

О ТЕРМИНОЛОГИИ И ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКЕ

Рассматривается терминология электромеханотроники как отрасли науки и техники. Определены и научно обоснованы общие термины: «электромеханотроника», «электромеханотронный преобразователь», «электронные компоненты энергетического назначения», «электронные компоненты информационного назначения». Рассматриваются вопросы подготовки специалистов по электромеханотронике в рамках существующих специальностей.

Электромеханотроника, электромеханотронный преобразователь, электромеханика, мехатроника, электропривод

В условиях новой экономики и реиндустриализации особую актуальность приобретает электронизация технических средств энергетики и промышленности, механизмов и приборов транспорта, средств медицинской техники, бытовых приборов и т. д.

Успешное решение задач электронизации требует подготовки и переподготовки специалистов. При определении содержания обучения особое значение имеет использование корректных терминов и определений [1], [2].

Оценка и применение известных понятий [3]–[6], а также разработка и дополнение определений электромеханотроники [7], [8] в данной работе выполняются с учетом принципов и методов построения технической терминологии, описанных в изданиях АН СССР [1]. Все термины определяются в систематическом порядке, отражающем объективные связи между понятиями и их взаимную подчиненность [1], [9]–[11].

Все понятия разделяются на общие и частные. Общие понятия определяют электромеханотронику (ЭМТ) и электромеханотронный преобразователь (ЭМТП). Частные понятия, используемые для определения типов машин и приборов, их подсистем и компонентов, вводятся с учетом области применения ЭМТП. Такими областями являются электрические машины, электрические аппараты, электроизмерительные приборы.

Авторы применяют методику разработки терминологии электронизированных устройств [7], [12], основанную на сохранении в их определениях всех существенных признаков неэлектронизированных устройств. При этом термин и определение, относящиеся к неэлектронизированному устройству, включаются в определение электронизированного устройства, как терминологические элементы.

Также можно сказать, что терминология, относящаяся к устройству до его электронизации, считается общей для терминов и определений, определяющих электронизированное устройство и его компоненты [13].

Методика использована при разработке определений ЭМТ [5], [7], [12] и оценке понятий мехатроники [4], [5], [14]. Частные понятия определяются с ориентацией, в качестве примера, на разделы электромеханики, относящиеся к электрическим машинам [10].

1. Основные понятия электромеханотроники. Термин «электромеханотроника» образован путем совмещения терминов «электромеханика» и «электроника». В свою очередь, термин «электромеханика» объединяет в себе термины «электричество» и «механика».

Общим термином в сложных словах «электромеханика» (ЭМ) и «электро-механотроника» (ЭМТ) является слово «механика», которое записывается в них в русской транскрипции как «механ».

В английской транскрипции ЭМТ записывается как «Electromechatronics». Отсюда в публикациях на русском языке [5], [7] слова «электромеханотроника» и «электромехатроника» используются как равнозначные.

Авторам первая запись представляется более правильной, так как сохраняет в качестве основного термином элемента слово «механика».

Понятие «электромеханотроника» предложено использовать [7] с целью обозначить отрасль науки и техники, связанную с электронизацией технических устройств, называемых электромеханическими преобразователями (ЭМП) и рассматриваемых в электромеханике [5].

Электронизация заключается в совмещении ЭМП с электронными приборами и устройствами, называемыми далее электронными компонентами (ЭК).

Электронные компоненты делают электромеханическое преобразование энергии автоматически управляемым, обеспечивая функциональное и конструктивное объединение энергетических и информационных процессов в одном техническом устройстве, называемом электромеханотронным преобразователем (ЭМТП).

Решение задач оптимальной электронизации ЭМП требует использования специальных теорий и технологий, основанных на применении знаний из электромеханики (ЭМ), электроники (Э) и кибернетики (К).

При этом электромеханотроника как наука определяется формулой [7]

$$\text{ЭМТ} = \text{ЭМ} + \text{Э} + \text{К}. \quad (1)$$

Объединение наук в (1) является синергетическим и отражает взаимосвязь электромеханических и электронных компонентов, реализуемую с помощью устройств управления.

