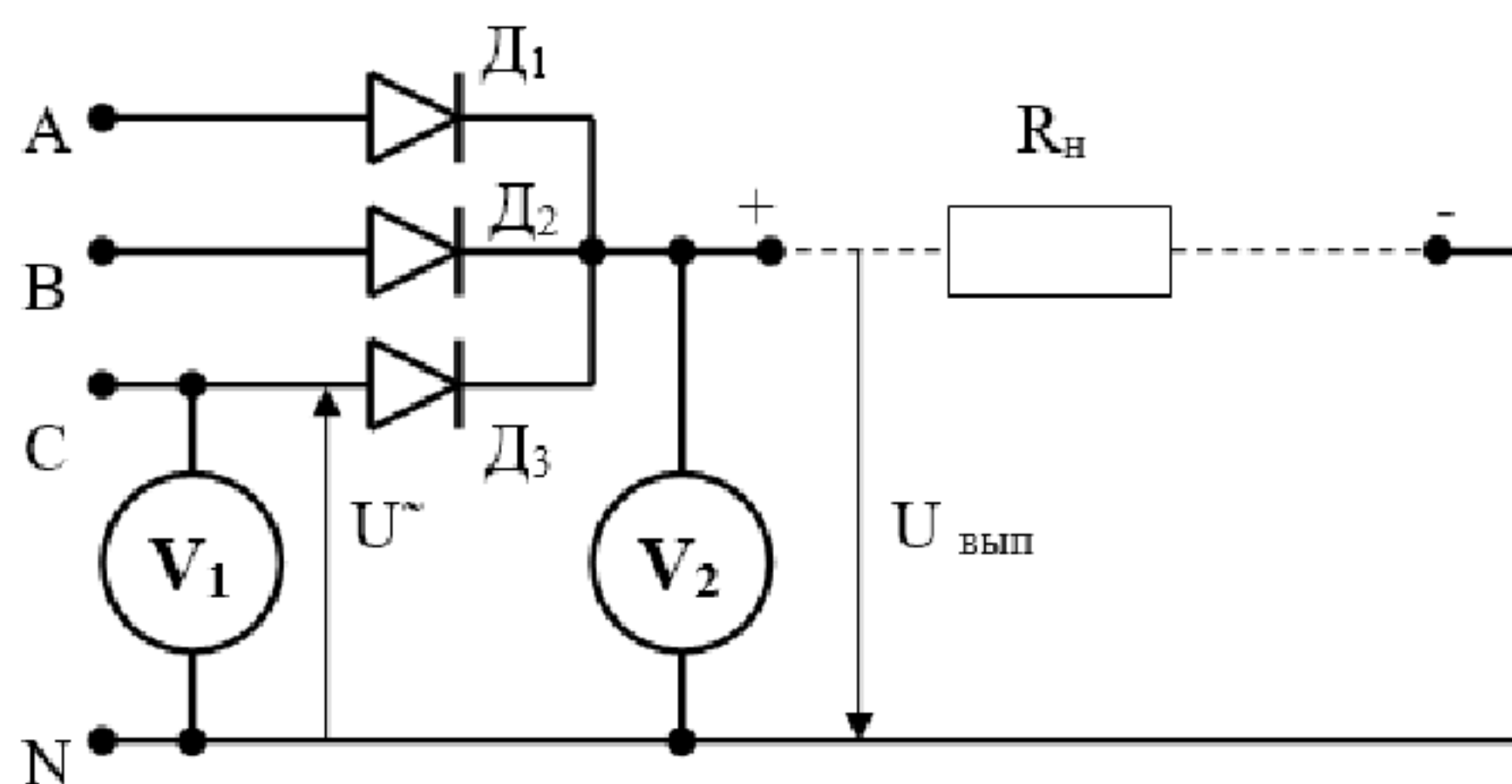


Рисунок 4.6

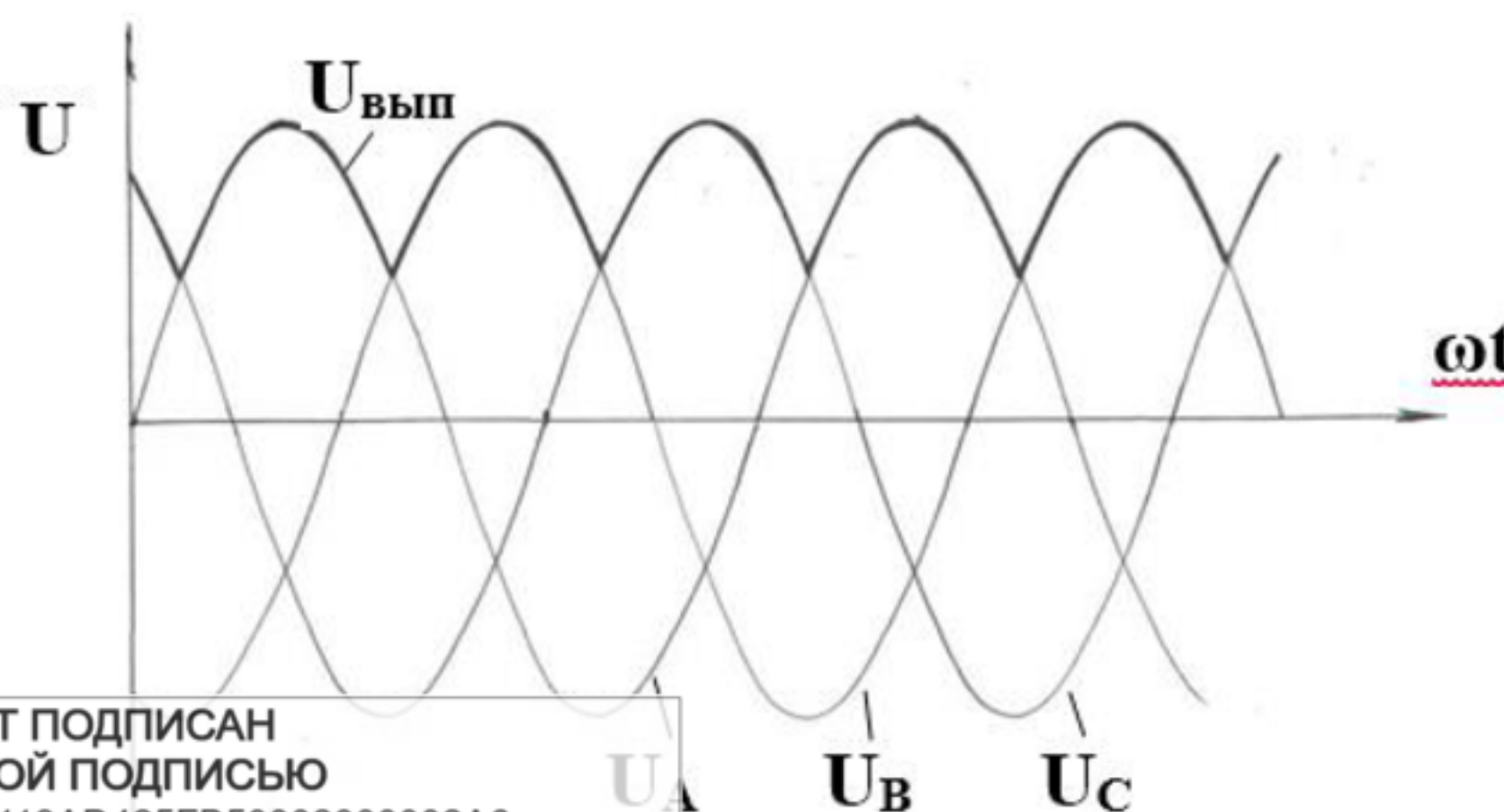


Рисунок 4.7

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Форма кривой выпрямленного напряжения при использовании этих схем представляет собой огибающую вершины синусоид трёхфазного напряжения. В схеме рис. 4.6 одновременно может быть открыт только один диод, на аноде которого в данный момент времени напряжение наибольшее, два другие на этом интервале времени будут закрыты, т.к. потенциал на их катодах будет выше потенциалов на анодах. Таким образом, диоды Д1, Д2, Д3 открываются поочерёдно, и выпрямленный ток поочерёдно протекает по цепям фаз А, В, С. Кривая выпрямленного напряжения на рис. 4.7 изображена жирной линией.

В мостовой трёхфазной схеме (рис. 4.8) одновременно открыты два диода, расположенные между теми фазами, линейное напряжение между которыми в данный момент времени наибольшее. Остальные диоды будут закрыты, т.к. потенциалы на их катодах будут выше потенциалов анодов. На рис. 4.9 изображены синусоиды линейных напряжений трёхфазной системы.

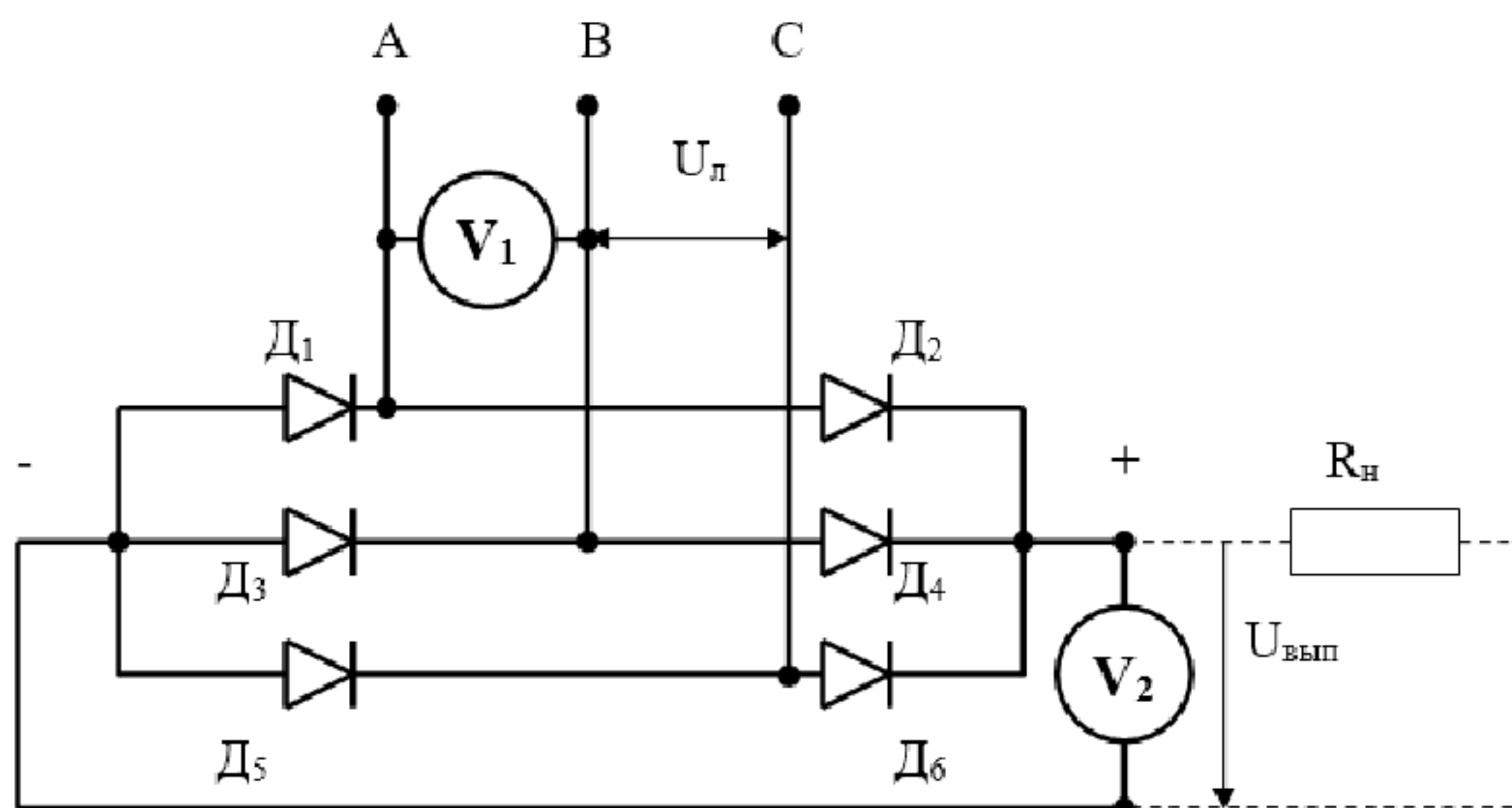


Рисунок 4.8

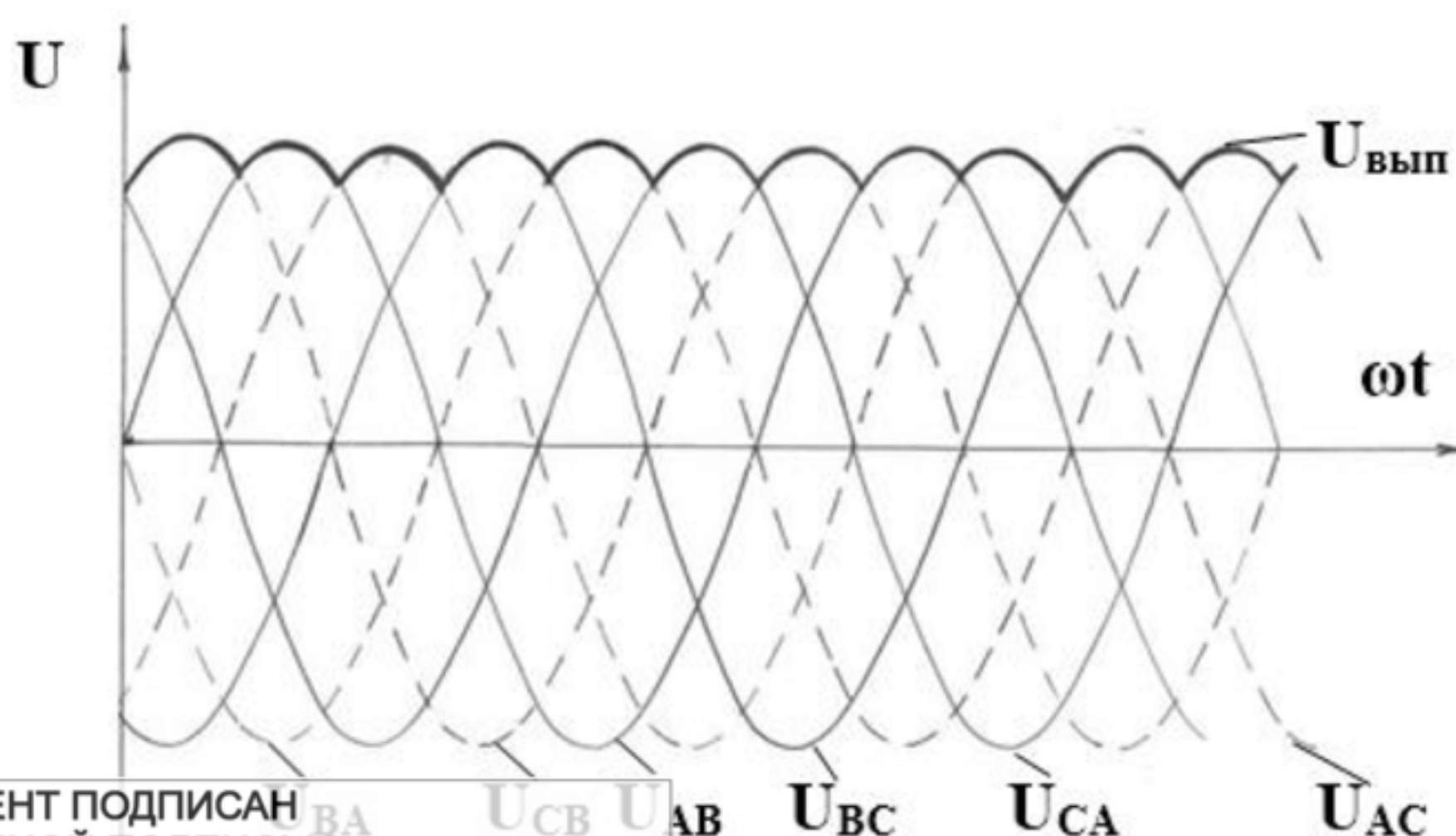


Рисунок 4.8

На промежутке $0 < \omega t < 30^\circ$ наибольшая разность потенциалов между фазами С и В, поэтому открытыми будут диоды D_6 и D_3 ; на промежутке $30^\circ < \omega t < 90^\circ$ потенциал фазы А станет больше потенциала фазы С, поэтому диод D_6 закроется, а D_2 – откроется. В последующие интервалы будут поочередно открыты: $90^\circ < \omega t < 150^\circ$ – D_2, D_5 ; $150^\circ < \omega t < 210^\circ$ – D_4, D_5 ; $210^\circ < \omega t < 270^\circ$ – D_4, D_1 ; $270^\circ < \omega t < 330^\circ$ – D_6, D_1 ; $330^\circ < \omega t < 360^\circ$ – снова D_6, D_3 , и т.д. Таким образом, между катодной и анодной группами диодов постоянно будет напряжение, равное наибольшему по абсолютному значению линейному напряжению. Кривая выпрямленного напряжения на рис. 4.9 показана жирной линией.

Среднее значение выпрямленного напряжения U_{cp} для схемы однофазного однополупериодного выпрямления определяется выражением:

$$U_{cp} = U_m / \pi = \sqrt{2} U / \pi \approx 0.45 U,$$

где U – действующее значение переменного синусоидального напряжения,

U_m – амплитудное значение переменного напряжения.

Для остальных схем выпрямления

$$U_{cp} = (m / \pi) \sin(m / \pi) U_m = \sqrt{2} (m / \pi) \sin(m / \pi) U,$$

где m – число фаз выпрямляемого напряжения.

Для схемы рис. 4.3 и рис. 4.4 $m = 2$, $U_{cp} = 0,637 U_m = 0,9 U$,

для схемы рис. 4.6 $m = 3$, $U_{cp} = 0,827 U_m = 1,17 U_\phi$,

для схемы рис. 4.8 $m = 6$, $U_{cp} = 0,955 U_m = 1,35 U_\phi$.

В записанных выше выражениях средние значения выпрямленного напряжения указаны без учёта падения напряжения на диодах, которое составляет от 0,5 до 2 В.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

При выполнении данной лабораторной работы студенты должны собрать схемы однофазных и трёхфазных выпрямителей, сравнить действующие значения напряжения переменного тока со средними значениями выпрямленного напряжения, с помощью осциллографа снять кривые выпрямленного напряжения.

Порядок выполнения работы следующий.

1. ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

2. Собрать схему рис. 4.1. Подать напряжение от источника переменного напряжения 7В. Измерить величину переменного и выпрямленного напряжений, вычислить величину падения напряжения на диоде. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 4.1.

3. Подать сигнал выпрямленного напряжения на осциллограф, зарисовать форму кривой напряжения.

4. Выполнить аналогичные замеры, вычисления, наблюдения и рисунки, собрав схемы, изображённые на рис. 4.3, 4.4, 4.6 и 4.8.

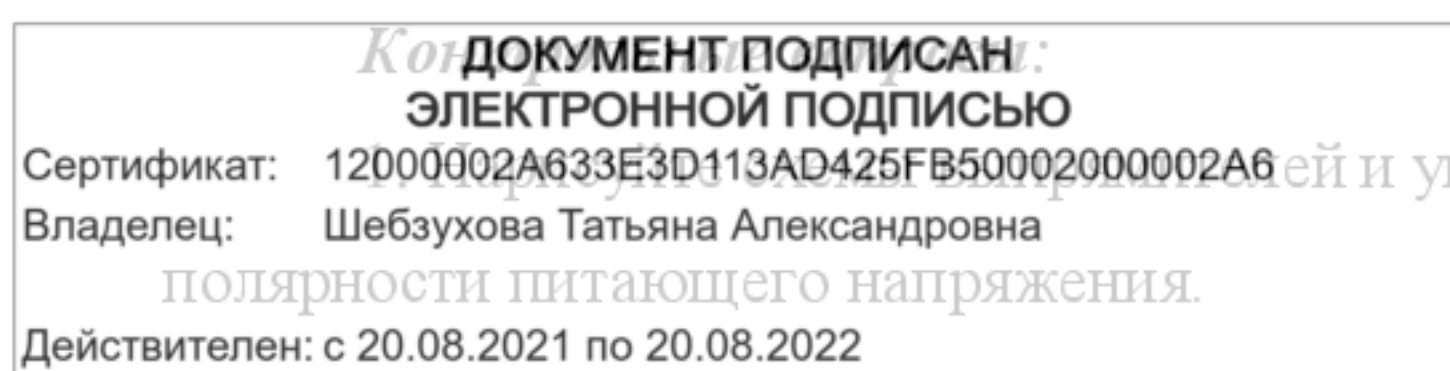
Таблица 4.1.

Схема выпрямления	$U_{\sim}$, В	$U_{\text{ср}}$, теоретическое	$U_{\text{ср}}$, экспериментальное	Падение напряжения на диодах
Однофазная однополупериодная				
Однофазная со средней точкой				
Однофазная мостовая				
Трёхфазная со средней точкой				
Трёхфазная мостовая				

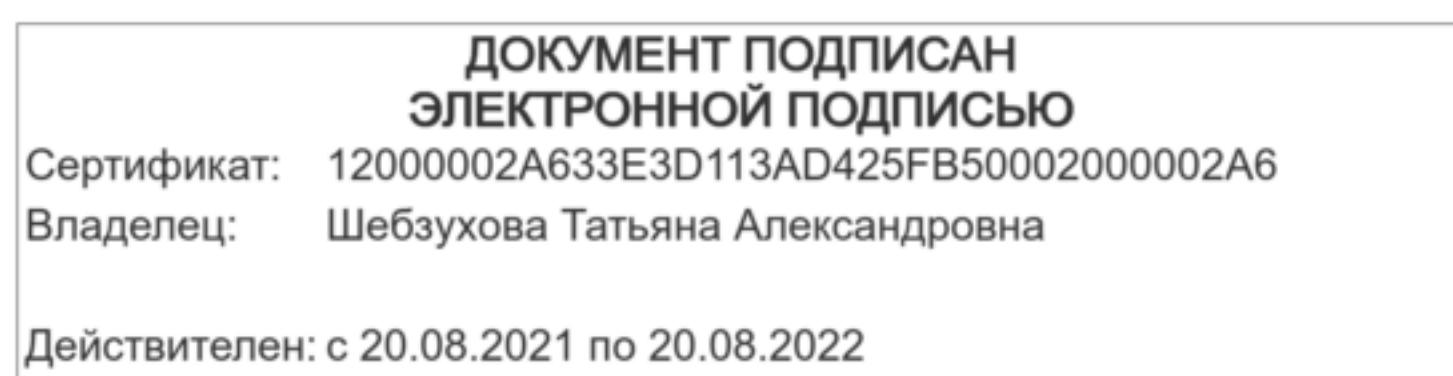
Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.



2. Объясните, почему при выпрямлении трёхфазного тока в схеме с нулевой точкой может быть открыт только один диод, а в мостовой схеме – только два диода.
3. Объясните последовательность открытия диодов в трёхфазной мостовой схеме.
4. По какой формуле можно вычислить значение среднего выпрямленного напряжения?
5. Почему фактическое выпрямленное напряжение несколько ниже теоретически вычисленного?



Лабораторная работа №5. Каскад усилителя переменного тока на биполярном транзисторе

Цель работы: Изучить схему каскада усилителя переменного тока с общим эмиттером, практически освоить методику установки начальной рабочей точки транзистора в режиме А, методику получения амплитудной и частотной характеристик усилителя, определения его входного и выходного сопротивлений, проанализировать влияние на коэффициент усиления значений параметров отдельных элементов схемы.

Основы теории:

Схема каскада усилителя переменного тока с общим эмиттером представлена на рис.

5.1.

