

Кафедра: «Электрооборудование и энергосбережение»

С.Ю. Свидченко

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
методические указания
по выполнению лабораторных работ

Дисциплина - «Теория электромагнитного поля»

Направление – 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»

Допущено ФБГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК» для использования в учебном процессе в качестве методических указаний для высшего профессионального образования

Орёл 2012

Автор:

кандидат технических наук, доцент кафедры ЭиЭ С.Ю. Свидченко

Рецензент: доктор технических наук, профессор кафедры ЭиЭ

В.И. Заградский

Методические указания содержат программы выполнения семи лабораторных работ по дисциплине «Теория электромагнитного поля», представляющую собой заключительную часть курса «Теоретические основы электротехники». По каждой работе имеются контрольные вопросы, а по последней приведено описание лабораторной установки.

Методические указания предназначены для студентов направления 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника», очной формы обучения.

Профиль – «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений».

Допущено ФБГОУ ВПО «Государственный-УНПК» для использования в учебном процессе в качестве методических указаний для высшего профессионального образования.

Редактор Л.Г. Харитонова

Технический редактор Л.В. Аверкина

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

«Государственный университет-учебно-научно-производственный
комплекс»

Подписано к печати

Формат 60x90 1/16

Усл. печ. л. 1,4. Тираж 25 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета

на полиграфической базе ФБГОУ ВПО «Государственный- УНПК»

302030, г. Орел, ул. Московская, 65.

© ФБГОУ ВПО «Государственный - УНПК», 2012

© Свидченко С.Ю., 2012

Содержание

Лабораторная работа № 1	
Знакомство с пакетом программ <i>ELCUT</i>	4
Лабораторная работа № 2	
Моделирование плоскопараллельных полей в <i>ELCUT</i>	6
Лабораторная работа № 3	
Анализ результатов решения задачи в <i>ELCUT</i>	8
Лабораторная работа № 4	
Определение коэффициентов Максвелла	10
Литература	13

Лабораторная работа №1

Знакомство с пакетом программ *ELCUT*

1 Цели работы

- 1.1 Знакомство с возможностями и структурой пакета *ELCUT*.
Приобретение навыков пошагового решения задачи.
- 1.2 Формирование представлений о круге задач, решаемых с помощью *ELCUT* [1].

2 Программа работы

- 2.1 Вызвать на монитор рабочее поле программы *ELCUT*.
- 2.2 Выбрать режим “?” в меню из верхней части рабочего поля. Из предложенного варианта выбрать “Вызов справки” и “Содержание”.
- 2.3 Ознакомиться с содержанием разделов “Первое знакомство”, “Обзор основных типов задач” и “Работа с описанием задачи”. В отчете по лабораторной работе зафиксировать целевое предназначение пакета *ELCUT*, указать перечень задач, решаемых в его рамках.
- 2.4 Пользуясь разделом “Примеры” из окна “Вызов справки”, просмотреть оформление и расчеты 2-3 задач с различными типами полей. Просмотренные примеры указать в отчете по лабораторной работе.
- 2.5 На основании предыдущего раздела произвести выбор одной из аналогичных задач для дальнейшего изучения и расчета. Конфигурация границ области расчета, физические характеристики блоков выбранной задачи должны отличаться от рассмотренных в примерах. Их следует согласовать с преподавателем и занести в отчет.
- 2.6 Пользуясь разделом “Учебник”, познакомиться с этапами проведения расчетов при помощи пакета *ELCUT* (пошаговые инструкции). В отчете эту работу представить в виде структурной схемы (блок-схему) чередования операций.
- 2.7 Сделать выводы по работе.

3 Контрольные вопросы.

- 3.1 Какие виды симметрии полей учитываются в *ELCUT*?
- 3.2 Что может рассматриваться в качестве источников поля?

