

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## 6 1993

### АССОЦИАЦИЯ –

ОБЩЕСТВЕННАЯ  
ДОБРОВОЛЬНАЯ  
ОРГАНИЗАЦИЯ  
СПЕЦИАЛИСТОВ  
ЭЛЕКТРО –  
ПРИВОДЧИКОВ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
НАУЧНО  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ  
С ЯНВАРЯ  
1930 ГОДА



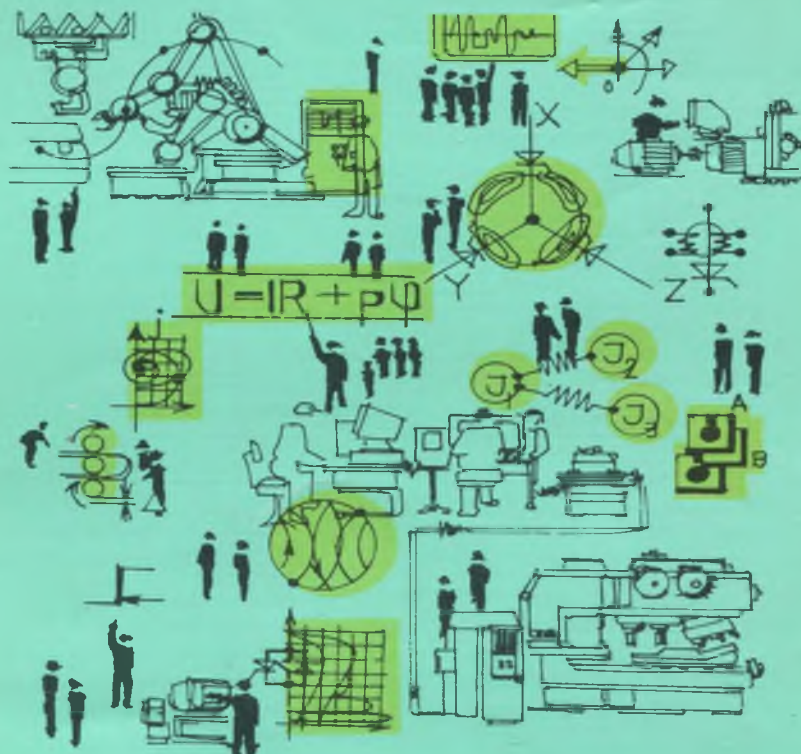
## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ  
АССОЦИАЦИИ:  
СОДЕЙСТВИЕ  
НАУЧНО –  
ТЕХНИЧЕСКОМУ  
ПРОГРЕССУ В ОБЛАСТИ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА

ОБЪЕДИНЕНИЕ  
И КООРДИНАЦИЯ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
КОЛЛЕКТИВОВ  
И ОТДЕЛЬНЫХ  
СПЕЦИАЛИСТОВ

СОЗДАНИЕ СОЦИАЛЬНОЙ  
И МАТЕРИАЛЬНОЙ БАЗЫ  
ДЛЯ РАЗВИТИЯ СФЕРЫ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Энергоатомиздат



# НОВЫЕ ПРОГРАММИРУЕМЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ НПО ЭЛЕКТРОПРИВОД

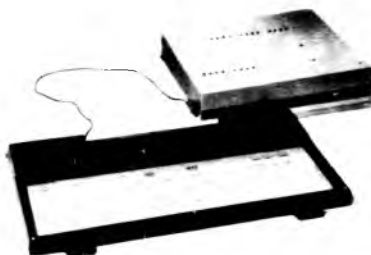
- Новые возможности создания систем управления и контроля
- Расширенный язык релейно-контакторной символики
- Большие функциональные возможности за счет модульности изготовления
- Возможность работы с ПЭВМ при отладке программ



- Центральный процессор КР 1816 ВЕ 31
- Число релейных входов – выходов – до 256
- Емкость ОЗУ – 16 Кбайт
- Объем системного обеспечения – 48 Кбайт

## КП 2/3

- Использование в схемах управления электропривода и локальных системах автоматики
- Полная совместимость с КП2
- Свободно наращиваемая блочная система
- Возможна работа с протяженными цепями связи



- Объем оперативной энерго-независимой памяти – 8 Кбайт
- Срок сохранения программы в памяти – 2 месяца
- Потребляемая мощность – не более 100 ВА
- Уровни входных дискретных сигналов – 12 – 220 В

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор КОЧЕТКОВ В.Д.

Александров Г.Н., Булатов О.Г., Иньков Ю.М., Ковалев Ф.И., Козлов В.Б., Копылов И.П., Коротков Г.С., Кубарев Л.П., Лурье А.И., Москаленко В.В., Оболенский Н.А., Орлов Е.Г., Пешков И.Б., Подаруев А.И., Поздеев А.Д., Попов А.Н., Попов В.В., Преснов Ю.Л., Русаков В.Г. (зам. главного редактор), Суворов Н.И., Трубачев С.Г., Юньков М.Г.