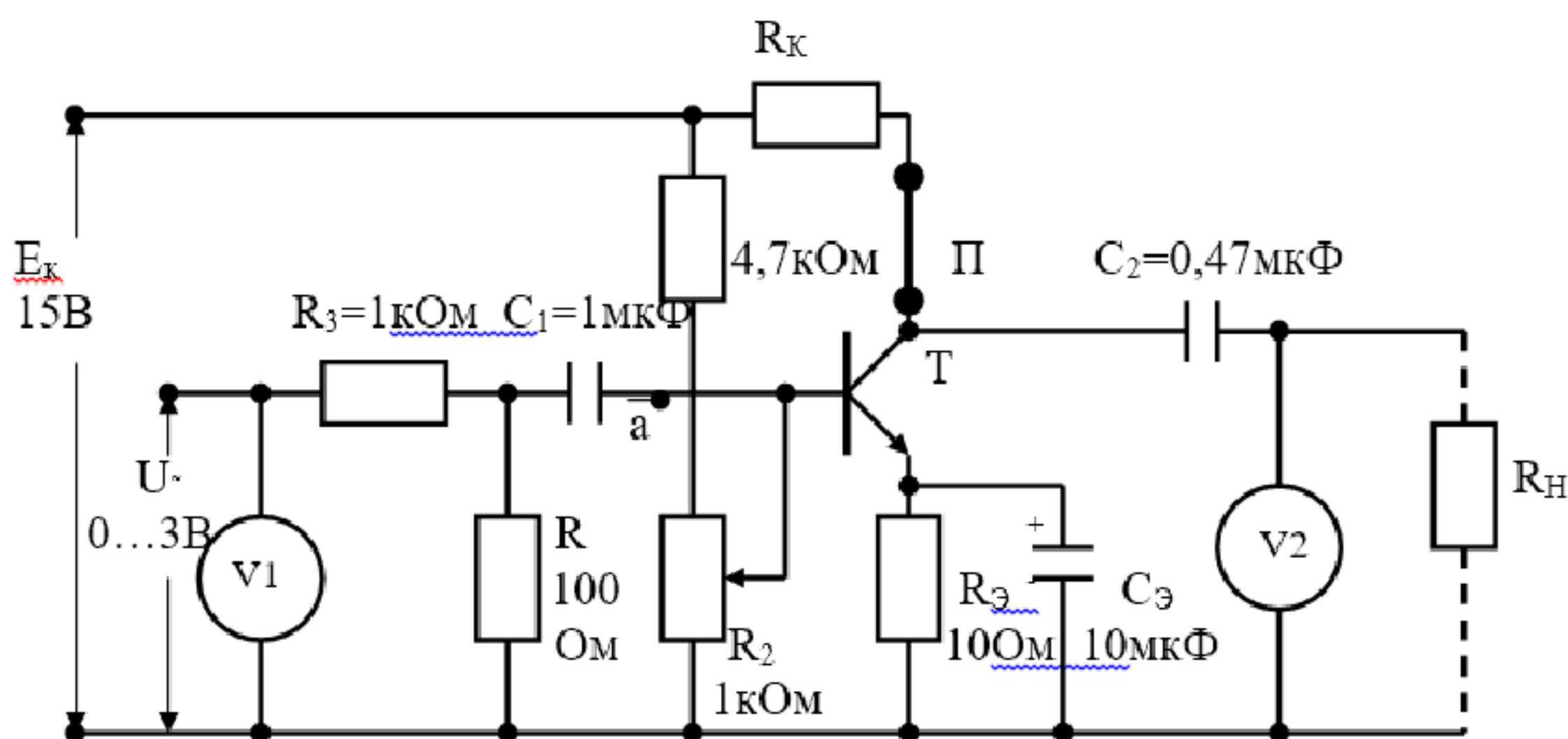


Рисунок 5.1

Питание усилителя осуществляется от источника постоянного напряжения 15В. Входной сигнал подаётся от источника синусоидального напряжения через делитель R_3R_4 , который предназначен для более плавного изменения амплитуды входного сигнала и к схеме усилителя не относится.

Режим усилителя по постоянному току обеспечивается делителем напряжения R_1R_2 и сопротивлением в цепи эмиттера $R_э$. Делителем R_1R_2 настраивается положение начальной рабочей точки (НРТ), т.е. напряжение на коллекторе и ток коллектора при отсутствии входного сигнала. Положение НРТ показано на семействе выходных характеристик тран-

зистора (рис. 5.2), что определяет режим работы транзистора. Если НРТ находится в центре транзистор работает в режиме А, усиливая как положительные, так и отрицательные полу-

смещение на базе отсутствует, то транзистор работает в режиме В (точка В на рис. 5.2), усиливая только положительные волны входного сигнала. Для уменьшения нелинейных искажений, которые особенно заметны при малых токах базы, на базу транзистора подают небольшое положительное смещение (точка АВ на рис 5.2), в этом случае транзистор усиливает положительные полуволны входного сигнала и частично – отрицательные. Режимы В и АВ используют в схемах двухтактных усилителей, в которых отрицательные и положительные полуволны усиливаются двумя разными транзисторами. В усилителе, используемом в данной лабораторной работе, транзистор работает в режиме А. Небольшое сопротивление в цепи эмиттера $R_{Э}$ предназначено для стабилизации положения начальной рабочей точки, которая осуществляется следующим образом.

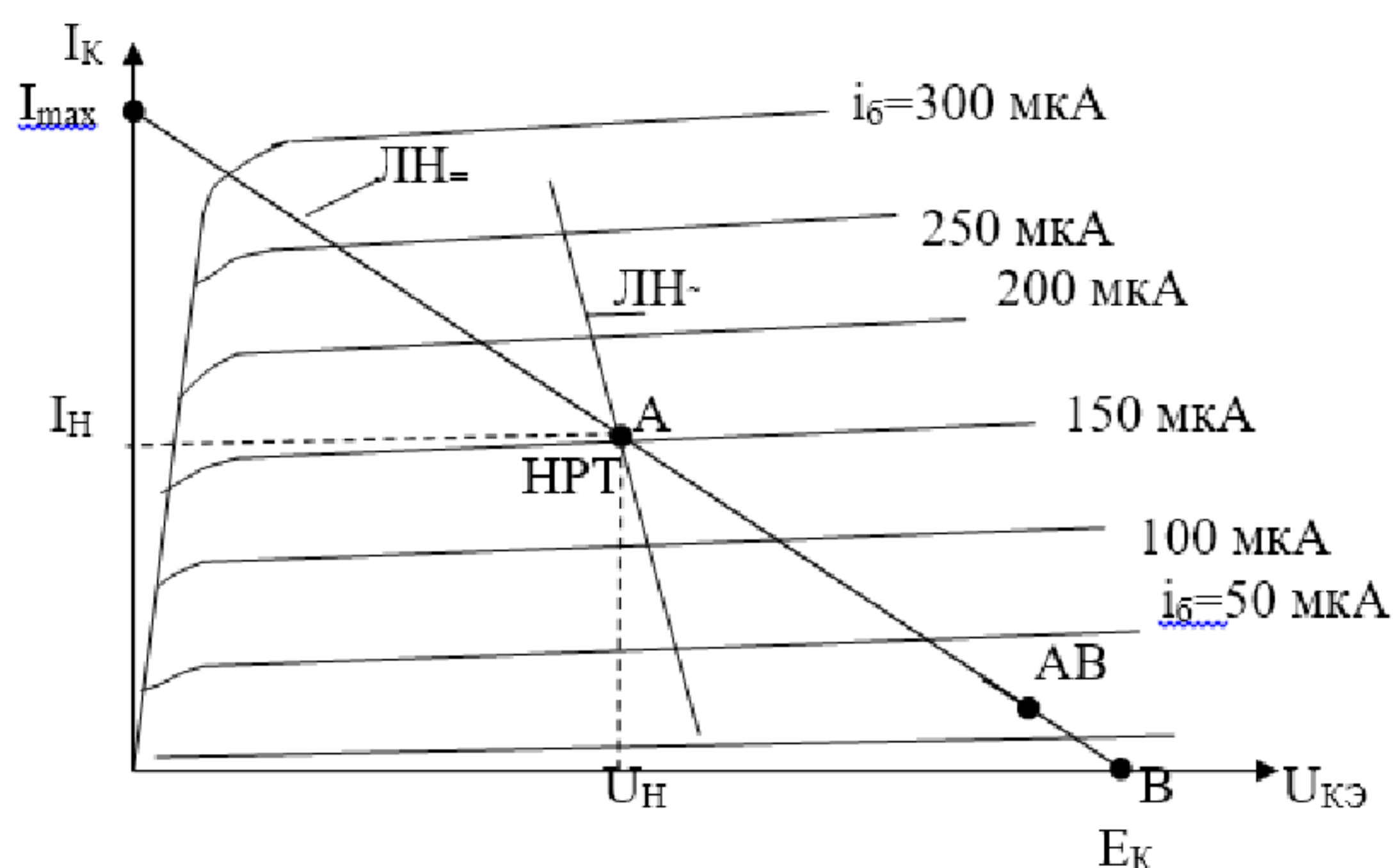


Рисунок 5.2

Ток в цепи базы определяется разностью потенциалов между базой и эмиттером, которая равна (см. рис. 5.1)

$$U_{бэ} = U_{вх} + U_{см} - U_{ос},$$

Где $U_{ос}$ равно произведению постоянной составляющей тока эмиттера на сопротивление $R_{Э}$. Переменная составляющая тока эмиттера на величину $U_{ос}$ влияния не оказывает, т.к. она протекает в основном через конденсатор $C_{Э}$, сопротивление которого для переменной составляющей намного меньше $R_{Э}$. Если по каким-либо причинам постоянная составляющая тока в цепи коллектор – эмиттер возрастёт, то соответственно возрастёт напряже-

ние $U_{ос}$, а следовательно, уменьшится, что приведёт к снижению тока базы и стабилизации НРТ. При снижении постоянной составляющей тока цепи коллектор – эмиттер происходит

Наличие конденсатора $C_Э$ исключает отрицательную обратную связь по переменной составляющей и тем самым исключает уменьшение коэффициента усиления усилителя, которое имело бы место при наличии этой связи.

Выходное напряжение усилителя в цепь нагрузки R_H снимается с коллектора транзистора. При положительной полуволне входного напряжения сопротивление транзистора уменьшается и потенциал на коллекторе снижается. При отрицательной полуволне входного усиливаемого сигнала сопротивление транзистора увеличивается и потенциал на базе повышается. Таким образом, фаза напряжения на выходе усилителя противоположна фазе входного сигнала.

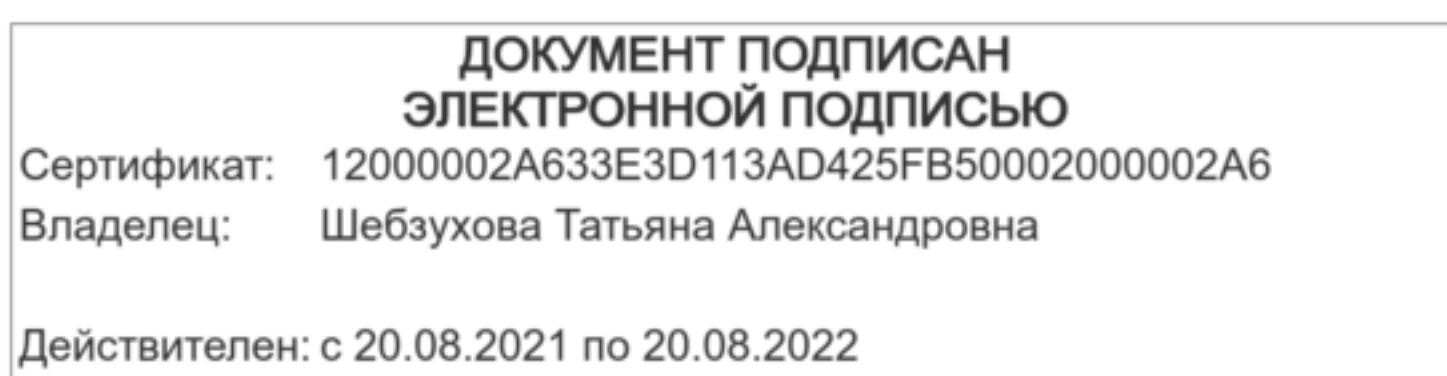
Конденсаторы C_1 и C_2 являются разделительными, препятствующими протеканию постоянного тока от источника питания во входной цепи и в цепи нагрузки, их сопротивление для токов усиливаемых частот должно быть незначительным.

Итак, режим работы транзистора по постоянному току определяется напряжением источника питания, величиной сопротивления цепи коллектор – эмиттер и током базы. При отсутствии тока базы транзистор полностью закрыт, т.е. ток коллектора близок к нулю и всё напряжение питания падает на сопротивлении транзистора (точка В на рис. 5.2). Если предположить, что транзистор полностью открыт (т.е. его сопротивление равно нулю), то всё напряжение источника питания будет падать на сопротивлениях R_K и $R_Э$, а ток в цепи коллектора будет:

$$I_K = I_{max} = E_K / (R_K + R_Э).$$

При изменении постоянной составляющей тока базы режим работы по постоянному току будет определяться линией, соединяющей точки В и I_{max} . Эту линию называют линией нагрузки по постоянному току (см. рис. 5.2).

Цепь, по которой в усилителе замыкается переменный ток, отличается от цепи постоянного тока. Во-первых, из цепи переменного тока практически исключается сопротивление $R_Э$, т.к. оно шунтировано конденсатором $C_Э$; во-вторых, ёмкости конденсаторов $C_Э$ и C_2 принимают настолько большими, что их сопротивления оказываются пренебрежимо малыми по сравнению с сопротивлениями R_K и R_H . Сопротивление источника питания обычно также на 2 – 3 порядка ниже последних двух сопротивлений. В связи с отмеченными обстоятельствами схема замещения цепи переменного тока выглядит так, как представлено на рис. 5.3а.



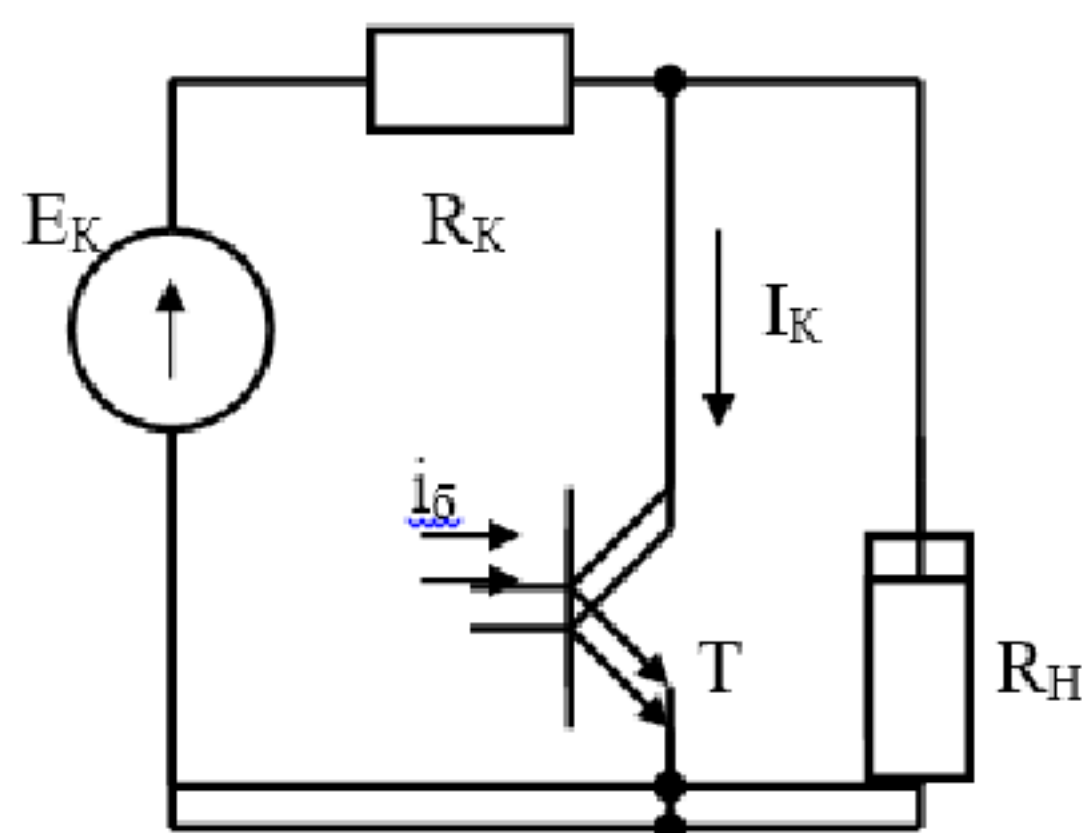


Рисунок 5.3а

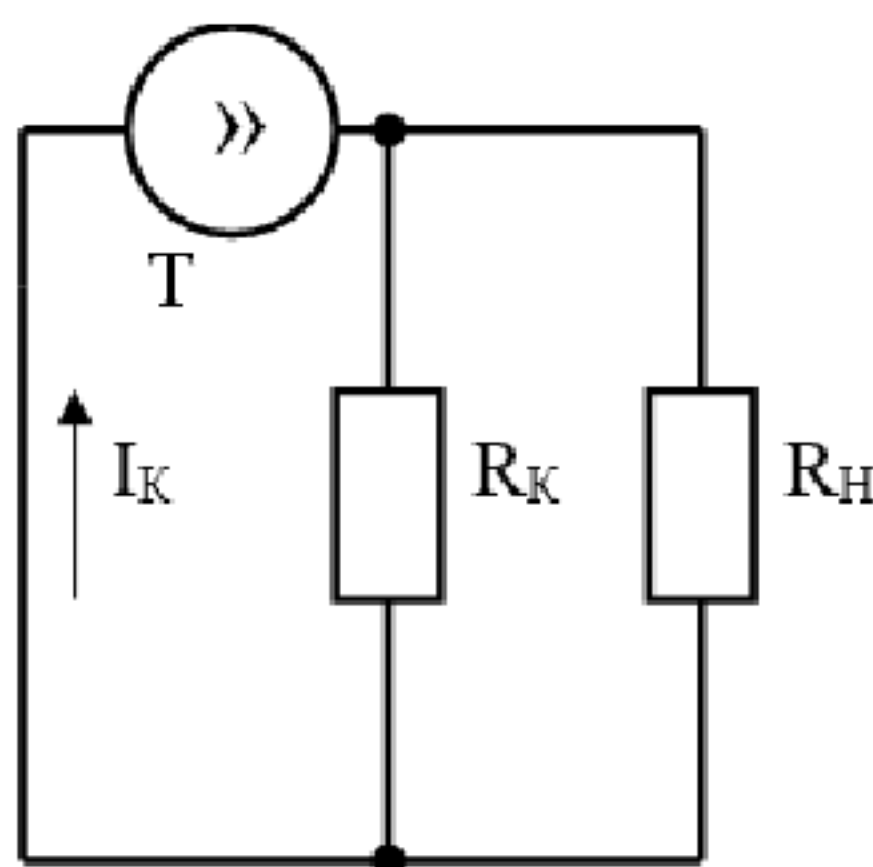


Рисунок 5.3б

Обратим внимание на то, что выходные характеристики транзистора в активной зоне практически горизонтальны, т.е. ток через транзистор не зависит от напряжения коллектор – эмиттер, а определяется только током базы, поэтому транзистор в этой зоне можно рассматривать как источник тока, управляемый током базы $I_K = \beta \cdot i_B$, где β – коэффициент усиления базового тока. В этом случае, с учётом того, что сопротивлением источника питания можно пренебречь, схема замещения примет вид, изображённый на рис. 5.3б. В этой схеме сопротивления R_K и R_H включены параллельно, поэтому переменная составляющая тока коллектора и, соответственно, наклон линии нагрузки по переменному току определяются сопротивлением

$$R_K R_H / (R_K + R_H).$$

Т.к. это сопротивление всегда меньше, чем сопротивление $R_K + R_H$, то и линия нагрузки по переменному току для данного усилителя имеет больший наклон, чем по постоянному

Одними из основных параметров усилителей являются коэффициенты усиления. Каскад по схеме с общим эмиттером усиливает как напряжение, так и ток. Под коэффициентом усиления по напряжению понимают отношение амплитуды напряжения на нагрузке к амплитуде напряжения входного сигнала:

$$K_U = U_{Hm}/U_{Bx\ m}.$$

Амплитуда напряжения на нагрузке (см. рис. 5.3б):

$$U_{Hm}=I_{Km} R_K R_H/(R_K+R_H)=\beta I_{6m} R_K R_H/(R_K+R_H).$$

Амплитуда напряжения входного сигнала также может быть выражена через амплитуду тока базы I_{6m} :

$$U_{Bx\ m}=I_{6m}r_6+I_{эм}r_э,$$

где r_6 и $r_э$ - , соответственно, сопротивления базы и эмиттера транзистора,

$I_{эм}$ – амплитуда тока эмиттера.

Но $I_{эм}=I_{6m}(1+\beta)$, поэтому

$$U_{Bx\ m}=I_{6m}r_6+I_{6m}r_э(1+\beta)=I_{6m}[r_6+r_э(1+\beta)]=I_{6m}h_{11},$$

где $h_{11}=r_6+r_э(1+\beta)$ – динамическое входное сопротивление транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером.

Таким образом, коэффициент усиления каскада по напряжению

$$K_U = U_{Hm}/U_{Bx\ m} = (\beta/h_{11})[R_K R_H/(R_K+R_H)].$$

Как следует из полученного выражения, коэффициент усиления зависит как от параметров транзистора, так и от сопротивлений R_K и R_H .

Коэффициент усиления по току определяется как отношение амплитуд тока в цепи нагрузки и в цепи базы:

$$K_i = I_{Hm}/I_{6m}.$$

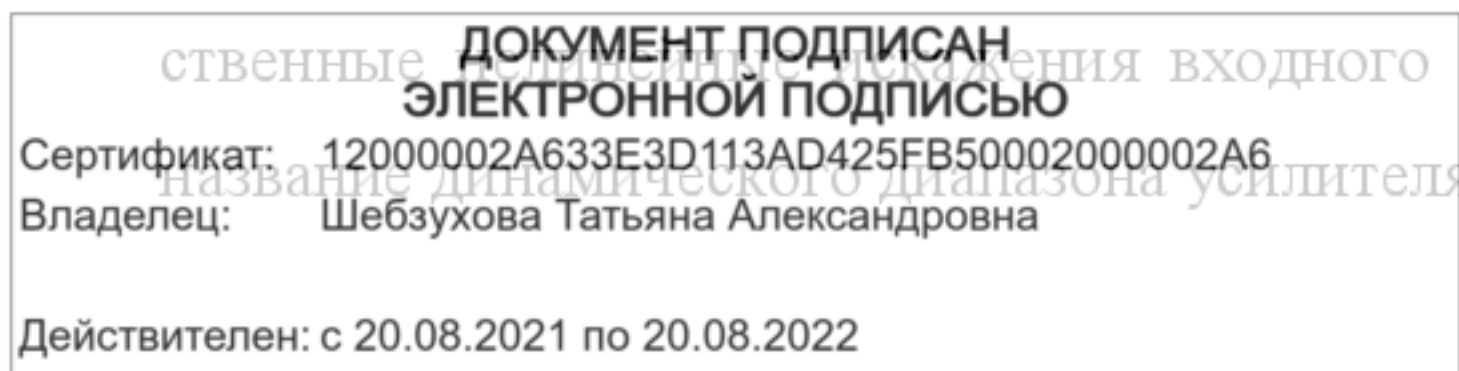
$$I_{Hm}=U_{Hm}/R_H=\beta I_{6m} R_K/(R_K+R_H),$$

$$K_i=\beta R_K/(R_K+R_H).$$

Качество работы усилителей и область их применения определяются такими характеристиками, как амплитудная, амплитудно-частотная и фазо-частотная.

Амплитудная характеристика отражает зависимость выходного сигнала (напряжения или тока) от амплитуды входного. Вид амплитудной характеристики представлен на рис. 5.4. Точка 1 соответствует напряжению шумов, измеряемому при $U_{Bx}=0$. Точка 2 характеризует минимальное значение входного сигнала, различимое на фоне шумов. Между точками 2 и 3 расположен рабочий диапазон усилителя. После точки 3 происходят суще-

ственные изменения входного сигнала. Величина $D = U_{Bx\ max}/U_{Bx\ min}$ носит название динамического диапазона усилителя.



