



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра теоретических
основ электротехники

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей 5В071800, 5В081200

Алматы 2015

Составители: Л.П. Болдырева, Г.К Смагулова. Анализ электрических цепей и электрического поля. Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ для студентов специальностей 5В071800, 5В081200 – Алматы: АУЭС, 2015.- 23 с.

Методическая разработка содержит основные положения по подготовке, выполнению, анализу результатов и оформлению лабораторных работ по дисциплине АЭЦиЭП.

Каждая лабораторная работа включает следующие подразделы: цель работы, подготовка к работе, порядок выполнения работы, оформление и анализ экспериментальных результатов и выводы о проделанной работе.

Методическая разработка предназначена для студентов, обучающихся в бакалавриате по специальности 5В071800, 5В081200.

Ил. 13, табл. 5, библиограф.- 6 назв.

Рецензент: доцент Башкиров М.В.

Печатается по плану издания Некоммерческого акционерного общества «Алматинского университета энергетики и связи» на 2015 г.

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Исследование электрической цепи Постоянного тока с нелинейными элементами.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Исследование цепей с электрическими вентильями.....	6
3 Лабораторная работа № 3. Исследование феррорезонанса напряжений.....	8
4 Лабораторная работа № 4. Исследование плоскопараллельного электростатического поля двухпроводной линии.....	13
Список литературы.....	23

1 Лабораторная работа № 1. Исследование электрической цепи постоянного тока с нелинейными элементами

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования цепей постоянного тока с нелинейными элементами.

1.1 Подготовка к работе

Повторить раздел «Нелинейные электрические цепи постоянного тока» [Л.1,5].

Ответить на вопросы и выполнить следующее:

1) Какие нелинейные элементы называются симметричными и какие несимметричными? Изобразить их вольт-амперные характеристики.

2) В чем различие между статическим и дифференциальным сопротивлениями нелинейных элементов?

3) Нарисовать схему для снятия вольт-амперной характеристики нелинейного элемента при питании цепи от источника постоянного напряжения, которое может плавно регулироваться. Предусмотреть в схеме необходимые приборы.

4) Показать графический расчёт цепи с одним источником ЭДС и нелинейными сопротивлениями, соединенными последовательно.

5) Показать графический расчёт цепи с нелинейными сопротивлениями, соединенными параллельно.

6) Показать графический расчёт цепи со смешанным соединением нелинейных сопротивлений.

7) Показать графический расчёт цепей с нелинейными элементами методом двух узлов.

1.2 Порядок выполнения работы

1.2.1 Снять вольт-амперные характеристики трех нелинейных элементов (по указанию преподавателя).

1.2.2 Собрать цепь с последовательным соединением двух нелинейных элементов. Предусмотреть включение приборов для измерения тока в цепи и напряжений на отдельных элементах и на зажимах источника. Установить на входе напряжение $15 \div 20$ В и записать показания всех измерительных приборов.

1.2.3 Собрать цепь с параллельным соединением двух нелинейных элементов. Предусмотреть включение приборов для измерения общего тока и токов в параллельных ветвях, а также напряжения на зажимах источника. Записать показания всех приборов при напряжении питания $15 \div 20$ В.

1.2.4 Собрать схему согласно рисунку 1.1. Записать показания всех приборов при напряжении на входе порядка $15 \div 20$ В.

1.2.5 Собрать схему с двумя источниками ЭДС согласно рисунку 1.2. Измерить э.д.с. источников, напряжение на каждом элементе и токи в ветвях.

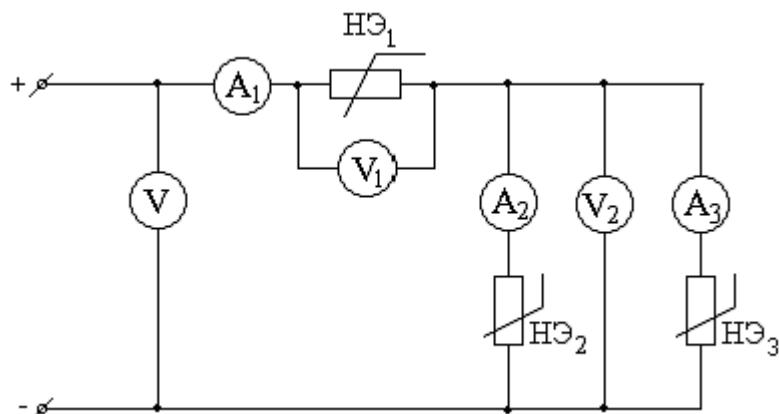


Рисунок 1.1 - Схема смешанного соединения НЭ

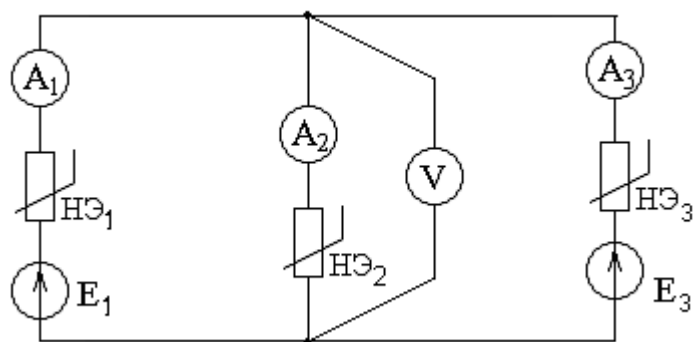


Рисунок 1.2 - Схема с двумя источниками ЭДС

1.3 Оформление и анализ результатов работы

1.3.1 Построить вольт-амперные характеристики трех нелинейных элементов.

1.3.2 Произвести графический расчет схемы п. 1.2.2 и сравнить расчётные значения с экспериментальными данными.

1.3.3 Произвести графический расчет схемы п. 1.2.3 и сравнить расчётные значения с экспериментальными данными.

1.3.4 Произвести графический расчет схемы п. 1.2.4 и сравнить результаты расчёта с экспериментальными данными.

1.3.5 Произвести графический расчет схемы п. 1.2.5 и сравнить результаты расчета с экспериментальными данными.

1.3.6 Сделать выводы о проделанной работе.

