

СТРУКТУРА УЧЕБНИКОВ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ И АППАРАТАМ*

Вербовой А.П., к.т.н., Вербовой П.Ф., д.т.н.
Институт электродинамики Национальной академии наук Украины
Украина, 03680, Киев-57, пр-кт Победы, 56
тел. (044) 441-25-75, E-mail: podol@eld.Kiev.ua

В процесі виконання НДР щодо створення асинхронних двигунів з поліпшеними пусковими, регульовальними і динамічними властивостями отримано ряд нових відомостей, факторів і закономірностей. Розрізнені публікації автори пропонують внести в нові підручники. Наведено склад, структура і короткий зміст таких підручників.

В процессе выполнения НИР по созданию асинхронных двигателей с улучшенными пусковыми, регулировочными и динамическими свойствами получен ряд новых сведений, факторов и закономерностей. Разрозненные публикации авторы предлагают включить в новые учебники. Приводится состав, структура и краткое описание содержания таких учебников.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Настоящая статья базируется на результатах исследований, выполненных в отделе электромеханических систем ИЭД НАН Украины в соответствии с государственными планами НИР по естественным и научно-техническим темам. В процессе разработки асинхронных двигателей с улучшенными пусковыми, регулировочными и динамическими свойствами и исследовании их при переменной частоте вращения и изменении значений питающего напряжения установлен ряд новых сведений, факторов и закономерностей, относящихся к теории электромагнитных и механических процессов [1-3]. Частично эти результаты опубликованы в различных научно-технических изданиях [4-9]. Назрела необходимость в объединении их и последующем издании в виде новых учебников по электрическим машинам и аппаратам.

Целью статьи является информирование и последующее обсуждение с инженерами и учеными данной специальности структуры новых учебников, рационального распределения в них обширного материала по основам теории, исследованию и проектированию различных электромагнитных и электромеханических преобразователей энергии.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время мы пользуемся общепризнанными учебниками по электрическим машинам известных ученых: Костенко М.П., Пиотровского Л.М. (1958 и 1965 годов издания), Петрова Г.И. (1974 г.), Вольдека А.И. (1974 г.), Иванова-Смоленского А.В. (1980 г.) и др. Изложение некоторых вопросов в этих учебниках недостаточно логично и полно. Поэтому нередко приходится пользоваться книгами Шенфера К.И. (1938 г.), Рихтера Р. (1935 г.) и т.д.

Отметим следующие характерные особенности

существующих учебников и современного состояния проблемы.

1. Их достаточно много и это хорошо. Можно не только оценить взгляды отдельных авторов на освещение тех или иных вопросов теории, но и сравнить их, расширить свой кругозор, научиться рассматривать одни и те же задачи с различных точек зрения и дискутировать по ним.

2. Если есть разные мнения по некоторым вопросам и ведется дискуссия по ним, то это означает, что не все задачи теории решены и ученые не пришли еще к единому мнению. Значит идет процесс развития и совершенствования.

3. Существующие учебники построены на общепринятых в начальный период развития допущениях и положениях, которые застарели и могут быть сняты или уменьшена их категоричность. Однако сложились так обстоятельства, что эта область знаний до сих пор является одной из наиболее консервативных. Любые новшества некоторыми лицами встречаются не только недоверием и отрицанием, а и постоянным сопротивлением (задержкой публикаций, защит диссертаций и другими несолидными действиями).

4. Освещенные в учебниках вопросы теории приемлемы для статических, в большинстве случаев номинальных, режимов работы. Исследование процессов в динамических режимах работы (например, асинхронных машин) рассматривается в множестве статей и монографий, но они не доведены до необходимой точности и общепринятых применений по известным причинам. Более 50% устройств работают в динамических режимах с постоянными переходными электромагнитными и механическими процессами.