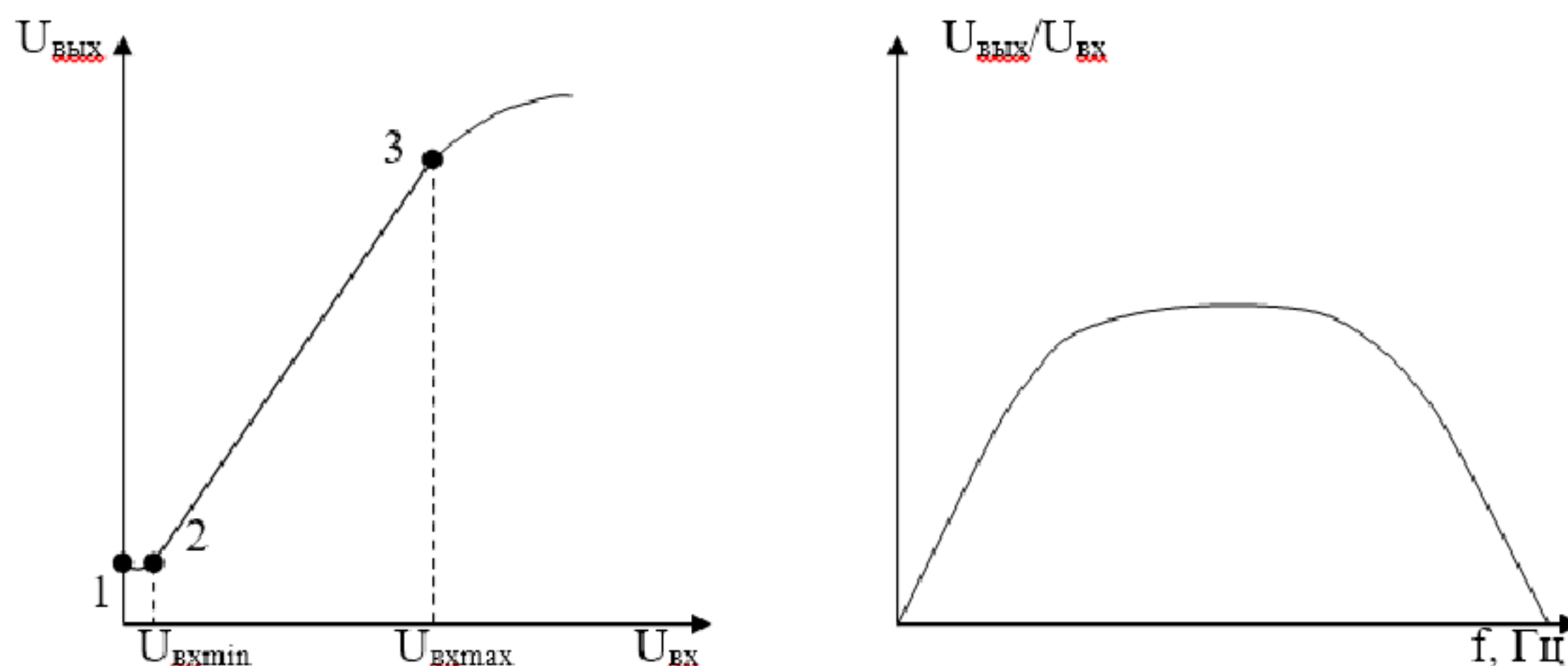


Рисунок 5.4

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) представляет зависимость отношения амплитуд выходного и входного сигналов от частоты усиливаемого сигнала. Для рассматриваемой схемы усилительного каскада она имеет вид, изображённый на рис. 5.5. Фазо-частотная характеристика отражает зависимость фазового сдвига между выходным и входным синусоидальными сигналами от частоты.

В ряде случаев важное значение имеют такие параметры усилителя, как входное $R_{вх}$ и выходное $R_{вых}$ сопротивления. Эти сопротивления для собранного каскада нетрудно определить опытным путём.

Напряжение на выходе усилителя определяется через напряжение на входе и коэффициент усиления:

$$U_{вых1} = K_U U_{вх}$$

при этом

$$I_6 = U_{вх}/R_{вх}.$$

Если, не изменяя входного напряжения, в цепь базы включить добавочное сопротивление $R_{доб}$, то ток базы будет:

$$I_6 = U_{вх}/(R_{вх} + R_{доб}),$$

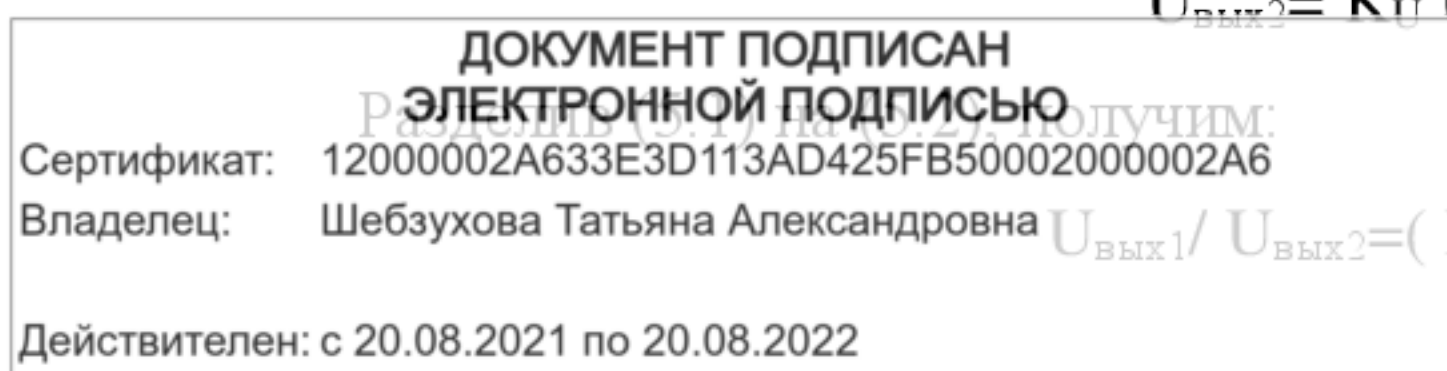
а напряжение в цепи эмиттер – база (исключая добавочное сопротивление) будет равно:

$$I_6 R_{вх} = U_{вх} R_{вх}/(R_{вх} + R_{доб}),$$

при этом напряжение на выходе усилителя уменьшится и станет равным

$$U_{вых2} = K_U U_{вх} R_{вх}/(R_{вх} + R_{доб})$$

$$U_{вых1}/U_{вых2} = (R_{вх} + R_{доб})/R_{вх}, \text{ откуда}$$



$$R_{вх} = R_{доб} U_{вых2} / (U_{вых1} - U_{вых2}) \quad (5.3).$$

Таким образом, включив в разрыв цепи входного сигнала (точка «а» на рис.5.1) добавочное сопротивление и измерив напряжения на выходе усилителя до и после его включения при неизменном входном сигнале, входное сопротивление можно вычислить по формуле (3).

Для определения выходного сопротивления необходимо при некотором входном сигнале измерить напряжение $U_{вых1}$ при отсутствии нагрузки. Это напряжение:

$$U_{вых1} = K_U U_{вх} \quad (5.4).$$

Затем, не изменяя входного сигнала, на выход усилителя включить сопротивление нагрузки R_n . При этом напряжение на выходе уменьшится и станет равным $U_{вых2} = K_U U_{вх} - I_{вых} R_{вых}$, но $I_{вых} = U_{вых2} / R_n$, поэтому

$$U_{вых2} = K_U U_{вх} - U_{вых2} R_{вых} / R_n, \text{ далее, используя (5.4), имеем:}$$

$$U_{вых2} = U_{вых1} - U_{вых2} R_{вых} / R_n, \text{ откуда}$$

$$R_{вых} = R_n (U_{вых1} / U_{вых2} - 1) \quad (5.5).$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо выполнить следующее:

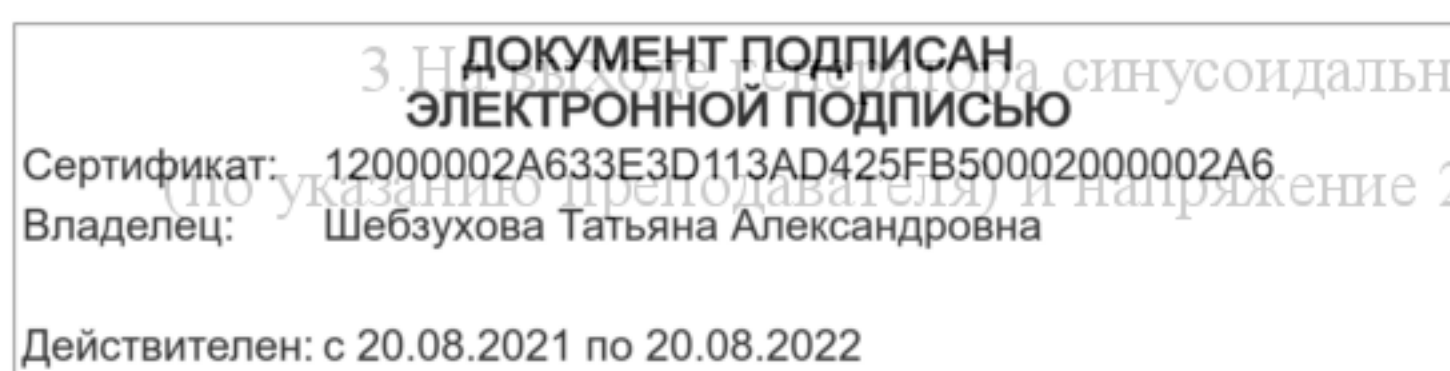
- собрав схему усилителя, установить начальную рабочую точку;
- снять амплитудную характеристику каскада, определить его коэффициент усиления по напряжению и динамический диапазон;
- проанализировать влияние на амплитудную характеристику и, соответственно, на коэффициент усиления по напряжению наличия конденсатора в цепи эмиттера и величины сопротивления в цепи коллектора при неизменном сопротивлении нагрузки;
- определить входное и выходное сопротивления каскада;
- снять амплитудно-частотную характеристику каскада.

Порядок выполнения работы следующий:

1. Изучить основные теоретические положения.

2. Собрать схему, изображенную на рис. 5.1, приняв $R_K = 470 \text{ Ом}$.

3. На вход усилителя подать синусоидальное напряжение установить частоту 2...5 кГц (по указанию преподавателя) и напряжение 2 В, при этом напряжение на входе усилителя



будет 0,2 В. Потенциометром смещения напряжения на базе установить максимальное выходное напряжение усилителя. Сигнал выходного напряжения подать на осциллограф и дополнительной настройкой смещения добиться формы выходного сигнала, наиболее близкой к синусоидальной. В дальнейшем, при выполнении лабораторной работы положение потенциометра смещения не изменять.

4. Отключить напряжение входного сигнала. Одним из мультиметров измерить постоянное напряжение между коллектором и эмиттером и ток в цепи коллектора, включив амперметр вместо перемычки «П». Координаты полученной рабочей точки нанести на график выходных характеристик транзистора, полученный при выполнении предыдущей лабораторной работы и провести линию нагрузки по постоянному току.

5. В цепь нагрузки включить сопротивление 470 Ом. Не подавая входного сигнала, измерить напряжение на нагрузке. Подать входной сигнал, и при постоянной частоте, изменяя его амплитуду, записать в таблицу 5.1 значения выходного напряжения. Вычислить значения коэффициента усиления по напряжению.

Таблица 5.1.

$U_{вх}, В$		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
С конденсатором C_3	$U_{вых}, В$								
	K_U								
Без конденсатора C_3	$U_{вых}, В$								
	K_U								

По результатам замеров построить амплитудную характеристику и определить динамический диапазон усиления.

6. Убрать из схемы конденсатор C_3 и повторить испытания аналогично п.5.

7. Конденсатор C_3 установить на прежнее место, на вход усилителя подать напряжение 0.2 В. Устанавливая значения сопротивления R_k , указанные в таблице 5.2, записать в таблицу значения выходного напряжения, вычислить и также записать в таблицу значения K_U .

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Таблица 5.2.

R_k , Ом	150	220	330	470	660	1000
$U_{\text{вых}}$, В						
K_U						

8. Установить входное напряжение 0.2 В. Устанавливая значения частоты входного сигнала, указанные в таблице 5.3, и не меняя амплитуду входного напряжения, записать в таблицу значения выходного напряжения. По результатам замеров построить АЧХ.

Таблица 5.3.

f , кГц	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,8	12	15	20
$U_{\text{вых}}$, В									
$U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$									

9. При $R_n = 0$ и входном напряжении 0,2 В замерить напряжение $U_{\text{вых1}}$. В цепь базы (точка «а» на рис. 5.1) включить добавочное сопротивление 330 Ом, при том же значении входного напряжения замерить $U_{\text{вых2}}$. По формуле (3) вычислить входное сопротивление усилителя.

10. Исключить добавочное сопротивление из цепи базы. Замерить выходное напряжение усилителя $U_{\text{вых1}}$ при отсутствии нагрузки на его выходе. Включив сопротивление нагрузки 470 Ом при $R_k = 470$ Ом и при прежнем входном сигнале измерить $U_{\text{вых2}}$. По формуле (5) вычислить входное сопротивление усилителя.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;

7. В ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под начальной рабочей точкой усилителя?
2. Как зависит режим работы усилителя от положения НРТ?
3. Чем обеспечивается положение НРТ в рассматриваемом усилителе?
4. Какую роль выполняет сопротивление в цепи эмиттера?
5. Для чего сопротивление в цепи эмиттера шунтируют конденсатором?
6. Какую роль выполняют конденсаторы в цепи базы и на выходе усилителя?
7. Как построить линию нагрузки усилителя по постоянному току?
8. Объясните схему замещения усилителя по переменному току.
9. Каким сопротивлением определяется наклон линии нагрузки усилителя по переменному току?
10. Что понимают под амплитудной характеристикой усилителя?
11. Что представляют собой амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики усилителя?
12. Что называют динамическим диапазоном усилителя?
13. От чего зависит величина коэффициентов усиления усилителя?
14. Как опытным путём определить величину входного и выходного сопротивлений усилителя?
15. Как изменится коэффициент усиления усилителя, если сопротивление в цепи эмиттера не шунтировать конденсатором?
16. Как коэффициент усиления усилителя зависит от сопротивления в цепи коллектора?
17. Объясните, почему выходной сигнал усилителя отличается от входного по фазе на 180° ?

Лабораторная работа №6. Усилитель на полевом транзисторе

Цель работы: Исследовать работу усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком, снять его амплитудную и амплитудно-частотную характеристики, определить входное и выходное сопротивления.

Основы теории:

Схема каскада усилителя с общим истоком изображена на рис. 6.1.

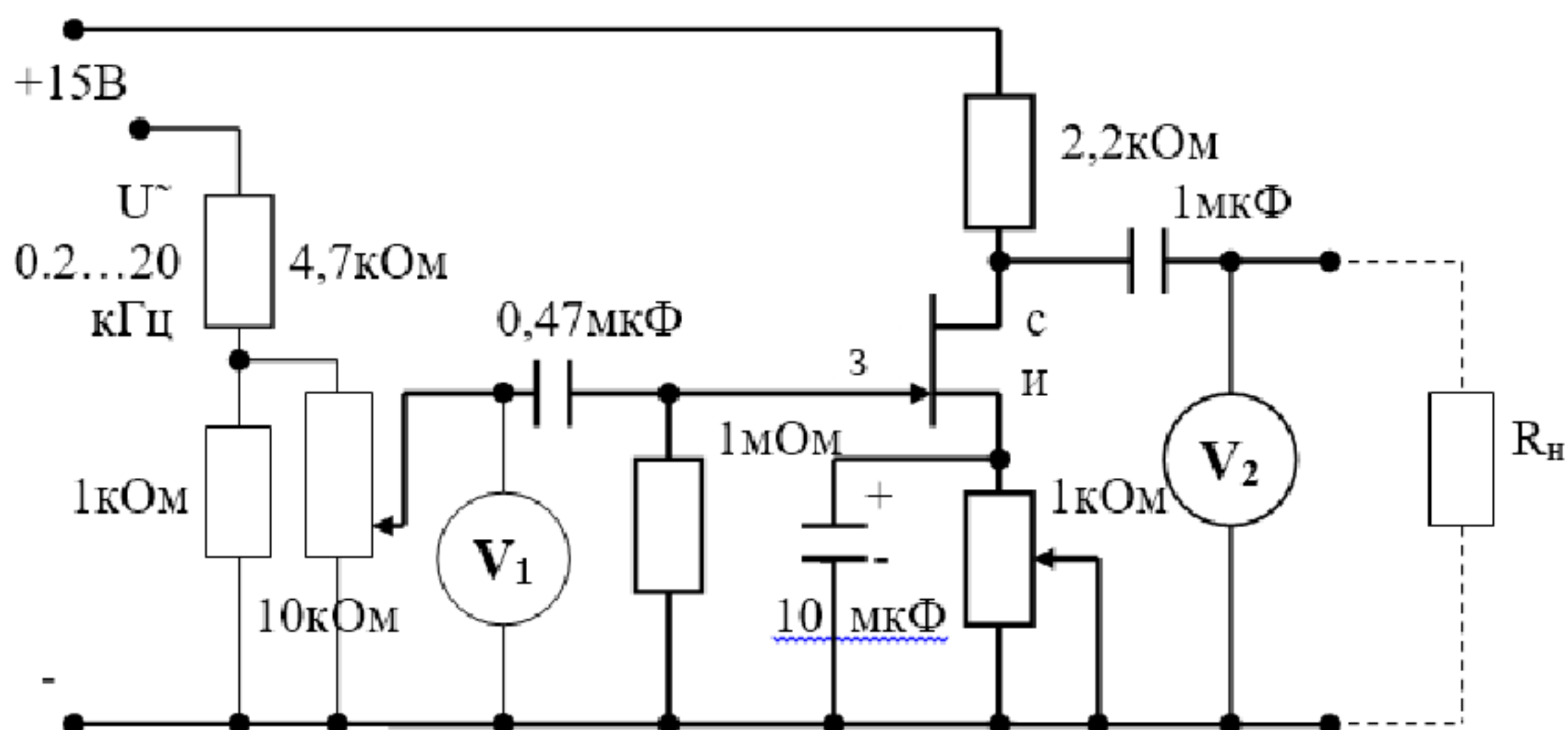


Рисунок 6.1

Питание усилителя осуществляется от источника постоянного напряжения 15В. Входной усиливаемый сигнал подаётся от генератора синусоидального напряжения переменной частоты. Для более плавного изменения амплитуды входного сигнала служит делитель напряжения, состоящий из постоянных резисторов 4,7 и 1 кОм и переменного резистора 10 кОм. Разделительные конденсаторы 0,47 мкФ и 1 мкФ препятствуют прохождению постоянного тока в цепь источника входного сигнала и в цепь нагрузки, в качестве которой в лабораторной работе используется резистор R_H . Для установки начальной рабочей точки транзистора служит сопротивление, включённое в цепь истока, напряжение с которого подаётся на затвор через резистор 1 мОм. Начальная рабочая точка устанавливается в средней части линейного участка стокзатворной характеристики, в этом случае усиливаются как положительные, так и отрицательные полуволны входного сигнала при минимальных нелинейных искажениях. Конденсатор в цепи истока исключает отрицательную обратную

входной цепи полевого транзистора ток практически отсутствует, коэффициенты усиления по току и по мощности каскада с полевым транзистором обычно не используются, а используется только коэффициент усиления по напряжению. Из параметров усилителя используются также входное и выходное сопротивления, которые определяют опытным путём по той же методике, что и для усилителей с биполярными транзисторами.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

При выполнении данной лабораторной работы студенты должны собрать схему каскада усилителя на полевом транзисторе с общим истоком, снять амплитудную характеристику в режиме холостого хода и под нагрузкой, вычислить коэффициент усиления по напряжению, снять амплитудно-частотную характеристику, определить входное и выходное сопротивления усилителя.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Собрать схему усилителя (рис. 6.1).
2. На выход усилителя включить осциллограф. При частоте входного сигнала 2 кГц и напряжении 0,5 В изменением сопротивления в цепи истока добиться минимального искажения выходного сигнала.
3. При частоте входного сигнала, заданной преподавателем, снять амплитудную характеристику в режиме холостого хода. При значениях входного напряжения, указанных в таблице 6.1, замерить и внести в таблицу величину выходного напряжения и вычисленные значения коэффициента усиления по напряжению.
4. То же проделать, включив на выход усилителя сопротивление нагрузки, заданное преподавателем.

Таблица 6.1.

U _{вх} , В		0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
При R _н =0	U _{вых}													
	K _U													
При R_н=R_н ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022														

5. Снять амплитудно-частотную характеристику при напряжении входного сигнала 0,5 В и при частотах, указанных в таблице 6.2, измеренные значения выходного напряжения и вычисленные значения коэффициента усиления занести в таблицу.

Таблица 6.2.

f, кГц	0.2	0.4	0.8	1	2	4	8	12	15	18	20
U _{вых} , В											
K _U											

6. Для определения входного сопротивления измерить выходное напряжение U₁ в режиме холостого хода при заданной преподавателем частоте и при напряжении входного сигнала 0,5 В. Во входную цепь последовательно с разделительным конденсатором включить сопротивление R_{доб}=10 кОм и измерить напряжение на выходе U₂. Входное сопротивление вычислить по формуле:

$$R_{вх} = R_{доб} / (U_1 / U_2 - 1).$$

7. Исключить из схемы добавочное сопротивление. Включить сопротивление нагрузки 10 кОм, и при тех же значениях частоты и входного напряжения измерить напряжение U₃ на выходе усилителя. Выходное сопротивление усилителя вычислить по формуле:

$$R_{вых} = R_n (U_1 / U_3 - 1).$$

8. Построить графики амплитудных и амплитудно-частотной характеристик.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

1. Объясните назначение элементов каскада усилителя.

2. Как установить положение начальной рабочей точки, чтобы получить минимальные нелинейные искажения усиленного сигнала?
3. Что представляет собой амплитудная характеристика усилителя? Как её получить?
4. Как амплитудная характеристика усилителя зависит от нагрузки?
5. Что представляет собой амплитудно-частотная характеристика усилителя? Как её получить?
6. Как определяют входное сопротивление усилителя?
7. Как определяют выходное сопротивление усилителя?

Лабораторная работа №7. Тиристор

Цель работы: Исследовать процессы отпирания и запираания тиристора, снять статические вольтамперные характеристики цепи управления и анодной цепи.

Основы теории:

Тиристор – это полупроводниковый прибор, имеющий четырёхслойную структуру и три рп-перехода. У тиристора имеется три электрода, два из которых подсоединены к крайним слоям – это анод и катод, третий электрод подсоединён к одному из средних слоёв – это управляющий электрод.

Если при отключённом управляющем электроде между анодом и катодом подать напряжение и его постепенно увеличивать, то до некоторого его значения сопротивление тиристора будет оставаться очень высоким и ток через него будет практически отсутствовать, затем сопротивление тиристора резко упадёт, и падение напряжения на нём составит не более двух вольт, тиристор откроется. Однако открывания тиристора повышением анодного напряжения следует избегать, т.к. при этом может произойти его разрушение. Открывают тиристор подачей напряжения на управляющий электрод. После снятия напряжения с управляющего электрода тиристор остаётся в открытом состоянии. Чтобы тиристор закрылся, анодное напряжение необходимо кратковременно снять, либо, увеличивая сопротивление в цепи анод-катод, снизить ток ниже так называемого тока удержания.

Описанные свойства тиристора используют в таких устройствах, как управляемые выпрямители, инверторы, частотные преобразователи, пусковые аппараты и др.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Данная лабораторная работа включает в себя снятие вольтамперной характеристики цепи управления, определение тока удержания тиристора и испытание способа отключения тиристора шунтированием цепи анод-катод ёмкостью.

Порядок выполнения работы следующий.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

1. Собрать схему, изображённую на рис. 7.1.
2. Собрать схему, изображённую на рис. 7.1.

3. На мультиметрах установить предел измерения тока 2 мА и напряжения 20 В. Увеличивая потенциометром напряжение $U_{ук}$, измерить и занести в таблицу 7.1 значения тока управления I_y . Заметить ток, при котором тиристор открывается (при открывании тиристора загорается лампочка).

4. Постепенно снижая напряжение $U_{ук}$ до нуля, измерить и занести в таблицу значения тока I_y . Убедиться, что при снижении тока управления до нуля тиристор остаётся открытым.