2 Лабораторная работа № 2. Исследование цепей с электрическими вентилями

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования электрических цепей с вентилями.

2.1 Подготовка к работе

Повторить разделы, в которых рассматриваются несинусоидальные токи и цепи с электрическими вентилями [Л.1,5].

Ответить на вопросы и выполнить следующее:

1) Какой нелинейный элемент называется электрическим вентилем? Привести его вольт-амперную характеристику. Дать определение идеального вентиля.

2) Как построить график мгновенного значения тока в цепи с электрическим вентилем и активным сопротивлением при приложении синусоидального напряжения?

3) Привести схему однополупериодного выпрямителя с активным сопротивлением нагрузки. Построить графики мгновенных значений тока и напряжения на нагрузке, записать выражения для расчета действующего значения и постоянной составляющей тока и напряжения на нагрузке при идеальном выпрямлении.

4) Представить мостовую схему двухполупериодного выпрямителя. Построить графики мгновенных значений тока и напряжения на нагрузке, определить действующее значение и постоянную составляющую тока и напряжения на нагрузке при идеальном выпрямлении.

5) Как рассчитывается действующее значение напряжения по заданным гармоническим составляющим?

6) Для идеальных одно- и двухполупериодного мостового выпрямителей с активной нагрузкой рассчитать величины полной S , активной P мощностей и мощности искажения T , выразив их через амплитуды напряжения и тока. Сопоставить полученные величины и оценить эффективность выпрямления для этих двух схем.

2.2 Порядок выполнения работы

2.2.1 Снять статическую вольт-амперную характеристику диода с последовательно соединенным сопротивлением в прямом и обратном направлениях при питании от источника постоянного напряжения.

2.2.2 Собрать однополупериодный выпрямитель в соответствии со схемой (рисунок 2.1). Напряжение источника установить в пределах $10 \div 20$ В. Измерить постоянную составляющую и действующее значение переменной составляющей тока и напряжения на нагрузке.

2.2.3 С помощью осциллографа зарисовать кривые мгновенных значений напряжения источника и напряжения на нагрузке.

2.2.4 Собрать мостовой выпрямитель по схеме (рисунок 2.2). Установить напряжение питания и сопротивление нагрузки такими же, как в п.2.2.2. Измерить постоянную составляющую и действующее значение переменной составляющей тока и напряжения на нагрузке.

2.2.5 Подключить осциллограф к нагрузке и зарисовать кривую выпрямленного напряжения.

2.3 Оформление и анализ результатов работы

2.3.1 Произвести графический расчет схемы однополупериодного выпрямителя (рисунок 2.1), используя вольт-амперную характеристику, снятую в п.2.2.1. Сопоставить форму полученной кривой тока с осциллограммой напряжения на нагрузке, полученной в п.2.2.3.

2.3.2 По измеренным в п.2.2.2 постоянной составляющей V_{20} и действующему значению переменной составляющей напряжения на нагрузке $V_{2\sim}$ рассчитать величину действующего значения напряжения на нагрузке V_2 и сопоставить с величиной действующего значения напряжения источника.

2.3.3 По результатам измерений п.2.2.2 вычислить полную мощность источника питания S , активную мощность в нагрузке P , мощность искажения T и сравнить с соответствующими значениями, полученными для идеального однополупериодного выпрямителя по выражениям, приведенным в п.6.

2.3.4 По измеренным в п.2.2.4 постоянной составляющей V_{20} и действующему значению переменной составляющей напряжения на нагрузке $V_{2\sim}$ рассчитать величину действующего значения напряжения на нагрузке V_2 и сравнить с величиной действующего значения напряжения источника.

2.3.5 По результатам измерений п.2.2.4 вычислить полную мощность источника питания S , активную мощность в нагрузке P , мощность искажения T и сравнить с соответствующими значениями, полученными для идеального двухполупериодного выпрямителя.

2.3.6 Сопоставить результаты, полученные для одно- и двухполупериодного выпрямителей.

2.3.7 Сделать выводы о проделанной работе.

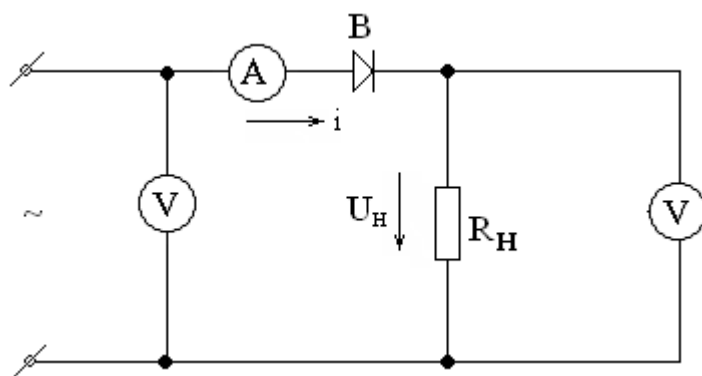


Рисунок 2.1 - Схема однополупериодного выпрямителя

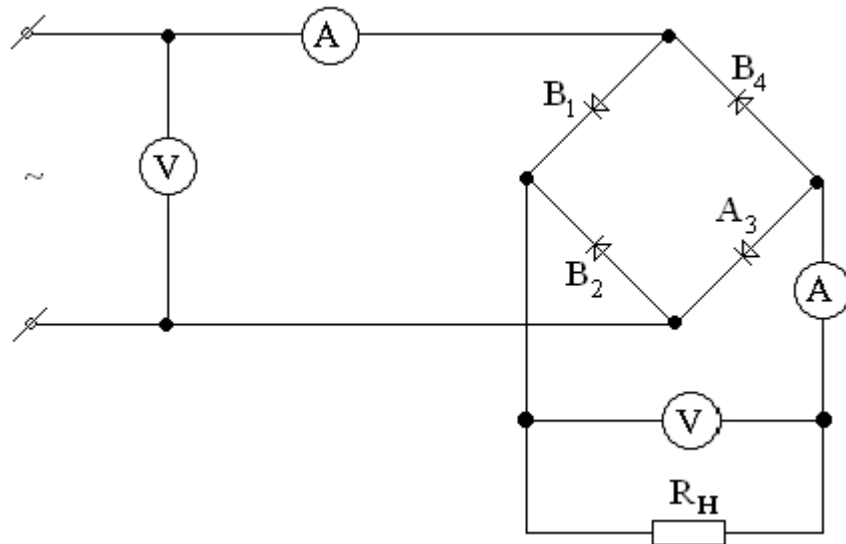


Рисунок 2.2 - Мостовая схема выпрямителя

3 Лабораторная работа № 3. Исследование феррорезонанса напряжений

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования нелинейных цепей в режиме феррорезонанса.