5. Занимаясь разработкой и исследованием асинхронных двигателей с улучшенными пусковыми, регулировочными и динамическими свойствами, уста-

* Члени редакційної колегії, що ознайомилися зі змістом даної статті, багато в чому не згодні з її основними положеннями. Проте, ми не вважаємо за доцільне перешкоджати авторам в прагненні донести своє бачення проблеми до читачів журналу – фахівців з електричних машин і апаратів, які зможуть скласти власну думку про ідеї, сформульовані в даній роботі.

Стаття публікується в авторській редакції без будь-якої правки.

В.Г. Данько, Б.В. Клименко

новлено ряд новых факторов, особенностей, положений и закономерностей. Они требуют освещения в новых учебниках.

6. В Украине существует множество заводов, изготавливающих различные аппараты, трансформаторы, электрические машины различной мощности и назначения, а также сеть научно-исследовательских учреждений и университетов с высоким уровнем научно-педагогических кадров, способных создать учебники передового уровня.

7. Настолько широкий спектр применения, конструктивных и схемных решений, особенностей и режимов работы, физического и математического описания процессов, решаемых задач (разработки теории, проектирования, технологии и т.д.), относящихся к классу электрических машин и аппаратов, что осветить их в одном учебнике практически невозможно. Поэтому в первую очередь нужно обсудить структуру новых учебников.

СОСТАВ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УЧЕБНИКОВ

Электрические машины и аппараты (ЭМиА), другие электротехнические и электромеханические преобразователи энергии, относящиеся к данному классу устройств, можно объединить в одну группу и назвать ее "электромагнитные преобразователи энергии" (ЭМПЭ). Почти 100% всей электрической энергии вырабатывается электромеханическими преобразователями (генераторами) и около 75% ее преобразуется в механическую с помощью электромеханических аппаратов и двигателей. Поэтому некоторые "кафедры электрических машин" в высших учебных заведениях переименовывают на кафедры "электромеханики". Такое изменение названия нецелесообразно, поскольку не соответствует действительности. Ведь трансформаторы, как минимум дважды преобразовывают всю электрическую энергию, а электрические аппараты и устройства, построенные на полупроводниковых приборах, нельзя отнести к электромеханическим преобразователям и они не исключаются из изучения на этих кафедрах.

Примерный состав учебников в виде структурной схемы показан на рисунке и характеризуется следующими составляющими:

- электрические аппараты традиционных и новых конструкционных и схемных исполнений, а также простые ЭМПЭ (например, индукционные реостаты);
- трансформаторы;
- АМ – асинхронные машины;
- СМ – синхронные машины;
- МПТ – машины постоянного тока;
- микромашины;
- специальные электрические машины;
- сложные системы ЭМПЭ.

ОБЩИЙ УЧЕБНИК

По традиции в общих учебниках по электрическим машинам рассматривались вопросы теории наиболее распространенных ЭМПЭ: трансформаторов, машин постоянного и переменного токов (АМ и СМ). Если использовать принцип "от простого к сложному", то считаем целесообразным объединить первые пять

разделов перечня (первого уровня структурной схемы на рисунке) и разместить их содержание в общем учебнике. В первом разделе необходимо рассмотреть также простые ЭМПЭ с движением "в малом".

Каждый элемент первого уровня включает все элементы второго уровня (см. рисунок). Сосредоточить их в общем и последующих учебниках не представляется возможным. Очевидно, что в каждом из учебников необходимо сосредоточить одновременно теорию электромагнитных и механических процессов (обведено на рисунке первой штриховой линией). При достижении адекватности математических моделей, описывающих электромагнитные и механические процессы, необходимо объединить их с моделями, описывающими тепловые процессы (на рисунке показано второй штриховой линией).

В общем учебнике могут быть рассмотрены наиболее существенные и самые общие вопросы расчета электромагнитных параметров, характеристик и проектирования ЭМПЭ. Поэтому нельзя будет добиться полного отсутствия повторяемости изложения некоторых вопросов в учебниках первого и второго уровней.