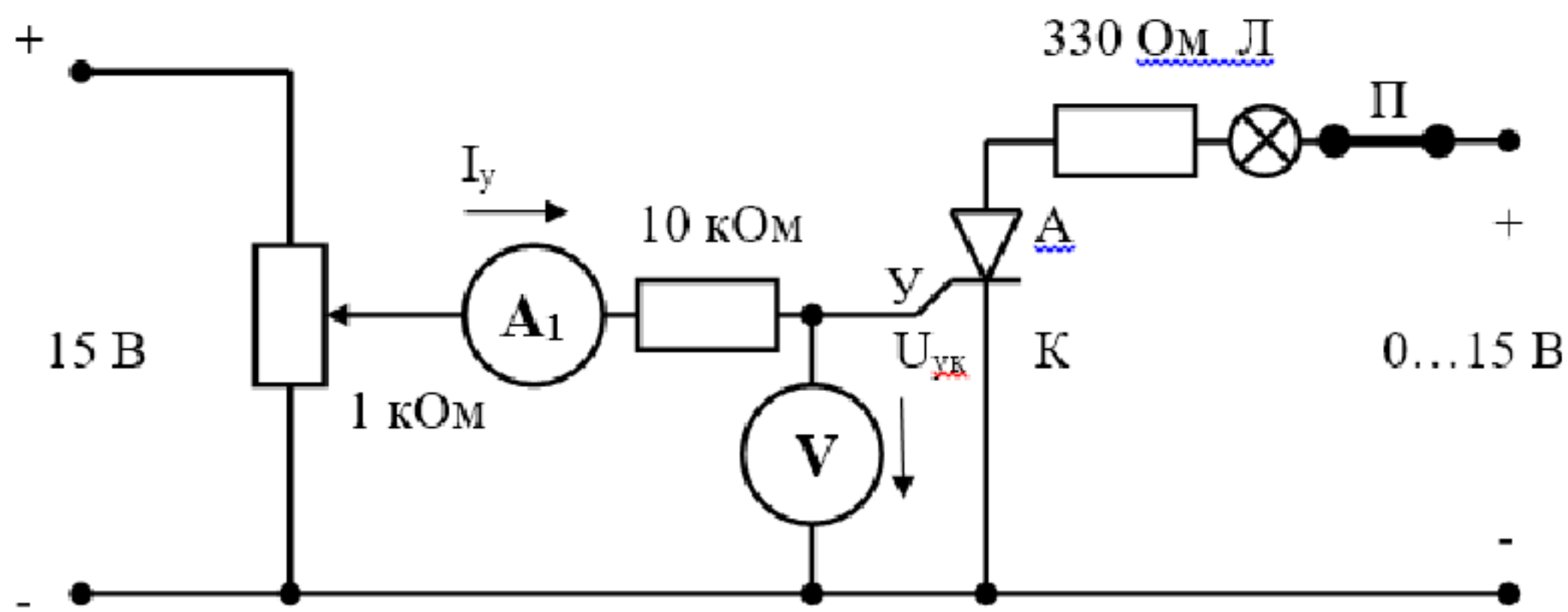


Рисунок 7.1

Таблица 7.1.

$U_{ук}, В$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
$I_y \uparrow, мА$								
$I_y \downarrow, мА$								

5. Построить график зависимости $I_y = f(U_{ук})$.
6. Для определения тока удержания переключку Π и амперметр поменять местами, переключить шкалу амперметра на 200 мА. Увеличив ток управления, открыть тиристор. Плавное уменьшение напряжения в анодной цепи до тех пор, пока ток скачком не упадёт до нуля. Последнее наименьшее значение тока и есть ток удержания. Запишите его значение.
7. Отключить источники питания, собранную схему дополнить схемой, изображённой на рис. 7.2 жирными линиями.

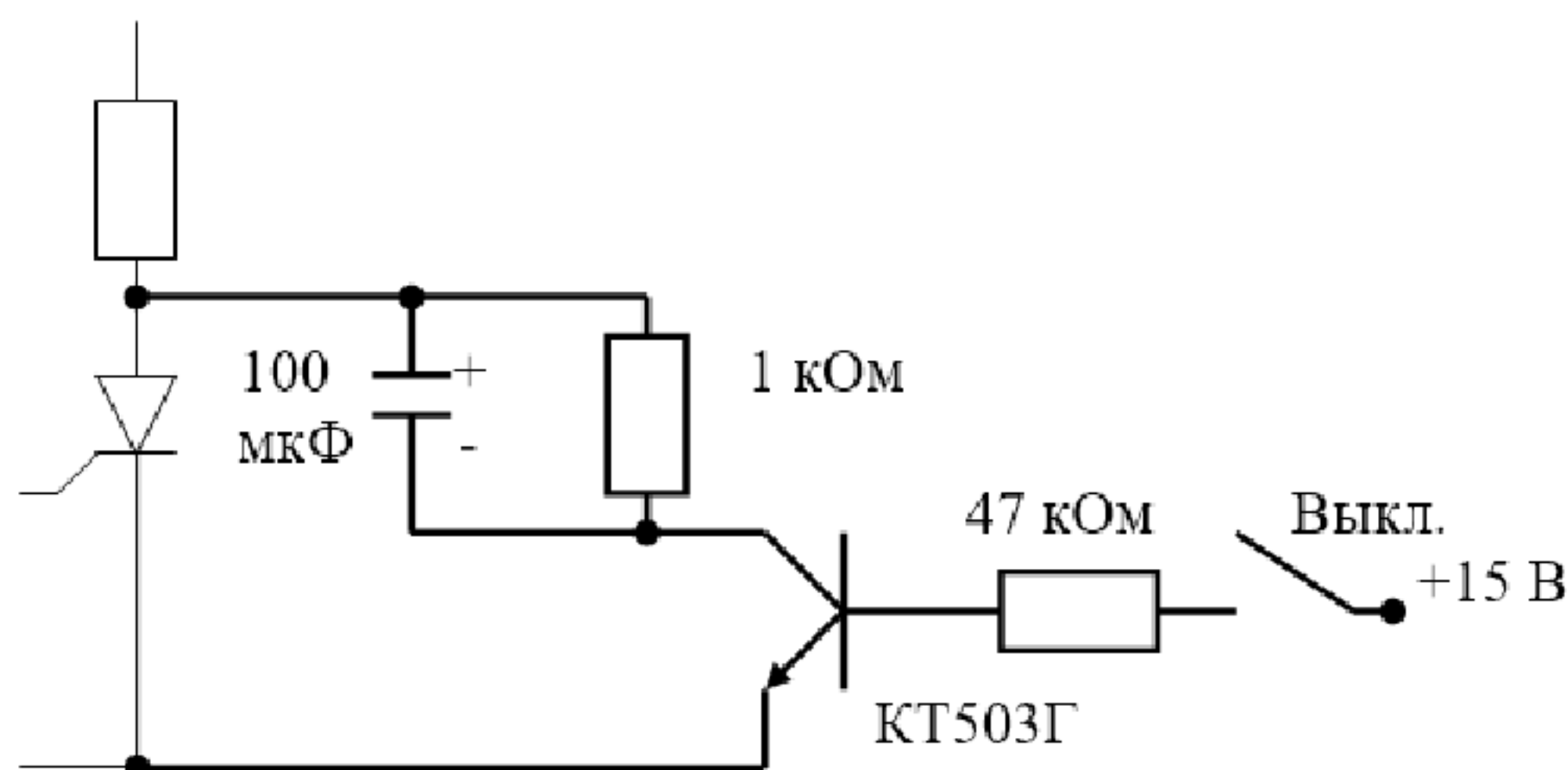


Рисунок 7.2

8. Подать на схему напряжение питания, в анодной цепи тиристора установить наибольшее напряжение, увеличивая ток управления, открыть тиристор. Уменьшить ток управления до нуля, при этом тиристор останется открытым. Кратковременно замкнуть выключатель, убедиться в том, что при включении выключателя тиристор отключается. Описанные действия повторить 2 – 3 раза. При замыкании выключателя сопротивление транзистора уменьшается до незначительной величины, в результате чего тиристор оказывается шунтированным конденсатором, напряжение на котором (а, следовательно, и на тиристоре) согласно законам коммутации в первый момент после замыкания цепи равно нулю. Этого кратковременного падения напряжения на тиристоре достаточно для его запираания.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

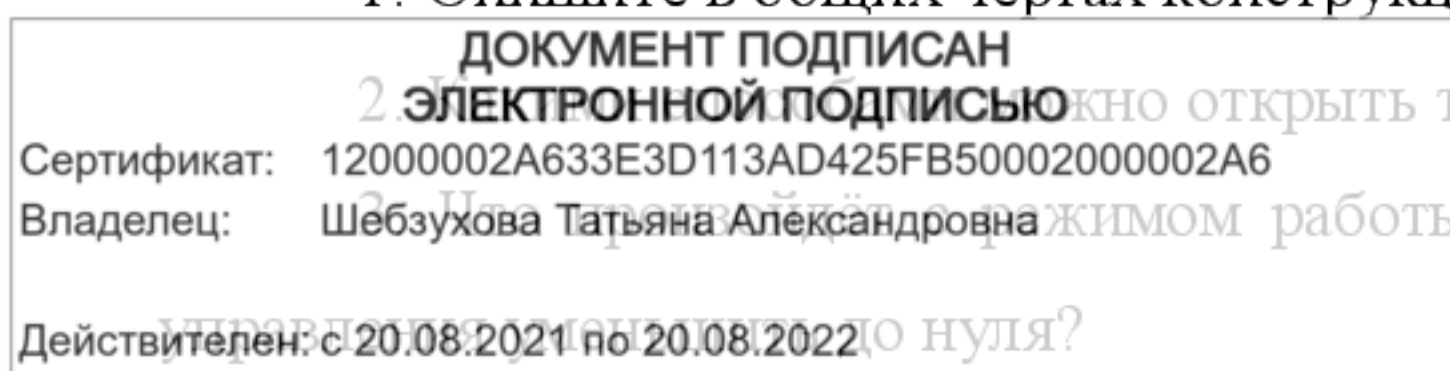
Контрольные вопросы:

1. Опишите в общих чертах конструкцию тиристора.

2. Как можно открыть тиристор?

3. Как работает тиристор, если после его открывания ток

- управления уменьшен до нуля?



4. Какими способами можно закрыть тиристор?
5. Что понимают под током удержания тиристора?
6. Поясните работу схемы запираания тиристора путём его шунтирования конденсатором.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Лабораторная работа №8. Тиристорный регулятор тока

Цель работы: Исследовать работу тиристорного регулятора выпрямленного тока с фазным управлением.

Основы теории:

Схема тиристорного регулятора выпрямленного тока с фазным способом управления представлена на рис. 8.1.

Переменное напряжение частотой 50 Гц, выпрямленное диодным мостиком Д1 – Д4, подаётся на зажимы цепи, состоящей из лампочки Л, нагрузочного сопротивления 220 Ом и тиристора Т. Остальные элементы представляют схему генератора импульсов, предназначенного для фазового управления тиристором. При фазовом способе управления на управляющий электрод тиристора подаются короткие импульсы напряжения, отпирающие тиристор в определённой точке приложенного напряжения. Запирается тиристор при снижении полуволны выпрямленного напряжения до нуля. Среднее значение тока, протекающего через нагрузочное сопротивление, определяется положением отпирающего импульса относительно начала полуволны выпрямленного напряжения, иначе – углом фазового сдвига отпирающего импульса.

Генератор импульсов выполнен на однопереходном транзисторе ТО. При подаче полуволны напряжения на анод запертого тиристора Т конденсатор заряжается через сопротивления R_1 , $R_п$ и R_2 . Как только напряжение заряда достигнет величины, достаточной для отпирания транзистора ТО, транзистор отпирается и конденсатор разряжается по цепи эмиттер – база – управляющий электрод тиристора.

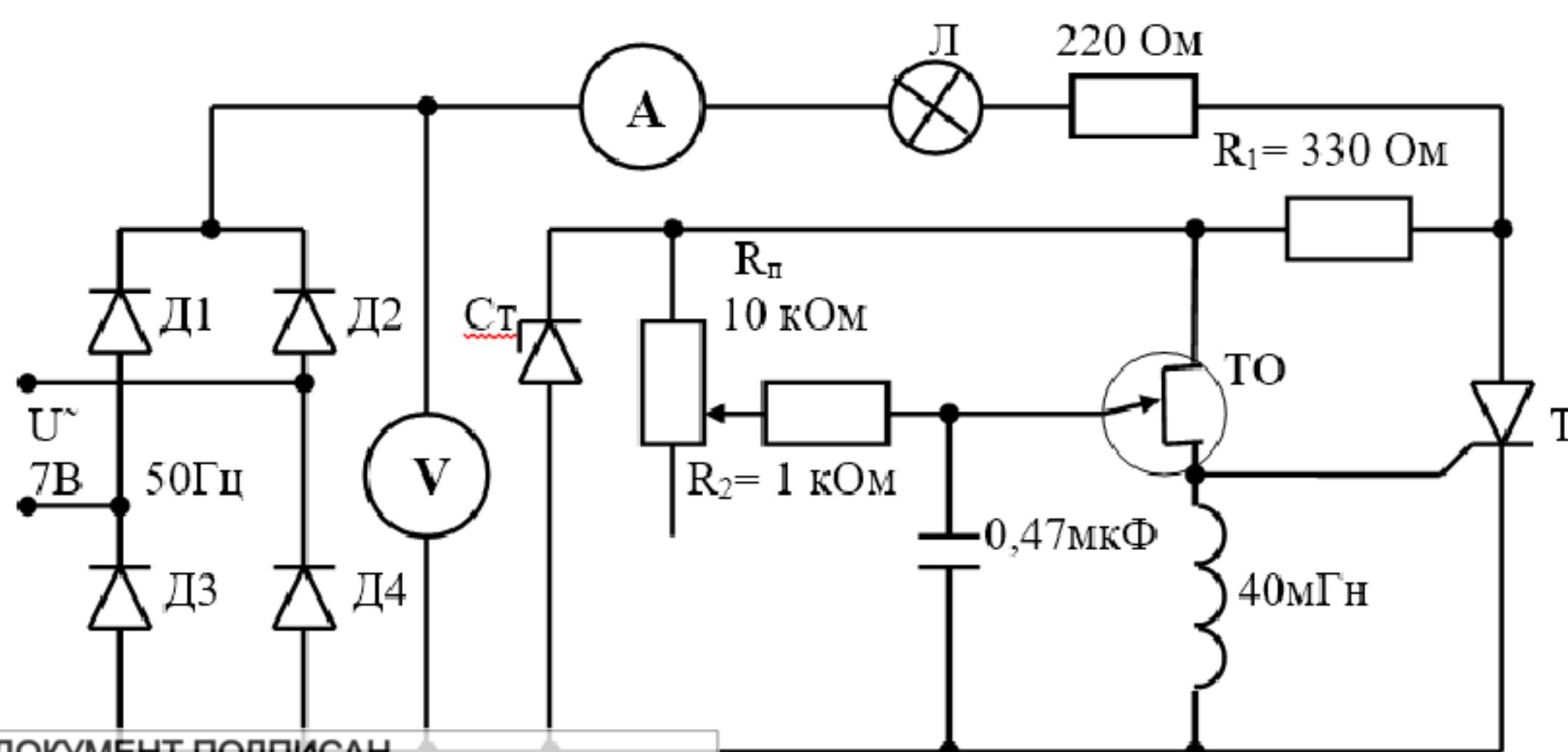


Рисунок 8.1

Тиристор отпирается, создаёт цепь для протекания тока через нагрузку и одновременно шунтирует генератор импульсов. Таким образом, пока тиристор открыт, конденсатор остаётся разряженным. В конце полуволны выпрямленного напряжения тиристор закрывается. Скорость заряда конденсатора и, следовательно, задержка подачи отпирающего импульса по отношению к моменту подачи положительного напряжения на анод тиристора регулируется потенциометром R_p . Индуктивность в цепи базы транзистора предназначена для более чёткого его запираения.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В процессе выполнения данной лабораторной работы необходимо собрать схему тиристорного регулятора тока, опробовать её работу при разных углах отпирания, пронаблюдать на осциллографе кривую изменения напряжения на сопротивлении нагрузки.

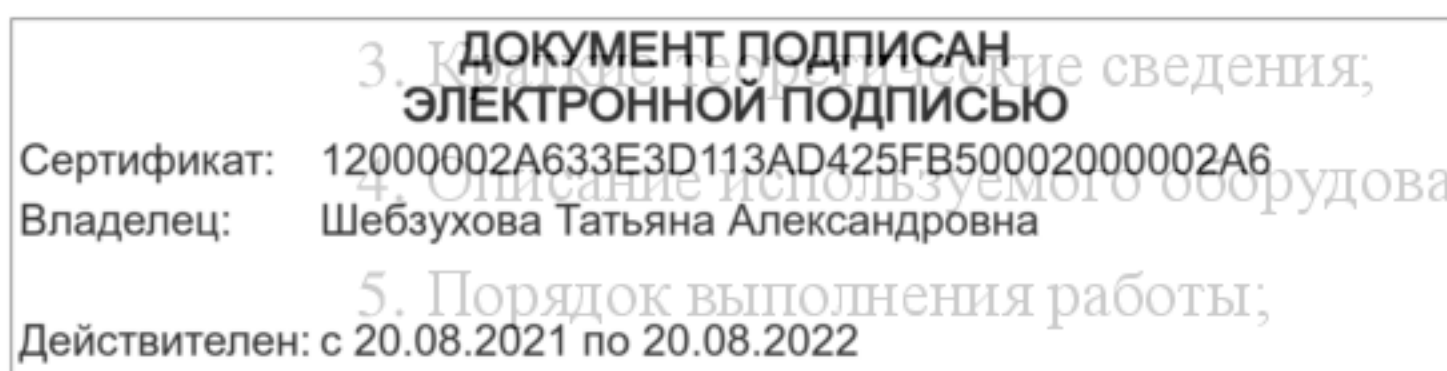
Порядок выполнения работы следующий.

1. Соберите схему, изображённую на рис. 8.1. Установите на мультиметрах предел изменения напряжения 20 В и предел тока – 200 мА, род тока – постоянный. Подайте напряжение питания 7 В, 50 Гц.
2. Вращая рукоятку потенциометра, зафиксируйте минимальное и максимальное значения тока в цепи нагрузки.
3. Замените конденсатор ёмкостью 0,47 мкФ на конденсатор 0,1 мкФ. Зафиксируйте новые значения минимального и максимального напряжений.
4. Подключите на зажимы сопротивления нагрузки осциллограф, пронаблюдайте и зарисуйте кривые изменения напряжения на нагрузке при разных углах отпирания тиристора.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;



6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Как выглядит фазовый способ управления тиристором?
2. В результате чего запирается тиристор в схеме регулирования величины выпрямленного тока?
3. От чего зависит время задержки управляющего импульса?
4. Опишите работу генератора импульсов.
5. Что называют углом отпирания тиристора?
6. Как изменяется ток в цепи нагрузки при увеличении угла отпирания тиристора?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Лабораторная работа №9. Тиристорный регулятор напряжения

Цель работы: Изучить принципы регулирования напряжения с использованием полупроводниковых приборов; снять регулировочную и нагрузочную характеристики регулятора напряжения.

Основы теории:

Для управления многими технологическими процессами требуется изменять величину напряжения, подводимого к электроустановке. Такими электроустановками могут быть электронагреватели, двигатели и др. Для регулирования величины напряжения широко применяют тиристоры и симисторы, к.п.д. которых очень высок благодаря тому, что в процессе работы они находятся либо в полностью открытом, либо в полностью закрытом состоянии. Регулирование величины напряжения переменного тока с помощью тиристоров или симисторов можно производить двумя методами. Первый метод – метод фазового управления, при котором величина управляющего сигнала определяет фазу открытия полупроводникового прибора (см. рис. 1). Второй метод – метод, при котором величина управляющего сигнала определяет число пропускаемых в единицу времени к нагрузке целых полупериодов напряжения (рис. 2).

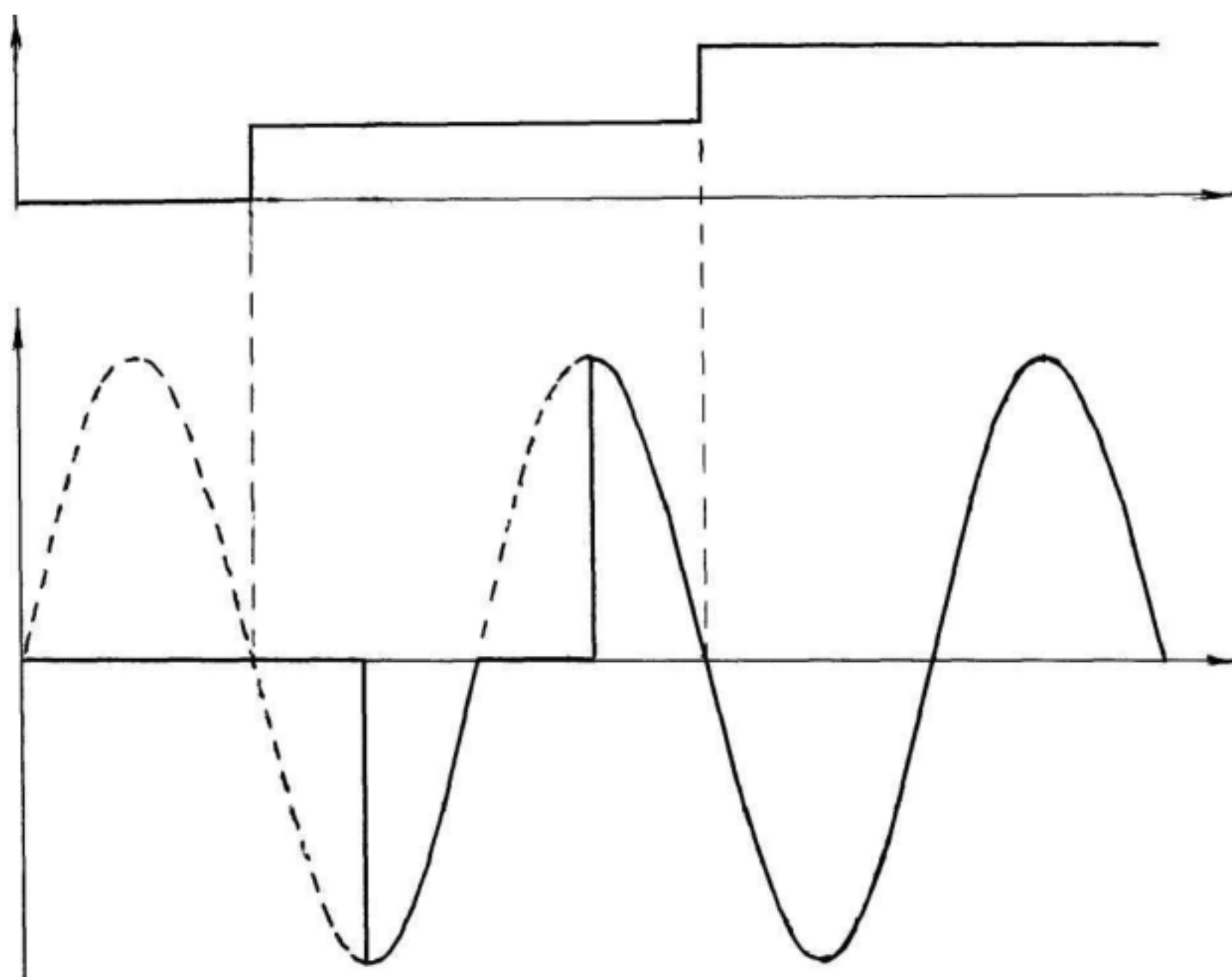


Рисунок 9.1

При использовании обоих методов действующее и среднее значения выходного напряжения пропорциональны управляющему сигналу.

При использовании фазного метода пульсации напряжения на выходе преобразователя значительно ниже, чем при втором методе. Вместе с тем, при фазном методе управления регулятор напряжения является источником высших гармоник тока, которые отрицательно сказываются на работе систем электроснабжения. В связи с этим при значительных мощностях желательно, там где это возможно, использовать метод регулирования напряжения изменением числа проводящих полупериодов в единицу времени.