3.1 Подготовка к работе

Повторить раздел «Явление феррорезонанса» [Л.1,5].

Ответить на вопросы и выполнить следующее:

- 1) В какой цепи возникает феррорезонанс напряжений?
- 2) Почему явление скачка тока в феррорезонансной цепи называют также явлением опрокидывания фазы? Построить векторные диаграммы напряжений для двух режимов: до и после скачка тока.
- 3) Как выбрать ёмкость конденсатора, чтобы в феррорезонансной цепи происходило скачкообразное изменение тока?
- 4) Построить вольт-амперную характеристику последовательной феррорезонансной цепи. Проанализировать изменение тока при плавном изменении величины входного напряжения.
- 5) Нарисовать схему для снятия вольт-амперной характеристики катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником, предусмотрев в ней необходимые приборы.
 - а) для снятия вольт-амперной характеристики последовательно соединенных катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником и конденсатора (рисунок 3.1);
 - б) для снятия кривой зависимости суммарного напряжения от тока при плавном изменении тока в цепи (рисунок 3.2);

в) для феррорезонансной цепи, работающей в качестве стабилизатора напряжения (рисунок 3.3).

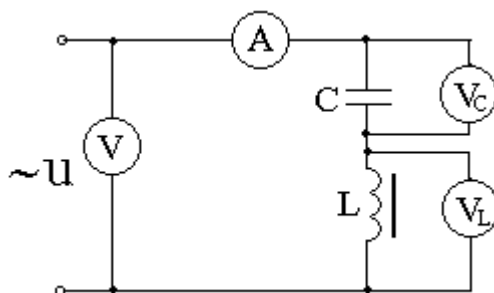


Рисунок 3.1 - Схема феррорезонансной цепи

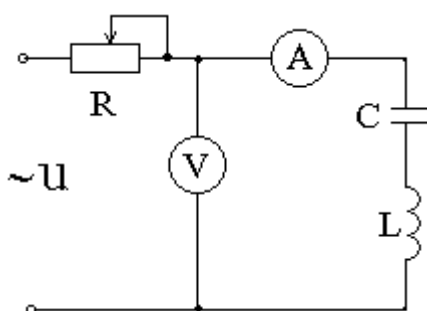


Рисунок 3.2 - Схема с источником тока

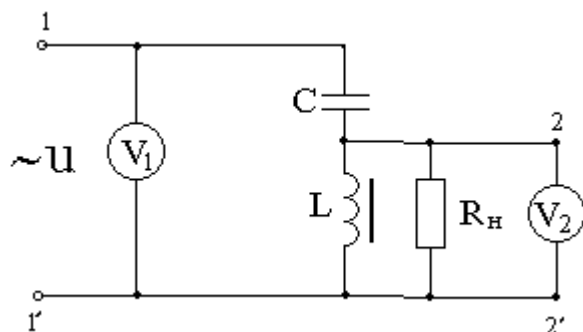


Рисунок 3.3 - Схема стабилизатора напряжения

Таблица 3.1 - Экспериментальные данные для схемы рисунка 3.1

U, В	I, мА	U _L , В	U _C , В

Таблица 3.2 - Экспериментальные данные для схемы рисунка 3.2

I, мА							
U, В							

Таблица 3.3 - Экспериментальные данные для схемы рисунка 3.3

U ₁ , В					
U ₂ , В					

3.2 Порядок выполнения работы

3.2.1 Собрать цепь по схеме согласно пункту 5 подготовки к работе. Снять и построить вольт-амперную характеристику катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником (5-7 измерений). Включить в цепь вместо катушки индуктивности конденсатор, снять вольт-амперную характеристику конденсатора (2 измерения, так как конденсатор линейный), построить вольт-амперную характеристику конденсатора на одном рисунке с вольт-амперной характеристикой катушки индуктивности.

Указание. Вольт-амперная характеристика конденсатора должна пересекать вольт-амперную характеристику катушки индуктивности.

3.2.2 Собрать цепь по схеме пункта 6 (рисунок 3.1) подготовки к работе.

3.2.3 Постепенно увеличивая общее напряжение от нуля до 30÷40 В, а затем постепенно уменьшая его, снять зависимости тока в цепи и напряжений на катушке и конденсаторе от напряжения питания. Необходимо производить не менее 7÷8 измерений до и после скачка тока при увеличении общего напряжения, а также не менее 7÷8 измерений при уменьшении общего напряжения.

Указание. Когда происходит резкий скачок тока при плавном увеличении напряжения питания, общее напряжение снижается вследствие увеличения падения напряжения в генераторе.

Прежде чем записать показания приборов после скачка, следует восстановить то напряжение питания, которое было непосредственно перед скачком тока. Аналогично следует поступить и при обратном скачке тока, который происходит при увеличении напряжения.

Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

3.2.4 Собрать цепь по схеме пункта 6 (рисунок 3.2) подготовки к работе.

3.2.5 Снять кривую зависимости суммарного напряжения (на катушке и конденсаторе) от тока при плавном изменении тока в цепи. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Указание. Для плавного регулирования тока последовательно с генератором включается дополнительно сопротивление, так что генератор совместно с сопротивлением можно рассматривать как искусственный источник тока. Величина сопротивления выбирается возможно меньшей, но такой, чтобы отсутствовали скачки тока при плавном изменении напряжения питания цепи. Вольтметр, измеряющий общее напряжение цепи, не должен учитывать падение напряжения на сопротивлении.

3.2.6 Собрать схему стабилизатора напряжения согласно пункту 6 подготовки к работе (рисунок 3.3). Подключить в качестве нагрузки к зажимам катушки магазин сопротивлений.