- 3.3 Как задается тип задачи (поля)?
- 3.4 Как задается точность расчетов?
- 3.5 Что означает связанная задача?
- 3.6 Что такое геометрическая модель?
- 3.7. С какой целью формируется сетка в геометрической модели?
- 3.8 Какие ограничения представляет студенческая версия *ELCUT* для расчета поля?
- 3.9 Каким образом задаются физические свойства материалов, формирующих поле?
- 3.10 Можно ли использовать *ELCUT* для расчета полей в средах с нелинейными характеристиками?
- 3.11 Какими могут быть граничные условия при использовании *ELCUT*?
- 3.12 Каковы возможности предложений меню 1-го уровня “Правка”?
- 3.13 Как меняется состав меню 2-го уровня после решения задачи?
- 3.14 Какие виды плоско-параллельных полей можно рассчитать в *ELCUT*?
- 3.15 Какова типичная последовательность операций (шагов, действий), возникающая при решении новой задачи в *ELCUT*?
- 3.16 Опишите содержание файлов, структурно представляющих любую задачу в *ELCUT*.
- 3.17 Какими этапами представлено создание геометрической модели в *ELCUT*?

Лабораторная работа № 2

Моделирование плоскопараллельных полей в *ELCUT*

1 Цель работы

- 1.1 Освоение навыков работы с элементами геометрической модели.
- 1.2 Знакомство со способами задания и разновидностями граничных условий и источников поля.
- 1.3 Формирование навыков дискретизации расчетной области.
- 1.4 Закрепление навыков пошагового решения задачи. Получение решения.

2 Программа работы

- 2.1 Вызвать на монитор рабочее поле программы *ELCUT*.
- 2.2 Выполнить выбор типа задачи в соответствии с результатами лабораторной работы №1. Из верхнего меню 2-го уровня выбрать “New” (“Новый”). После этого в последовательности открывающихся окон произвести выбор класса модели, имени и типа задачи, системы координат, единиц измерения пространственных характеристик.
- 2.3 Приступить к формированию геометрической модели задачи. Для этого следует активизировать окно рабочего поля, произведя выбор в меню 3-го уровня (дерево задачи) “Геометрия: имя задачи.mod”. Для согласования размеров элементов рабочего поля и поля задачи удобно пользоваться режимом “Сетка привязки” (вызов через меню первого уровня “Правка” или через контекстное меню – правая кнопка мыши). Ввод вершин и ребер производится с помощью 16-ой кнопки меню второго уровня или через контекстное меню.

Выделение элемента геометрической модели – через 15-ю кнопку меню второго уровня или через контекстное меню. При вводе геометрии задачи, следует помнить о необходимости введения общих размеров области. Обязательно введение максимально нужных габаритов в виде прямоугольного окна.

- 2.4 Выполнить присвоение меток геометрическим объектам для описания свойств материала. Назначение метки производится в рамках окна “Свойства выделенных объектов”, в которых помимо привязки объекта к мнемоническому имени указываются геометрические характеристики объекта (площадь, длина и т.п.). Назначение свойств метки производится при активизации кнопки соответствующей метки в дереве задачи через окно “Свойство

Лабораторная работа № 3
Анализ результатов решения задачи в *ELCUT*

1 Цель работы

1.1 Знакомство с возможностями представления расчетной информации в *ELCUT* после решения задачи.

2 Программа работы

2.1 Вызвать на монитор рабочее поле программы *ELCUT* и открыть файл задачи, сформулированной и решенной в лабораторной работе №2.

2.2 Вновь получить решение задачи (предложение “Задача” из меню 1-го уровня, затем “Решить задачу” из подменю).

2.3 Ознакомиться с содержанием окна «Картина поля» из предложения «Вид» меню 1-го уровня. В отчет занести перечень величин, характеризующих поле, которые могут быть выбраны в этом режиме. Произвести выбор величины, представляющей интерес для дальнейшего использования в картине поля.

2.4 Вернуться к картине поля на рабочей области и занести ее (эскизно или с помощью принтера) в отчет, указав на ней характерные размеры области и экстремальные точки поля.