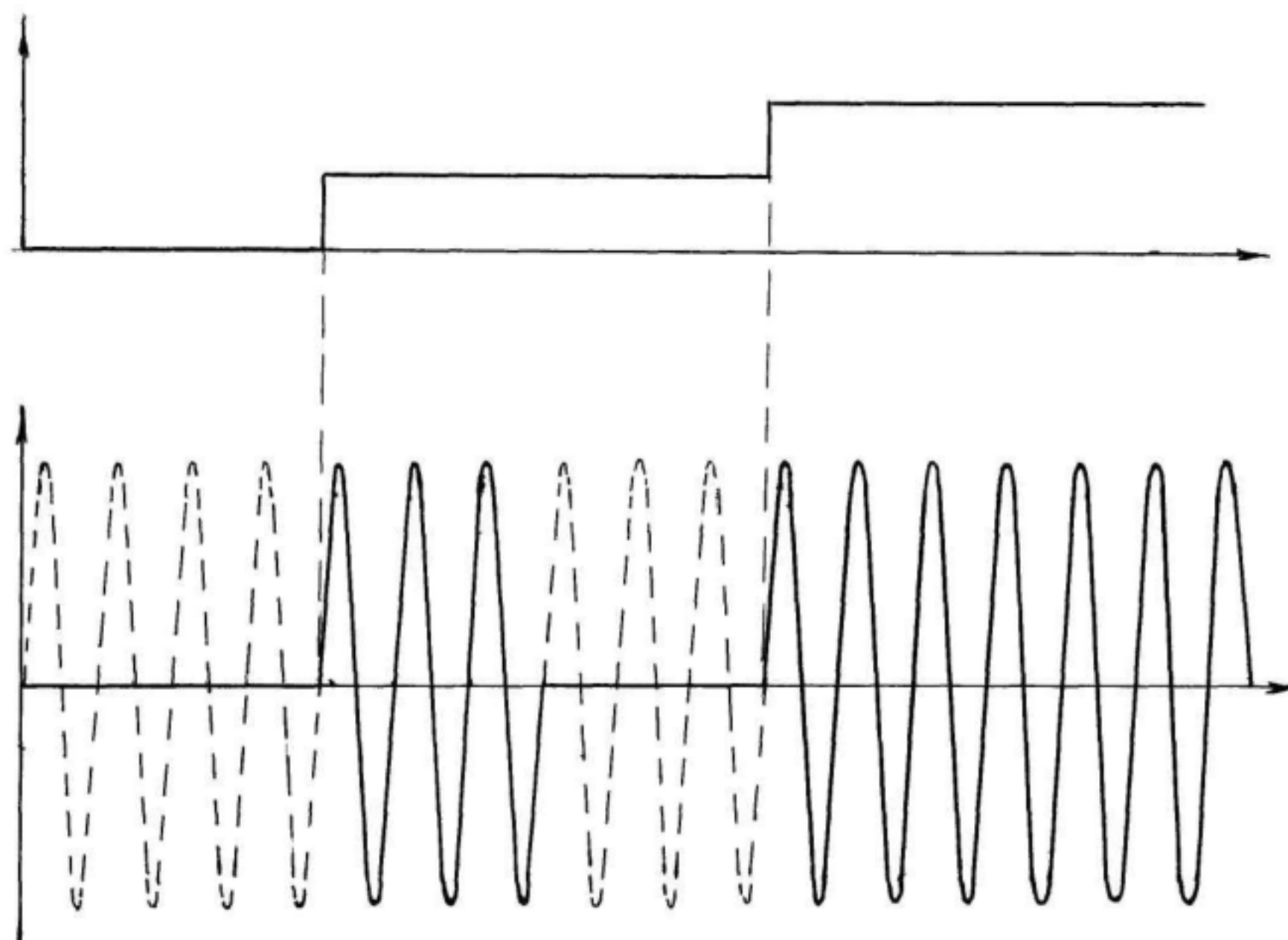


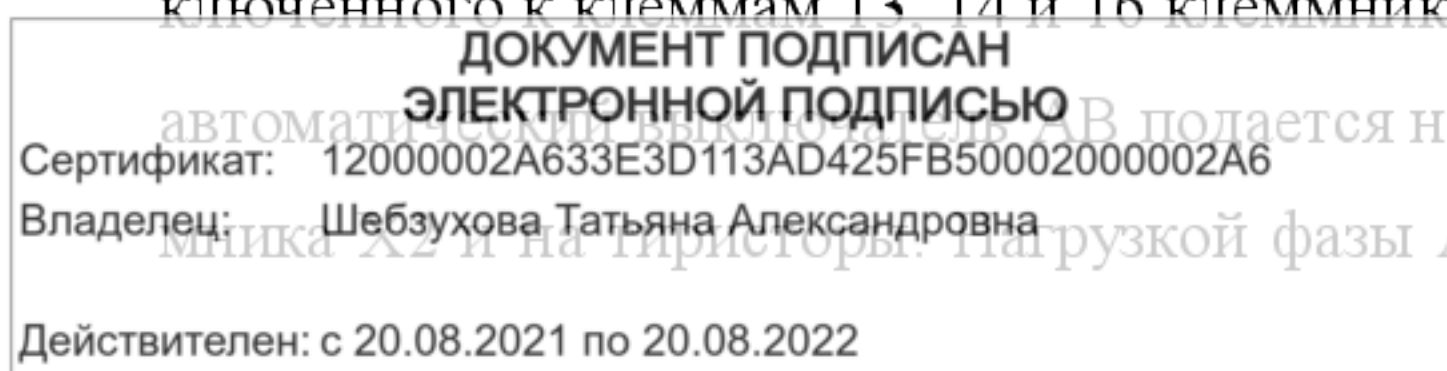
Рисунок 9.2

В лабораторной работе необходимо снять две характеристики:

- регулировочную, представляющую собой зависимость выходного напряжения регулятора от управляющего напряжения при постоянной нагрузке;
- нагрузочную, представляющую собой зависимость напряжения на нагрузке от тока нагрузки при постоянном управляющем сигнале.

Лабораторная установка состоит из блока управления тиристорами (БУСТ), тиристоров, включенных встречно-параллельно в цепь нагрузки каждой фазы, нагрузочного устройства, состоящего из ламп накаливания и задающего потенциометра. Схема лабораторной установки представлена на рис. 3.

Напряжение управления U_y устанавливается с помощью потенциометра 10кОм, подключенного к клеммам 13, 14 и 16 клеммника X1. Трехфазное напряжение 380/220В через автоматический выключатель АВ подается на клеммы 1, 3, 5 клеммника X1, 10, 6, 2 клеммника X2 и на тиристоры. Нагрузкой фазы А является группа ламп накаливания. В цепи



фаз В и С в данной лабораторной работе нагрузка отсутствует. Отсутствуют также трансформаторы тока ТТА, ТТВ и ТТС, которые включают при использовании ограничения токовой нагрузки, величина ограничения тока устанавливается резистором 100кОм. Режим работы БУСТ устанавливают с помощью переключателей S1...S6.

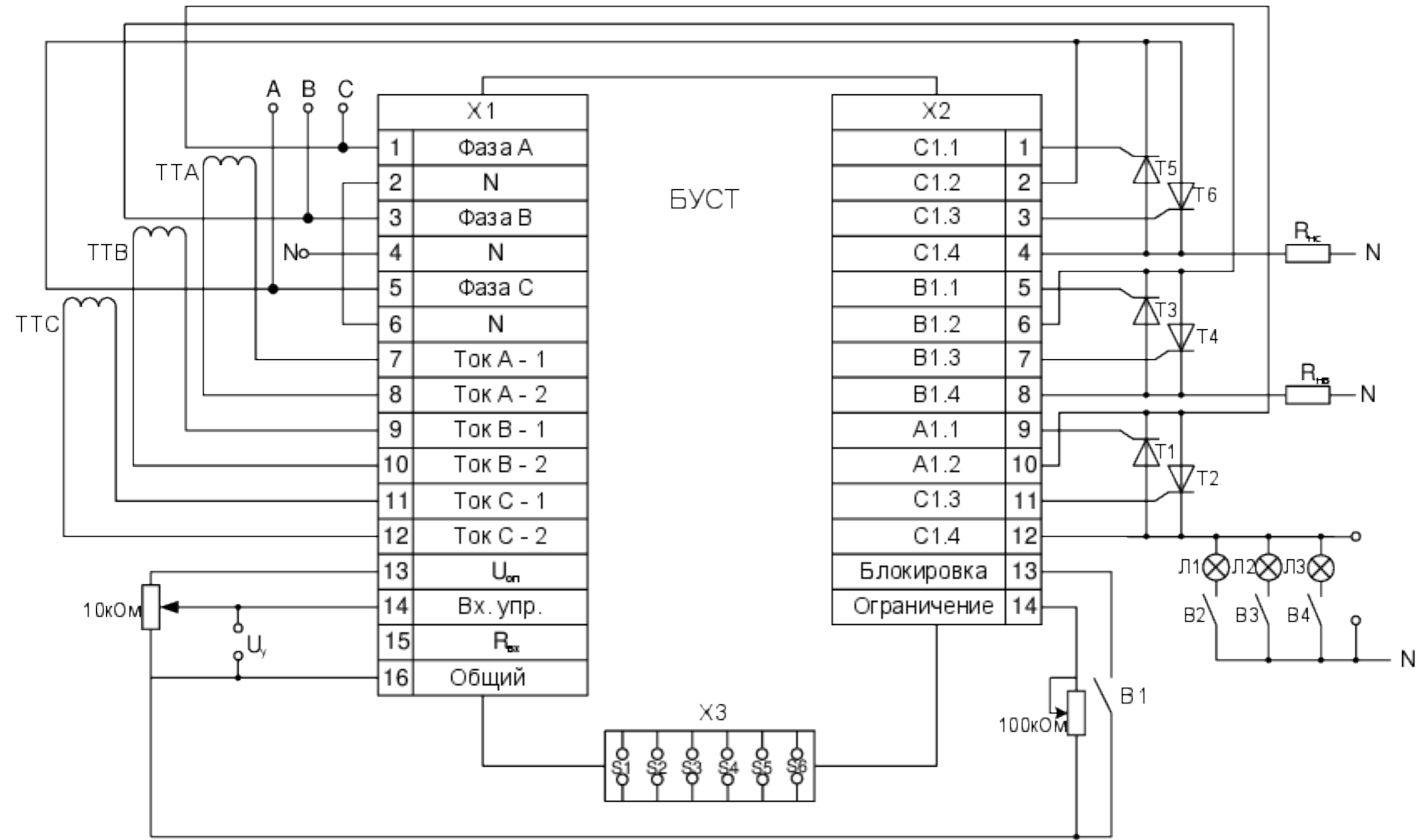


Рисунок 9.3 – Схема лабораторной установки

При установленной переключке S1 регулирование осуществляется по числу полупериодов, при снятой – фазный способ управления.

Переключку S2 устанавливают при наличии контроля тока с помощью трансформаторов тока.

Переключку S3 устанавливают при использовании блока управления в режиме «работа».

Переключки S4 и S5 устанавливают при использовании фаз В и С.

Переключку S6 устанавливают при использовании входного управляющего сигнала 4...20мА, при остальных управляющих сигналах ее необходимо снять.

Для индикации уровня управляющего сигнала в приборе имеется де-сять светодиодов.

Блок управления обеспечивает плавный выход на заданный уровень мощности примерно за 5 секунд.

Уровень токовой защиты настраивается переменным резистором 100кОм, включен-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

формирователя импульсов, при его замкнутом состоянии напряжение на выходе регулятора отсутствует.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1. На клеммы задающего потенциометра 10кОм подключить вольтметр постоянного тока, установив предел изменения 20В.
2. В цепь нагрузки (фаза А на выходе регулятора – лампы накаливания) включить амперметр переменного тока с пределом измерения 2А.
3. На клеммы нагрузки (фаза А на выходе регулятора – клемма нейтрального провода N) подключить вольтметр переменного тока с верхним пределом измерения не менее 300В.
4. Снять перемычку S1. Подключить часть или всю нагрузку. После проверки подключения приборов преподавателем подать напряжение, включив автоматический выключатель по фазе А.
5. Устанавливая задающим потенциометром 5 – 6 значений напряжения на входе регулятора, снять показания вольтметра, подключенного на выход регулятора напряжения. Значения напряжений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

U _y , В								
U _{вых} , В	без перемычки S ₁							
	с перемычкой S ₁							

6. Установить перемычку S1. Повторить испытания п.5.

7. При снятой перемычке S1 и при отсутствии нагрузки задающим потенциометром установить напряжение на выходе в пределах 100...200В. Не изменяя задающего напряжения, включением ламп установить несколько значений нагрузки вплоть до максимальной. При каждом значении нагрузки показания амперметра и вольтметра, подключенного к лампам, занести в таблицу 2.

Таблица 2.

I _n , А								
U _{вых} , В	без перемычки S ₁							
	с перемычкой S ₁							

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

8. Испытания, описанные в п.7, повторить при установленной перемычке S1.
9. Снять напряжение, отключив автоматический выключатель. После проверки преподавателем результатов измерения отключить измерительные приборы.

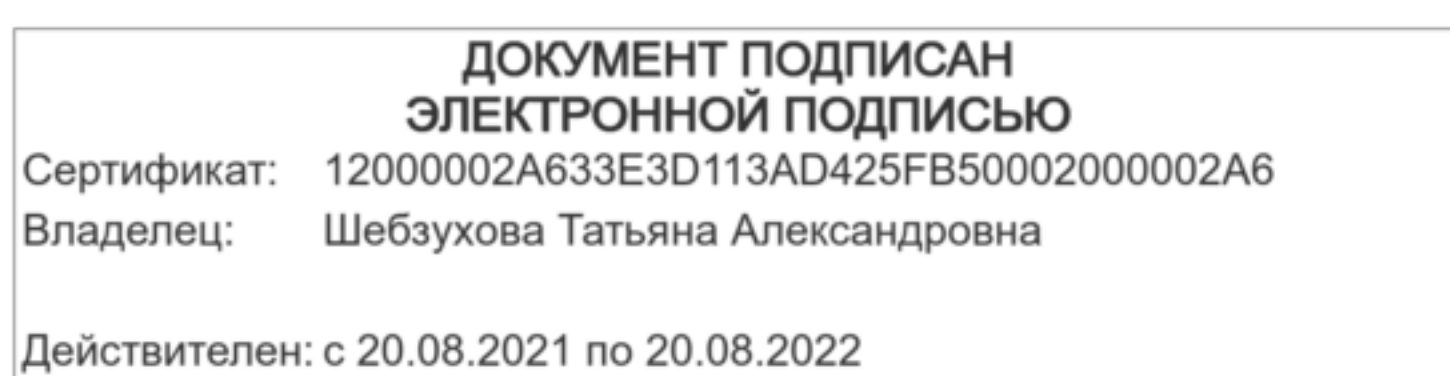
Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Чем объясняются малые потери мощности при регулировании напряжения с помощью тиристоров и симисторов?
2. Опишите два способа регулирования напряжения с помощью тиристоров.
3. Каковы достоинства и недостатки фазового способа регулирования напряжения?
4. Каковы достоинства и недостатки регулирования напряжения числом открываемых периодов?
5. Что понимают под регулировочной характеристикой регулятора напряжения?
6. Что понимают под нагрузочной характеристикой регулятора напряжения?
7. Как изменить способ регулирования напряжения на БУСТ?
8. Какие изменения в схеме БУСТ необходимо выполнить при подключении трехфазной нагрузки?
9. Какие входные устройства и сигналы можно использовать для регулирования напряжения с помощью БУСТ?



Лабораторная работа №10. Операционный усилитель

Цель работы: Изучить основные свойства операционного усилителя, познакомиться с некоторыми функциями, выполняемыми с помощью операционных усилителей и соответствующими схемами их включения.

Основы теории:

Операционный усилитель (ОУ) – это дифференциальный усилитель постоянного тока с коэффициентом усиления по напряжению $K_U = 10^4 \dots 10^6$. Отличительной особенностью операционных усилителей является их очень высокое входное сопротивление, в связи с чем входной ток усилителей в расчётах обычно принимают равным нулю. Выходное сопротивление операционных усилителей мало, поэтому напряжение на их выходе практически не зависит от нагрузки. В качестве источников питания ОУ используют источники постоянного напряжения обычно со средней точкой. В настоящей лабораторной работе ОУ подключается к источнику питания $\pm 15\text{В}$. Дифференциальный усилитель имеет два входа: прямой, напряжение на котором будем обозначать U^+ , и инверсный, напряжение на котором будем обозначать U^- . Напряжение на выходе ОУ определяется напряжениями на его входах:

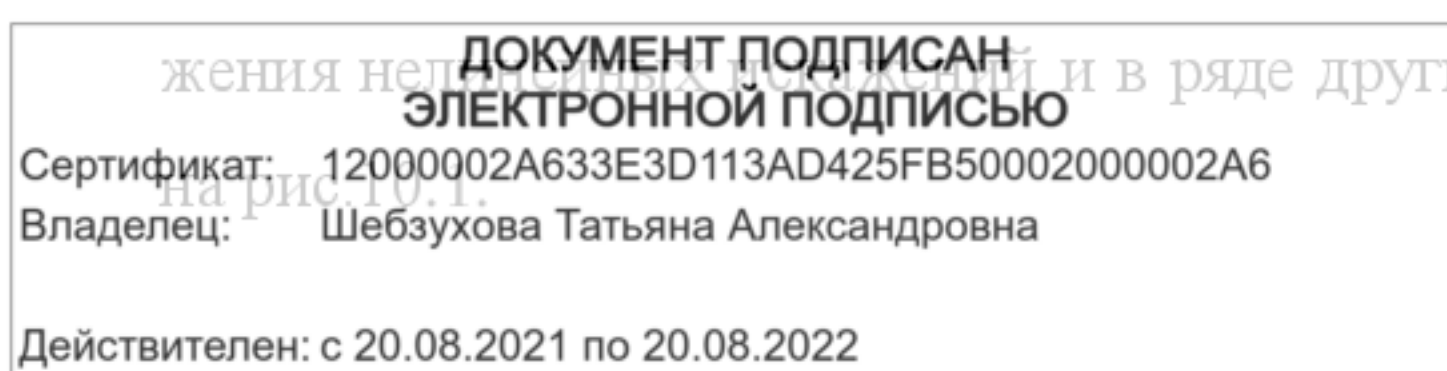
$$U_{\text{вых}} = K_U(U^+ - U^-).$$

Ввиду того, что коэффициент усиления имеет очень большую величину, при разности напряжений на входах, составляющей даже десятые и сотые доли вольта ОУ находится в режиме насыщения, т.е. на его выходе устанавливается максимально возможное напряжение, близкое к напряжению источника питания. Если же усилитель не находится в состоянии насыщения, то разность $U^+ - U^- = U_{\text{вых}} / K_U$ близка к нулю, и в этом случае в расчётах обычно принимают $U^+ = U^-$.

ОУ используют для выполнения целого ряда функций: как компаратор, как усилитель, имеющий строго постоянный коэффициент усиления, не зависящий от нагрузки, как алгебраический сумматор с одинаковыми или разными весовыми коэффициентами, как интегратор и т.д.

В качестве компаратора ОУ работает при отсутствии обратных связей. В этом случае происходит сравнение напряжений на его входах, и выходное напряжение принимает знак «+», если $U^+ > U^-$, и знак «-», если $U^+ < U^-$. Такое сравнение напряжений используют в схемах стабилизаторов напряжения и тока, в усилителях переменного тока для существенного сни-

жения нелинейных искажений и в ряде других случаев. Схема компаратора представлена



Чтобы ОУ работал как усилитель с заданным постоянным коэффициентом усиления, необходимо использовать отрицательную обратную связь по напряжению, т.е. часть напряжения с выхода усилителя подать на его инверсный вход. При этом в зависимости от способа подключения входного усиливаемого сигнала усилитель может быть неинвертирующим или инвертирующим.

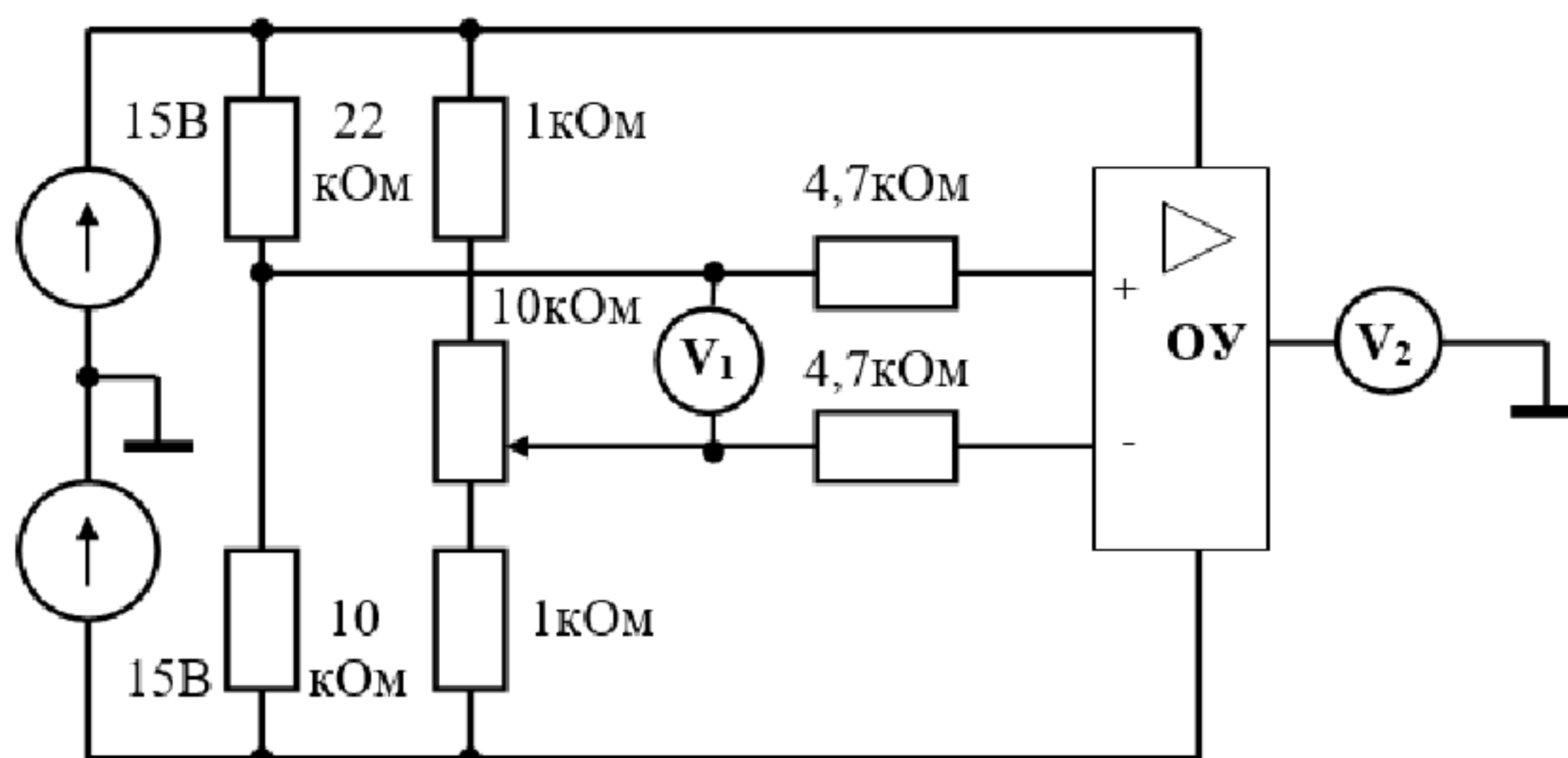


Рисунок 10.1 – Схема компаратора

Схема неинвертирующего усилителя представлена на рис. 10.2.