3.2.7 Снять зависимость напряжения на нагрузке от напряжения на входе цепи. Для этого установить максимальное напряжение на входе, а затем уменьшать его до появления скачка напряжения на нагрузке и записать показания приборов (5-7 измерений) в таблицу 3.3.

3.3 Оформление и анализ результатов работы

3.3.1 Построить на одном графике вольт-амперные характеристики всей цепи, катушки индуктивности и конденсатора по результатам, полученным п. 3.2.3.

3.3.2 По результатам, полученным в п. 3.2.5, построить кривую зависимости суммарного напряжения от тока.

3.3.3 По данным в п. 3.2.7 построить зависимость напряжения на нагрузке от напряжения питания. Объяснить полученную зависимость. Рассчитать коэффициент стабилизации.

3.3.4 Сделать выводы по проделанной работе: сопоставить идеализированную вольт-амперную характеристику цепи с полученной экспериментально при изменении напряжения на входе цепи и объяснить различие между ними (п.3.3.1); сравнить экспериментальную кривую, полученную в п. 3.3.1, с кривой зависимости суммарного напряжения от тока, полученной в п. 3.3.2, объяснить их различие.

Методические указания.

Коэффициент стабилизации рассчитывается по формуле:

$$k_c = \frac{\Delta U_1}{U_1} : \frac{\Delta U_2}{U_2},$$

где U_1 - напряжение на входе цепи;

U_2 - напряжение на выходе (на нагрузке);

ΔU_1 , ΔU_2 - изменения напряжения на входе и выходе (рисунок 3.4).

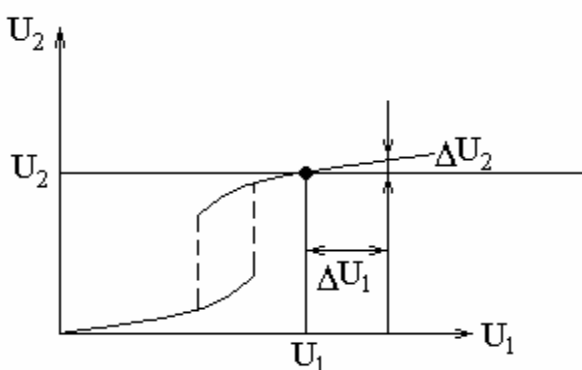


Рисунок 3.4 - Зависимость напряжения стабилизатора

4 Лабораторная работа №4. Исследование плоскопараллельного электростатического поля двухпроводной линии

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования плоскопараллельного электростатического поля двухпроводной линии с использованием компьютерного моделирования.

4.1 Подготовка к работе

Изучить следующие разделы курса ТОЭ: поле бесконечно длинной равномерно заряженной оси, поле параллельных разноименно заряженных осей, поле двухпроводной линии [Л.2]. Ознакомиться с описанием интерфейса программы «Теория поля» и методическими указаниями к расчёту и выполнению лабораторной работы.

Выполнить следующее:

1) Записать формулы для расчета напряженности и потенциала электростатического поля бесконечно длинной равномерно заряженной оси.

2) Записать формулы для расчета напряженности и потенциала электростатического поля двух параллельных бесконечно длинных разноименно заряженных осей.

3) Записать граничные условия на поверхности проводников.

4) В соответствии с вариантом задания (таблица 4.1) вычислить a , S_1, S_2 . Результаты расчета занести в таблицу 4.2.

5) Записать формулу для расчета емкости двухпроводной линии. В соответствии с вариантом задания (таблица 4.1) вычислить емкость двухпроводной линии. Результаты расчета занести в таблицу 4.2.

6) Записать формулы для расчета потенциалов на поверхности проводов φ_1 , φ_2 . В соответствии с вариантом задания (таблица 4.1) вычислить потенциалы на поверхности проводов φ_1 , φ_2 . Результаты расчета занести в таблицу 4.2.

7) Записать формулы для расчета напряженностей электростатического поля на поверхности проводников в точках, M , N , L , K . Вычислить, в соответствии с вариантом задания (таблица 4.1), напряженности электростатического поля в этих точках. Результаты расчетов занести в таблицу 4.2.

8) Записать формулы для расчета плотности свободного электрического заряда на поверхности проводника. В соответствии с вариантом задания (таблица 4.1) вычислить плотности свободного электрического заряда на поверхности проводников в точках M , N , L , K . Результаты расчетов занести в таблицу 4.2.

9) Дать определение плоскопараллельного поля.

10) Дать определение эквипотенциальным и силовым линиям. Качественно нарисовать картину электростатического поля двухпроводной линии.

Таблица 4.1 - Варианты задания к лабораторной работе

№ вар	Радиусы проводов		Расстояние между проводами, d мкм	Напряжение между проводами U, В
	R ₁ , мкм	R ₂ , мкм		
1	10	5	60	100
2	10	15	80	120
3	15	20	100	110
4	20	10	120	160
5	5	10	70	90
6	8	16	90	220

4.2 Порядок выполнения работы

4.2.1 Запустить программу «Теория поля», щелкнув левой кнопкой мыши по ярлыку на рабочем столе компьютера (рисунок 4.1). Откроется главное окно программы (рисунок 4.2).

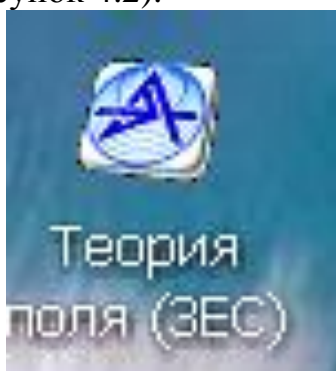


Рисунок 4.1

4.2.2 Установить радиусы проводов R_1, R_2 и d согласно заданному варианту

4.2.3 Построить двухпроводную линию в рабочей области, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Построить». На экране появится двухпроводная линия (рисунок 4.3).

4.2.4 Определить геометрические параметры линии: a – расстояние между электрической осью и плоскостью нулевого потенциала, S_1, S_2 – расстояния между геометрическими осями и плоскостью нулевого потенциала. Занести полученные значения « a, S_1, S_2 » в таблицу 4.2

4.2.5 Установить напряжение между проводами, согласно заданному варианту, с помощью источника напряжения (рисунок 4.2, описание интерфейса программы и методические указания).

