

ЦИФРОВОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе предложен цифровой метод исследования магнитных характеристик материалов, включая как традиционные сплавы на основе соединений железа (например, электротехническая сталь), так и перспективные к применению наноматериалы на основе аморфного железа. Предлагается программный продукт и техническая реализация измерительно-вычислительного комплекса, а также результаты экспериментального исследования петли гистерезиса опытных образцов. Применение цифрового метода позволяет повысить точность измерения характеристик магнитных материалов.

Ключевые слова: измерительно-вычислительный комплекс, программное обеспечение «Гистерезис», USB-осциллограф, разработка виртуальных лабораторных приборов в среде LabView.

Экспериментальные методы контроля характеристик ферромагнетиков широко используются при разработке и совершенствовании конструкций электротехнических устройств, изготовленных из современных магнитных материалов, к которым относятся аморфные сплавы, высококачественные ферриты и пермаллои. Известны следующие методы контроля и измерения характеристик магнитных материалов [1]:

- баллистический метод, основанный на измерении количества электричества, протекающего через витки обмотки, охватывающей образец, при резком изменении магнитного потока;

- метод импульсного считывания, основанный на том, что в испытываемом образце создаётся поочерёдно поток от напряжённости поля постоянного тока и поток «считывания» от импульсного тока, направленный навстречу;

- осциллографический метод, основанный на аналоговом интегрировании выходного напряжения на выводах вторичной обмотки и измерении напряжения, пропорциональному синусоидальному току, проходящему по виткам первичной обмотки.

Внедрение новых информационных технологий в измерительной технике позволяет качественно изменить состояние вопроса об экспериментальных методах исследования магнитных характеристик материалов благодаря применению современного оборудования, имеющих собственное программное обеспечение, таких как, например PCGenerator, USB-осциллограф или разработка лабораторных виртуальных приборов в среде LabView, отвечающих требованиям стандарта качества.

В данной статье предложен цифровой метод контроля магнитных материалов на основе измерительно-вычислительного комплекса, структурная схема которого приведена на рис. 1.

В комплекс входит генератор низких частот (ГНЧ) типа PCGenerator PCG10/K8016, имеющий диапазон частот от 0,01 Гц до 1 МГц и напряжений от 0,01 до 10 В. Управление ГНЧ осуществляется через ПК. Усилитель мощности низкой частоты с регулируемым коэффициентом усиления и низким уровнем нелинейных искажений используется для получения предельного цикла петли гистерезиса. Для проведения экспе-

римента на опытный образец наматываются намагничивающая и измерительная обмотки w_1 и w_2 . Ток в намагничивающей обмотке определяется по напряжению на измерительном сопротивлении $R_{изм}$ и передается в канал А аналого-цифрового преобразователя (АЦП), встроенного в USB-осциллограф. На канал В АЦП USB-осциллографа подается напряжение с измерительной обмотки. Период квантования сигнала в программном обеспечении USB-осциллографа задается из условия, чтобы наименьшее число точек на периоде составляло не менее 200, например, при частоте сигнала 50 Гц период квантования должен быть не более 0,1 мс. Данные с АЦП поступают в ПК через USB – порт. Цифровое интегрирование сигнала с измерительной обмотки осуществляется с помощью разработанной программы «Гистерезис» на языке визуального программирования Delphi 7.0, связанной через технологию ActiveX со средой LabView.

Работа измерительно-вычислительного комплекса (рис. 1) проходит в следующей последовательности: подключение каналов А и В USB-осциллографа соответственно к измерительному сопротивлению и к измерительной обмотке; задание входного сигнала по частоте и напряжению с помощью прибора PCGenerator, поступающего в намагничивающую обмотку; запуск программы «Гистерезис».

Рабочее окно программы «Гистерезис» приведено на рис. 2. В этом окне производится редактирование и ввод геометрических размеров тороидальных сердечников (внутреннего и внешнего радиусов, толщины сердечника, коэффициента заполнения стальной), а также чисел витков w_1 и w_2 соответственно первичной и вторичной обмоток.