Из (1) следует, что понятие ЭМТ должно включать существенные признаки из определений ЭМ, Э и К.

Общепризнанными являются понятия [3]–[6]:

электромеханика (ЭМ) – отрасль науки и техники, связанная с применением электрических, магнитных и электромагнитных явлений для создания преобразователей механической энергии в электрическую и электрической энергии в механическую;

электроника (Э) – отрасль науки и техники, связанная с применением явления взаимодействия заряженных частиц с электромагнитными полями для создания электронных приборов и устройств, принцип действия которых основан на протекании электрического тока в твердых телах, вакууме или газе;

кибернетика (К) – наука об общих законах процессов управления и передачи информации в машинах, живых механизмах и обществе.

Перечисленным понятиям соответствует определение:

Электромеханотроника – отрасль науки и техники, связанная с разработкой теории и технологий автоматических систем электромеханического преобразования энергии, создаваемых путем функционального и конструктивного объединения электромеханических преобразователей с электронными компонентами.

Из данного определения следует, что ЭМТ, обеспечивающая совершенствование известных и создание новых электромеханических преобразователей (ЭМП) со свойствами автоматических систем (АС), может рассматриваться как раздел электромеханики, связанный с разработкой электромеханических преобразователей, функционально и конструктивно совмещенных с электронными компонентами (ЭК) [5], [15].

Устройства, создаваемые путем объединения ЭМП и ЭК, называются электромеханотронными преобразователями (ЭМТП) и кратко определяются формулой [7]

$$\text{ЭМТП} = \text{ЭМП} + \text{ЭК}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что определение понятия ЭМТП должно учитывать существенные признаки, содержащиеся в стандартных определениях ЭМП [5], ЭК [5], [11] и АС [6]:

электромеханический преобразователь (ЭМП) – устройство, в основе работы которого лежит электромеханическое преобразование энергии;

электронные компоненты (ЭК) – электронные приборы и устройства;

автоматическая система (АС) – комплекс устройств, обеспечивающих автоматическое изменение ряда координат (или одной координаты) объекта управления с целью установления желаемого режима работы.

Определение термина «электромеханотронный преобразователь» строится с использованием в качестве терминологических элементов приведенных выше определений ЭМП, ЭК и АС:

ЭМТП – автоматическая система электромеханического преобразования энергии, создаваемая путем функционального и конструктивного объединения электромеханического преобразователя с электронными компонентами преобразования параметров электроэнергии, управления, диагностики и защиты.

Разработка ЭМТП как АС обеспечивается путем выделения в нем по функциональным признакам двух подсистем: энергетической и информационной.

Энергетической подсистемой (ЭПС) является часть ЭМТП, объединяющая ЭМП с ЭК энергетического назначения и обеспечивающая протекание процессов электромеханического преобразования энергии, отвечающих назначению ЭМТП и заданной выходной мощности.

Информационной подсистемой (ИПС) является часть ЭМТП, объединяющая устройства управления, диагностирования и защиты с ЭК информационного назначения и обеспечивающая протекание энергетических процессов по заданному закону с необходимой точностью.

Наличие в ЭМТП двух подсистем соответствует записи

$$\text{ЭМТП} = \text{ЭПС} + \text{ИПС}. \quad (3)$$

В определениях ЭПС и ИПС *электронные компоненты энергетического назначения* (ЭКЭ) – электронные приборы и устройства, обеспечивающие изменение параметров электроэнергии, а также коммутацию силовых ключей ЭМТП. К ЭКЭ относятся электронные приборы, выпрямительные и инверторные электронные устройства, преобразователи частоты, коммутационные устройства и др.

Электронные компоненты информационного назначения (ЭКИ) – электронные приборы и устройства, обеспечивающие получение, хранение, преобразование и передачу информации в ЭМТП. К ЭКИ относятся транзисторные усилители, импульсные информационные устройства, цифровые и аналоговые преобразователи, микропроцессоры, ЭВМ.