4.2.6 Получить изображение электрических осей, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Оси».

4.2.7 Измерить емкость двухпроводной линии на единицу длины. Полученное значение емкости записать в таблицу 4.2.

4.2.8 Измерить напряженность электростатического поля на поверхности проводов в заданных точках: М, N, L, К. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

4.2.9 Построить эквипотенциальные линии поля двухпроводной линии с шагом $\Delta\varphi = 10\text{В} \div 20\text{В}$ (по указанию преподавателя).

4.2.10 Построить силовые линии электростатического поля двухпроводной линии.

4.2.11 Полученную картину электростатического поля двухпроводной линии сохранить, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Экспорт в bmp^* ».

4.3 Оформление и анализ результатов работы

4.3.1 Выполнить теоретический расчет геометрических параметров двухпроводной линии «а, S_1 , S_2 », результаты расчетов занести в таблицу 4.2, столбец «Теоретический расчет». Определить «а, S_1 , S_2 » на ЭВМ, результаты расчетов занести в таблицу 4.2, столбец «Эксперимент». Сравнить полученные результаты.

4.3.2 Выполнить теоретический расчет емкости двухпроводной линии и потенциалов на поверхности проводов φ_1 , φ_2 , результаты расчетов занести в таблицу 4.2, столбец «Теоретический расчет». Измерить емкость двухпроводной линии и потенциалы на поверхности проводов φ_1 , φ_2 , результаты расчетов занести в таблицу 4.2, столбец «Эксперимент». Сравнить полученные результаты.

4.3.3 Выполнить теоретический расчет напряженностей на поверхности проводов в заданных точках: М, N, L, К. Результаты расчетов занести в таблицу 4.2, столбец «Теоретический расчет». Измерить напряженности на поверхности проводов заданных точках: М, N, L, К. Результаты расчетов занести в таблицу 4.2, столбец «Эксперимент». Сравнить полученные результаты.

4.3.4 Выполнить теоретический расчет плотностей поверхностного заряда в заданных точках: М, N, L, К. Результаты расчетов занести в таблицу 4.2, столбец «Теоретический расчет». По найденным экспериментально напряженностям, рассчитать плотности поверхностного заряда. Результаты расчетов занести в таблицу 4.2, столбец «Эксперимент». Сравнить полученные результаты.

4.3.5 Сохранить и распечатать полученную экспериментально картину поля.

4.3.6 На полученном рисунке построить вручную силовые линии (по указанию преподавателя).

4.3.7 Сделать выводы.




Таблица 4.2 - Результаты лабораторной работы

Геометр. параметры линии; потенциалы на поверхности проводов; емкость C , напряженность E , поверх. плотность заряда σ	Теоретический расчет	Эксперимент
$a, \text{ м}$		
$S_1, \text{ м}$		
$S_2, \text{ м}$		
$\varphi_1, \text{ В}$		
$\varphi_2, \text{ В}$		
$C, \text{ Ф/м}$		
$E_M, \text{ В/м}$		
$E_N, \text{ В/м}$		
$E_L, \text{ В/м}$		
$E_K, \text{ В/м}$		
$\sigma_M, \text{ Кл/м}^2$		
$\sigma_N, \text{ Кл/м}^2$		
$\sigma_L, \text{ Кл/м}^2$		
$\sigma_K, \text{ Кл/м}^2$		

4.4 Описание интерфейса программы «Теория поля»

Главное окно интерфейса программы (рисунок 4.2) содержит рабочую область и две боковые панели, на которых расположены измерительные приборы и управляющие кнопки. Рабочая область имеет координатную сетку, вид которой можно изменять кнопкой «Сет».

На левой боковой панели сверху расположено меню инструментов рисования, содержащее кнопки:

-  – кнопка для рисования точек в рабочей области;
-  – кнопка (ластик) для очистки рабочей области от ошибочно поставленных точек;
-  – кнопка для рисования отрезков, соединяющих точки;



–кнопка (ластик) для очистки рабочей области от ошибочно нарисованных отрезков;

Cls

–кнопка для очистки рабочей области от эквипотенциальных и силовых линий;

E

–кнопка для рисования силовых линий;

Сет

–кнопка для изменения вида сетки рабочей области;

Оси

– кнопка для рисования электрических осей.

На левой боковой панели также расположены:



–прибор для измерения напряженности поля, прибор включается щелчком левой кнопки мыши по кнопке

$\frac{V}{m}$.

ГЕОМЕТРИЯ

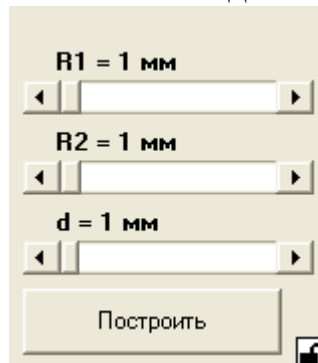
– кнопка для определения геометрических параметров двухпроводной линии;

МАСШТАБ

– кнопка для открытия области, в которой расположены кнопки для изменения масштаба: «+» и «-».



На правой боковой панели сверху расположены рамка с тремя ползунками и кнопками справа и слева для установки радиусов проводов и расстояния между их центрами и кнопка «Построить» для построения в рабочей области двухпроводной линии с заданными параметрами.

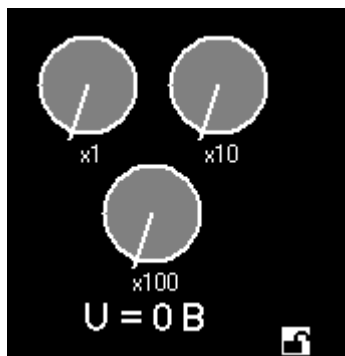


После построения двухпроводной линии внизу рабочей области появляется линейка, служащая для отображения установленного масштаба (рисунок 4.3).

На правой боковой панели также расположены:



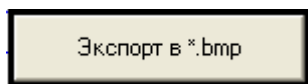
– вольтметр для измерения потенциалов в любой точке электростатического поля двухпроводной линии;



– источник напряжения с тремя переключателями для установки напряжения между проводами двухпроводной линии;



– прибор для измерения емкости двухпроводной линии; прибор включается щелчком левой кнопкой мыши по кнопке «F»;



– кнопка для сохранения картины поля двухпроводной линии;



– кнопка «замочек» для блокировки и разблокировки установленных параметров двухпроводной линии и напряжения.