Редактор отдела Кунавина О.В.

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 123242, МОСКВА, ЗООЛОГИЧЕСКАЯ УЛ., 11, КОМН. 212

ТЕЛЕФОН: 254-11-52



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
ИЗДАЕТСЯ ПРИ СОДЕЙСТВИИ АССОЦИАЦИИ  
ИНЖЕНЕРОВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ  
И АССОЦИАЦИИ "АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ  
ЭЛЕКТРОПРИВОД"

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1930 года

№ 6 ИЮНЬ 1993

## СОДЕРЖАНИЕ

Уважаемые читатели . . . . . 2

### СОБЫТИЯ, НОВОСТИ, ЭКОНОМИКА

- Юньков М. Г., Шиняевский А. В. Ассоциация "Автоматизированный электропривод" . . . . . 2
- Ильинский Н. Ф. Некоторые аспекты развития промышленного электропривода переменного тока . . . . . 3
- Богачев Ю. П., Голембиовский С. А. Рынок высокоскоростных электроприводов на базе мехатронных модулей . . . . . 5
- Москаленко В. В. Учебный план подготовки бакалавра электротехнического профиля . . . . . 11
- Окунь Г. М. Новый патентный закон . . . . . 13
- Новый ГОСТ "Электроприводы. Термины и определения" . . . . . 15

### СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

- Балковой А. П., Козаченко В. Ф., Обухов Н. А., Сливинская Г. А. Многокоординатный комплектный дискретный электропривод с микропроцессорным управлением для гибких автоматизированных производств и робототехнических комплексов . . . . . 15
- Кириллов А. А., Горчаков В. В., Никитин В. М., Купчан Я. М. Электроприводы переменного тока для мехатронных узлов металлорежущего оборудования и других механизмов . . . . . 23
- Петров Л. П., Андрищенко О. А., Выжужанин А. А., Тубис Я. В. Асинхронный массовый регулируемый электропривод с повышенными энергетическими и динамическими характеристиками . . . . . 25
- Гулевский С. И., Розлин А. М., Усачев А. П., Шрамченко С. Г. Транзисторные синхронные электроприводы переменного тока на базе преобразователей ПУТИС . . . . . 27
- Алферов В. Г., Ха Куанг Фул. Использование метода корневого годографа и пары доминирующих корней при оценке динамических свойств . . . . . 29

- Остриров В. Н., Носач С. В. Система управления электропривода генератор – двигатель на перспективной элементной базе . . . . . 32

### ОБМЕН ОПЫТОМ

- Голыгин А. Ф. Современные электроприводы, применяемые на оборудовании АЗЛК . . . . . 36
- Анисимов В. А., Горнов А. О., Катаев М. Ю., Католиков Г. В., Киселев А. В., Коваленко А. Л., Крикунчик Г. А., Рожанковский Ю. В., Тарасов А. Э. Опыт разработки и применения тиристорных преобразователей напряжения для управления асинхронными электроприводами . . . . . 37

### НОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ И РАЗРАБОТКИ

- Брейтер В. З., Розман Я. В. Некоторые тенденции развития зарубежных электроприводов . . . . . 42
- Бирюков А. В., Прокофьева Л. А., Фадеева Н. Э., Хуторецкий В. М. Микропроцессорные измерители-регуляторы с импульсным датчиком . . . . . 44
- Тимошенко В. Д., Вайнштейн П. Г., Лиморенко П. М. Малый программируемый контроллер с удаленными блоками ввода-вывода . . . . . 46
- Разработки НПО "Электропривод" . . . . . 48
- Научно-техническая и товарная продукция научно-инженерного центра "Мехатроника" и предприятий группы "Мехатроника" . . . . . 56

### СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

- Выпуск книг по автоматизированному электроприводу в Энергоатомиздате . . . . . 62
- Рецензия на учебник "Общий курс электропривода" . . . 63
- Устав ассоциации "Автоматизированный электропривод" . 64
- Ассоциация независимых инженеров-консультантов (АНИК) . . . . . 67
- Уважаемые коллеги! . . . . . 68
- Об Экспертном совете ассоциации "Автоматизированный электропривод" . . . . . 68
- По страницам журнала "PCIM EUROPE" . . . . . 69
- Защита докторских диссертаций . . . . . 69
- Рефераты публикуемых статей . . . . . 71

## УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ !

Этот номер журнала "Электротехника" подготовлен Ассоциацией "Автоматизированный электропривод". Недавно созданная как общественная организация специалистов-электроприводчиков Ассоциация\*выпуском этого номера предлагает свое видение содержания журнала, который должен способствовать не только сохранению, но и развитию сферы профессиональной деятельности специалистов.