Устройства ИПС образуются из ЭКИ и других приборов, традиционно используемых в автоматике, автоматизированном электроприводе, системах автоматического управления и системной автоматике [5], [6], [16], [17].

К числу общих относятся понятия ЭМТ, связанные с совокупным использованием нескольких ЭМТП (двух и более):

электромеханотронная система (ЭМТС) – совокупность функционально и конструктивно объединенных общим назначением электромеханических преобразователей и электронных компонентов;

электромеханотронный комплекс (ЭМТК) – совокупность электромеханотронных преобразователей, объединенных общим назначением.

Рассмотренные понятия и определения являются общими для ЭМТ как технической науки. На их основе разрабатывается частная терминология, учитывающая область техники, в которой создаются ЭМТП.

Частные понятия ЭМТ учитывают назначение, а также функциональные и конструктивные особенности ЭМТП в электромашино-, аппарато- и приборостроении, электроэнергетике и автоматике, авиации, робототехнике и т. д.

В этом случае при разработке и использовании частных понятий для ЭМТ и ЭМТП используются термины, существующие в отраслевых науках и областях техники [1]–[6].

Рассмотрение в качестве примера терминологии электротехники и электрических машин [5] показывает следующее.

Современные термины и определения электрических машин [10] основаны на применении терминологии «машина». На его основе образуются термины «электрическая машина», «синхронная машина», «асинхронная машина» и т. д.

В большинстве изданных до 2000-х гг. справочников и учебных пособий рассматривались электромеханические преобразователи, называемые электрическими машинами без каких-либо специальных оговорок. Возможность создания и особенности электрических машин на основе ЭМТП не учитывались.

В последующих изданиях учебников [16]–[18], и особенно в электротехнической энциклопедии [5] и в ГОСТах [9]–[11], рассматриваются электрические машины, являющиеся ЭМТП. Наличие в них ЭК учитывается в названиях: синхронные машины с тиристорным возбуждением [7], вентильные машины [9], управляемый синхронный двигатель, частотно-регулируемый двигатель [16], трансформаторно-вентильные преобразователи и т. д.

Практика применения для электрических машин – электромеханотронных преобразователей – терминологии, основанной на добавлении к существующим терминам слов или словосочетаний из электроники, учитывающих совмещение ЭМТ с ЭК, для настоящего времени оправдана тем, что не требует создания специальных терминологических комиссий.

Внедрение в терминологию электрических машин и других областей техники определений, использующих в качестве терминологических слова ЭМТ, ЭМТП и т. п., потребует определенного времени, зависящего от сроков создания и апробации технических устройств на основе ЭМТП и осуществления подготовки специалистов по профилю «электромеханотроника».

2. Параллельная терминология в электромехатронике. Параллельные термины являются, как правило, краткой формой основного термина [1]. Их применение допускается при условии, что исключение отдельных слов из основных определений не искажает содержание понятия.

В стандарте по электроприводу [9] содержится определение: ЭМТП – устройство, объединяющее электромеханический преобразователь с обеспечивающими его функционирование электронными компонентами управления, диагностики и защиты.

В этой формулировке не используются следующие словосочетания из основного определения: «автоматическая система электромеханического преобразования энергии»; «функционального и конструктивного объединения»; «преобразования параметров электроэнергии».

С точки зрения специалиста по электроприводу, создающего ЭП из готовых унифицированных изделий, к каковым относятся серийные электрические машины, устройства силовой электроники и блоки систем управления, подобное сокращение допустимо.

Для электромехатронщиков, синтезирующих ЭМТП путем параллельного проектирования ЭМП и ЭКЭ, ЭПС и ИПС, с обеспечением синергетического характера разработки и объединения составляющих ЭМТП элементов, формулировка [9] является недостаточной. В ней не отражаются новые свойства машин и приборов, приобретаемые в результате: электронизации автоматической системы; конструктивного объединения ЭМП и ЭК как в смысле единой конструктивной оболочки, так и согласования обмоточных данных; использования ЭКЭ не только для управления, но и для преобразования параметров электроэнергии.