Вместе с тем общий учебник или его отдельные части должен по возможности гарантировать точность (адекватность) описания физических, математических, схемных и графических моделей, чтобы на них можно было бы ссылаться в специализированных учебниках и в учебниках второго уровня.

Возможно в последующем общий учебник целесообразно будет разделить на соответствующие схеме пять отдельных частей с добавлением элементов моделирования установившихся и переходных процессов в статических и динамических режимах работы как при питании от сети, так и от тиристорных преобразователей.

УЧЕБНИКИ ПО МИКРО- И СПЕЦИАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ

Микромашины – это класс электрических машин малой мощности (от нескольких единиц до сотен ватт) постоянного и переменного тока, используемых в качестве управляющих и исполнительных элементов в системах автоматики в промышленности и в быту. Ориентиром в этой области можно выбрать учебник Ермолина Н.П. Электрические машины малой мощности (1967 г.).

К специальным электрическим машинам относятся те из них, которые предназначены для работы в особых условиях и режимах (например, электрические машины для тракторов, комбайнов, автомобилей, авиации, транспорта (тяговые) и т.д.). Характерным для них, кроме общих теоретических положений, является необходимость обеспечения совместной работоспособности электрической машины и механизмов специализированных назначений (например, такие как в книге Комисара М.И. Электрические машины гироскопических систем (1963 г.)).

СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ ЭМПЭ

К этой группе относятся ЭМПЭ, включающие в себя, в первую очередь, электрическую машину и систему управления, а также различные системы электроприводов (например, тот же тяговый электро-

привод переменного тока, системы электроприводов с тиристорными схемами управления, системы Г-Д постоянного и переменного тока, системы совмещенных двигатель-механизмов, многодвигательные системы электроприводов с заданным распределением мощностей между двигателями, каскадные системы и т.д.).

Здесь возникает необходимость в будущем описывать систему не "квадратиками" с передаточными

функциями, а системой дифференциальных уравнений, записанных в реальных фазовых координатах с возможностью достаточно подробного моделирования всех физических процессов. Такая возможность появляется в связи с быстрым развитием средств вычислительной техники и методов решения систем дифференциальных уравнений с нелинейными и периодическими коэффициентами.