2.5 Выбрав предложение «Калькулятор» (15-я кнопка меню 2-го уровня), ознакомиться с предложениями появляющегося иерархического (древовидного) подменю. Схематически дерево следует занести в отчет.

2.6 Войти в режим «Локальные значения». Указывая различные координаты запрашиваемой точки, проследить изменение величин, предлагаемых количественно. Для одной из точек все предлагаемые величины следует занести в отчет.

2.7 Войти в режим «Интегральный калькулятор». Определить разомкнутый контур (5 кнопка «Контур» меню 1-го уровня, «Добавить» и далее курсорным крестом с фиксацией левой кнопкой мыши точки излома контура). Раскрыть, ознакомиться и занести в отчет все предоставленные интегральным калькулятором величины, характеризующие поле.

2.8 Сделать контур замкнутым, добавив в него замыкающий фрагмент. Занести в отчет изменения предоставляемых калькулятором величин.

2.9 Изучить возможности графического и табличного представления информации. Предложение «Вид» из меню 1-го уровня имеет подменю «График» и «Таблица» в случае наличия на картине поля контура. Получить для разомкнутого контура график распределения любой характеристики поля.

Выбор возможных характеристик осуществляется через меню справа от графика. График выбранной величины занести в отчет. Через кнопку «Вид», активизируемую при наличии графика, можно вызвать окно «Кривые на графике» детализации вида, особых точек и других вспомогательных действий по кривым. При выборе предложения «Таблица» вся информация по рассчитанным характеристикам располагается в таблице, конкретный вид которой следует редактировать через повторное обращение к клавише «Вид» и подменю «Столбцы» и «Строки». Используя эти возможности, после просмотра всей таблицы оставить в ней 7 столбцов (включая 3 – координатных) и 11 строк (включая заголовок таблицы) и в таком виде занести в отчет.

2.10 Ознакомиться с работой подменю «Мастер емкости (индуктивности)». Основные характеристики работы «Мастера» занести в отчет.

2.11 Сделать выводы по работе.

3 Контрольные вопросы

3.1 Какие возможности предоставляет режим «Картина поля», выбранный по предложению меню 1-го уровня «Вид» или по контекстному меню?

3.2 Что представляет из себя режим «Калькулятор»?

3.3 Какова структура МАСТЕРА ИНДУКТИВНОСТИ (МАСТЕРА ЕМКОСТИ)? Каков порядок работы с этой программой?

3.4 О какой специфике в условиях задачи может говорить наличие разрывов первого рода в распределениях величин?

3.5 С какой целью и как формируется контур на картине поля?

3.6 С какой целью и как задается цветовая картина поля?

3.7 Как по распределению характеристик проверить выполняемость граничных условий?

3.8 Как и зачем производится просмотр локальных характеристик поля?

3.9 Как получить и редактировать вид таблицы рассчитанных величин характеристик поля?

Лабораторная работа №4 Определение коэффициентов Максвелла

1 Цели работы

1.1 Знакомство с методикой экспериментального определения коэффициента электростатической индукции и частичных емкостей.

1.2 Проверка существующих между ними связей и их связей с потенциальными коэффициентами.

2 Программа работы

2.1 Получить у лаборанта или преподавателя:

- объект исследования (трех- или четырехжильный кабель);
- баллистический гальванометр PG ;
- конденсатор C ;
- монтажные провода и зажимы.

2.2 Собрать на стенде ЛСЭ-2 схему согласно рис.1 для градуировки гальванометра и продемонстрировать ее лаборанту или преподавателю.

2.3 Произвести градуировку баллистического гальванометра, подбирая напряжение источника U таким, чтобы отклонение стрелки гальванометра в момент разряда образцового конденсатора C составляли не менее 75% от предельного количества делений

$$A_0 = C \cdot U / a .$$

2.4 Собрать схему по рис. 2 и, зарядив первую жилу исследуемого кабеля, разрядить ее через баллистический гальванометр PG . По отбросу стрелки определить q_1 и соответственно $\beta_{11} = q_1 / U_1$. Подключая остальные жилы кабеля аналогично и разряжая их на PG , найти собственные коэффициенты электростатической индукции.