Блочная структурная схема разработанного программного обеспечения для исследования петли гистерезиса приведена на рис. 3.

Блок I на рисунке означает внешние технические и программные средства. В состав блока входят:

- 1 – USB-порт ПК;
- 2 – программное обеспечение (ПО) USB-осциллографа;
- 3 – экран монитора ПК.

Блок II – это процедуры, преобразующие данные с USB-осциллографа в петлю гистерезиса, а именно:

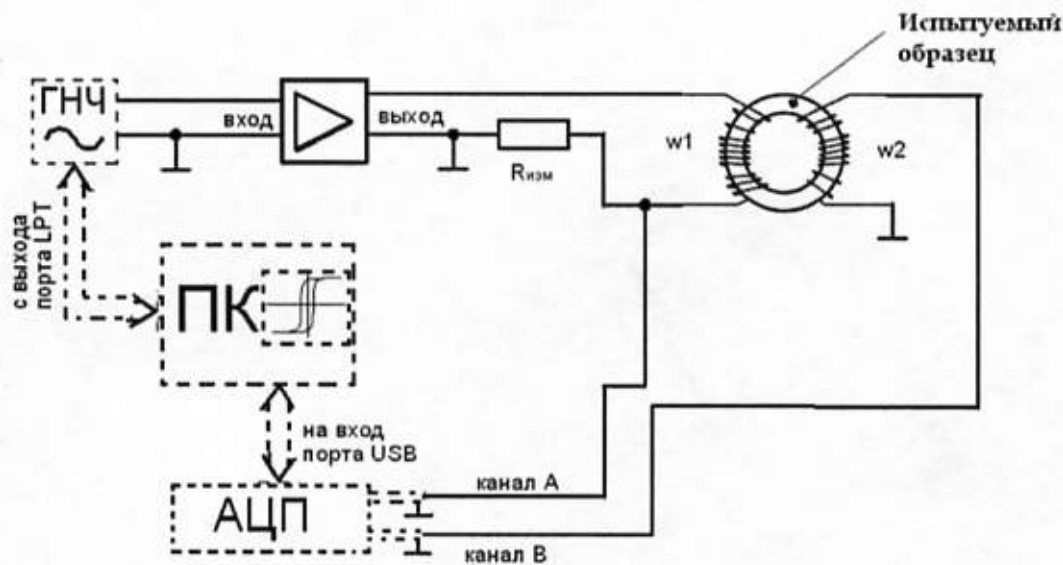


Рис. 1. Структурная схема измерительно-вычислительного комплекса

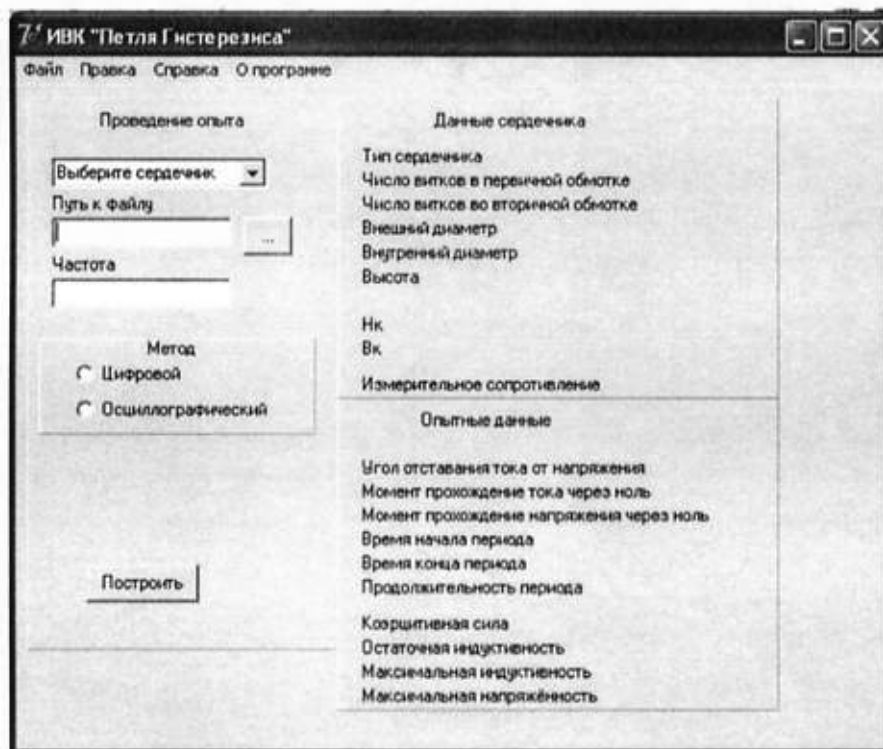


Рис. 2. Рабочее окно программы «Гистерезис»

4 – считывания из файла;
 5 – выделения периода;
 6 – построения петли;
 7 – расчёта коэффициентов по параметрам сердечника;

8 – вычисления угла сдвига фаз между током в первичной обмотке и текущим интегральным значением напряжения вторичной обмотки (кривой магнитной индукции).

Блок III – это виртуальные приборы, разработанные в среде LabView, а именно:

9 – интегратор напряжения;
 10 – осциллограф для вывода кривых тока, напряжения и петли гистерезиса;
 11 – осциллограф для вывода до 10 сохранённых петель гистерезиса.

Блок IV – это программа «Гистерезис» в среде

Delphi, а именно:

12 – главное окно;
 13 – окно просмотра базы сердечников;
 14 – окно редактирования базы сердечников;
 15 – окно открытия сохранённых петель.

Блок V – это текстовые файлы, хранящиеся на жестком диске (HDD), а именно:

16 – текстовый файл с сохранёнными данными опыта;
 17 – текстовый файл с сохранёнными данными петли гистерезиса;
 18 – текстовый файл с геометрическими размерами сердечников.

Работа программного обеспечения производится в следующей последовательности. В начале работы внешнего программного обеспечения USB-осциллографа 2 осуществляется вывод экспериментальных