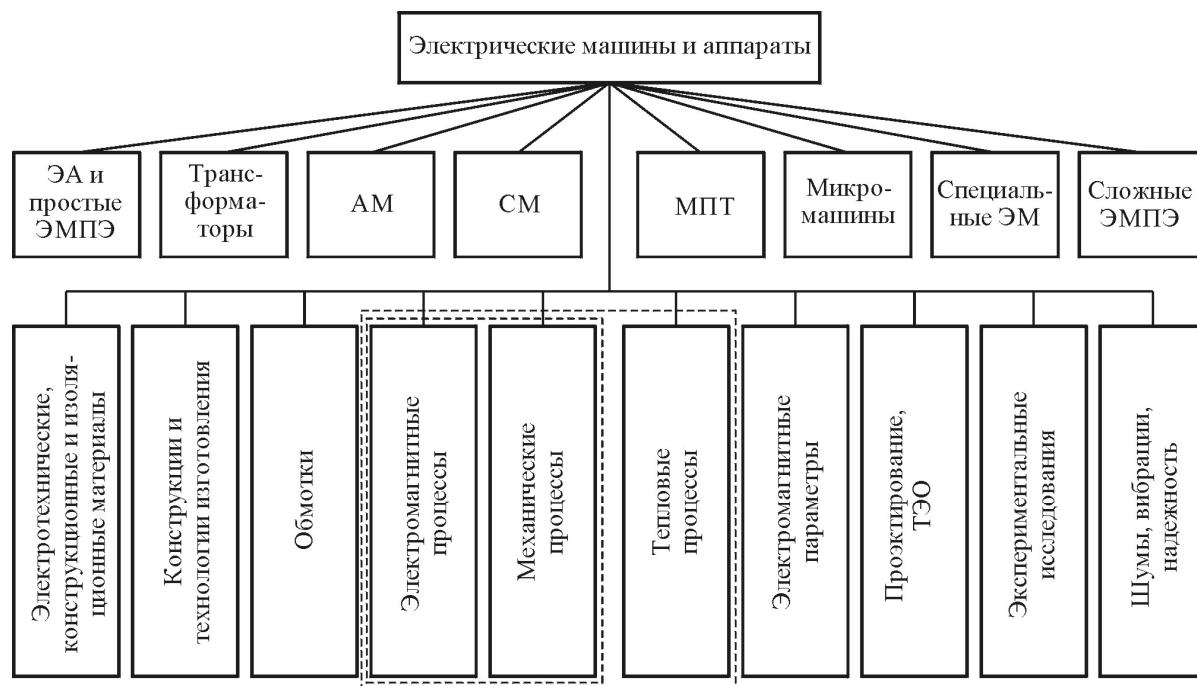


Рис. Структурная схема учебников по электрическим машинам и аппаратам

УЧЕБНИКИ ВТОРОГО УРОВНЯ

Ко второму уровню учебников относятся такие, которые рассматривают вопросы, характерные как для общего (или отдельных его частей), так и для отдельных специализированных учебников. Некоторые из них характеризуются как общностью для всех остальных, так и самостоятельным значением. К таким, в первую очередь, относится учебник по конструкционным, электротехническим и изоляционным материалам. Наверное нет необходимости в описании применяемых материалов в каждом из учебников. Издание отдельного учебника по материалам, применяемым в электромашиностроении и электротехнике тем более целесообразно и рационально, поскольку постоянно появляются новые материалы с улучшенными свойствами. Поэтому легче и чаще можно переиздать один учебник, чем несколько с уточненными данными.

Для крупных электрических машин (например, мощных асинхронных и синхронных двигателей и генераторов) представляется целесообразным издание отдельного учебника по конструкционным исполнениям и технологии изготовления. Если же конструкционные исполнения характерны только для традиционных исполнений электрических машин и они не значительны по объему (например, конструкционные исполнения роторов асинхронных двигателей), то целесообразно рассмотреть их в учебнике по проектированию (см. ниже).

Аналогичные мотивы можно высказать относительно учебника по обмоткам. В нем необходимо рассмотреть обширный класс конструкционных исполнений обмоток – "технического сердца" ЭМПЭ, начиная от простых катушек тороидальной формы для электрических аппаратов, продолжая схемами обмоток для электрических машин, включая схемы совмещенных полюсопереключаемых обмоток, и заканчивая конструкциями обмоток для мощных трансформаторов и генераторов с различными видами охлаждения. В этом учебнике необходимо рассмотреть вопросы размещения обмоток в пазах, их изоляцию для низкого и высокого напряжения.

Вместе с тем в общем учебнике всегда предусматриваются главы по обмоткам. В этом случае в них рассматриваются основные принципы формирования ЭДС и МДС необходимой формы и частоты, а также создания вращающегося (движущегося) магнитного поля.

В основу учебника по обмоткам могут быть положены книги Зими́на В.И. и др. Обмотки электрических машин (1976 г.) и Жерве Г.К. Обмотки электрических машин (1989 г.).

УЧЕБНИК ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПАРАМЕТРАМ

Электромагнитные параметры входят в качестве коэффициентов в уравнения электромагнитного рав-

новесия как в комплексной, так и в дифференциальной формах записи. Без достаточно точного определения этих параметров нельзя добиться приемлемых результатов расчетов характеристик, проектирования и исследования процессов как в простых, так и в сложных ЭМПЭ. Это одна из наиболее сложных и недостаточно изученных задач электротехники. Ей меньше всего уделяется внимания. Это приводило к тому, что многие авторы, разочаровавшись в точности результатов моделирования процессов, отходили от классической теории и предлагали "новые" теории, как правило, не дающие приемлемых результатов.