В определениях ЭМТ применяются, в качестве параллельных, словосочетания «раздел электромеханики», «отрасль электротехники» [15].

Учитывая, что в опубликованной терминологии [3]–[5] и стандартах [9]–[11] электротехника и электроника рассматриваются как разные отрасли техники, в предлагаемых понятиях и определениях ЭМТ используется словосочетание «отрасль науки и техники».

В докладе [19] используется параллельное определение ЭМТП как *интегрированного электромеханического устройства*, в котором функционально и конструктивно объединяются электродвигатели с электрическими преобразователями и управляющими устройствами. Представляется, что определение [19] не отражает существенных признаков ЭМТП и не соответствует принятому в стандарте [9].

3. Понятие и определения мехатроники. Применение электронных приборов в системах управления началось в 1950-е гг. после появления первых транзисторов. Совершенствование микропроцессоров и ЭВМ привело к появлению в 1970-е гг. направления развития науки и техники, названного в Японии мехатроникой [4], [14], [20], [21].

Термин «мехатроника» образован из двух терминологических элементов «механика» и «электроника», поэтому их сочетания «мехатроника» и «мехатроника» равнозначны [4]. В современной технической литературе [12], [21] используется термин «мехатроника».

Развернутые определения мехатроники (МТ) отражают взгляды специалистов отрасли науки и техники, а также стран, в которых используется понятие МТ.

К мехатронным системам (МС) в Японии относятся технические устройства, объединяющие чувствительные элементы, преобразователи и источники энергии, исполнительные элементы и ЭВМ. В качестве примеров МС, где единство механических и электронных узлов неразделимо, приводятся роботы, станки с ЧПУ, новейшие автомобили, самолеты и другие сложные технические объекты [4], [7], [14].

В словаре [4] МТ определяется как наука о принципах и средствах согласования работы механических и электрических частей машины, связывающая механику, электронику и информатику. В технике МТ обеспечивает решение задач «совокупного использования механизмов, приводов и автоматических немеханических систем управления для перемещения тел в пространстве и взаимодействия между ними» [4].

В научных [14] и учебных изданиях [20]–[22] мехатроника определяется как область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающая проектирование и производство качественно новых модулей, систем и машин с интеллектуальным управлением их движением.

В электротехнической энциклопедии [5] дается определение мехатронного модуля как интегрированного управляемого электромеханического устройства, базирующегося на функциональном и конструктивном объединении исполнительного органа рабочей машины, электрического преобразователя (электродвигателя), преобразователя электрической энергии и управляющего устройства.

В [5] мехатронный модуль (ММ) рассматривается как комплектный электропривод, встраиваемый в узлы рабочих машин: электрошпиндели, мотор-колеса и т. п.

Во всех перечисленных определениях МТ и вариантах технической реализации мехатронных модулей и систем предполагается использование в качестве комплектующих элементов электрических и электромеханических преобразователей, электроприводов и средств компьютерного управления.

В статье [14] и докладах [19], [23], [24], учебной литературе по мехатронике [21], [22] и электроприводу [17], [18] рассматриваются технологии создания мехатронных модулей, электроприводов и систем с ними, основанные на применении выбираемых по каталогам серийных электрических машин, полупроводниковых преобразователей, механических узлов и устройств управления.

Однако работа по каталогам (в основном зарубежных фирм) не соответствует требованиям синергетического объединения компонентов мехатронных устройств как обязательного признака МТ. Синергетический подход основывается на разработке, с параллельным проектированием, оптимально совмещенных компонентов мехатронных модулей и систем, к каковым относятся ЭМТП, электроприводы, редукторы и другие устройства, с поиском новых конструктивных решений и получением значений критериев использования [7], отвечающих требованиям создаваемого технического объекта [21].