В первую очередь изменение содержания журнала должно выразиться в практической направленности публикуемых в нем материалов, их оперативности и разнообразии. Специалисты смогут получать, кроме научной, информацию о деятельности Ассоциации, новостях промышленности, новых отечественных и зарубежных разработках и изделиях, итогах конференций и выставок, опыте эксплуатации электрооборудования, новостях высшей школы. Расширится рекламная рубрика и разделы, содержащие техническую, экономическую информацию, тематические планы издательств, перспективные и проблемные вопросы электропривода, материалы зарубежных фирм и организаций, обзоры зарубежных изданий.

К сожалению, ограниченные сроки подготовки журнала и финансовые возможности редакции и самой Ассоциации не позволили в этом номере реализовать все задуманное, но любое движение всегда начинается с первого шага.

Успех планируемых изменений во многом определится заинтересованностью и участием в них широкого круга читателей, от которых редакция ждет материалов и информации по всем актуальным вопросам разработки, производства и освоения электротехнической продукции. Редакция журнала также с благодарностью примет любые предложения и замечания, которые помогут улучшить качество и полезность публикуемых материалов.

Главный редактор Кочетков В. Д.

---

## СОБЫТИЯ. НОВОСТИ. ЭКОНОМИКА

---

### АССОЦИАЦИЯ "АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД"

М. Г. ЮНКОВ, А. В. ШИНЯНСКИЙ

НПО "Электропривод", МЭИ

В соответствии с решением XI Всесоюзной конференции по автоматизированному электроприводу (Суздаль, 1991 г.) создана межрегиональная ассоциация "Автоматизированный электропривод". Она представляет собой общественное, добровольное, бесприбыльное объединение как отдельных специалистов, так и трудовых коллективов предприятий, учреждений, организаций и учебных

заведений. Цель деятельности ассоциации — объединение и координация усилий специалистов для содействия научно-техническому прогрессу в области разработки, исследования, производства и эксплуатации электрических приводов и их компонентов, всемерное содействие развитию творческой инициативы ее членов, эффективное использование их творческого потенциала, формирование и выражение общественного мнения по научно-техническим проблемам развития электропривода.

При принятии решения о создании ассоциации мы предполагали, какие невероятные трудности ожидают нас. Но сознание необходимости общения, энтузиазм и поддержка наиболее активных представителей нашей специальности заставили нас взяться за создание ассоциации.

Ее создание проходит в нелегкое время, когда экономическое положение в стране продолжает ухудшаться. На фоне такой ситуации тем более надо удвоить свои усилия по консолидации специалистов по электроприводу, сохранению информационного пространства.

Главные задачи, решаемые ассоциацией, связаны с обеспечением специалистов информацией по вопросам исследования, разработки, производства, эксплуатации и маркетинга электропривода. Ассоциация будет всемерно содействовать своим членам в разработке и внедрении научно-технических решений. Кроме того, она проводит работы по оценке приоритетных научно-технических направлений развития электропривода и научно-технического уровня разработок, продукции, производства.

В планах ассоциации — содействие изданию трудов и информационных материалов ее членов, организация научно-технических конференций, совещаний, симпозиумов и семинаров по проблемам электропривода с целью установления деловых контактов между разработчиками, производителями и потребителями электроприводов. Одним из важных направлений деятельности ассоциации является разработка научных программ, концепций учебных планов и методических материалов по подготовке специалистов по электроприводу.

Ассоциация устанавливает связи с другими подобными организациями России, а также стран СНГ и других государств с целью привлечения опыта и информации зарубежных специалистов и фирм.

Для выполнения перечисленных задач создается информационный банк данных о потребностях и предложениях промышленности в области электропривода и его средств. Постоянная информация по этим вопросам будет осуществляться через журнал "Электротехника" и выпуск других информационных материалов.

Одним из подразделений ассоциации является ее экспертный совет, осуществляющий независимую научно-техническую экспертизу технического уровня и качества продукции, проектных решений, исследовательских работ, учебных пособий и других разработок в сфере автоматизированного электропривода.

Определена организационная структура ассоциации. Ее высшим руководящим органом является конференция, которая избирает Совет ассоциации, президента, вице-президентов и ответственного секретаря. Совет координирует все направления деятельности ассоциации в период между конференциями. Текущей работой руководит Правление, избираемое Советом.

В крупных промышленно-научных центрах создаются региональные организации ассоциации с целью оперативной связи со специалистами региона.

Члены ассоциации имеют приоритеты во всех

сферах ее деятельности, а также пользуются финансовыми льготами при предоставлении услуг, выполняемых органами ассоциации.

Полный текст Устава публикуется в конце этого номера журнала.

УДК 62-83.025.004.14

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Н. Ф. ИЛЬИНСКИЙ

МЭИ

Электрический привод, оставаясь основным производителем механической работы и потребителем электрической энергии, претерпевает в последние годы существенные изменения. Они относятся как к аппаратной части (обусловлены, главным образом, обновлением элементной базы), так и к сфере приложения усилий специалистов, занимающихся электроприводом и технологическими процессами с его использованием.