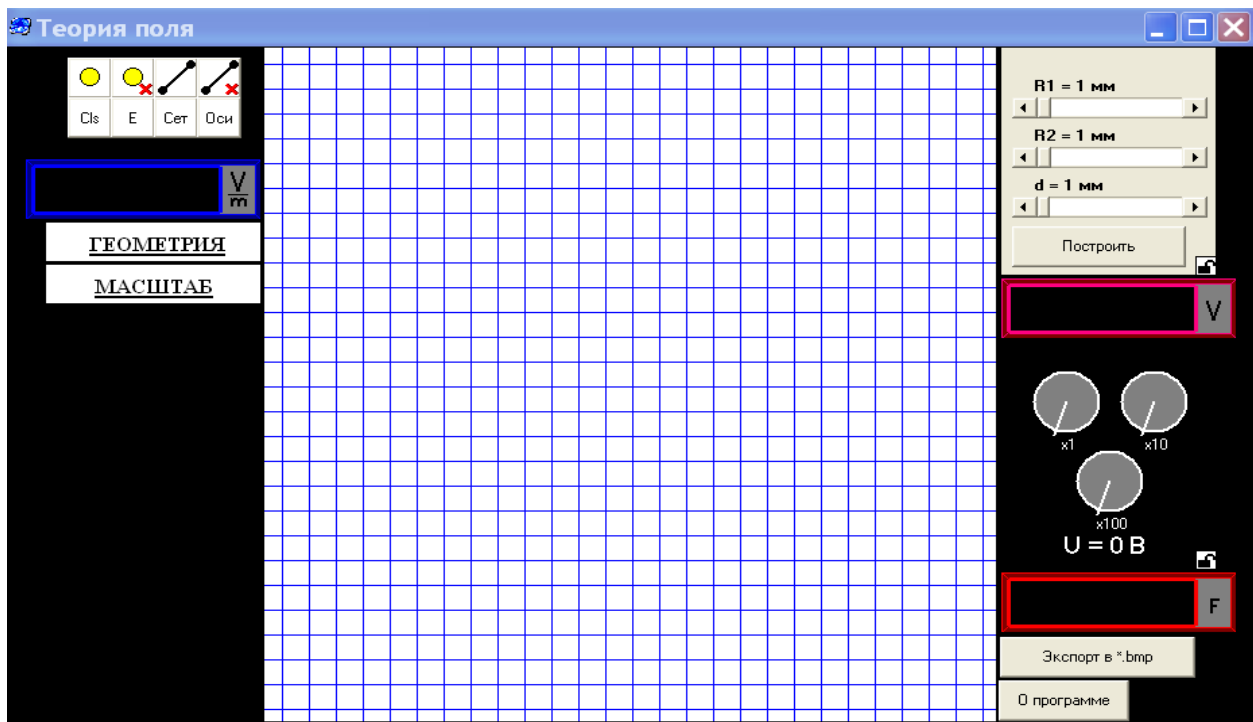


Рисунок 4.2 - Интерфейс программы

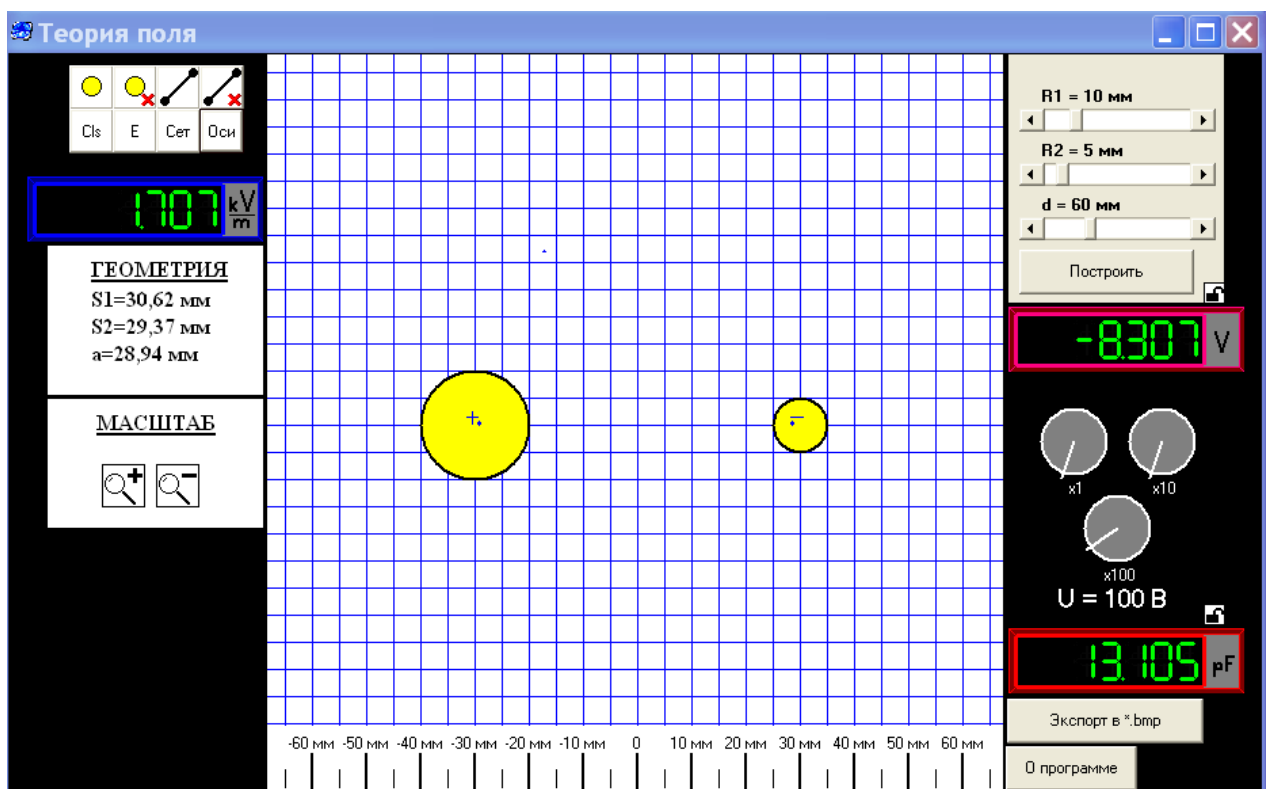


Рисунок 4.3 - Двухпроводная линия

Методические указания.