4. Связь электромехатроники с электроприводом и мехатроникой. По степени подчиненности или взаимозависимости рассматриваемые науки и соответствующие им технологии можно разместить в порядке

$$\text{ЭМТ} \rightarrow \text{ЭП} \rightarrow \text{МТ} \quad (4)$$

или, соответственно, разместить технические устройства

$$\text{ЭМТП} \rightarrow \text{ЭП} \rightarrow \text{ММ}. \quad (5)$$

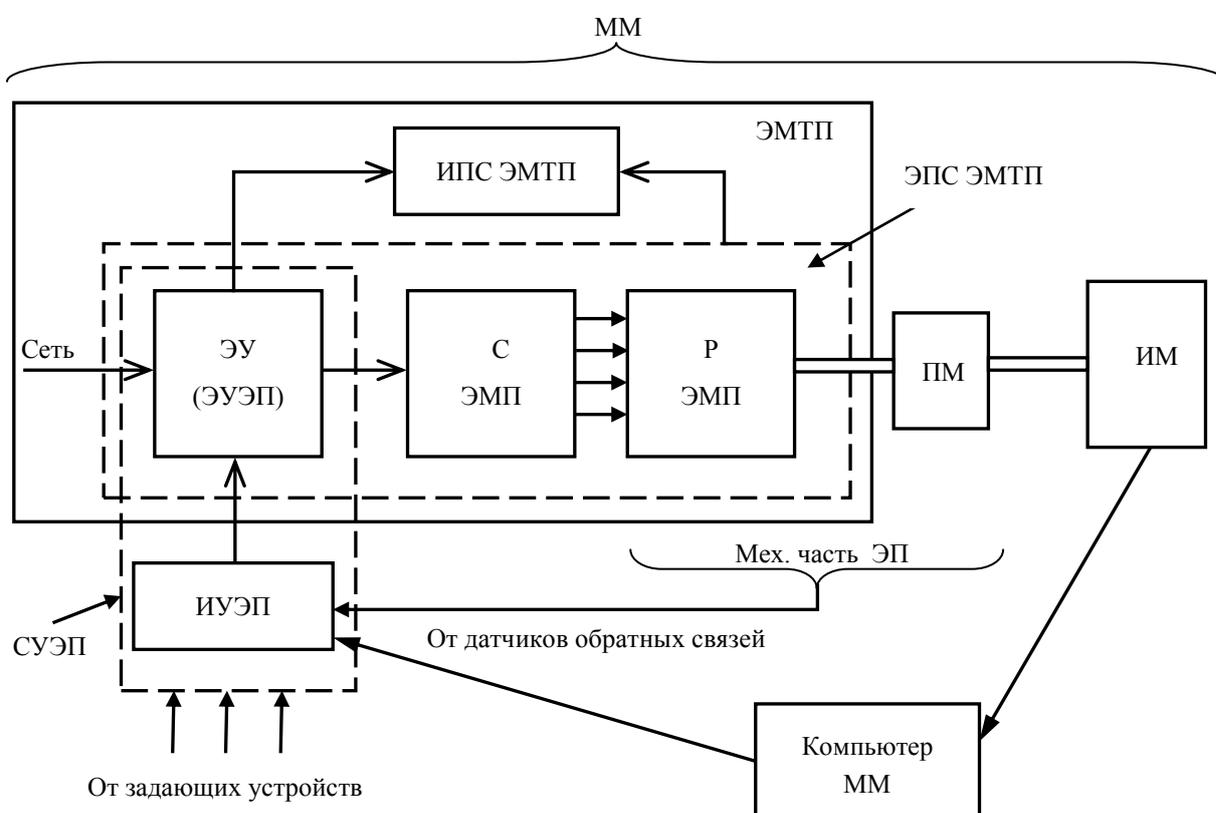
Последовательности (4) и (5) означают, что научные положения ЭМТ используются в технологиях ЭП, объединяются с ними, образуя теорию и устройства электроприводов, создаваемых с применением ЭМТП.

При этом теория ЭП отличается от теории ЭМ и ЭМТП прежде всего тем, что связывает ЭМП с исполнительным механизмом (ИМ), а также ЭМТП с ИП, обеспечивая функционирование ЭМТП в интересах ИМ, т. е. управляя движением ИМ в целях осуществления технологического процесса [16], [25], [26].