Считаем, что нами проделана большая работа в этом направлении развития электротехники. Отметим только некоторые наиболее существенные из полученных результатов:

– установлено, что индуктивное сопротивление взаимоиндукции (намагничивающей ветви схем замещения асинхронных двигателей) уменьшается с увеличением скольжения, а ток намагничивания возрастает [1, 4, 10];

– экспериментальная проверка закона Ома в дифференциальной форме записи $J = E/\rho$ для контуров с переменным током дает основание утверждать, что удельное электрическое сопротивление есть величина комплексная, то есть $E/J = \rho_z = \rho_r + j\rho_x$;

– кроме того, удельное активное сопротивление на переменном токе для ферромагнетиков является изменяющейся величиной и определяется по формуле $\rho_{rFe} = B H f / J^2$ [11];

– индуктивность контура с переменным электрическим током при внесении в его электромагнитное поле другого замкнутого контура или ферромагнитного сердечника не уменьшается, как предполагалось раньше, а увеличивается [12];

– глубина проникновения электромагнитной волны в ферромагнетики при частоте 50 Гц (например, в массивный ферромагнитный ротор асинхронного двигателя при коротком замыкании) достигает 30-40 мм [13]; ранее предполагалось, что эта глубина составляет порядка 2 мм;

– разработан новый подход к определению активного сопротивления массивных замкнутых проводников (например, короткозамкнутого кольца обмотки ротора, экранов индукционных реостатов и других аналогичных устройств) [14, 15];

– установлено, что отношение (коэффициент индуктивности) между индуктивной и активной составляющими полного сопротивления массивных ферромагнитных частей устройств (например, того же массивного ферромагнитного ротора) зависит от электромагнитных нагрузок и достигает значений $k_{Fe} \cong 1,4$ при $\mu = \max$; при увеличении напряжения k_{Fe} снижается до 0,58-0,68, а затем снова возрастает до 0,8-0,9 [16];

– снято допущение о неучете процессов в шихтованных пакетах стали ЭМПЭ; любая катушка (обмотка) без ферромагнитного сердечника сгорает, а с сердечником работает в номинальном режиме длительное время;

– разработана новая интерпретация задания фаз для короткозамкнутых обмоток, массивных ферромагнитных роторов и его модификаций [17];

– по-новому трактуется процесс насыщения участков магнитной цепи из ферромагнетиков, который зависит не от величины токов в обмотках и МДС, а от величины подводимого напряжения, магнитного потока и, следовательно, от магнитной индукции (плотности магнитного потока);

– предложены способы определения электромагнитных параметров, разработаны методики расчета характеристик и проектирования, решен ряд других принципиальных задач, в том числе методологических.

Перечисленные и другие положения настолько важны для практики (проектирования и моделирования процессов в ЭМПЭ), что не вызывают сомнения в необходимости написания отдельного учебника по электромагнитным параметрам. Объем такого учебника может быть достаточно большим, что не позволяет его поместить в общий учебник или в учебники по проектированию. В нем предполагается разместить расчетные методы и экспериментальные способы определения электромагнитных параметров как простых устройств (например, простой катушки с ферромагнитным сердечником), так и сложных (например, асинхронных машин с массивным ферромагнитным ротором и короткозамкнутой обмоткой, с экранами на статоре и роторе, нажимными плитами на торцах пакетов и др.).

Кроме перечисленного, отдельный учебник по электромагнитным параметрам (расчетному и экспериментальному определению их значений в зависимости от различных факторов) послужил бы не только основным пособием для расчетов и проектирования других типов ЭМПЭ, но и являлся бы необходимой предварительной информацией для исследования процессов в статических и динамических режимах их работы.