2.5 Собрать схему рис. 3. Подать на первую жилу кабеля напряжение U_1 . Разрядить эту жилу на корпус, переведя $SA1$ в положение «разряд». Зафиксировать при этом заряд q_2 , прошедший через PG от второй жилы. Получить взаимный коэффициент электростатической индукции

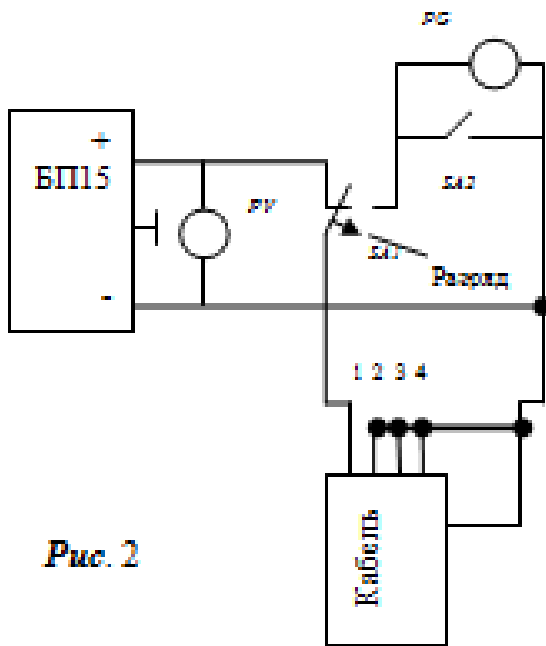


Рис. 2

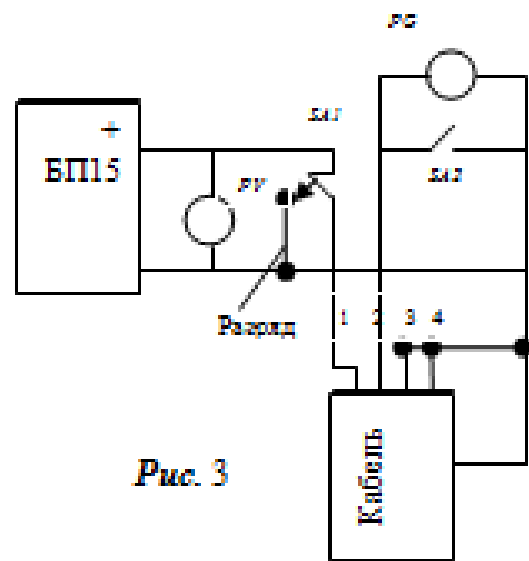


Рис. 3

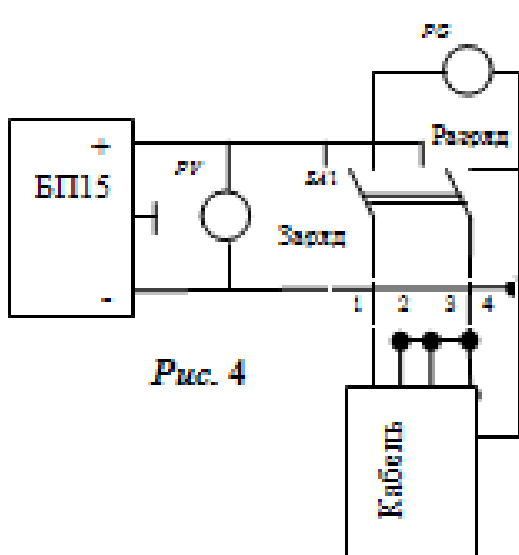


Рис. 4

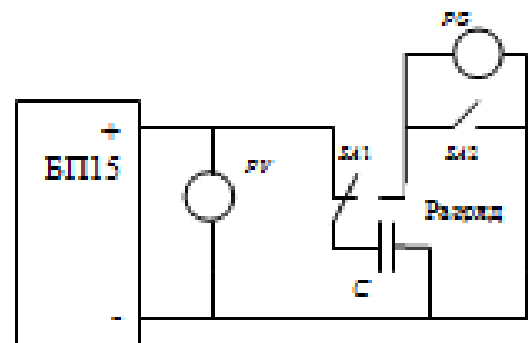


Рис. 1

Рис. 1- Схема для градуировки баллистического гальванометра.