Аналогично, в электромеханотронике создаются ЭМТП-генераторы электрической энергии, теория и модели которых используются, например, в теории и разработках устройств электроэнергетики, образуя теорию генераторных агрегатов и электроэнергетических систем.

Рассуждения можно продолжить, распространяя их и на другие области науки и техники, где используются электрические машины в виде ЭМП или ЭМТП.

Мехатроника как наука обеспечивает разработку объектов в виде ММ или мехатронных систем, объединяя в их конструктивных оболочках ЭМП, ЭМТП, ЭП и другие технические устройства для обеспечения управляемого компьютером прецизионного движения мехатронного объекта.



Объединение ЭМТП-двигателя и ИМ в электроприводе или ММ, ЭМТП-генератора с первичным двигателем в генераторном агрегате и генераторных агрегатов в электростанции, а также образование других технических систем на основе ЭМТП является синергетическим в том смысле, как это трактуется в МТ [14]: все составляющие элементы и узлы в ЭМТ, ЭП и МТ не просто дополняют друг друга, но объединяются таким образом, что образованные ЭМТП, ЭП, ММ и мехатронные системы приобретают качественно новые свойства.

Сформулированным положениям соответствуют варианты структурных схем (структурные схемы ЭМТП, ЭП и ММ), представленные на рисунке.

Система управления электропривода (СУЭП) включает информационное (ИУ ЭП) [24] и энергетическое (ЭУ ЭП) устройства. В качестве ЭУЭП обычно используется энергетическое электронное устройство (ЭЭУ) ЭМТП [23].

Электропривод, включающий ЭМТП, ПМ и ИМ, а также СУЭП, объединенные функционально и конструктивно, является мехатронным модулем (ММ) [5], [21], [22].

Отличительным признаком, присущим ЭМТП, является то, что ЭПС и ИПС в нем объединяются, чтобы обеспечить преобразование энергии (электрической в механическую или механической в электрическую) с максимально возможной эффективностью и надежностью.

В электроприводе и МТ энергетические и информационные процессы объединяются с помощью СУЭП для достижения другой цели, а именно для реализации заданного закона управления движением [4], [14]. В электроэнергетике ЭМТП-генераторы приводятся в движение с помощью первичных двигателей и имеют системы управления, обеспечивающие получение электроэнергии заданного качества.

В качестве общего метода создания устройств и систем ЭМТ, ЭП и МТ должен использоваться метод параллельного проектирования, при котором все компоненты систем проектируются одновременно и во взаимной связи [14], [21].

Системы ЭП и мехатронные системы предназначаются для реализации заданного движения с помощью ЭМП и ЭМТП. Поэтому при создании ЭМП- или ЭМТП-двигателей должны учитываться требования этих систем [20]–[22].

Отсюда следует, что, как уже указывалось, разработка ЭМТП, ЭП и ИМ должна проводиться соответствующими специалистами в обязательном контакте друг с другом [21], [24].

Исходное положение о том, что ЭМТ является разделом электромеханики, предопределяет целесообразность подготовки электромеханотронщиков по учебному плану специальности «Электромеханика» с введением в него в качестве учебных дисциплин: электроники, полупроводниковой техники, теории и технических средств автоматического управления и других, включающих основы проектирования технических устройств, соответствующих формулам (1)–(3).

В то же время, опыт подготовки специалистов по ЭМТ в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» показывает, что возможно проведение занятий по индивидуальным учебным планам в рамках не только специальности «Электромеханика», но и других специальностей, например «Электропривод», «Силовая полупроводниковая техника», «Автоматика и управление» [15], [24].

В учебные планы указанных специальностей при этом вводятся дисциплины, отвечающие формуле (3). В этом случае электромеханотронщикам обеспечиваются обязательный уровень знаний по электромеханике и углубленная подготовка (специализация) по профилю соответствующей кафедры: по преобразовательной технике, по системам управления и т. д.