Попытаемся рассмотреть очень кратко некоторые новые ситуации, относящиеся к массовому общепромышленному электроприводу и отражающиеся в научно-технической периодике, в материалах конференций и выставок, в деятельности фирм, связанных с электроприводом, а также в работе научного коллектива кафедры автоматизированного электропривода МЭИ.

Изложенные далее наблюдения субъективны, не бесспорны и, очевидно, не полны. Они относятся, главным образом, к западному рынку и далеко не всегда могут быть перенесены в наши условия, однако, по мнению автора, небезынтересны для специалистов.

Новая элементная база силовой электроники (модули IGBT, GTO и др.) и микроэлектроники стала штатным средством построения электрических преобразователей постоянного и переменного тока общепромышленного применения. Практически завершена стадия поиска рациональных технических решений собственно преобразователей и организаций их производства, и западный рынок заполнен (часто — переполнен) близкими по принципам построения и основным техническим данным преобразовательными устройствами.

В качестве примера можно привести семейство SAMI преобразователей частоты фирмы АВВ. В семейство входят четыре основные группы преобразователей с диапазонами мощностей 0,75—



3,0 кВт (MICROSTAR); 0,75–3,0–55 кВт (MINI-STAR); 18,5–1500 кВт (STAR) и 1000–8000 кВт (MEGASTAR). Диапазон регулирования частоты — от 0,5 до 120–200 Гц, возможны различные исполнения от IP00 до IP54. Все преобразователи снабжены встроенной информационной системой микропроцессорного управления, удобны для взаимодействия с оператором, просто сопрягаются с управляющими компьютерами.

Десятки (может быть, сотни) фирм во всем мире производят сегодня электрические преобразователи переменного тока в постоянный и переменный с широким, по сути с заданным пользователем, набором потребительских качеств.

Проведенное в МЭИ детальное исследование и сопоставление свойств, возможностей и особенностей общепромышленных преобразователей частоты на 6–10 кВт·А, произведенных шестью различными фирмами Европы и Японии, показало, что исследованные образцы практически одинаковы по основным техническим решениям (неуправляемый выпрямитель — инвертор на IGBT с ШИМ, встроенная цифровая система управления, защиты и т. п.), близки по техническим данным (питание 380–460 В, 50 Гц, несущая частота 1–12 кГц, выход 380–460 В; 0,5–200 Гц, исполнение IP21), по массогабаритным показателям (1–2 кг/(кВт·А)), по базовой цене (300–400 DM/(кВт·А)).

Имеются и различия: фирмы-лидеры предлагают пользователю существенно большие функциональные возможности по варьированию несущей частотой, по формированию законов управления  $U/f$ , по настройке, диагностике, защите и т. п.

Весьма интересен экономический аспект: цена преобразователя на указанную мощность всего в 3–4 раза выше цены соответствующего асинхронного двигателя общепромышленного применения. Цена же двухскоростного двигателя практически не отличается от цены преобразователя. Стали вполне сопоставимы или точнее близки по цене следующие, например, альтернативные решения: двухскоростной двигатель (2,5/6,7 кВт, 95 кг) и обычный двигатель (7,5 кВт, 67 кг) плюс преобразователь частоты (10 кВт·А, 7 кг). Разница в функциональных возможностях — очевидна и общеизвестна.

Таким образом, можно считать закончившимся этап создания на современной элементной базе важнейшего элемента общепромышленного электропривода — электрического преобразователя и выход его на широкий рынок с весьма высокой конкурентоспособностью.

Разумеется, процесс развития не остановится: будут продолжаться создаваться новые общепромышленные преобразователи, однако сейчас уже можно утверждать, что прототип, с которым они должны сопоставляться, сформировался, и его уровень весьма высок.

Отметим, кстати, что иначе обстоит дело со специальными преобразователями — высокочастот-

ными (до 2 кГц и выше), низковольтными на большие токи и т. п. Здесь, насколько можно судить по текущей информации, нет сложившихся решений, рынок не заполнен, и есть возможности для свободного творчества разработчиков и производителей.

Ситуация, сложившаяся к настоящему времени с общепромышленными преобразователями для электропривода — заполнение ими рынка, создает новые проблемы, обозначает новые направления усилий специалистов в области электропривода.

Широкий выбор порождает естественный вопрос: что выбрать? Ответ на этот вопрос связан с системой критериев, которая, по-видимому, еще не сложилась. Об этом свидетельствует, в частности, практически полное отсутствие сколько-нибудь глубоких рекомендаций по выбору в каталогах и инструкциях по применению преобразователей даже у фирм-лидеров. Это — естественно, поскольку преобразователи разработаны для широкого спектра применений, и электропривод — одно из них, хотя и весьма ответственное и специфическое.

Представляется, что создание хорошо обоснованной, конкретной и эффективной системы критериев выбора типа и варианта исполнения преобразователя — важная и современная задача, которую могут решить лишь специалисты в области электропривода.

