

УДК 621.372.011

## ОБ ОПЫТЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРИИ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Доктора техн. наук, профессора МАМЕДОВ Г. А., ЛАЗИМОВ Т. М.

*Азербайджанский технический университет*

В настоящей статье излагается опыт создания курса теории линейных электрических цепей (ТЛЭЦ) и его преподавания студентам железнодорожных специальностей в Азербайджанском техническом университете.

Отметим некоторые особенности ТЛЭЦ как предмета:

- большое количество трудноусваиваемых формальных разделов, таких как, например, функции рельсовых цепей, теория многополюсников, методы сигнальных графов и матриц инцидентности и др.;

- тесная связь с параллельно преподаваемыми дисциплинами, в частности теоретическими основами электротехники (оба предмета преподаются на втором–третьем годах обучения ступени бакалавра). В результате студентам приходится изучать схожие или близкие вопросы по различным методикам и подходам, зависящим от особенностей преподавания дисциплины, что может затруднить усвоение учебного материала;

- использование широкого спектра математических теорий и методов (непрерывное и дискретное преобразование Фурье, операционное исчисление, функции Бесселя и другие специальные функции, функции комплексного переменного и т. п.).

Перечисленные особенности определяют высокие требования к уровню базовых знаний студентов высшей математики, общей физики и теоретических основ электротехники. Базовый курс советского периода [1] содержал все основные вопросы курса ТЛЭЦ. Его можно условно подразделить на две основные части. Первая часть имеет общий характер и включает вопросы расчета и синтеза цепей, теорию четырехполюсника, теорию электрических цепей с распределенными параметрами. Рассматриваемые в этой части курса вопросы по существу углубляют знания, полученные студентами при изучении курса теоретических основ электротехники. Специализация знаний идет по пути неизбежной формализации учебного материала. Вторая часть курса – специализированная, содержит материал по частотным и временным характеристикам электрических цепей, теории электрических фильтров и некоторые другие вопросы.

Разработанный нами курс [2] имеет в целом схожую структуру. Содержание же курса дифференцировано в большей степени, что обусловлено как реструктуризацией учебных программ в связи с переходом на двухступенчатую систему образования, так и индивидуальным подходом авторов. Материал курса содержит также некоторые научные результаты, полученные авторами [3].

**1. Раздел по расчету рельсовых цепей.** Известно, что помимо передачи тягового тока рельсовые цепи используются для цепей железнодорожной телемеханики (высоковольтная автоблокировка и автоматическая сиг-

нализация). Верхний предел диапазона частот сигналов, передаваемых по рельсовым цепям, может составлять 500 Гц и более. Другой технологической особенностью рельсовых цепей является большая величина поперечной проводимости между рельсовыми нитями и землей. Кроме того, рельсовые цепи характеризуются наличием нескольких трактов для передачи сигналов.

Таким образом, рельсовая цепь – это электрическая цепь с распределенными параметрами, обладающая выраженной спецификой. Расчет рельсовых цепей возможен лишь с помощью специально разработанных методов, изложенных в [4] и не приведенных в [1]. Именно по этой причине, а также с учетом многофункционального технологического назначения рельсовых цепей их расчет выделен нами в специальный раздел курса.

В самом общем случае рельсовые цепи описываются системой линейных дифференциальных уравнений, приводимой к уравнению четвертого порядка [4]. Решения этих уравнений для различных практических случаев (тяга на постоянном или переменном напряжении, наличие или отсутствие дроссельтрансформаторов, наличие или отсутствие обрыва в рельсовой нити и т. п.), а также некоторые другие важные соотношения теории рельсовых цепей записываются с помощью функций Бесселя, гиперболических функций, функций рельсовых цепей и т. д. Поэтому в связи с представлением в разработанном нами курсе расчета рельсовых цепей как необходимый материал приведены также общие сведения о бесселевых функциях, их степенных и асимптотических разложениях, степенных аппроксимациях гиперболических функций sh, ch, th, cth.

**2. Материал по электромагнитной совместимости (ЭМС).** Вопросам ЭМС в техносфере в последние годы уделяется значительное внимание [5–7]. Цепи железнодорожной автоматики, телемеханики и связи являются, с одной стороны, одними из наиболее уязвимых и чувствительных коммуникаций техносферы, а с другой – требующими обеспечения повышенной безопасности движения объектами.

Необходимо отметить, что:

- в курсе [1] рассматриваются некоторые частные вопросы взаимного электромагнитного влияния, однако эти вопросы представляются не в общем контексте обеспечения ЭМС как комплексной проблемы;
- в различных странах ЭМС и проблема ее обеспечения формируются и преподаются как самостоятельная учебная дисциплина [8] или является частью смежных курсов. Например, в АзТУ магистранты первого года обучения по специальности «Электроснабжение» (по отраслям) изучают курс «Теоретические основы электромагнитной совместимости и качество электроэнергии».

Очевидно, что обучение студентов вопросам ЭМС и включение соответствующих вопросов в учебные программы являются актуальными и целесообразными проблемами. С этой целью в разделе «Цепи с распределенными параметрами (электрические линии)» в объеме двух параграфов и одной задачи нами рассмотрены вопросы ЭМС, приведены формулы для расчета продольных наведенных ЭДС во вторичных цепях, взаимных сопротивлений между первичными и вторичными цепями, представлены численные значения коэффициента защитного действия заземленных про-

водников для одно- и двухколейной железных дорог с электрической и тепловой тягой.