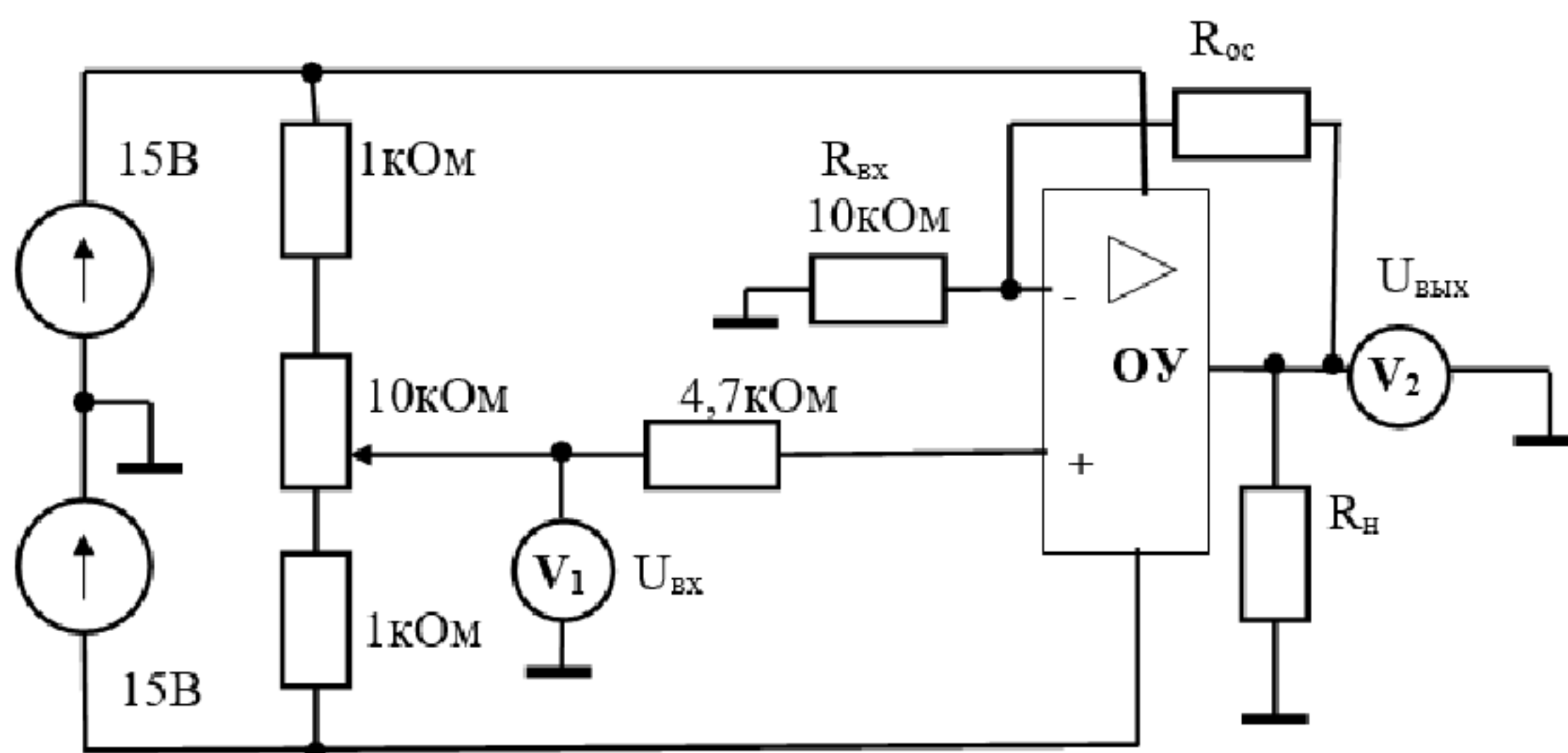


Рисунок 10.2 – Схема неинвертирующего усилителя

Схема инвертирующего усилителя представлена на рис. 9.3. Этот усилитель преобразует входное напряжение в напряжение противоположной полярности на выходе ОУ.

Если на вход усилителя подать синусоидальный сигнал, то напряжение на выходе по отношению к нулю будет сдвинуто по фазе на 180° . В данной схеме на неинверсный вход ОУ подан нулевой потенциал. Сигнал усиливаемого напряжения через сопротивление $R_{вх}$

подаётся на инверсный вход, на этот же вход через сопротивление R_{oc} подаётся напряжение с выхода ОУ, таким образом, на этом входе суммируются токи.

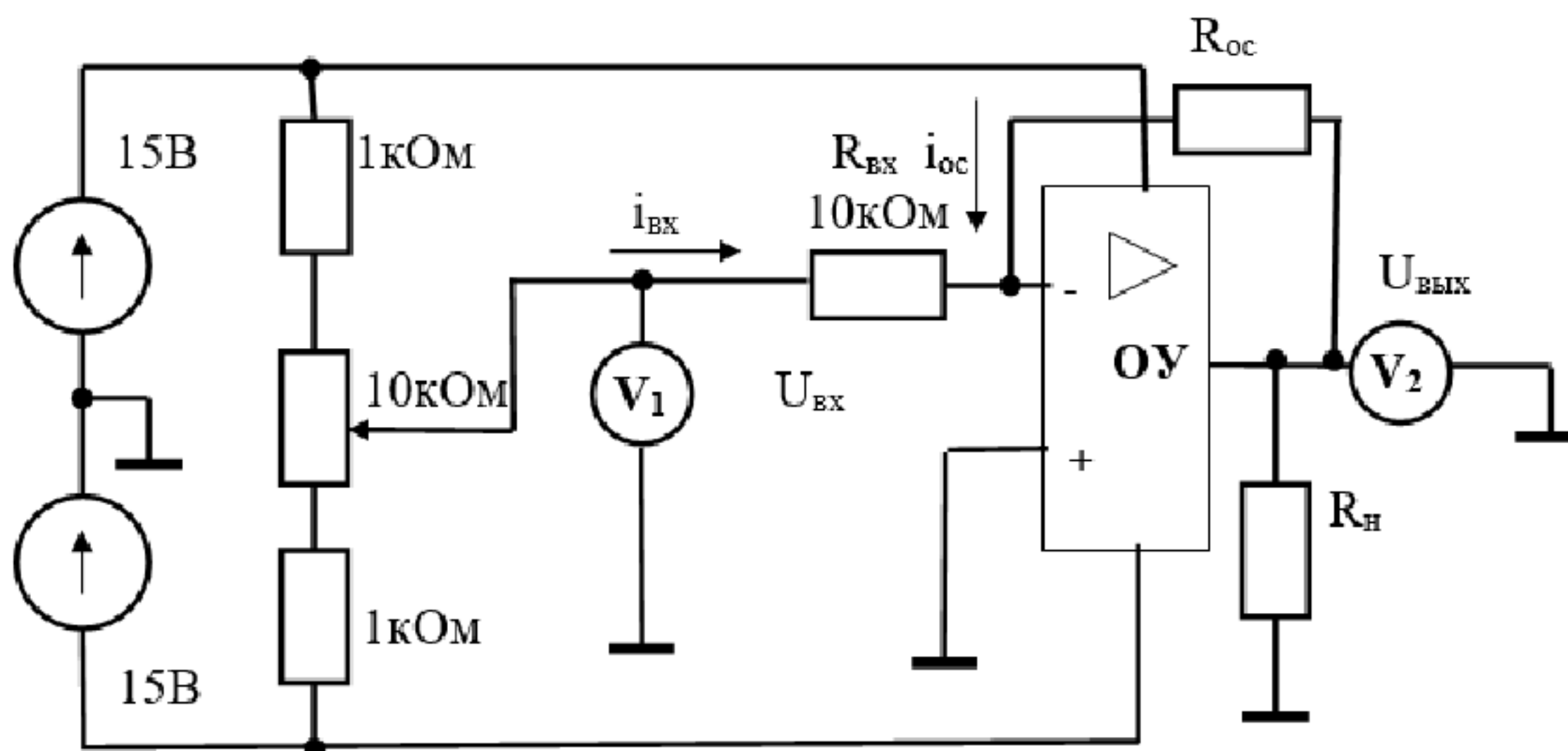


Рисунок 10.3 – Схема инвертирующего усилителя

Как было отмечено выше, входной ток ОУ пренебрежимо мал, поэтому

$$i_{ВХ} + i_{oc} = 0,$$

но $i_{ВХ} = U_{ВХ} / R_{ВХ}$ и $i_{oc} = U_{ВЫХ} / R_{oc}$, поэтому $U_{ВЫХ} / R_{oc} = - U_{ВХ} / R_{ВХ}$, откуда

$$U_{ВЫХ} = - (R_{oc} / R_{ВХ}) U_{ВХ} \quad (9.2).$$

Следует коэффициент усиления как неинвертирующего, так и инвертирующего усилителя не зависит от коэффициента усиления ОУ (который при изменении температуры и величины питающего напряжения меняется в широких пределах, оставаясь очень высоким), а определяется сопротивлениями резисторов, включённых во входной цепи и в цепи обратной связи. Резисторы же обладают достаточно стабильными параметрами, поэтому коэффициенты усиления рассмотренных усилителей также достаточно стабильны. Следует также заметить, что выражения справедливы, пока $U_{ВЫХ}$ меньше напряжения насыщения.

Если в схеме, изображённой на рис. 10.3 на инверсный вход ОУ подать через сопротивления не одно, а несколько напряжений, причём, любой полярности, то будет выполнена операция алгебраического суммирования этих напряжений с умножением на коэффициенты, равные отношению сопротивления обратной связи к входным сопротивлениям. В этом случае

$$i_{ВХ1} + i_{ВХ2} + \dots + i_{ВХn} + i_{oc} = 0, \text{ или}$$

$$U_{ВХ1} / R_{ВХ1} + U_{ВХ2} / R_{ВХ2} + \dots + U_{ВХn} / R_{ВХn} + U_{ВЫХ} / R_{oc} = 0, \text{ откуда}$$

$$U_{ВЫХ} = - [(R_{oc} / R_{ВХ1}) U_{ВХ1} + (R_{oc} / R_{ВХ2}) U_{ВХ2} + \dots + (R_{oc} / R_{ВХn}) U_{ВХn}] \quad (9.3)$$

Схема алгебраического суммирования двух напряжений с инверсией изображена на рис. 10.4. В этой схеме суммирование осуществляется с одинаковыми весовыми коэффициентами; одно из суммируемых напряжений подаётся от регулируемого источника $0 \dots 15$ В, его полярность остаётся постоянной, второе – с делителя напряжения, его можно изменять как по величине, так и по знаку.

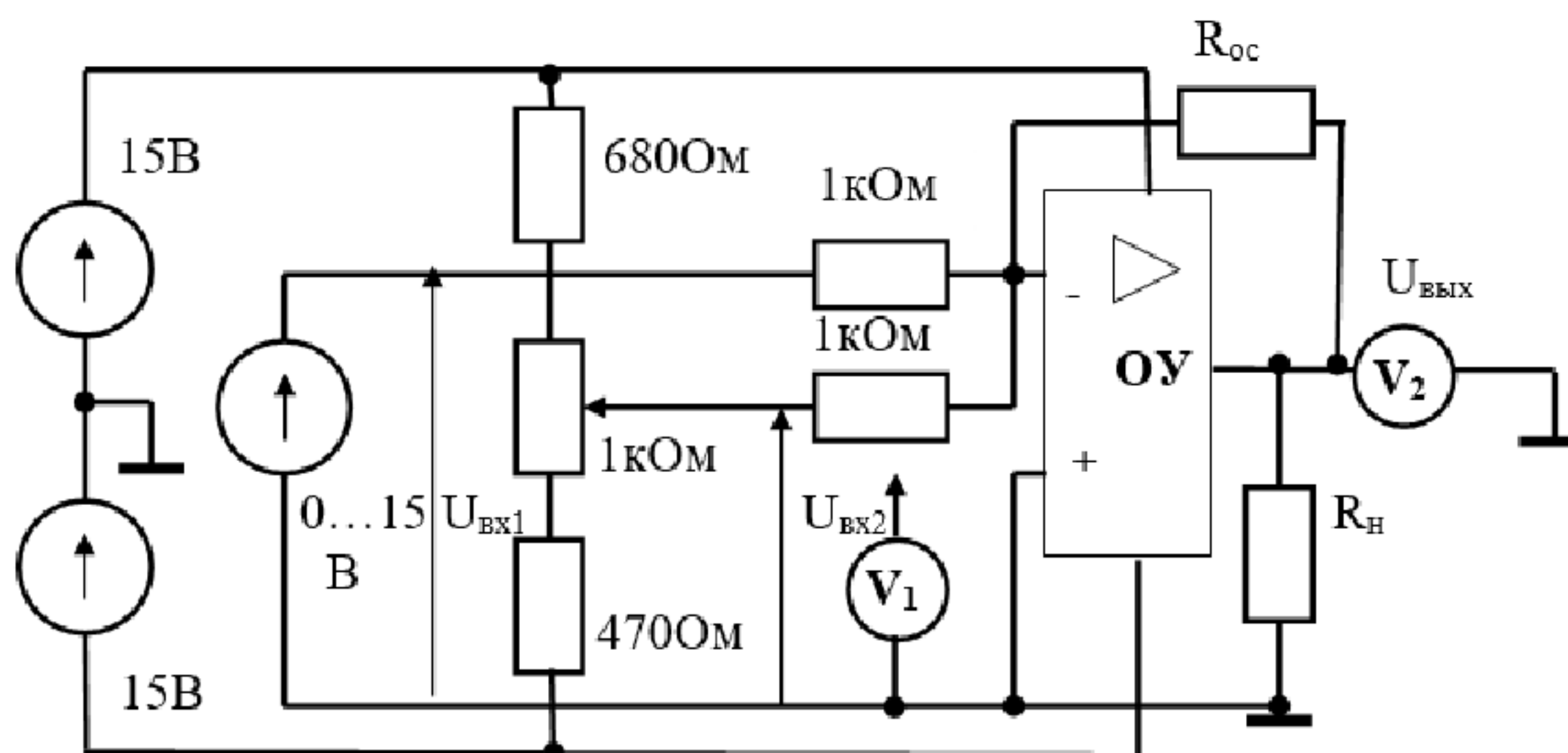
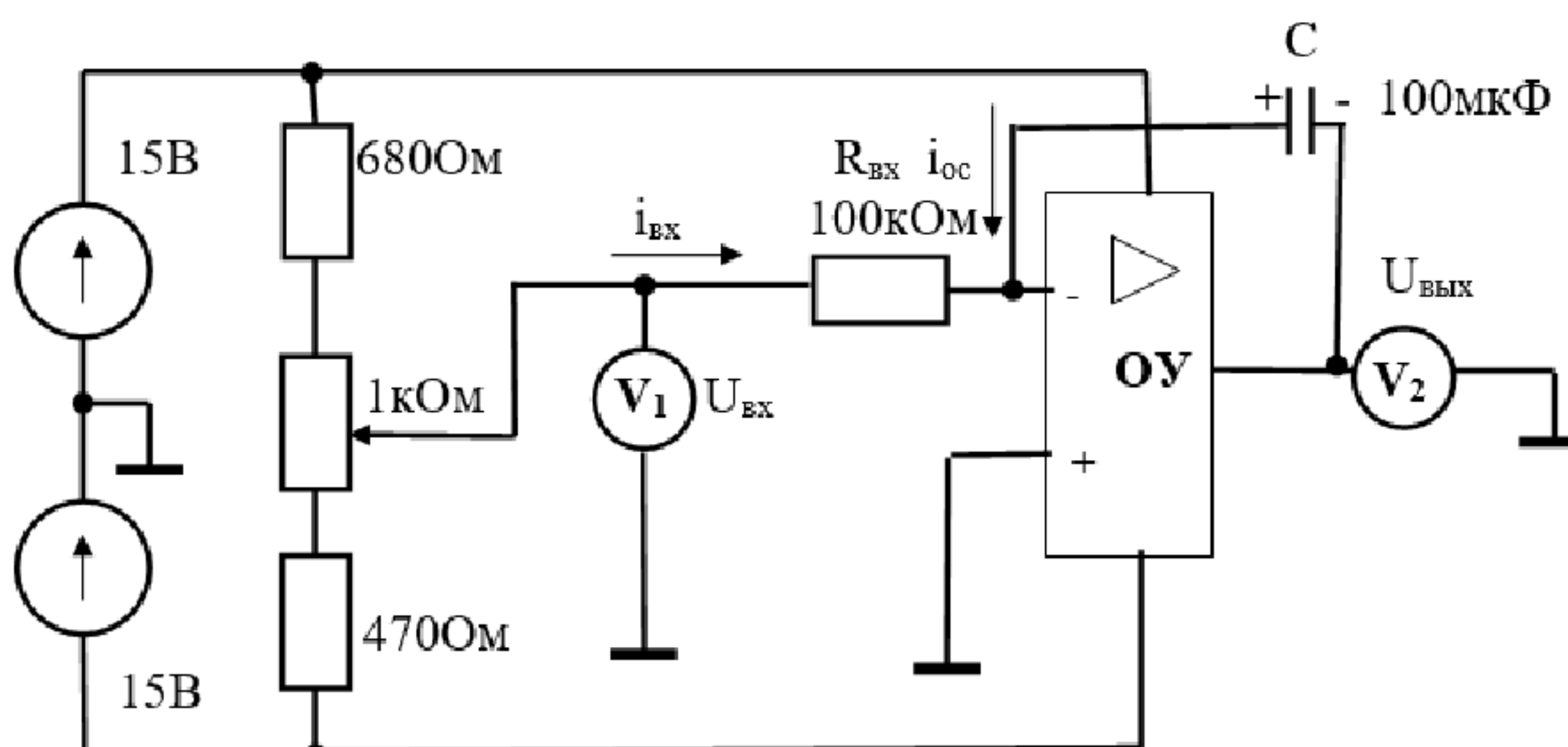


Рисунок 10.4 – Схема алгебраического суммирования

Чтобы ОУ выполнял операцию интегрирования, в цепь отрицательной обратной связи необходимо включить конденсатор, а входное напряжение подать через сопротивление на инверсный вход; второй вход, как и в предыдущей схеме, необходимо подключить к средней точке источника питания. Схема интегрирующего усилителя представлена на рис. 10.5.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 10.5 – Схема интегрирующего усилителя

Усилитель, собранный по схеме рис. 9.5, может выполнять и другие математические операции, вид которых определяется комплексными сопротивлениями входной цепи $Z_{вх}(p)$ и цепи обратной связи $Z_{oc}(p)$. В общем случае входное и выходное напряжения в данной схеме связаны зависимостью:

$$U_{вых}(p) = - [Z_{oc}(p) / Z_{вх}(p)] U_{вх}(p)$$

В частном случае, при интегрировании, $Z_{вх}(p) = R_{вх}$, $Z_{oc}(p) = 1/(Cp)$,

$$U_{вых}(p) = - U_{вх}(p) / (C R_{вх} p),$$

или, если перейти от операторной формы записи к классической,

$$U_{вых} = - 1 / (C R_{вх}) \int U_{вх} dt$$

Из последнего выражения следует, что скорость интегрирования определяется произведением $CR_{вх}$, которое называют постоянной времени интегрирования и обозначают обычно буквой τ . Если в данном произведении ёмкость выразить в фарадах, а сопротивление в Омах, то постоянная времени получится в секундах.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

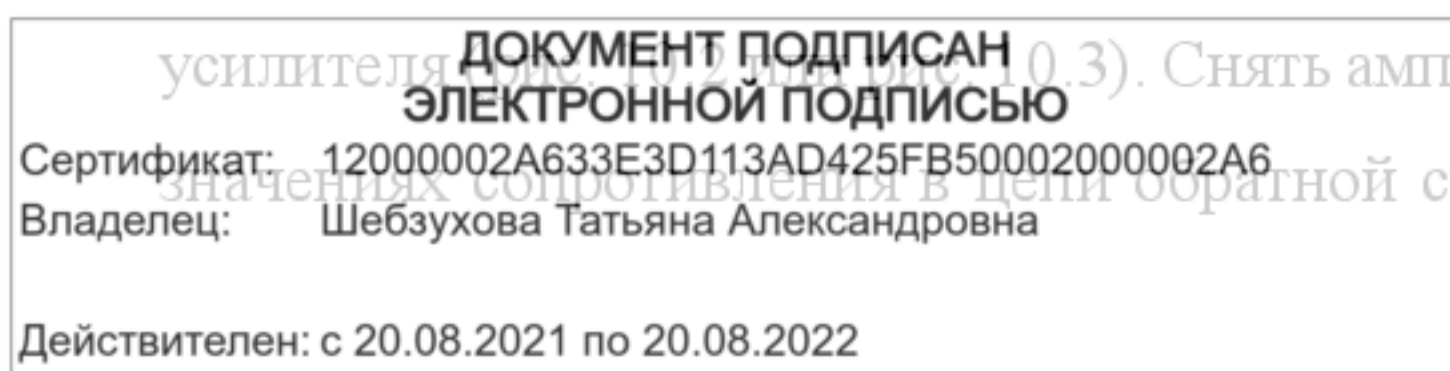
При выполнении лабораторной работы необходимо опробовать работу операционного усилителя в следующих режимах: компаратора, неинвертирующего или инвертирующего усилителя, сумматора и интегратора; проверить зависимость коэффициента усиления усилителя от нагрузки, снять амплитудную характеристику усилителя.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Собрать схему компаратора (рис. 10.1). Подать напряжение питания, изменением положения рукоятки потенциометра установить нулевое напряжение между входами ОУ. Подавая незначительное напряжение между входами ОУ перемещением рукоятки потенциометра, убедиться, что при изменении его знака напряжение на выходе усилителя тоже меняет знак, принимая при этом максимально возможные значения, близкие к напряжению питания.

Собрать по указанию преподавателя схему инвертирующего или неинвертирующего

усилителя (рис. 10.3). Снять амплитудные характеристики усилителя при двух значениях сопротивлений в цепи обратной связи. Значения сопротивлений и напряжений



на входе усилителя указаны в таблице 10.1, в эту же таблицу внести значения выходного напряжения

Таблица 10.1

R _{ос} 22 кОм	U _{вх} , В	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
	U _{вых} , В											
R _{ос} 100 кОм	U _{вх} , В	-1,2	-1	-0,8	-0,6	-0,4	0	0,4	0,6	0,8	1	1,2
	U _{вых} , В											

Вычислить коэффициенты усиления и сравнить их с теоретическими значениями, вычисленными в соответствии с формулами. Включить и выключить на выходе усилителя нагрузку 3.3 или 4.7 кОм, убедиться, что при этом напряжение на выходе усилителя не меняется.

4. Собрать схему алгебраического суммирования двух напряжений (рис.10.4). Установив напряжения на входах, указанные в таблице 10.2, записать в таблицу напряжения на выходе усилителя.

Таблица 10.2.

U _{вх1} , В	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
U _{вх2} , В	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
U _{вых} , В												

5. Собрать схему рис. 10.5. Вычислить постоянную времени интегрирования. Подать напряжение питания, установить на входе усилителя напряжение +1 В, убедиться в том, что выходное напряжение изменяется со скоростью, соответствующей вычисленному значению постоянной времени. Поворотом рукоятки потенциометра изменить полярность входного напряжения, убедиться в том, что выходное напряжение после этого уменьшается с постоянной скоростью. Сняв напряжение, заменить конденсатор ёмкостью 100 мкФ на конденсатор 10 мкФ, подав напряжение, убедиться, что напряжение на выходе стало меняться в 10 раз быстрее. При испытаниях интегратора следить за тем, чтобы напряжение на выходе усилителя было всё время отрицательным, это необходимо потому, что в схеме используются электролитические конденсаторы.

6. Закончив эксперименты, построить амплитудные характеристики усилителя.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

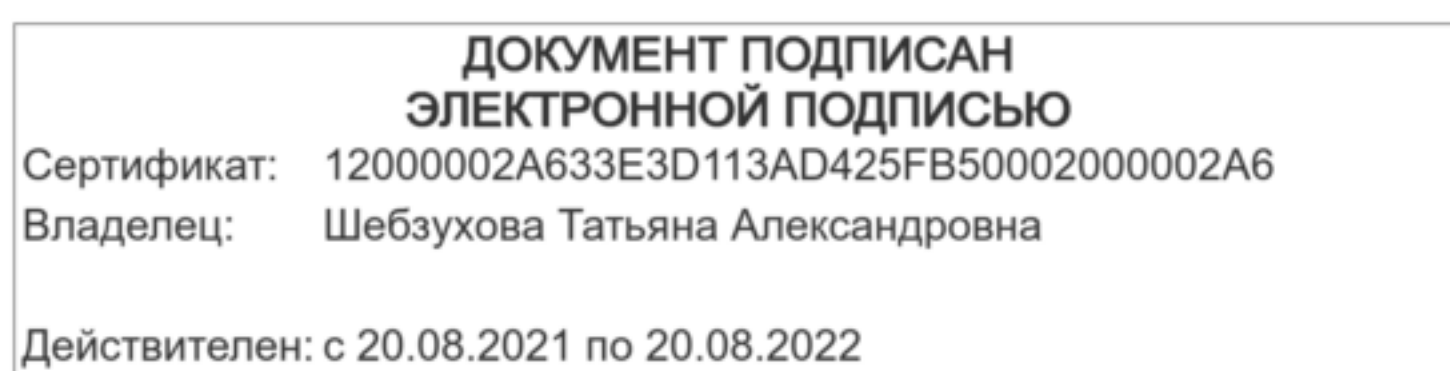
Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Опишите основные свойства операционных усилителей.
2. Опишите работу компаратора.
3. Поясните работу инвертирующего и неинвертирующего усилителей.
4. Чем определяются коэффициенты усиления усилителей, собранных на базе операционного усилителя?
5. Как с помощью ОУ осуществляют суммирование напряжений?
6. Как построить схему интегратора на базе ОУ? Чем определяется скорость интегрирования?
7. Чем в общем случае определяется динамический режим ОУ с отрицательной обратной связью?
8. Как напряжение на выходе ОУ зависит от нагрузки?