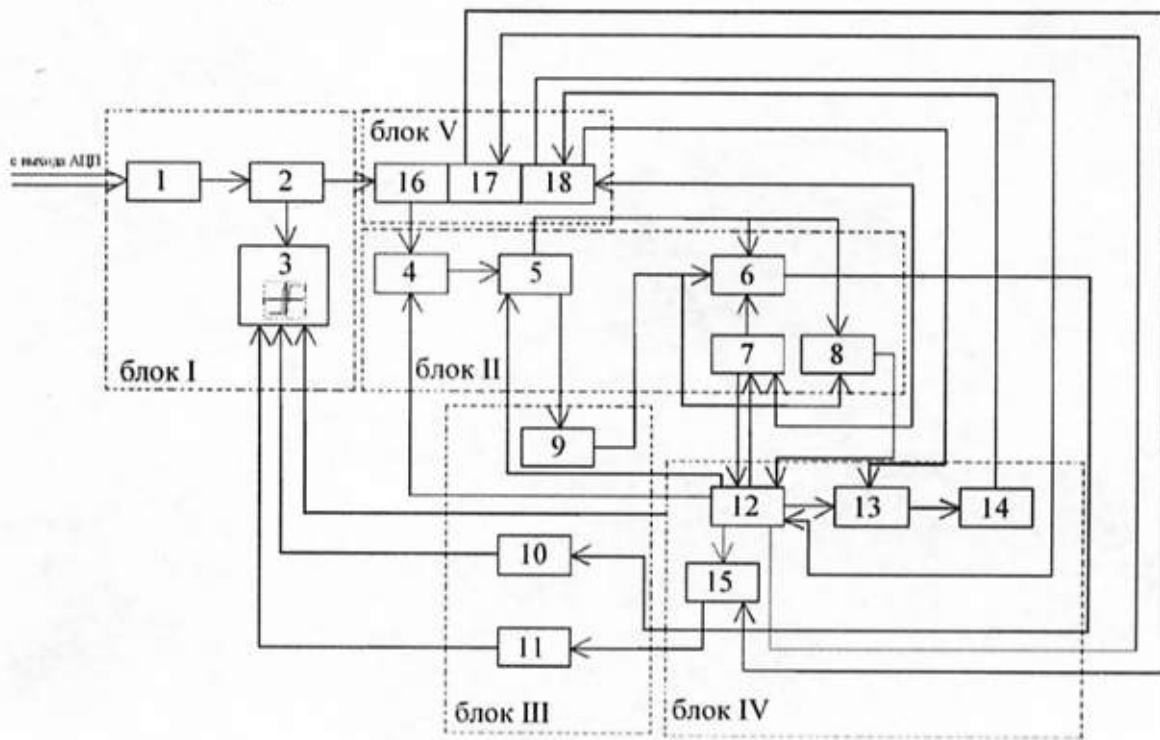


Рис. 3. Блочная структурная схема программного обеспечения

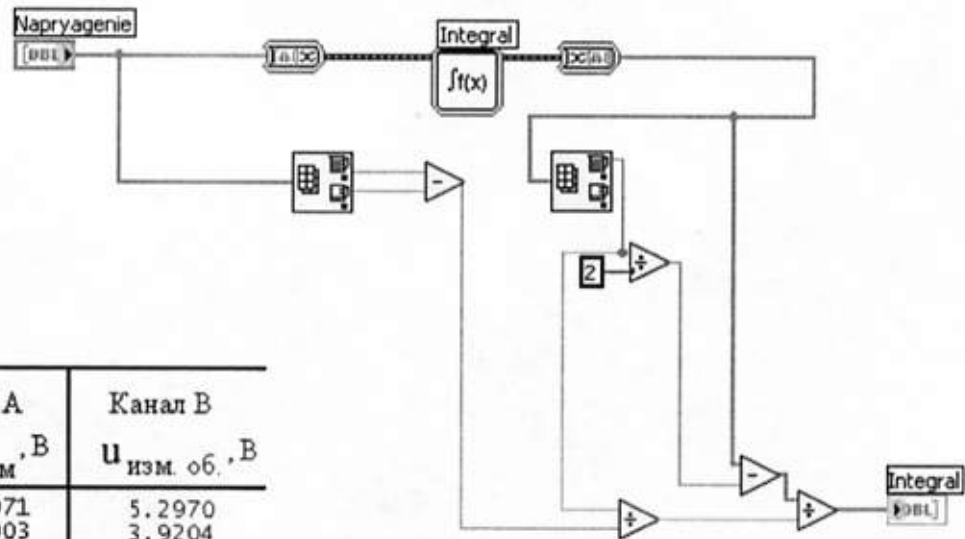
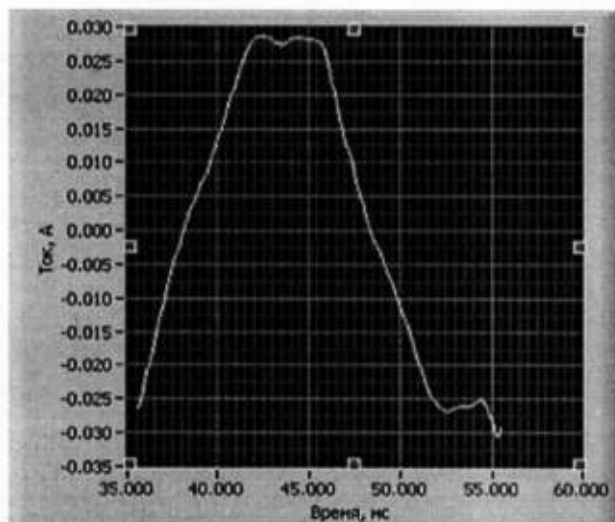