Среди критериев в приводах переменного тока первое место уже занимает и, по-видимому, будет занимать в будущем надежность системы преобразователь–двигатель. Дело в том, что асинхронные двигатели общепромышленного применения, составляющие преобладающую часть всего парка (миллионы штук), строго говоря, не предназначены для питания от современных преобразователей, выходное напряжение которых представляет собой синусоиду с наложенной на нее высокочастотной несущей.

На вопрос автора директору одной весьма солидной западной фирмы: хорошо ли уживаются двигатели и преобразователи частоты? — был получен следующий ответ: "Мои двигатели и мои преобразователи — хорошо, мы вложили большие средства, чтобы обрести эту уверенность; что касается конкурентов — это их проблемы".

Косвенным подтверждением существования проблемы может служить высокая осторожность, которую проявляют фирмы, комплекующие электроприводы из элементов различных производителей, в использовании преобразователей частоты, хотя очевидна привлекательность таких решений — это следует хотя бы из приведенного примитивного примера.

Первые экспериментальные результаты, полученные в последние месяцы в МЭИ, также подтверждают существование проблемы. Возможны неблагоприятные сочетания параметров двигателя, настройки преобразователя, параметров и режимов

привода в целом, вызывающие как легко обнаруживаемые и устраняемые макроявления (механические резонансы и т. п.), так и глубоко спрятанные и от этого более опасные микроявления (местные перегревы, локальные механические резонансы и т. п. внутри двигателя). Вместе с тем, уже первые шаги показали, что как при диагностике любой скрытой болезни, здесь нужно много усилий — специальное испытательное оборудование, тонкие и дорогие измерительные средства и т. п.

Очевидно, что вопрос о сосуществовании двигателей и преобразователей должен быть решен в ближайшее время конкретно, полно, всесторонне и обоснованно. Без этого вряд ли возможно широкое, массовое применение системы преобразователь частоты—асинхронный двигатель: риск слишком велик, и осторожные фирмы скорее всего на него не пойдут.

Видимо, первыми заявят о гарантированной надежности своих систем мощные фирмы, производящие все элементы электроприводов и способные быстро произвести глубокие комплексные исследования. Они, естественно, получат некоторое коммерческое преимущество.

Вместе с тем, существующая в мире структура производителей двигателей и преобразователей частоты такова, что возникнет необходимость в услугах независимых, располагающих квалифицированным персоналом и хорошо оснащенных исследовательских центров, проводящих сертификацию двигателей в новых условиях и дающих разрешение на их использование в системах преобразователь—двигатель с соответствующими рекомендациями по выбору преобразователей и их настройке. Эти же центры могли бы сопровождать массовое внедрение новых систем, оказывать консалтинговые и инженеринговые услуги, анализировать эксплуатационную надежность и т. п.

Представляется, что изложенная перспектива вполне естественна на стадии массового перехода в сферу высоких технологий в данной области техники. По мнению ряда специалистов уже сейчас каждый десятый двигатель в Европе будет оснащен преобразователем частоты.

Очевидно также, что массовое вхождение в практику новой системы породит много частных следствий. Так, опыт исследования и эксплуатации систем позволит сформулировать комплекс новых требований к двигателям, которые должны будут учитывать их производители, если они не захотят остаться в стороне от столбовой дороги развития.

В недалекой перспективе появятся двигатели, специально спроектированные для работы с преобразователями частоты, оптимизированные по новым критериям. В частности, станет не нужной забота о высоких пусковом и седловом моментах, по-новому будут решаться вопросы использования активных материалов, проблемы минимизации шума и т. п. Наиболее дальновидные фирмы, как

следует из технической периодики, уже инвестируют средства в указанные перспективные разработки.

Этот же процесс будет касаться и производителей преобразователей частоты. Вряд ли удержатся на рынке преобразователи, неадаптируемые или сложно адаптируемые к специфике электропривода — с неуправляемой несущей частотой, с неперестраиваемыми отношениями  $U/f$  и т. п.

Серьезным изменениям, видимо, подвергнется компоновка многих электроприводов при появлении в их структуре преобразователей частоты. Так, отказ от фиксированной структуры (скоростей) двигателя, вращающего, например, вентилятор, приведет к пересмотру алгоритма выбора вентилятора, возможному отказу от ременной передачи или иному подходу к выбору передаточного числа и т. п. Возникает задача разработки обоснованных приемов проектирования систем электропривод—механизм с учетом новых возможностей собственно электропривода.

Итак, общепромышленный электропривод переменного тока с преобразователями частоты перестал быть заманчивой перспективой, стал реальностью. Выход его на широкий рынок породил новые проблемы.

---

УДК 62-83:532.003.1

## РЫНОК ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА БАЗЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Ю. П. БОГАЧЕВ, С. А. ГОЛЕМБИОВСКИЙ

НИЦ "Мехатроника"

Современным технологическим требованиям по обеспечению большой производительности в сочетании с высокой точностью обработки деталей из новых конструкционных материалов отвечает высокоскоростная обработка. Например, внедрение скоростного фрезерования в авиационной промышленности позволяет сократить операционное время на 40–60 %, при этом до 90 % тепла отводится стружкой, вследствие чего детали практически не деформируются из-за нагрева.