УЧЕБНИК(И) ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

В современных книгах (и учебниках) приведены методики проектирования электрических машин постоянного и переменного тока. Методики проектирования трансформаторов и аппаратов в них не приводятся. Вместе с тем, изданы отдельными книгами методики проектирования трансформаторов (Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов (1976 г.)), машин постоянного тока (Рабинович И.В., Шубов И.Г. Проектирование электрических машин постоянного тока (1967 г.)), асинхронных машин (Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А. Проектирование асинхронных микродвигателей с применением ЭВМ (1980 г.)) и других ЭМПЭ (Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока (1982 г.)). Поскольку практика издания книг по отдельным электрическим машинам уже имеется, то целесообразным следует считать ее продолжить и создать серию учебников по проектированию основных типов электрических машин и аппаратов. Вместе с этим они должны быть расширены в смысле возможности их применения для различных модификаций данного класса машин. Этот путь подтверждается необходимостью ис-

пользования новых учебников для практической разработки отраслевых методик проектирования тех или иных ЭМПЭ. Проектировщикам конструкторских отделов, специализирующихся по отдельным видам продукции, нет необходимости в приобретении и использовании толстых книг с методиками проектирования всех электрических машин и аппаратов. Им лучше иметь специализированную методику для проектирования данного типа ЭМПЭ, которая позволяла бы создавать образцы и серии оборудования с оптимальными технико-экономическими показателями.

Книги по проектированию ЭМПЭ должны включать в себя расчеты тепловых процессов и вентиляции, а также расчеты технико-экономических показателей и, возможно, надежности. Кроме того, они должны сопровождаться дискетами с комплексом программ как для использования и выполнения исследований студентами, так и расчетчиками в конструкторских бюро заводов.

УЧЕБНИК ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Экспериментальные исследования при правильной их постановке с учетом точности применяемых приборов дают реальные результаты, максимально приближающиеся к истинным данным. На эти данные ориентируются все математические модели и методики. Только адекватные модели позволяют в процессе проектирования устройств выбирать правильные решения и создавать образцы с оптимальными технико-экономическими показателями.

В учебник по экспериментальным исследованиям в первую очередь необходимо включать схемы и методологию проведения экспериментов, включая обязательные, которые предусматриваются ГОСТами и международными нормами и требованиями.

Очевидно, что в этом учебнике должны быть проанализированы предложенные ранее способы определения вращающих моментов и электромагнитных параметров.

В основу такого учебника может быть положена книга Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин (1968 г.), а также описаны автоматизированные системы экспериментальных исследований с добавлением новых способов проведения экспериментов и обработки результатов на ПЭВМ.

ШУМЫ, ВИБРАЦИИ, НАДЕЖНОСТЬ

Шумы и вибрации в ЭМПЭ, обусловленные электромагнитными и механическими процессами, конструкционными исполнениями, уровнем электромагнитных нагрузок, значением воздушного зазора, износом и другими взаимовлияющими факторами, являются результатом чрезвычайно сложных процессов и поэтому освещены только в научных монографиях (например, в книге Шубова И.Г. Шум и вибрация электрических машин (1986 г.)) и не доведены до уровня учебников.

С вибрациями и износом связана надежность ЭМПЭ. Надежность вообще – это отдельная область науки и знаний, освещенная в нескольких томах. При достаточном уровне знаний и доведении методики

определения надежности электротехнических устройств до приемлемых объемов, она может быть включена в учебники по проектированию.

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Вся электроэнергия вырабатывается, преобразуется и используется в основном с помощью электрических машин и аппаратов. Электротехника – это одна из наиболее развитых сторон человеческой деятельности. Кроме того, она является сейчас одним из важнейших условий обеспечения жизнедеятельности людей. Поэтому дальнейшее развитие, совершенствование, расширение функциональных возможностей, повышение технико-экономических показателей и надежности электрических машин являются основными направлениями деятельности инженеров и ученых. Эти направления исследований указывают главные пути к неисчерпаемым источникам энергосбережения.