Во всех вариантах подготовки по ЭМТ особое внимание следует уделять определению параметров и составлению математических моделей ЭМТП, используемых в системах управления ЭП, ММ и других устройствах с ЭМТП [25], [26].

В планы магистерской подготовки по ЭМТ и ЭМТП необходимо включать изучение и освоение методик и программных средств оптимального синтеза ([7], [21], [28], [29]) ЭМТП. Проведение учебных практик целесообразно организовывать на предприятиях, где ЭМТП создаются или применяются.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы. Предложенная терминология по электромеханотронике отражает особенности ЭМТП как автоматических систем электромеханического преобразования энергии и учитывает связь понятий ЭМТ с известными определениями электрических машин, электропривода и других устройств из смежных отраслей техники.

Устройства ЭП и МТ как объекты проектирования и исследования отличаются от ЭМТП тем, что в их состав входят передаточные и рабочие механизмы, а также системы управления их движением.

Создание ЭМТП должно осуществляться специалистами-электромеханотронщиками с учетом понятий ЭМТ и требований, исходящих от устройств ЭП, МТ и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лотте Д. С. Основы построения научно-технической терминологии. Вопросы теории и практики. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 158 с.
2. Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка / Ин-т рус. яз.; Российский фонд культуры. М.: Азъ Ltd., 1992. 960 с.
3. Новый политехнический словарь / Под ред. А. Ю. Ишлинского. М.: Науч. изд-во «Большая Российская энциклопедия», 2003. 671 с.
4. Крайнев А. Ф. Механика машин. Фундаментальный словарь. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2001. 904 с.
5. Электротехническая энциклопедия: В 4 т. М.: Изд-во МЭИ, 2005–2010.
6. Энциклопедия кибернетики: В 2 т. Киев: Гл. редакция Укр. Сов. энцикл., 1975.
7. Коськин Ю. П. Введение в электромеханотронику. СПб.: Энергоатомиздат, СПб. отд-ние, 1991. 192 с.
8. Герман-Галкин С. Г. Некоторые вопросы классификации устройств электромеханотроники // Изв. вузов. Электромеханика. 1989. № 10. С. 11–15.
9. ГОСТ Р 50369–92. Электроприводы. Термины и определения. Госстандарт России. М.: Изд-во стандартов, 1993.
10. ГОСТ 27471–87. Машины электрические вращающиеся. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1989.
11. ГОСТ 23414–84. Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1985.
12. Коськин Ю. П., Беналлаль М. Н., Герайбех З. М. Электромеханотроника и мехатронные системы // Тр. I Междунар. конф. по мехатронике и робототехнике, 29.05–02.06.2000, Санкт-Петербург. СПб., 2000. Т. 2. С. 146–151.
13. Домрачев В. Г., Смирнов Ю. С. Цифро-аналоговые системы позиционирования (электромеханотронные преобразователи). М.: Энергоатомиздат, 1990. 240 с.
14. Подураев Ю. В., Кулешов В. С. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем // Мехатроника. 2000. № 1. С. 510–519.
15. Коськин Ю. П. Развитие электромеханики в теории и технологиях электромеханотроники // Изв. вузов. Электромеханика. 2008. № 1. С. 11–20.
16. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учеб. для вузов. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 576 с.
17. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для вузов / М. П. Белов, О. И. Земленов, А. Е. Козярук и др.; под ред. В. А. Новикова, Л. М. Чернигова. М.: Изд. центр «Академия», 2006. 368 с.
18. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: Учеб. для вузов. М.: Академия, 2006. 272 с.
19. Козырев С. К., Ладыгин А. Н., Сергиевский Ю. Н. Основные вехи становления электропривода как отрасли науки и техники // Сб. докл. науч.-методич. семинара «Электропривод и развитие техники», 1 февр. 2012. М.: Изд. дом МЭИ, 2012. С. 4–21.
20. Готтлиб Б. М. Введение в мехатронику: Учеб. пособие. В 2 т. / УрГУПС. Екатеринбург, 2008.
21. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: Учеб. пособие. СПб.: Лань, 2012. 608 с.
22. Таугер В. М. Конструирование мехатронных модулей: Учеб. пособие / УрГУПС. Екатеринбург, 2009.
23. Козярук А. Е. Взаимовлияние промышленных технологий и электроприводов // Сб. докл. науч.-методич. семинара «Электропривод и развитие техники», 1 февр. 2012. М.: Изд. дом МЭИ, 2012. С. 22–39.
24. Забродин А. Ю. Интеллектуальные услуги в бизнесе: Справ. пособие. М.: ЗАО «Издательство "Экономика"», 2008. 635 с.
25. Пронин М. В. Электромеханотронные системы. Создание на основе комплекса уточненных быстродействующих моделей. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 224 с.
26. Самохвалов Д. В. Электропривод с синхронным двигателем. Коррекция статических характеристик. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 212 с.