Рис. 4. Виртуальный интегратор в среде LabView

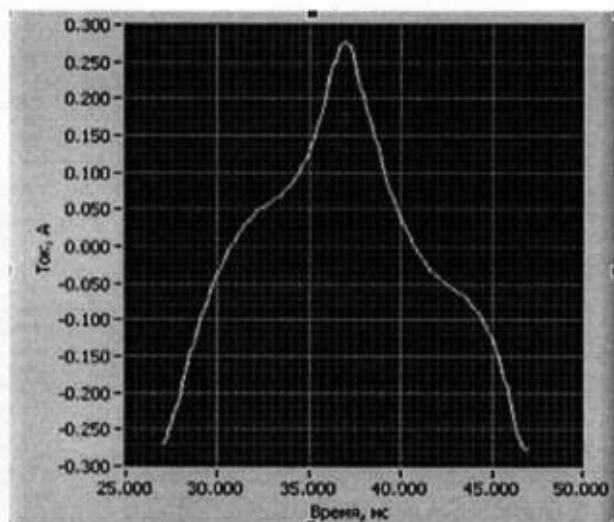
Время, мс	Канал А $U_{R\text{изм}}, В$	Канал В $U_{\text{изм. об.}}, В$
0	0.0971	5.2970
0.1	0.1003	3.9204
0.2	0.1031	2.4713
0.3	0.1055	0.9171
0.4	0.1068	-0.473
0.5	0.1062	-1.415
0.6	0.1039	-2.035
0.7	0.0996	-2.245
7.7	-0.089	0.6218
7.8	-0.089	0.6364
7.9	-0.090	0.4580
42.9	0.0203	-7.745
43	0.0170	-7.826
43.1	0.0137	-7.903
43.2	0.0105	-7.978
43.3	0.0073	-8.048
43.4	0.0042	-8.129
55.9	0.0775	11.594
56	0.0824	10.030
56.1	0.0867	8.6408
56.2	0.0907	7.3722

Рис. 5. Пример текстового файла с данными АЦП, извлеченными из ПК

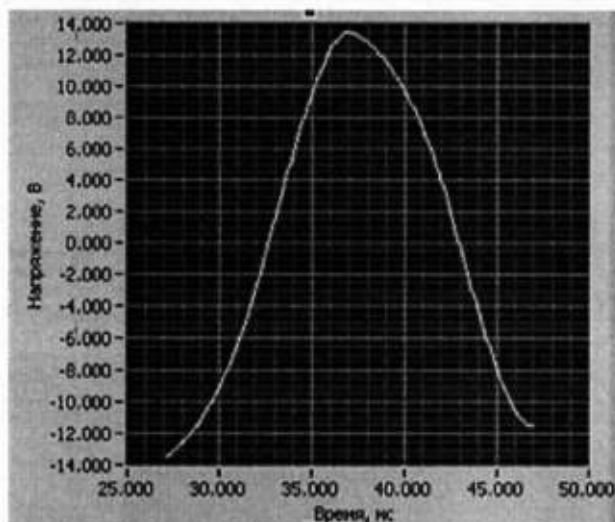
данных на экран монитора 3 с USB-порта 1 ПК и сохранение этих данных в текстовом файле 16 (рис. 5). Далее командой Project1.exe производится запуск программы «Код гистерезиса» с открытием главного окна 12, в котором считывается список сердечников из текстового файла базы 18. Производится выборка опытного образца магнитомягкого материала из списка сердечников и задается путь к текстовому файлу 16, а также частота входного напряжения, при которой производился опыт. При активации выбранных данных осуществляется считывание процедурой 4 данных из текстового файла 16 и выделение из них последнего периода процедурой 5. Данные о напряжении с выводов вторичной обмотки из процедуры 5 обрабатываются с помощью разработанного виртуального интегратора 9 в среде LabView (рис. 4). Процедурой 6 производится построение петли гис-