В статье 8 Закона Украины "О приоритетных направлениях инновационной деятельности в Украине" Верховный Совет Украины определил следующие приоритетные направления деятельности общегосударственного уровня:

1. ...; новые ресурсосберегающие технологии; ...; энергоэффективные двигатели и электроприводы для базовых отраслей экономики; ...; модернизация электрических станций и сетей; ...

2. Машиностроение и приборостроение как основы высокотехнологического обновления всех отраслей производства; ...

В соответствии с отмеченным и перед нами ставятся весьма важные задачи решения глобальной проблемы. Одной из таких задач является подготовка специалистов соответствующего уровня. Нам (ученым) необходимо приступить к созданию новых учебников с учетом современных достижений науки и техники не только электротехнического направления, а и математики, а также все возрастающих возможностей высокопроизводительной вычислительной техники.

Наверное нет необходимости в переиздании существующих учебников. Во-первых, они устарели по годам издания, для чего в скобках специально указывался год издания перечисленных названий. Во-вторых, они требуют тщательной ревизии помещенного в них материала.

Так, например, нет необходимости, помещать в новые учебники круговые диаграммы, Г-образные и другие надуманные схемы замещения, предложенные ранее и новые системы координат для преобразования дифференциальных уравнений и освобождения их от периодических коэффициентов и много другого материала, не соответствующего реальным физическим процессам и теперешним взглядам на состояние проблемы повышения квалификации и подготовки молодых кадров.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОВРЕМЕННЫМ УЧЕБНИКАМ

В первую очередь нужно обратить внимание на эстетическое оформление учебников как внешнего вида, так и внутреннего изложения содержания, а также на психологический аспект читателя. Монотонное из-

ложение текстового материала большими абзацами с длинными строками сразу вызывает отталкивающий эффект и быстро утомляет читателя. Естественным выглядело описание содержания формул в столбик (после слова "где"). Все было наглядно и понятно для студента. В целях экономии бумаги некоторые издательства требуют описание формул помещать в строку или в один абзац. При большом числе обозначений поиск одного из них вызывает раздражение и, следовательно, снижает концентрацию внимания.

Учебники должны быть максимально приближенными к конспекту, состоять из кратких параграфов по принципу – "конкретный вопрос – исчерпывающий правильный ответ", сопровождаться достаточным иллюстрационным материалом, логическим по изложению – от простого к сложному, методологически правильно построенным содержанием.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

В настоящее время мы работаем и накапливаем материал (около 40%) для трех учебников:

1. "Электрические машины и аппараты" – общий учебник по электрическим машинам для студентов электротехнических факультетов высших учебных заведений и специалистов электротехнической промышленности.
2. "Электромагнитные параметры".
3. "Проектирование асинхронных двигателей (машин)".

ПЛАНЫ НА ПЕРСПЕКТИВУ

Настоящая статья служит призывом к специалистам осознать и заразиться желанием принять самое непосредственное и активное участие в решении поднятой проблемы. По возможностям и силам нам эту проблему удалось бы успешно решить. Но одного энтузиазма нескольких человек недостаточно. Нужно решить в первую очередь два взаимосвязанных вопроса.

Первый из них – создать группу (коллектив) участников, каждый из которых взял бы на себя и выполнил определенный объем работы.

Второй, без которого не решается первый, - найти спонсора. Практика последних лет показывает, что надеяться на помощь Государства – это пустая трата времени. Найти одного спонсора вряд ли удастся. Может совместно обратиться к руководителям многочисленных предприятий электротехнической промышленности и к министру Министерства топлива и энергетики с просьбой оказания финансовой помощи? Малочисленная группа сотрудников в Минпромполитики, курирующая электротехническую промышленность, не в состоянии решать эти задачи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Вербовой П.Ф.* Асинхронные двигатели для параметрического регулирования частоты вращения и интенсивных динамических режимов работы: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - Киев, 1989. - 40 с.
- [2] *Сьянов О.М.* Характеристики і електромагнітні параметри асинхронних двигунів з масивними ферромагнітними елементами: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - Київ, 2000. - 27 с.