**3. Типовые задачи, решаемые в тесной связи с изучаемым материалом.** С целью повышения качества обучения, облегчения усвоения материала и оживления процесса преподавания нами разработан ряд задач (по разделам курса), временная последовательность решения которых должна тесно увязываться с лекционным курсом.

При этом:

- в ряде случаев решение задач может предшествовать изложению соответствующих теоретических положений. Наш опыт показал, что усвоение некоторых наиболее формализованных разделов курса ТЛЭЦ заметно улучшается при предшествующем или параллельном решении задач. Так, построение матрицы инцидентий многоконтурной электрической цепи на конкретном примере улучшает понимание читаемого впоследствии или параллельно соответствующего лекционного материала. В целом вкрапление в лекции даже и небольших по объему, но удачно подобранных задач весьма полезно;

- чтение лекций и проведение практических занятий одним и тем же преподавателем является важным фактором повышения качества обучения, поскольку возможно оптимальное распределение лекционного материала и решаемых задач по последовательности.

Нами разработан ряд задач по рельсовым цепям, в том числе задачи, посвященные расчету: волнового сопротивления и коэффициента распространения рельсовой линии на частоте 500 Гц; коэффициентов рельсового четырехполюсника при поврежденной рельсовой нити (для тяги на постоянном напряжении); коэффициентов рельсового четырехполюсника при представлении рельсовой линии цепью с сосредоточенными параметрами (при частоте 500 Гц); коэффициента затухания и коэффициента фазы рельсовой линии на частоте тягового тока 50 Гц; тех же параметров рельсовой линии на частоте 400 Гц.

В качестве задачи по ЭМС предлагается расчет наведенной в железнодорожной коммуникации продольной ЭДС при протекании тока короткого замыкания в линии электропередачи, имеющей участки сближения с рассчитываемой коммуникацией. При этом взаимные сопротивления между цепями определяются по относительно простой методике, изложенной в [5].

Качество усвоения курса ТЛЭЦ зависит от наличия в учебном плане курсовой работы, поскольку ее выполнение значительно облегчает понимание именно тех предметов, в которых изложение значительной части материала имеет формальный характер. В нашей практике в качестве курсовой работы студентам предлагается цикл задач по рельсовым цепям, аналогичным описанным выше. Как показывает многолетняя практика, группы, которые в соответствии с учебным планом не выполняют курсовые работы по ТЛЭЦ, имеют худшие показатели успеваемости по итогам завершающего экзамена.

Заметим, что курс ТЛЭЦ, разработанный первоначально для студентов, обучающихся на азербайджанском языке, в дальнейшем преподавался также и для обучающихся на русском языке.

## ВЫВОД

В Азербайджанском техническом университете накоплен определенный опыт преподавания теории линейных электрических цепей студентам железнодорожных специальностей. Разработан соответствующий курс для двухступенчатой системы образования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. К а л л е р, М. Я. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / М. Я. Каллер, Ю. В. Соболев, А. Г. Богданов. – М.: Транспорт, 1987. – 336 с.
2. М а м е д о в, Г. А. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учеб. пособие / Г. А. Мамедов, Т. М. Лазимов. – Баку: Чашыоглу, 2000. – 126 с.
3. М а м е д о в, Г. А. Метод расчета переходных процессов в цепях с распределенными параметрами при последовательных во время коммутациях / Г. А. Мамедов // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений СССР). – 1981. – № 7. – С. 94–96.
4. Б р ы л е е в, А. М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А. М. Брылеев, Ю. А. Кравцов, А. В. Шишляков. – М.: Транспорт, 1978.
5. К о с т е н к о, М. В. Влияние электрических сетей высокого напряжения на техно- и биосферу / М. В. Костенко. – Л.: Издание ЛПИ им. М. И. Калинина, 1984. – 56 с.
6. Ж е л е з к о, Ю. С. Работы СИГРЭ в области электромагнитной совместимости / Ю. С. Железко // Электричество. – 1995. – № 10. – С. 73–78.
7. Л а з и м о в, Т. М. Задачи исследования магнитного влияния электрических сетей на техносферу / Т. М. Лазимов // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1995. – № 5–6. – С. 23–27.
8. С h u n E. Elektromagnetische Vertrogllichkeit – weiter nichts als Disziplin? / E. Chun // ETZ: Elektrotechn. Z. – 1987. – № 10. – 428–434.

Представлена кафедрой  
электроснабжения и электрической изоляции

Поступила 11.11.2004

УДК 621.316

## ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ЛЭП 6–10 кВ

Канд. техн. наук, доц. **КУЦЕНКО Г. Ф.**, асп. ПУХАЛЬСКАЯ О. Ю.

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого*

Для контроля надежности электроснабжения потребителей энергосистема должна иметь сведения об основных показателях надежности всех элементов сети электроснабжения потребителей. С этой целью были проанализированы данные об аварийных отключениях в сетях 6–10 кВ РУП «Гомельэнерго». Основными показателями надежности ремонтируемых изделий, к которым относятся линии электропередачи, являются параметр потока отказов и среднее время восстановления [1]. Параметр потока отказов характеризует частоту отказов и равен среднему количеству отказов ремонтируемого изделия в единицу времени [1]. Время восстановления