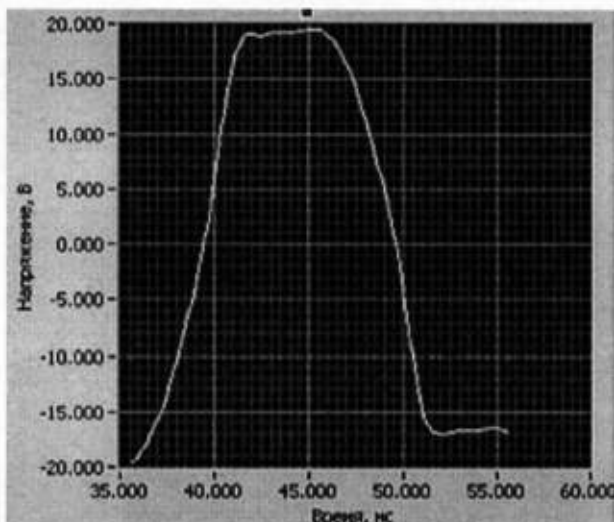
а)



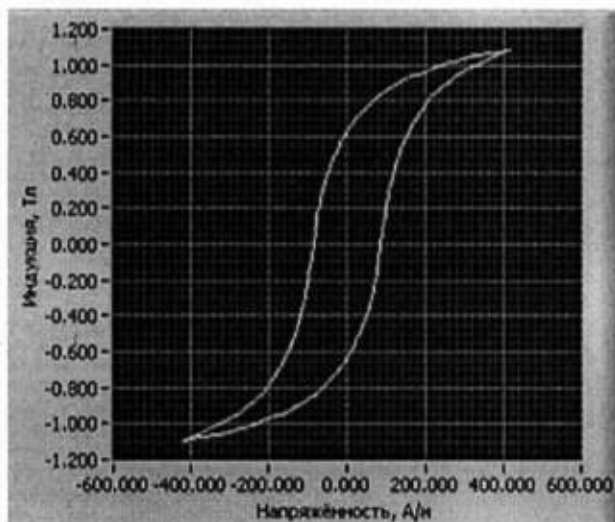
б)



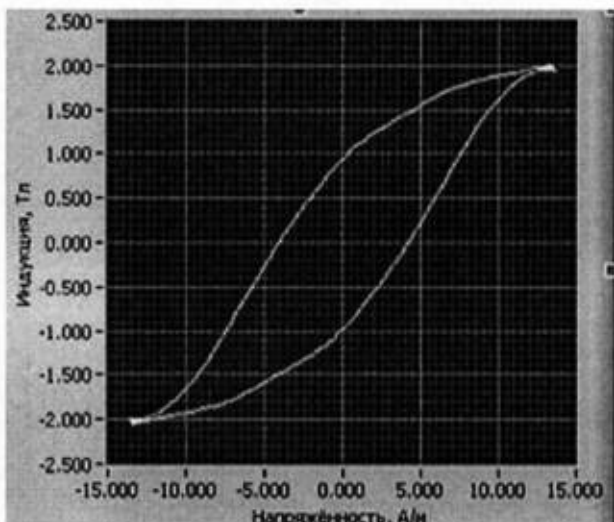
в)



г)



д)



е)

Рис. 6. Временные характеристики тока в первичной обмотке (а, б), текущего интегрального значения напряжения на выводах вторичной обмотки (в, г) и петли гистерезиса ферромагнитных материалов (д, е) аморфного сплава марки 2НСР (вид слева) и электротехнической стали марки 1413 (вид справа)