Ознакомьтесь с описанием программы «Теория поля».

Для установки радиусов проводов R_1, R_2 и расстояния между проводами d применяются ползунки и кнопки справа и слева, позволяющие, соответственно, увеличивать или уменьшать R_1, R_2 и d . Чтобы предотвратить случайное изменение установленных параметров двухпроводной линии, нужно щелкнуть левой кнопкой мыши по кнопке «замочек». Для построения двухпроводной линии щелкнем по кнопке «Построить» (рисунок 4.3).

Для определения геометрических параметров линии щелкнем по кнопке «Геометрия», откроется область, в которой появятся значения a, S_1, S_2 .

Напряжение между проводами устанавливается с помощью источника напряжения с тремя переключателями. Для увеличения напряжения щелкнем левой кнопкой мыши на стрелку соответствующего переключателя источника, для уменьшения напряжения нужно щелкнуть правой кнопкой мыши.

Изображение электрических осей можно получить, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Оси» (рисунок 4.3), убрать электрические оси можно также, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Оси».

Емкость двухпроводной линии на единицу длины можно измерить с помощью соответствующего прибора, для этого нужно щелкнуть по кнопке «F» этого прибора левой кнопкой мыши (рисунок 4.3).

Напряженность в любой точке электрического поля двухпроводной линии можно измерить с помощью соответствующего прибора, для этого

нужно включить прибор, щелкнув по кнопке « $\frac{V}{m}$ » левой кнопкой мыши, поставить курсор мышки в точку поля, где требуется измерить напряженность и щелкнуть по этой точке поля правой кнопкой мыши. На табло прибора появится значение напряженности (рисунок 4.3).

Для построения точек эквипотенциальной линии применяется вольтметр, с помощью которого можно измерять потенциалы точек электростатического поля двухпроводной линии. Чтобы нарисовать точку эквипотенциальной линии, щелкают левой кнопкой мыши по кнопке для рисования точек, расположенной вверху левой панели в меню инструментов рисования (см. описание программы), затем находят точку поля с заданным потенциалом, используя вольтметр, и щелкают левой кнопкой мыши по найденной точке поля, при этом на экране появляется точка красного цвета. Ошибочно нарисованные точки можно удалить с помощью кнопки (ластика), расположенной вверху левой панели в меню инструментов рисования.

Полученные точки эквипотенциальной линии можно соединить между собой отрезком. Для этого щелкают левой кнопкой мыши по кнопке для рисования отрезков, расположенной вверху левой панели в меню инструментов рисования, затем щелкают левой кнопкой мыши по двум соседним точкам с одинаковыми потенциалами, и они соединяются отрезком прямой. Ошибочно нарисованные отрезки можно удалить с помощью кнопки (ластика), расположенной вверху левой панели в меню инструментов рисования.

Для построения силовых линий щелкают левой кнопкой мыши по кнопке «Е». На экране появляется диалоговое окно (рисунок 4.4), в котором выбирают число силовых линий и нажимают «ОК». Убрать силовые линии можно также, щелкнув левой кнопкой мыши по кнопке «Е».

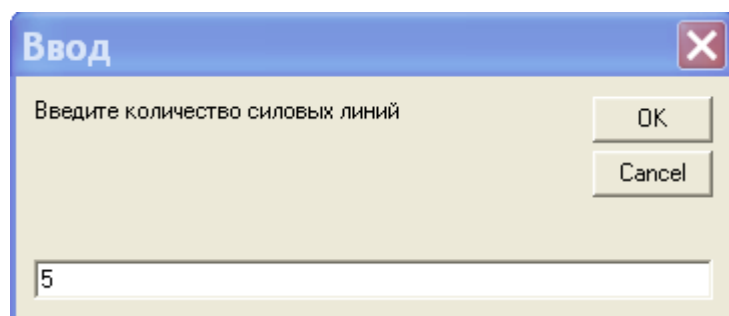


Рисунок 4.4

Полученную картину электростатического поля двухпроводной линии можно сохранить щелчком левой кнопкой мыши по кнопке «Экспорт в *bmp». Чтобы распечатать сохраненную картину поля, её удобнее всего открыть с помощью программы Paint.

Силовые линии можно построить вручную на распечатанном рисунке двухпроводной линии, где построены только эквипотенциальные линии. Одна из силовых линий – это прямая, соединяющая электрические оси. Все остальные силовые линии представляют собой дуги окружности, проходящие через электрические оси, с центрами, лежащими на линии нулевого потенциала, и определяются уравнением: $x^2 + (y - y_0)^2 = a^2 + y_0^2$, где y_0 - центр дуги окружности. Силовые линии перпендикулярны эквипотенциальным линиям и проводятся так, чтобы между каждой парой соседних линий заключалась равная часть общего потока вектора напряженности поля.

Полностью очистить экран от системы эквипотенциальных и силовых линий можно с помощью кнопки «Cls», щелкнув по ней левой кнопкой мыши.

Методические указания к теоретическому расчету.

Геометрические параметры двухпроводной линии a , S_1 , S_2 (рисунок 4.5) вычисляются по формулам:

$$S_1 = \frac{d^2 + R_1^2 - R_2^2}{2d}, \quad S_2 = \frac{d^2 + R_2^2 - R_1^2}{2d}, \quad a = \sqrt{S_1^2 - R_1^2} = \sqrt{S_2^2 - R_2^2},$$

где

$d = S_1 + S_2$ – расстояние между геометрическими осями проводов;

S_1 , S_2 – расстояние от геометрических осей проводов до плоскости нулевого потенциала;

R_1 , R_2 – радиусы проводов;

a – расстояние электрических осей от плоскости нулевого потенциала.

Емкость двухпроводной линии C определяется выражением:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{(S_1 + a)(S_2 + a)}{R_1 R_2}},$$

где

$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная;

$\varepsilon = 1$ — относительная диэлектрическая проницаемость воздуха.