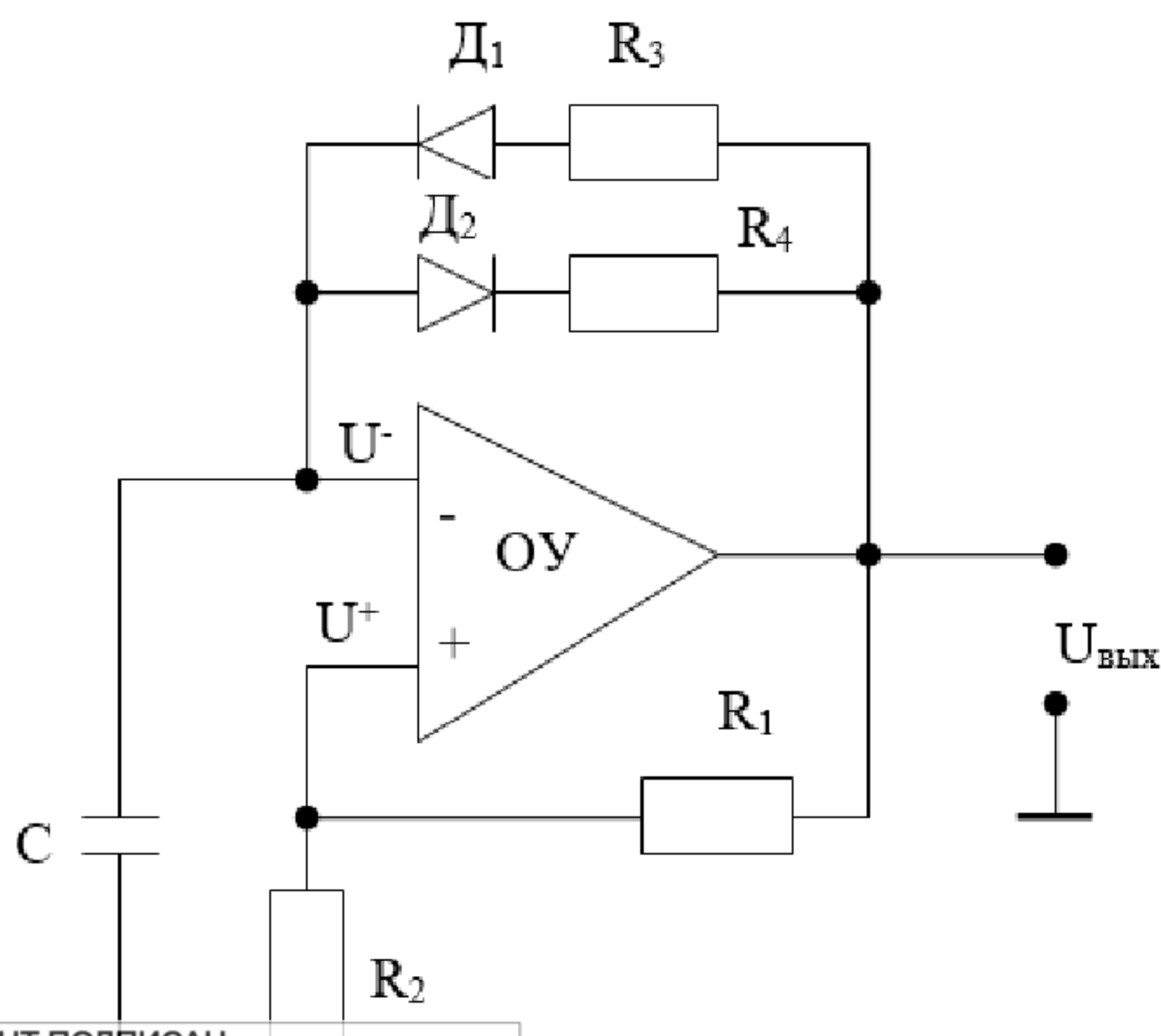
Лабораторная работа №11. Генератор прямоугольных импульсов.

Цель работы: Изучить принципиальную схему, назначение отдельных её элементов и работу генератора прямоугольных импульсов на базе операционного усилителя.

Основы теории:

Генераторы прямоугольных импульсов широко используются в различных устройствах электронной техники: в электронно-вычислительных машинах, системах связи, системах автоматизации производственных процессов, в бытовой технике и т.д. Существует ряд схем генераторов, которые собирают, используя в качестве базовых элементов либо логические элементы, либо триггеры, либо операционные усилители, либо отдельные транзисторы. Промышленность выпускает генераторы в виде микросхем, они также входят как составные элементы в целый ряд больших интегральных схем.

В настоящей лабораторной работе рассматривается схема автогенератора прямоугольных импульсов, построенная на базе операционного усилителя. Достоинствами такого генератора являются: крутой фронт импульсов, простота регулирования частоты и скважности, отсутствие обратных выбросов. Принципиальная электрическая схема генератора представлена на рис.11.1.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 11.1 – Схема генератора прямоугольных импульсов

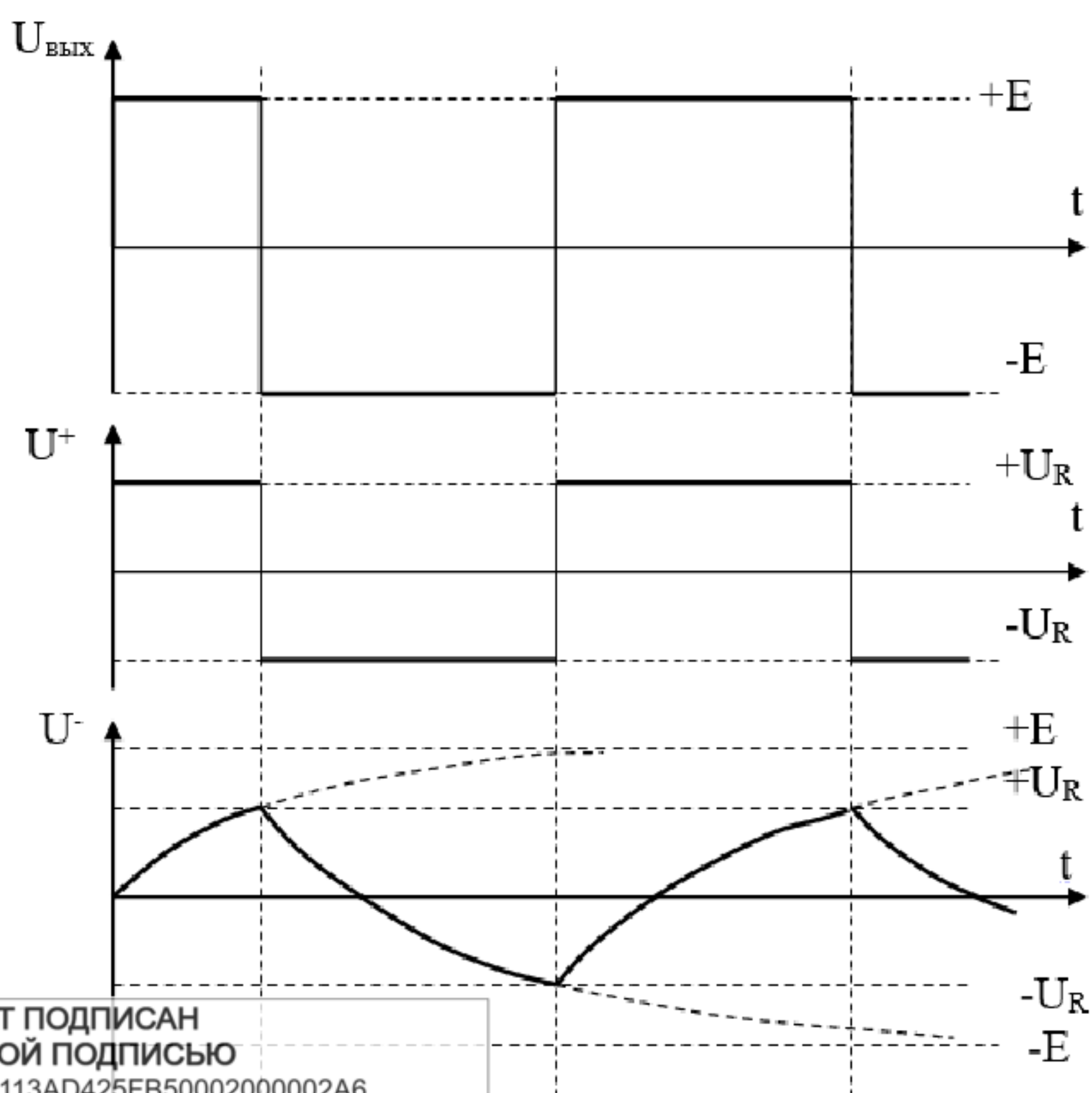
Операционный усилитель имеет безынерционную положительную обратную связь, которая обеспечивается делителем R_1R_2 и инерционную отрицательную, выполненную резисторами R_3 и R_4 и конденсатором C .

Рассмотрим режим автоколебаний этого генератора, приняв $R_3 = R_4$.

Пусть в момент времени $t = 0$ (рис. 11.2) включается источник питания ОУ и выходное напряжение начинает возрастать, тогда через делитель R_1R_2 увеличивается напряжение U^+ , напряжение U^- вследствие наличия конденсатора в цепи обратной связи растет постепенно. Вследствие увеличения U^+ нарастание напряжения U протекает лавинообразно, оно скачкообразно возрастает до напряжения насыщения E , а входное U^+ до

$$U_R = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \gamma E$$

Напряжение U^- в процессе заряда конденсатора растет по экспоненте, стремясь к значению E , но как только оно незначительно превысит U_R , напряжение на выходе ОУ скачкообразно изменится до значения $-E$, после чего конденсатор начнет перезаряжаться, то есть напряжение U^- станет уменьшаться по экспоненте, стремясь к значению $-E$, а напряжение U^+ в процессе перезаряда конденсатора будет оставаться постоянным, равным $-\gamma E$. Как только U^- станет по абсолютному значению больше U^+ , напряжение на выходе ОУ скачком изменится до $+E$. Далее процесс будет периодически повторяться.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Рисунок 11.2 – Осциллограмма
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

генератора прямоугольных импульсов

Первый импульс будет иметь меньшую длительность, поскольку он формируется при заряде конденсатора от 0 до U_R .

$$U^-(t) = E \left(1 - e^{-t/\tau} \right)$$

где $\tau = R_3 C$, в момент переключения $U^-(t) = U_R = \gamma E$, то есть при $t = t_1$.

$$\gamma E = E \left(1 - e^{-t_{u1}/\tau} \right),$$

Откуда длительность первого импульса

$$t_{u1} = \tau \ln \frac{1}{1 - \gamma}.$$

При генерации последующих импульсов конденсатор перезаряжается от напряжения $U_R = \gamma E$ одной полярности, стремясь зарядиться до напряжения E противоположной полярности, то есть процесс перезарядки протекает по закону:

$$U^-(t) = (E + \gamma E) \left(1 - e^{-t/\tau} \right) - \gamma E,$$

процесс перезарядки прекращается при $U^-(t) = \gamma E$, откуда длительность последующих импульсов будет

$$t_u = \tau \ln \frac{1 + \gamma}{1 - \gamma},$$

период следования импульсов $T = 2t_u$.

Скважность сигнала

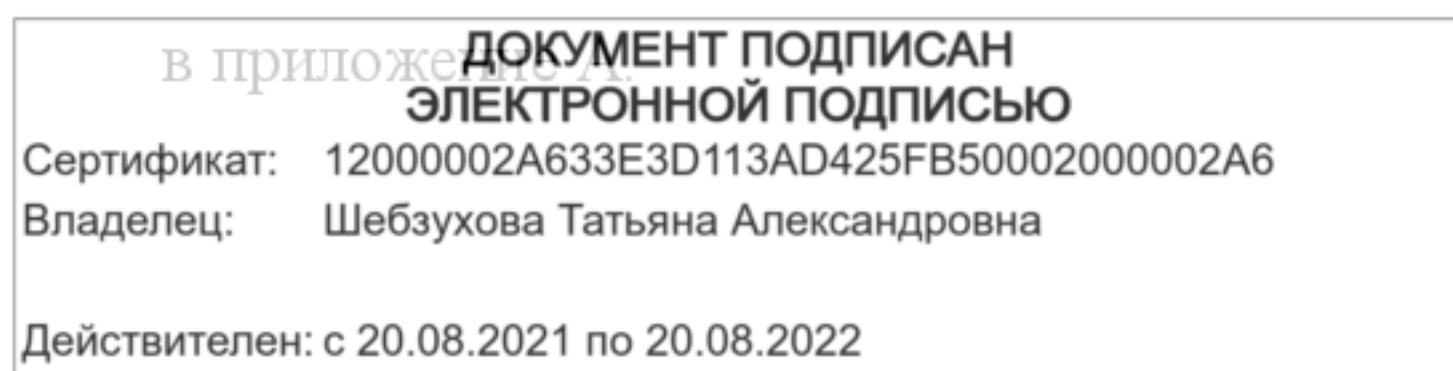
$$\frac{T}{t_u} = 2.$$

Для получения скважности q , отличной от 2, необходимо принять соответствующие различные значения R_3 и R_4 :

$$R_4 = R_3 (q - 1).$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены



Указания по выполнению лабораторной работы:

1. Собрать схему генератора, изображенную на рис. 10.1, приняв следующие значения параметров элементов:

$$R_1=4,7\text{кОм}, R_2=1\text{кОм}, R_3= R_4=1\text{Мом}, C=0,01\text{мкФ}.$$

(Преподавателем могут быть заданы другие значения параметров).

Для питания операционного усилителя использовать два источника постоянного тока 15В, включив их так, как показано на рис. 11.3.

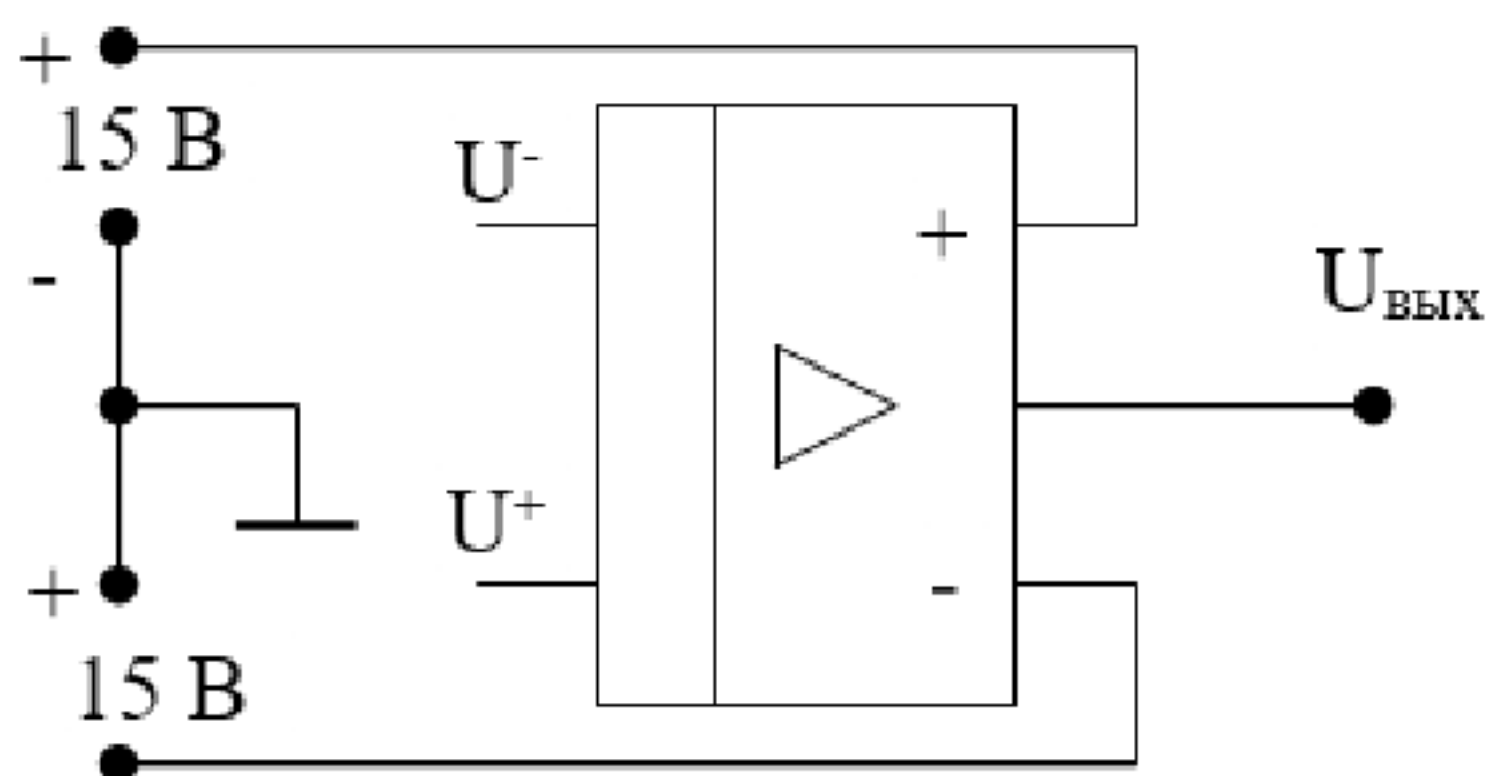


Рисунок 11.3 – Принципиальная схема испытания генератора прямоугольных импульсов

Выходное напряжение генератора подать на вход осциллографа.

2. После проверки собранной схемы преподавателем подать напряжение на осциллограф и на источники питания. Наблюдая на экране осциллографа форму выходного напряжения генератора, убедиться, что она имеет прямоугольную форму, причём, длительность положительного импульса равна длительности отрицательного.

3. В цепи отрицательной обратной связи резистор R_3 сопротивлением 1 Мом заменить резистором 100 кОм. Убедиться, что длительность положительного импульса стала в 10 раз короче длительности отрицательного.

4. В цепи положительной обратной связи параллельно резистору R_2 сопротивлением 1 кОм включить второй такой же резистор. При этом коэффициент делителя напряжения уменьшится и станет равным

$$\gamma_1=0,5/(4,7+0,5)=0,0961,$$

до включения второго резистора его значение было

$$\gamma=1/(4,7+1)=0,175.$$

Число периодов сигнала изменилась в n раз, где $n = \frac{1}{\gamma_1} \cdot \frac{[\ln(1 + \gamma_1)]}{(1 - \gamma_1)]} = 1.834$.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Наблюдая сигнал выходного напряжения на экране осциллографа, убедиться в увеличении его частоты.

5. С помощью осциллографа пронаблюдать форму напряжения U .

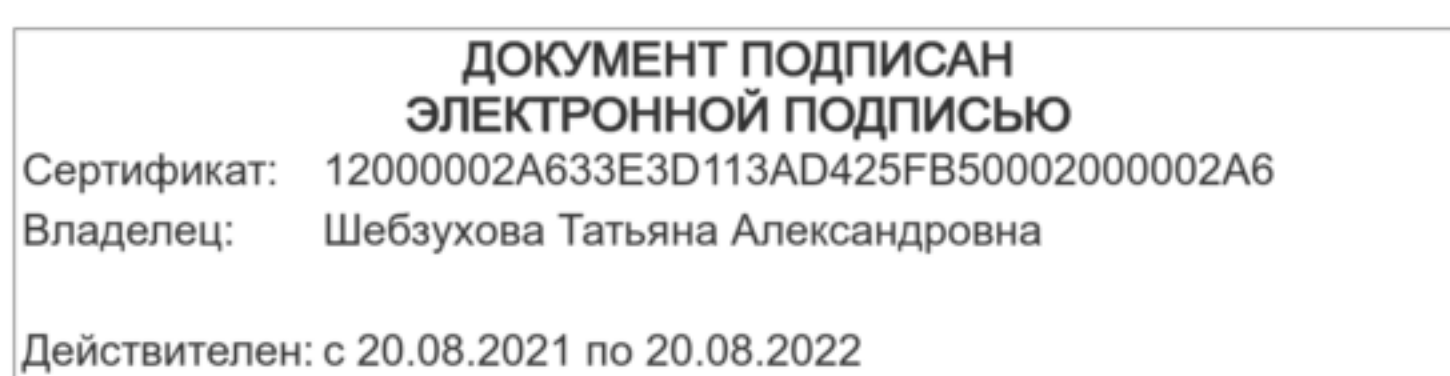
Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какое электронное устройство называют автогенератором?
2. Опишите работу автогенератора прямоугольных импульсов на базе операционного усилителя.
3. Какими способами можно изменить частоту сигнала, рассматриваемого в данной работе генератора?
4. Как изменить скважность сигнала генератора?
5. Объясните роль положительной обратной связи в формировании фронта сигналов генератора.
6. Как изменится частота сигнала генератора при увеличении сопротивления R_1 делителя напряжения?



Лабораторная работа №12. Изучение принципов построения и функциональных возможностей триггеров различных типов.

Цель работы: Изучение принципов построения и функциональных возможностей триггеров различных типов.

Основы теории:

Триггером называют простейшее последовательное устройство, которое может находиться в одном из двух возможных состояний и переходить из одного состояния в другое под действием входных сигналов. Триггеры являются базовыми элементами последовательных логических устройств.

Триггеры обычно имеют два выхода: прямой Q и инверсный $\bar{Q}$.

Входы триггера разделяют на информационные и управляющие. Информационные используются для управления состоянием триггера, управляющие – для предварительной установки и синхронизации.

Различают асинхронные и синхронные триггеры. Асинхронные триггеры меняют свое состояние непосредственно в момент появления на входе информационного сигнала. Синхронные триггеры реагируют на информационные сигналы при наличии сигнала синхронизации C . Синхронные триггеры, в свою очередь, подразделяют на триггеры со статическим и динамическим управлением по входу синхронизации.

Статические синхронные триггеры воспринимают информационные сигналы при подаче на вход C логической единицы (прямой вход) или логического нуля (инверсный вход).

Динамические синхронные триггеры воспринимают информационные сигналы при изменении сигнала на входе C от 0 до 1 (прямой динамический C -вход) или от 1 до 0 (инверсный динамический C -вход).

По функциональным возможностям триггеры разделяются на следующие классы:

- с отдельной установкой 0 и 1 (RS-триггеры);
- универсальные (JK-триггеры);
- с приемом информации по одному входу (D-триггеры);
- со счетным входом (Т-триггеры).

Входы триггеров обозначают следующим образом:

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Входы триггера обозначают следующим образом:
 S – вход для установки в состояние $Q = 1$;

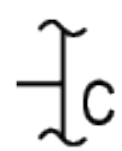
R – вход для установки в состояние $Q = 0$;

I – вход для установки в состояние $Q = 1$ в универсальном триггере;

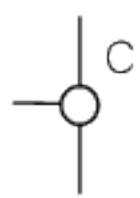
K – вход для установки в состояние $Q = 0$ в универсальном триггере;

D – вход для установки в состояние $Q = 1$ или $Q = 0$ в D-триггере;

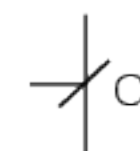
T – вход счетного триггера;



– статический прямой вход синхронизации;



– статический инверсный вход синхронизации;



– прямой динамический вход синхронизации;



– инверсный динамический вход синхронизации;

V или E – дополнительный управляющий вход для разрешения приема информации.

Схемы триггеров строят обычно на базе логических элементов, основным из которых является элемент «И-НЕ». Рассмотрим основные из этих схем.

Асинхронный RS-триггер

Схема RS-триггера изображена на рисунке 1. В схеме использованы 4 элемента «И-НЕ» с двумя входами. Элементы «а» и «б» выполняют функцию «НЕ», так как их входы включены параллельно. При отсутствии сигналов на выходах элементов «а» и «б» будет логическая 1, и если выход элемента «с» $Q = 1$, то на выходе элемента «д» $\bar{Q} = 0$. Состояние триггера изменится, если на вход R подать логическую 1. При этом на выходе «б» появится 0, который изменит выходной сигнал элемента «д» из состояния $\bar{Q} = 0$ в состояние $\bar{Q} = 1$, в результате чего выход элемента «с» изменится в состояние $Q = 0$.