Важнейшим элементом станков для высокоскоростной обработки, определяющим точность размеров и качество обрабатываемой поверхности, является электромеханическая система, включающая в себя шпиндель, привод шпинделя и обрабатывающий инструмент.

В наиболее рациональном случае такая система — регулируемый комплектный электропривод главного движения на базе высокоскоростного

мехатронного модуля с закрепляемым в нем инструментом, управляющего им преобразователя частоты, станции подготовки смазки и сжатого воздуха (при использовании в электрошпинделе газовых опор) и система датчиков для обеспечения регулирования с введением соответствующих обратных связей. В качестве преобразователей частоты в настоящее время широко используются статические преобразователи, обладающие лучшими потребительскими характеристиками, чем электромашинные, имеющие двойное преобразование энергии. В качестве электродвигательной части привода используются высокоскоростные мехатронные модули (электрошпиндели), представляющие собой электродвигатель переменного тока специального назначения (синхронный или асинхронный), на валу которого закреплен инструмент (например, шлифовальный круг), без каких-либо промежуточных передач. Таким образом, приводная часть и рабочий орган представляют собой единый конструктивный модуль, включающий и систему датчиков.

На прецизионном оборудовании при производстве электрошпинделей реализуются технологические процессы, позволяющие обеспечить изготовление деталей с отклонением от круглости 0,2–0,5 мкм, допуском 0,001–0,002 мм, шероховатостью 0,04–0,08–0,16–0,32, отклонением профиля продольного сечения 1 мкм. Среднее время наработки на отказ таких ответственных узлов как электрошпиндели достигает 20 000–80 000 ч. Все это также определяет и высокий уровень цены комплектов высокоскоростных электроприводов на базе мехатронных модулей — в 10 и более раз превышающий цены обычных станочных электроприводов и достигающий 50 тыс. дол.

Основными областями применения высокоскоростных мехатронных узлов и модулей являются:

- внутреннее и координатное шлифование;
- сверление и фрезерование плат печатного монтажа и инжекторных отверстий, обработка керамики;
- скоростное фрезерование, расточка;
- деревообработка, обработка камней, стекла и пластмасс;
- накачка газовых лазеров и другие специальные назначения.

В результате передовых достижений в области развития технологии производства появились высокоскоростные режущие инструменты на основе металлокерамики, кубического нитрида бора и т. п. Наряду с улучшением технологии изготовления подшипников и систем охлаждения это позволило использовать высокопрецизионные шпиндели с частотой вращения свыше 100 000 об/мин. За последнее десятилетие частота вращения электрошпинделей возросла в 4–5 раз, производство диаметра посадочной шейки шпинделя под подшипник на число оборотов — параметр быстроходности — достигает теперь

1,5–2 млн. Например, Московский завод скоростных прецизионных электроприводов (МЗСПЭ) серийно выпускает электрошпиндели для обработки колец приборных подшипников типа ШФ с максимальной частотой вращения 150 000 об/мин. Фирма "Precise" (ФРГ), являющаяся лидером рынка электрошпинделей для обработки плат печатного монтажа, освоила серийный выпуск сверлильных шпинделей типа SC 1060 с максимальной частотой вращения 160 000 об/мин. Фирма "GAMEIOR" (Италия) разработала электрошпиндель для обработки инжекторных отверстий с частотой вращения до 270 000 об/мин. Лидер рынка шлифовальных и фрезерно-расточных электрошпинделей фирма GMN (ФРГ) предлагает шлифовальные электрошпиндели с внешним диаметром 80–170 мм, обеспечивающие экономичные режимы работы в диапазоне частот вращения от 180 000 до 4500 об/мин с полезной мощностью от 0,2 до 26 кВт и фрезерные электрошпиндели с внешним диаметром 120–300 мм, обеспечивающие экономичные режимы работы в диапазоне частот вращения от 60 000 до 4500 об/мин с полезной мощностью от 5 до 42 кВт.

Растущая заинтересованность потребителей в высокоскоростной обработке подтверждается следующими высказываниями (цитируются по материалам "Boston Consulting"):

"Следующим логическим шагом в совершенствовании станков было бы повышение скорости обработки, причем не на несколько процентов, а на фактор 5–10. Для этого мы охотно отказались бы от нескольких старых станков." (К. Yokoyama, директор фирмы "Komatsu", Япония).

"С помощью сегодняшнего твердосплавного инструмента мы могли бы значительно увеличить производительность станков повышением скорости обработки. Мы были бы готовы оказать помощь в финансировании необходимых опытно-конструкторских работ". (Ron Coosaia, главный инженер фирмы "Ford Motor Co", США.)