- [3] *Вербовий А.П.* Удосконалення методик визначення електромагнітних параметрів і теорії електромагнітних процесів в індукційних реостатах : Автореф. дис. канд. техн. наук. - Харків, 2001. - 19 с.
- [4] *Вейц В.Л., Вербовой П.Ф., Кочура А.Е., Куценко Б.И.* Динамика управляемого электромеханического привода с асинхронными двигателями. - Киев: Наук. думка, 1988. - 272 с.
- [5] *Вейц В.Л., Вербовой П.Ф., Сьянов А.М. и др.* Синтез электромеханических приводов с цифровым управлением. - Киев: Наук. думка, 1991. - 232 с.
- [6] *Вербовой П.Ф., Заболотный А.П., Сьянов А.М.* Асинхронные двигатели для тиристорного электропривода. - Киев: Наук. думка, 1994. - 244 с.
- [7] *Вербовой А., Вербовой П., Сьянов А.* Развитие теории асинхронных двигателей // Праці наук.-техн. конф. "Електромеханіка. Теорія і практика", Львів - Славськ, 25-28 вересня 1996 р. - Львів, Видавництво Державного університету "Львівська політехніка", 1996. - С. 20-22.
- [8] *Вербовой П.Ф.* Проблемы создания адекватных математических моделей для исследования процессов в асинхронных двигателях с нелинейными электромагнитными параметрами // Регулируемые асинхронные двигатели: Сб. науч. тр. - Киев: ИЭД НАН Украины, 1997. - С. 3-18.
- [9] *Вербовой П.Ф.* Развитие классического метода исследования электрических машин // Регулируемые асинхронные двигатели'98: Сб. науч. тр. - Киев: ИЭД НАН Украины, 1998. - С. 3-19.
- [10] *Вербовой П.Ф.* Экспериментальное определение параметров асинхронных короткозамкнутых двигателей // Техн. электродинамика. - 1983. - № 1. - С. 79-85.
- [11] *Вербовой А.П., Вербовой П.Ф.* Исследование влияния величины напряжения на электромагнитные параметры катушки из ферромагнитного проводника // Електротехніка і електромеханіка – 2003. - № 2. – С. 13-16.
- [12] *Вербовой А.П., Вербовой П.Ф.* Изменение (увеличение) индуктивности электрического контура с током при внесении в его электромагнитное поле другого замкнутого контура или ферромагнитного сердечника // Техн. электродинаміка. Тематичний випуск. – 2003. – С. 100-104.
- [13] *Вербовой А.П., Вербовой П.Ф., Сьянов А.М.* Исследование глубины проникновения электромагнитной волны в массивный ферромагнитный ротор асинхронного двигателя // Техн. электродинаміка. - 1999. - № 1. - С. 68-71.
- [14] *Вербовой А.П., Вербовой П.Ф.* Расчет величины активного сопротивления массивного проводника при разбиении его на параллельные ветви // Техн. электродинаміка. - 1998. - № 5. - С. 51-53.
- [15] *Вербовой А.П., Вербовой П.Ф.* Способы определения активного сопротивления массивных проводников // Праці ІЕД НАНУ. Електроенергетика: Зб. наук. пр. - Київ: ІЕД НАН України, 1999. - С. 133-140.
- [16] *Вербовой А.П., Вербовой П.Ф.* Определение коэффициента отношения индуктивных и активных параметров эквивалентных обмоток ферромагнитных сердечников, пакетов и экранов // Техн. электродинаміка. - 1998. - №4. - С. 71-73.
- [17] *Вербовой А.П., Вербовой П.Ф.* Геометрическая интерпретация фаз эквивалентных обмоток массивного ферромагнитного ротора и его модификаций // Електротехніка і електроенергетика. – 2002. - № 2. – С. 68-72.

Поступила 27.07.2003