Потенциалы на поверхности проводов ϕ_1, ϕ_2 рассчитываются по формулам:

$$\phi_1 = \frac{CU}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{S_1 + a}{R_1}, \quad \phi_2 = \frac{CU}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{R_2}{S_2 + a}.$$

Напряженности поля на поверхности проводов вычисляются по формулам (рисунок 4.5):

$$E_M = \frac{CU}{2\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{R_M} - \frac{1}{R_M + 2a} \right); \quad E_N = \frac{CU}{2\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{R_N} + \frac{1}{2a - R_N} \right);$$

$$E_L = \frac{CU}{2\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{2a - R_L} + \frac{1}{R_L} \right); \quad E_K = \frac{CU}{2\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{R_K} - \frac{1}{R_K + 2a} \right),$$

где $R_M = S_1 - a + R_1$ — расстояние от положительной электрической оси до точки;

$M, R_N = R_1 - (S_1 - a)$ — расстояние от положительной электрической оси до точки;

$N, R_L = R_2 - (S_2 - a)$ — расстояние от положительной электрической оси до точки;

$L, R_K = S_2 - a + R_2$ — расстояние от положительной электрической оси до точки K .

Плотность поверхностного электрического заряда вычисляется по

$$\sigma_M = \varepsilon_0 E_M, \quad \sigma_N = \varepsilon_0 E_N, \quad \sigma_L = \varepsilon_0 E_L, \quad \sigma_K = \varepsilon_0 E_K.$$

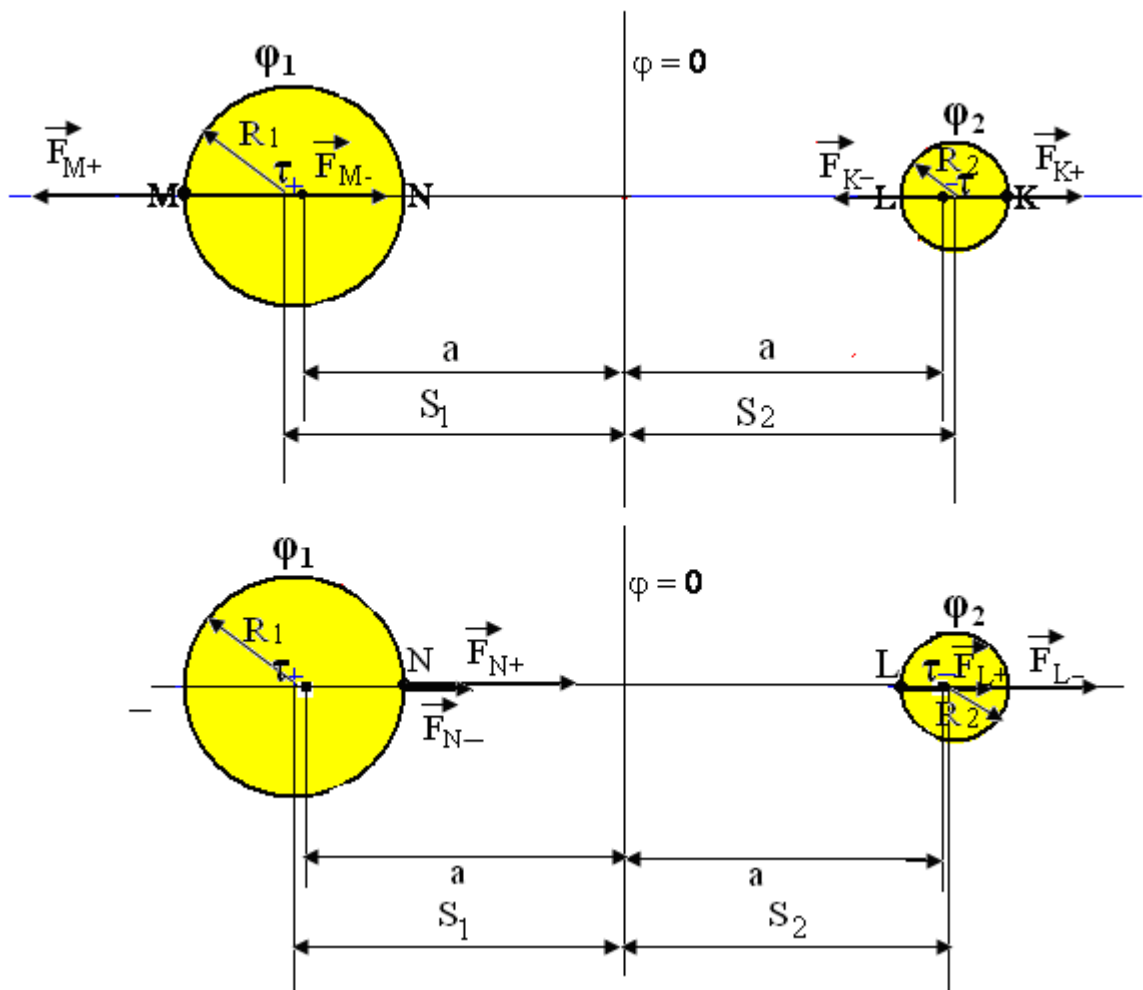


Рисунок 4.5 - К расчету напряженности поля

Список литературы

- 1 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. Теоретические основы электротехники. – том 2. – СПб.: Питер, 2003.-576 с.
- 2 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л.. Теоретические основы электротехники. – том 3. – СПб.: Питер, 2003.-377 с.
- 3 Атабеков Г.И. ТОЭ линейные и электрические цепи (7-е изд.). – М.: Лань, 2009. – 592 с.
- 4 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.-М.: Гардарики, 2007. – 638 с.
- 5 Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей.- М.: Энергоатомиздат, 1989. -528 с.
- 6 В.И. Денисенко, Г.М. Светашев. ТОЭЗ. Конспект лекций. – Алматы: АИЭС, 2007.- 90 с.

Любовь Павловна Болдырева
Гульдана Кашкинбаевна Смагулова

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
Методические указания и задания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей 5В071800, 5В081200

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 350 экз.
Объем 2,0 уч. - изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ _____. Цена 1000 тенге.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова 126.