Рис. 2 - Схема для нахождения собственного коэффициента электростатической индукции β_{11} .

Рис. 3- Схема для нахождения взаимного коэффициента электростатической индукции β_{21} .

Рис. 4- Схема для нахождения собственной частичной емкости.

$$\beta_{21}=q_2/U_1.$$

2.6 Поменять в схеме рис. 3 провода, подходящие к первой и второй жилам кабеля и, проведя замеры, аналогичные предыдущем, получить $\beta_{12}=q_1/U_2$.

Убедиться, что $\beta_{21} = \beta_{12}$.

2.7 Проведя необходимые переключения в схеме рис. 3, выполнить определение оставшихся взаимных коэффициентов электростатической индукции, и поместить их значения в отчет в виде квадратной таблицы (матрицы).

2.8 Собрать схему рис. 4. Подать на первую жилу кабеля напряжение U_1 . Разрядить эту жилу через PG и определить по его отклонению заряд q_1 - для определения собственной частичной емкости $C_{11}=q_1/U_1$.

2.9 Проведя необходимые переключения в схеме рис. 4, выполнить определение собственных частичных емкостей других жил кабеля C_{22}, C_{33}, \dots .

Убедиться, что

$$C_{11}=\beta_{11}+\beta_{12}+\beta_{13}+\beta_{14};$$

$$C_{22}=\beta_{21}+\beta_{22}+\beta_{23}+\beta_{24}$$

(формулы даны для четырехжильного кабеля).

Экспериментально определять взаимные частичные емкости не следует, т.к. известно, что $C_{ij} = -\beta_{ij}$.

2.10 Получить потенциальные коэффициенты путем обращения матрицы из п. 2.7. и занести полученные значения в отчет в виде квадратной таблицы (матрицы).

2.11 Сделать вывод по работе.

3 Контрольные вопросы.

3.1 Каков физический смысл потенциальных коэффициентов

- собственных?

- взаимных? |

3.2 Каков физический смысл частичных емкостей

- собственных?

- взаимных?

3.3 Каков физический смысл коэффициентов

электростатической индукции

- собственных?

- взаимных?

3.4 Почему взаимные коэффициенты электростатической индукции отрицательны?

3.5 Можно ли пользоваться освоенной вами методикой определения коэффициентов Максвелла в случае коротких проводов кабеля? Ответ мотивировать.

3.6 Сделать эскиз поперечного сечения кабеля и изобразить на нем (приблизительно) картину электростатического поля, возникающего при измерении коэффициента β_{22} .

3.7 Каков порядок экспериментального определения собственных коэффициентов электростатической индукции?

3.8 Каков порядок экспериментального определения взаимных коэффициентов электростатической индукции?

3.9 Каков порядок экспериментального определения собственных частичных емкостей?

3.10 Каковы условия применения коэффициентов Максвелла для описания работы трехфазной линии электропередачи?

Литература

1. <http://www.tor.ru>
2. Бессонов Л.А. ТОЭ. Электромагнитное поле. Учебник. - 10-е издание - М.: Гардарики, 2003. - 317 с. (С.45-49).
3. Теоретические основы электротехники: в 3-х т. Учебник для вузов. Том 3.- 4-е изд./ К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин.- СПб.: Питер, 2006. - 377с. (С.87-96).
4. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: Магнитные цепи, поля и программа: учеб пособие/ О.Б.Буль. - М.: Академия, 2005. - 336 с.
5. Нейман Л.Р., Демирчян К.С., Юринов В.М. Руководство к лаборатории электромагнитного поля.- М.: Высшая школа 1966. - 267с. (С.112-121).