Terminology of electromechanics is considered. Identified and scientifically substantiated general terms: "Electromechanics", "Electromechanical Converter", "Electronic components of energy use", "Electronic components of informational use". The problems of training in electromechanics within existing specialties are reviewed.

Electromechanics, Electromechanical Converter, Electrical Engineering, Mechatronics, Electric Drive

УДК 621.314.263

М. В. Пронин, А. Г. Воронцов, В. Ю. Шелюх

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОГО МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Разработаны быстродействующие модели многоуровневых матричных преобразователей частоты по методологии моделирования систем по взаимосвязанным подсистемам. Предусмотрено задание конфигурации систем от однофазных схем, до высоковольтных устройств, содержащих последовательно соединенные мосты. Предложен алгоритм управления матричными преобразователями, приведены результаты расчетов, отмечены особенности матричных преобразователей.

Матричный преобразователь, высоковольтный преобразователь, алгоритм управления, моделирование, модель, затраты машинного времени

В мощных электромеханотронных системах (ЭМТС), содержащих асинхронизированные генераторы-двигатели (АГД), например в гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС), используются преобразователи частоты (ПЧ) повышенного напряжения [1], [2]. Эти ПЧ подключаются с одной стороны к электросети, с другой – к ротору АГД. ПЧ передают мощность из электросети к ротору АГД и обратно при изменении частоты тока ротора в сравнительно узких пределах, например ± 5 Гц. Во многих случаях используются тиристорные ПЧ с непосредственной связью (НПЧ) [3]. НПЧ работают с низким коэффициентом мощности и это приводит к увеличению мощности оборудования. В ряде систем используются двухуровневые и трехуровневые ПЧ со звеном постоянного напряжения [4]. ПЧ этих типов позволяют решить все задачи управления ЭМТС. Однако искажения токов и напряжений на входе и выходе ПЧ велики и требуется применение фильтров. Существуют предложения по использованию в цепях роторов АГД каскадных [5] и многотактно-многоуровневых [6] ПЧ, в которых напряжения и токи имеют лучшую форму, но и эти ПЧ имеют недостатки – нагрузка элементов неравномерна. Чтобы выбрать перспективный ПЧ для указанного применения, необходимо сравнение ПЧ различных типов. Такое сравнение представлено в [7]. При этом, правда, не рассматривались матричные преобразователи частоты (МПЧ) [8]. В данной статье представлена модель многоуровневого МПЧ, построенная по взаимосвязанным подсистемам, отличающаяся быстродействием [9].

Математическое описание силовой части МПЧ. Рассматривается трехфазно-трехфазный матричный ПЧ, схема которого представлена на рис. 1 (M – число последовательно включенных мостов, m – номер моста). МПЧ содержит трансформатор (Тр), трехфазно-однофазные ПЧ (ТОПЧ), систему управления (на рисунке не показана). Каждый мост питается от индивидуальной обмотки трансформатора. В каждом плече моста два транзисторных модуля образуют полностью управляемый ключ. В фазах нагрузки ТОПЧ соединены последовательно и образуют трехфазный источник повышенного напряжения.