"Следующим поколением станков будут являться сверхскоростные станки с частотой вращения шпинделя 20 000–60 000 об/мин. При таких условиях сильно изменятся основные концепции станков в отношении жесткости и конструкции, механизма подачи, удаления стружки, ЧПУ, термостойкости. Это новое поколение станков должно появиться на рынке в начале 90-х годов". (Н. Okamoto, генеральный директор фирмы "Hitachi Seiki", Япония).

Чем выше частота вращения шпинделя, тем больше проблем с отводом тепла, с центробежной силой и т. п. Применение подшипников с керамическими роликами и магнитным подвесом (фирмы S2M, GMN, НИЦ "Мехатроника") в большинстве случаев позволило устранить эти проблемы. Изменение преднатяга подшипников в результате действия центробежной силы послужило причиной аномального выделения тепла в подшипниках и



нестабильности обработки во всем диапазоне частот вращения шпинделей из-за изменения жесткости шпинделя при переходе от высоких к низким (и наоборот) скоростям. Поэтому были разработаны системы опор с переменным преднатягом. Следует также отметить, что практически все современные электрошпиндели имеют устройства автоматической смены инструмента, что также явилось одним из отражений требований рынка и прогресса в технологии обработки. Например, электрошпиндели АСФ72/0,6А (МЗСПЭ) с автоматической сменой инструмента предназначены для применения в качестве двигательной части электроприводов главного движения станков для сверления и фрезерования плат печатного монтажа, скрайбирования твердых и хрупких неметаллических материалов, керамики, ферритов и т. п. алмазным инструментом. Область применения электрошпинделей этого типа распространяется также на роторные системы различного назначения: исполнительные органы промышленных роботов, распылители лакокрасочных покрытий в электростатическом поле, прядильные веретена, установки для испытания материалов на разрыв и т. п. Фирмой "Hermann Guehring Spanntechnik" по заказу фирмы "Precise" разработана новая система автоматической смены инструмента, при использовании которой усилие зажима возрастает по мере увеличения центробежных сил.

Принципиально новым направлением в развитии высокоскоростных электрошпинделей является создание интегрированных мехатронных модулей, сочетающих вращательное движение с линейным. Фирма "West Wind" разработала интегрированную сверлильную головку D1287 с пристроенным линейным двигателем: максимальная частота вращения 100 000 об/мин, максимальное линейное перемещение 19 мм. НИЦ "Мехатроника" предложил на рынок интегрированный мехатронный модуль СЛ-80 со встроенным линейным электродвигателем с частотой вращения 80 000 об/мин, максимальным линейным перемещением 20 мм, максимальной линейной скоростью подачи 20 м/мин и точностью линейного перемещения 0,05 мкм.

Несколько обособлена область применения высокоскоростных электродвигателей в обрабатывающих центрах, в настоящем обзоре не рассматриваемая, где также наблюдается постоянная тенденция к постепенному вытеснению низкооборотных машин. Высокоскоростные электродвигатели позволяют обеспечить "экономичную" скорость резания как при обработке металлических, так и неметаллических заготовок. Одним из ведущих производителей таких мехатронных модулей является фирма "Fanuc" (Япония), производящая высокоскоростные встраиваемые электродвигатели мощностью до 11 кВт с частотой вращения 8–15 тыс. об/мин для станков токарной и сверлильно-фрезерной группы.

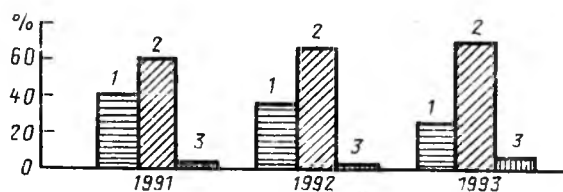


Рис. 1. Структура рынка потребителей высокоскоростных мехатронных узлов и модулей:

1 – производители ТО; 2 – конечные потребители; 3 – новые технологии

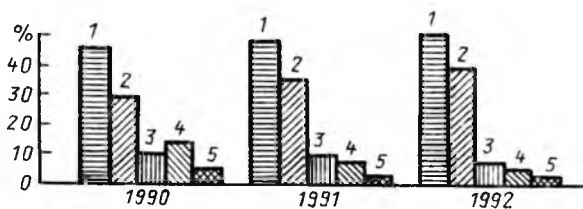


Рис. 2. Изменение региональной структуры рынка производства станков на базе мехатронных узлов:

1 – Западная Европа; 2 – Тихоокеанский регион; 3 – Северная Америка; 4 – Восточная Европа с СНГ; 5 – другие

Структура рынка потребителей (рис. 1) высокоскоростных электроприводов укрупненно может быть представлена следующим образом:

производители технологического оборудования на базе высокоскоростных узлов и модулей – менее 35 % потребителей в 1992 г. (около 40 % – 1991 г., около 25 % – прогноз на 1993 г.);

конечные потребители технологического оборудования (для ремонта и реновации) – около 65 % потребителей в 1992 г. (около 60 % – 1991 г., около 70 % – прогноз на 1993 г.);

новые технологии (например, в качестве рабочих органов роботов в автомобильной промышленности или для фрезерования легких сплавов в авиационной) – менее 2 % потребителей в 1992 г. (менее 1 % – 1991 г., около 5 % – прогноз 1993 г.).