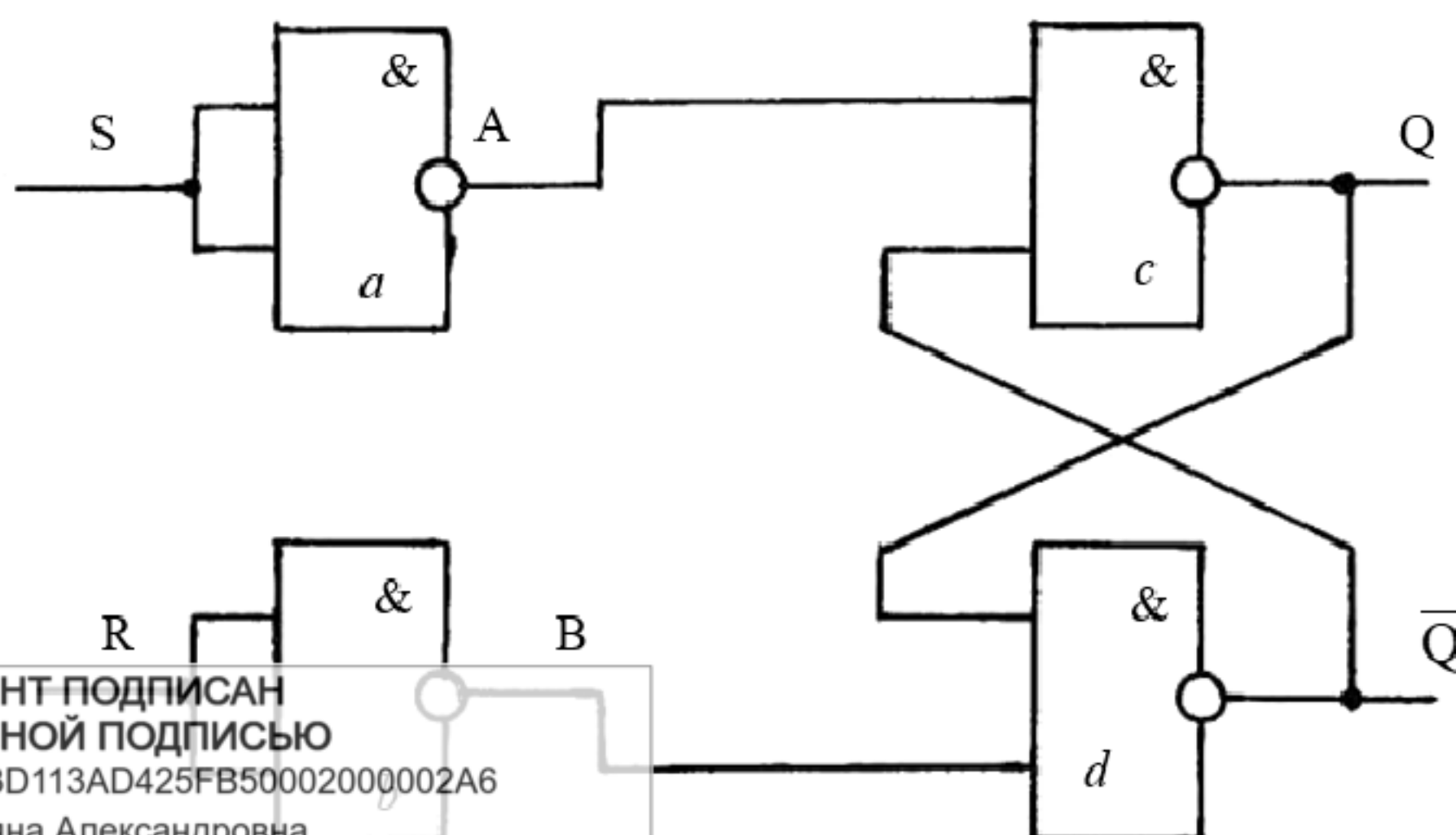


Рисунок 12.1 – Асинхронный RS-триггер

Аналогичным образом состояние триггера вернется в первоначальное, если логическую единицу подать на вход S.

Работу данного триггера описывает характеристическое уравнение:

$$Q^{t+1} = S^t + \bar{R}^t \cdot Q^t$$

$$S^t \cdot R^t = 0$$

где Q^t – выходной сигнал до подачи входных сигналов S^t и R^t в некоторый момент времени t ,

Q^{t+1} – выходной сигнал после подачи входных сигналов.

Второе уравнение отражает то обстоятельство, что одновременная подача входных сигналов «1» на входы RS-триггера запрещена, так как приводит триггер к неопределенному состоянию.

Помимо характеристического уравнения работа RS-триггера может быть описана следующей таблицей состояния.

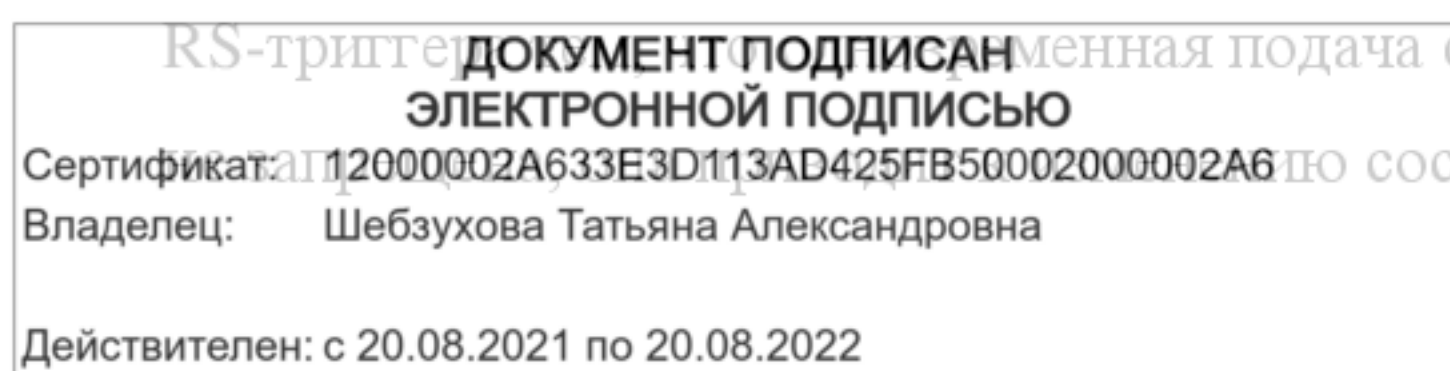
Таблица 1. – Состояние RS-триггера

S^t	R^t	Q^t	Q^{t+1}	Режим
0	0	0	0	Хранение
0	0	1	1	
1	0	0	1	Установка 1
1	0	1	1	
0	1	0	0	Установка 0
0	1	1	0	
1	1	0	–	Неопределенность
1	1	1	–	

Схема синхронного RS-триггера представлена на рисунке 12.2. Данный триггер реагирует на информационные сигналы, поступающие на входы S и R, при наличии сигнала на входе синхронизации C. В остальном его работа аналогична работе асинхронного RS-триггера, она описывается теми же характеристическим уравнением и таблицей состояний.

JK-триггер, схема которого представлена на рисунке 3, отличается от синхронного

RS-триггера тем, что при одновременной подаче сигналов на его информационные входы J и K триггер переходит в состояние выходов на противоположное.



Рассмотрим сначала работу JK-триггера при раздельной подаче сигналов на его входы. При отсутствии входных сигналов ($I = 0$, $K = 0$, $C = 0$) на выходе элементов «а» и «а'» $A = 1$, $A' = 1$. Выходные сигналы элементов «b» «b'» могут находиться в одном из двух противоположных состояний, предположим, $B = 1$, $B' = 0$, тогда, так как в рассматриваемом случае (при $C = 0$) $F = 1$, выходные сигналы «D» и «D'» будут $D = 0$, $D' = 1$. Так как $D = 0$, то $Q = 1$, а $\bar{Q} = 0$, так как входные сигналы элемента е' оба равны 1.

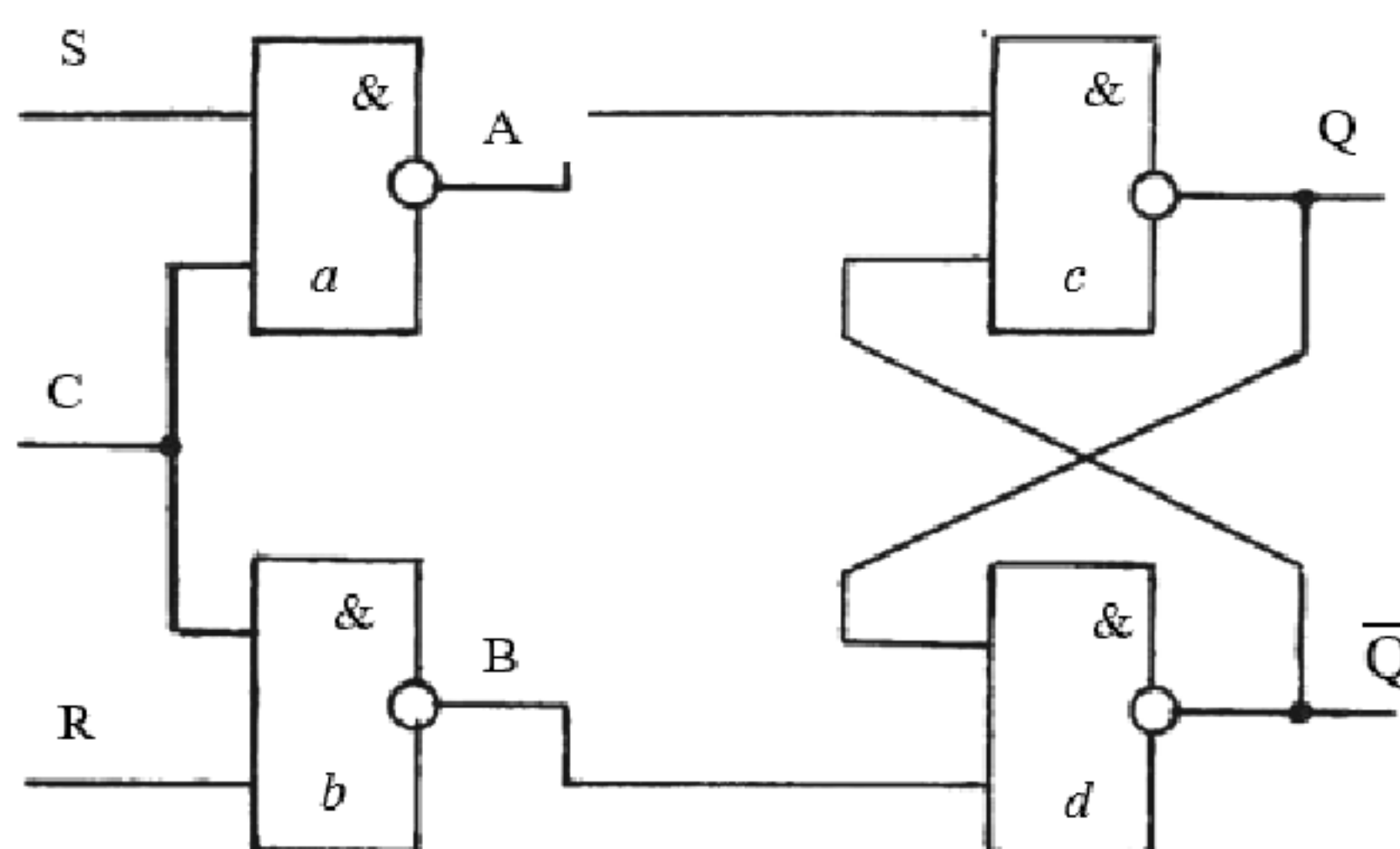


Рисунок 12.2 – Синхронный RS-триггер

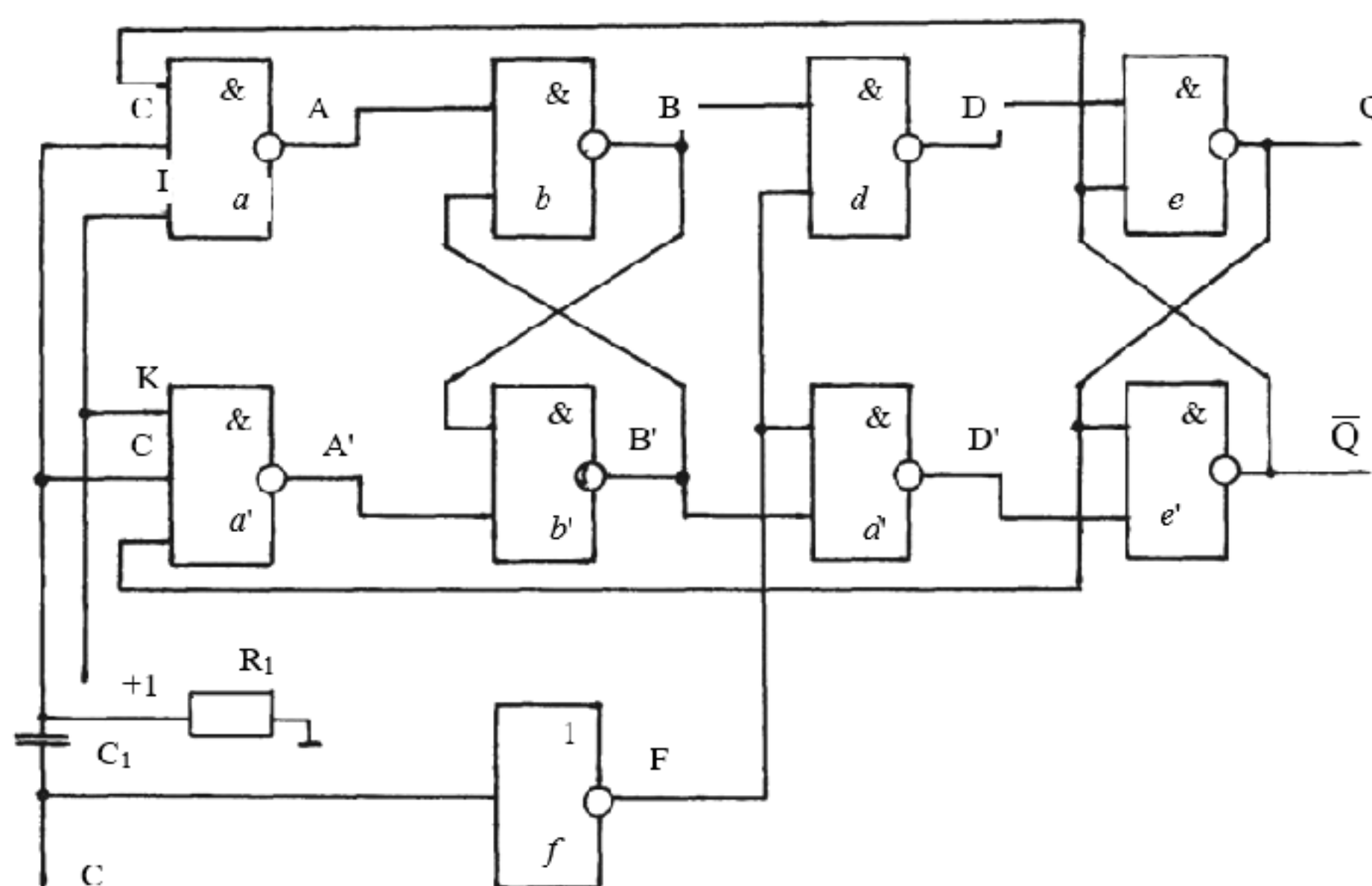


Рисунок 12.3 – JK-триггер

Если поступит синхронизирующий сигнал $C = 1$ при отсутствии информационных ($I = 0$, $K = 0$), документ подписан электронной подписью

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

его второй вход по-прежнему будет поступать сигнал

Рассмотрим теперь работу триггера, когда при поступлении $C = 1$ сигналы на информационных входах $I = 0$ и $K = 1$. Если перед подачей этих сигналов $Q^t = 1$ и $\bar{Q}^t = 0$, то на все входы «a'» поступят единичные сигналы, поэтому сигнал на его выходе станет равным нулю ($A' = 0$), выходы «b» и «b'» изменят свое состояние ($B = 0$, $B' = 1$), поэтому на обратном фронте синхронизирующего сигнала, когда выход элемента «f» станет равным единице, выходной сигнал «d'» станет равным нулю ($D' = 0$), а выходной сигнал «d» останется единичным. При поступлении нулевого сигнала на вход «e'» с выхода «d'» состояние триггера изменится на $\bar{Q}^{t+1} = 1$ и $Q^{t+1} = 0$.

Если далее при поступлении очередного синхронизирующего сигнала $I = 1$ и $K = 0$, то аналогичным образом состояние выходных сигналов изменится на $Q^{t+1} = 1$ и $\bar{Q}^{t+1} = 0$.

При параллельном включении входов I и K рассматриваемого триггера он превращается в триггер со счетным входом (Т-триггер). Если сигнал на информационном входе Т-триггер равен 1, то при поступлении очередного синхронизирующего импульса состояние триггера меняется на противоположное.

Рассмотрим процесс смены состояния Т-триггера подробно.

Для работы счетного триггера на входы I и K необходимо подать постоянный единичный сигнал. Предположим, перед началом синхронизирующего импульса сигнал $B' = 1$, а $B = 0$, тогда $D = 1$ и $D' = 0$, выходные сигналы $Q = 0$ и $\bar{Q} = 1$.

При подаче импульса $C = 1$ выходной сигнал элемента «НЕ» станет равным нулю. Так как на входе «С» элементов «a» и «a'» входной сигнал поступает через дифференцирующую цепочку R_1C_1 , то кратковременно исчезнет единичный сигнал A (сигнал A' останется в это время единичным, так как $Q = 0$), в результате чего изменится состояние элементов «b» и «b'» на $B = 1$ и $B' = 0$. Пока входной сигнал остается равным единице, выходы элементов «d» и «d'» также будут оставаться единичными. При снятии управляющего импульса ($C = 0$) сигнал F станет равным единице и, так как $B = 1$, сигнал D станет равным нулю, а $Q = 1$. При $Q = 1$ $\bar{Q} = 0$, то есть на обратном фронте входного сигнала состояние триггера меняется на противоположное. Ввиду полной симметрии схемы при очередном входном импульсе произойдет аналогичный процесс (выходные сигналы со штрихом и без штриха при описании процесса меняйте местами), и триггер вернется в первоначальное положение.

Характеристическое уравнение и таблица состояний ИК-триггера следующие.

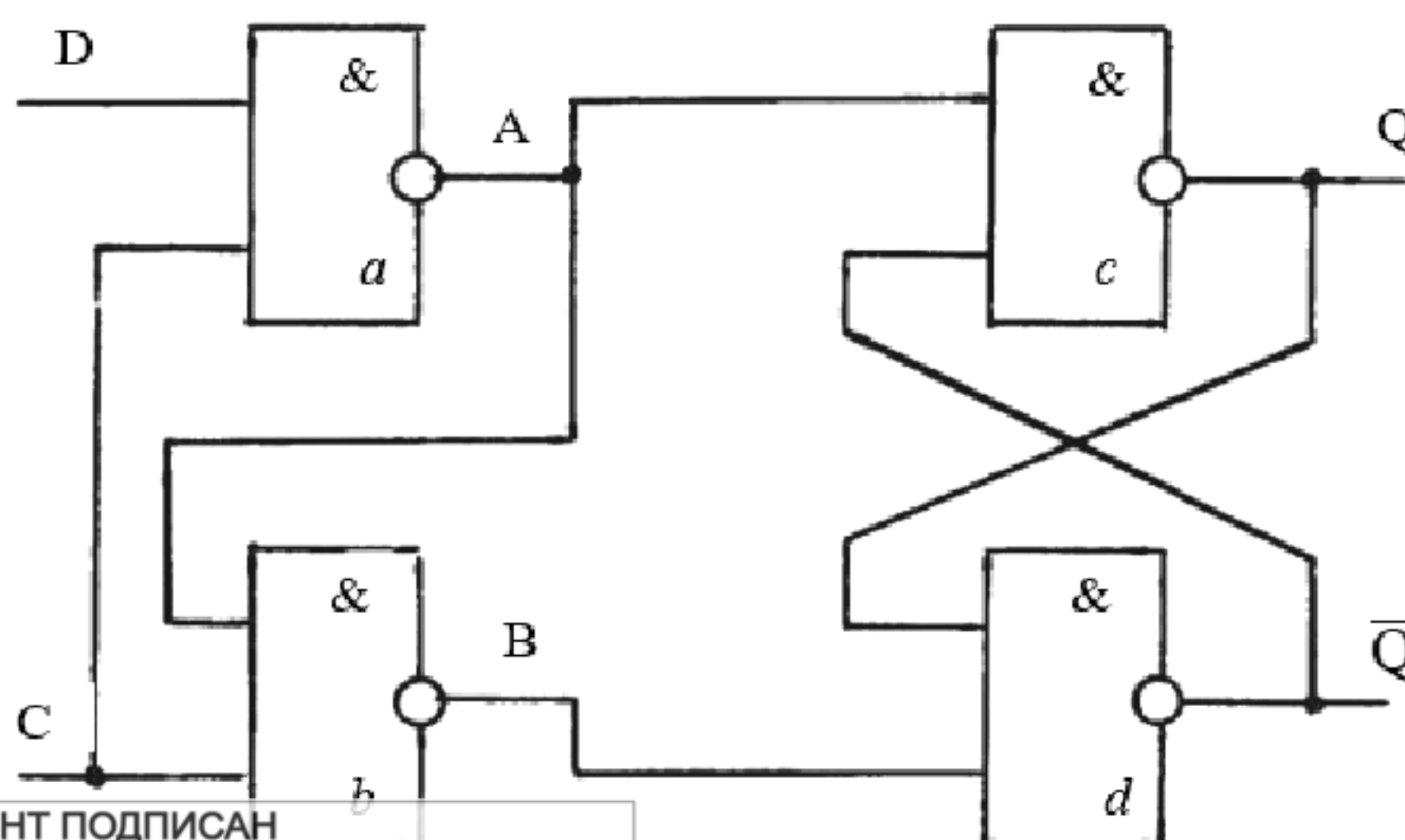
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ		$Q^{t+1} = I^t \cdot \bar{Q}^t + \bar{K}^t \cdot Q^t$
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6	
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна	
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022		

Таблица 12.2. – Состояние JK-триггера

J^t	K^t	Q^t	Q^{t+1}	Режим
0	0	0	0	Хранение
0	0	1	1	
1	0	0	1	Установка «1»
1	0	1	1	
0	1	0	0	Установка «0»
0	1	1	0	
1	1	0	1	$Q^{t+1} = \bar{Q}^t$
1	1	1	0	

Помимо описанных триггеров в установках цифровой электроники широко используется триггер с общим входом (D-триггер). Выходной сигнал D-триггера принимает значение, равное входному сигналу в момент поступления импульса синхронизации. Схема D-триггера, собранная на базе «И-НЕ», представлена на рисунке 4.

При отсутствии синхронизирующего сигнала «С» независимо от значения информационного сигнала D $A = 1$ и $B = 0$. Значения выходных сигналов Q и $\bar{Q}$ могут быть любыми. Предположим, перед поступлением $C = 1$ на выходе $Q = 0$, тогда $\bar{Q} = 1$. Если при поступлении $C = 1$ $D = 1$, то сигнал A станет равным нулю, в результате чего Q из состояния «0» перейдет в состояние «1», а $\bar{Q}$ станет равным нулю. После снятия синхронизирующего сигнала выходные сигналы не изменятся, при этом информационный сигнал триггером не воспринимается до поступления очередного сигнала синхронизации. Если при $C = 1$ $D = 0$, то A станет равным «1», B станет равным нулю, в результате чего состояние выходных сигналов Q и $\bar{Q}$ изменится на противоположное.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 12.4 – Триггер с общим информационным входом

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1. Детально изучить основные теоретические положения.
2. На лабораторном стенде собрать схемы асинхронного и синхронного RS-триггеров, схему D-триггера и схему JK-триггера с отдельными и со счетным входами.
3. Опробовать работу каждого вида триггеров и по результатам опробования составить таблицы состояний.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какие электронные устройства называют триггерами?
2. Чем синхронные триггеры отличаются от асинхронных?
3. Чем отличаются динамический вход синхронизации от статического?
4. Как обозначают входы и выходы триггеров?
5. Назовите рассмотренные в работе типы триггеров и опишите функциональные возможности каждого из них.
6. Что такое характеристическое уравнение триггера?
7. Что представляет собой таблица состояний триггера?