терезиса опытного образца с учетом масштабных коэффициентов, полученных процедурой 7 по известной геометрии опытного образца и обмоточным данным. Вывод петли гистерезиса, временных зависимостей тока и проинтегрированного напряжения

с выводов вторичной обмотки производится с использованием виртуального прибора осциллограф 10 на экран 3. Сохранение полученной петли гистерезиса в текстовом файле 17 производится с помощью меню главного окна 14. При открытии вспомога-

ного окна 15 можно открыть сохраненную в текстовом файле 17 петлю гистерезиса с помощью виртуального осциллографа 11 с отображением ее на экране монитора ПК. Для просмотра и редактирования параметров, опытных образцов из магнитомягких материалов используются вспомогательные окна 13 и 14 программы «Код гистерезиса». После редактирования данные перезаписываются в текстовом файле 18.

На рис. 5 приведен текстовый файл с данными АЦП, соответствующими в первом столбце – времени (мс), во втором – напряжению на измерительном сопротивлении (В), а в третьем – напряжению на выводах вторичной обмотки (В). Общее количество точек передаваемых с АЦП для каждого канала USB-осциллографа равняется 563.

На рис. 6 приведены результаты исследования опытных образцов из магнитомягких материалов.

Программа «Гистерезис» устанавливается на IBM PC 486/Pentium/AMD и работает под управлением русскоязычной версии операционных систем MS Windows 2000/XP. Рабочий объем памяти составляет 420 Мб. Для управления программой использован многооконный интерфейс, в котором наряду с рабочим окном используются вспомогательные окна: управления базами данных опытных образцов, вывода частных петель перемагничивания в одних осях координат, руководство пользователя; данные о программе и разработчике.

Предлагаемый цифровой метод контроля характеристик петли гистерезиса обеспечивает достовер-

ные результаты в широком частотном диапазоне, не требует применения аналоговых электронных устройств, позволяет создавать базы данных и учитывать влияние различных факторов на характеристики магнитных материалов [3], осуществлять компьютерную обработку результатов исследования.

Библиографический список

1. Чечерников В.И. Магнитные измерения. – М.: МГУ, 1969. – 387 с.
2. Амелин С.А., Строев Н.Н. Программно-аппаратный комплекс для исследования сердечников магнитных компонентов высокочастотных преобразователей напряжения. www.microcap-model.narod.ru/Magnetic/stand.htm
3. Физика твёрдого тела. Лабораторный практикум. Том II. Физические свойства. – М.: Высшая школа, 2001.

ПОПОВ Анатолий Петрович, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника», доктор технических наук, профессор, Изобретатель СССР, заслуженный работник Высшей школы РФ.

ТАТЕВОСЯН Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая и общая электротехника».

Дата поступления статьи в редакцию: 19.02.2009 г.

© Попов А.П., Татевосян А.С.

Книжная полка

Компьютерное моделирование электротехнических комплексов и систем [Текст]: учеб. пособие / ОмГТУ; сост.: А. А. Татевосян [и др.]. - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2008. - 95 с.

В учебном пособии «Компьютерное моделирование электротехнических комплексов и систем» рассматриваются вопросы моделирования сложных электротехнических комплексов, выполненных на основе электрических машин. Приведено математическое описание процессов различной физической природы, протекающих в подсистемах электропривода, и подходы к составлению математических моделей привода в целом. Большое внимание в пособии уделено прикладному пакету MATLAB, а особенно встроенному модулю пакета SIMULINK по схемотехническому имитационному моделированию.

Федоров, В. Л. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи [Текст]: конспект лекций / В. Л. Федоров ; ОмГТУ. - 2-е изд., перераб. и доп. - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2008. - 156 с. : рис. - Библиогр.: с. 153. - ISBN 978-5-8149-0547-5.

Рассматриваются вопросы теории линейных электрических цепей. При подготовке данного конспекта использованы наиболее значимые материалы из изданных в настоящее время учебников по ТОЭ для высших учебных заведений.