Увеличение конечных потребителей на рынке обусловлено не только спадом в мировом производстве, но и тем, что затраты на реконструкцию составляют приблизительно 50 % капитальных затрат, необходимых для реновации традиционных станков.

Мировой рынок высокоскоростных мехатронных узлов и модулей является вторичным отражением рынка станков, который географически можно разделить на четыре части (рис. 2):

1. Западно-Европейская, преимущественно страны, объединенные в ассоциацию производителей станков СЕСИМО – Австрия, Бельгия, Дания, Франция, Германия, Великобритания, Италия, Нидерланды, Португалия, Испания, Швеция и Швейцария – на которые приходится 50 % всех производимых в мире станков (1991 г. – 48 %, 1990 г. – 45 %).

2. Тихоокеанская – Австралия, Китай, Гонконг, Япония, Сингапур, Южная Корея и Тай-

вань — на которые приходится 39 % производимых в мире станков (в 1991 г. — 35 %, 1990 г. — 29 %).

3. Североамериканская — США и Канада — 7 % мирового производства станков (в 1991 г. — 8 %, 1990 г. — 9 %).

4. Евроазиатская — страны Восточной Европы и СНГ — 3 % мирового производства станков (в 1991 г. — 7 %, 1990 г. — 13 %).

Структурные изменения на рынке связаны с тремя факторами:

глубоким кризисом в экономике бывших социалистических стран Европы. Так, только в 1991 г. производство станков в СССР уменьшилось на 37,5 % по сравнению с 1990 г., а в 1992 г. положение только усугубилось и сокращение производства перешло через 40 %-й рубеж;

спадом производства в США — уменьшение объемов примерно на 10–12 % ежегодно;

продолжающейся японской экспансией на рынке.

Япония — единственная из лидеров станкостроения в последние годы не уменьшила объемов производства, а наоборот в 1990–1991 гг. даже увеличила его на 6,1 % и заняла 28,2 % рынка, в то время как идущие на втором и третьем местах Германия и Италия в этот период времени уменьшили производство на 4,7 % (22,7 % в 1991 г.) и 6,5 % (8,4 % в 1991 г.).

Соответственным образом изменилась и структура рынка станочных электроприводов вообще и высокоскоростных мехатронных узлов и модулей, в частности.

Производство технологического оборудования с применением высокоскоростных мехатронных узлов (рис. 3) составляет примерно 5 % всего производства станков и с 1990 г. по 1991 г. снизилось в стоимостном выражении соответственно с 2200 до 2000 млн. дол. Стоимость комплектного электропривода на базе высокоскоростных электрошпинделей в среднем лежит в пределах 15–30 тыс. дол. В настоящее время мировой уровень производства электрошпинделей составляет примерно 120–150 тыс. в год. Крупнейший производитель электрошпинделей на территории СНГ — МЗСПЭ производит 8–10 тыс. высокоскоростных электрошпинделей ежегодно (что составляло 55–65 % рынка СССР), т. е. более 6 % их мирового потребления. Итальянская фирма "GAMFIOR"

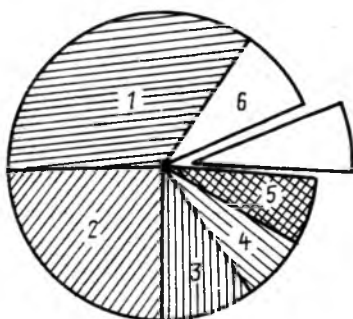


Рис. 3. Основные производители 1992 г.:

1 — Германия; 2 — Япония; 3 — США; 4 — Англия; 5 — Италия; 6 — СНГ

имеет годовой выпуск до 1,5 тыс. электрошпинделей. Крупнейшими производителями высокоскоростных электроприводов являются: Германия — около 35 % рынка, Япония — 25 %, США — 10 %, Великобритания и Италия по 7 %, Россия — 8 %.

Общий объем производства электроприводов постоянного и переменного тока в мире в 1991 г. составлял около 75 млрд. дол., в том числе станочных электроприводов около 8 млрд. дол. (в 1985 г. около 7 млрд. дол.), включая высокоскоростные — 600 млн. дол. (в 1985 г. около 200 млн. дол.). К 1995 г. прогнозируется дальнейшее увеличение удельного веса высокоскоростных электроприводов в общем объеме производства.

Рассмотрим ситуацию на рынке в соответствии с основными областями применения высокоскоростных мехатронных узлов и модулей (рис. 4).

Наиболее сложным оказалось положение в секторе высокоскоростных электрошпинделей для сверления и фрезерования плат печатного монтажа. Производство станков для фрезерно-сверлильной обработки плат в 1991 г. сократилось на 20–25 %. В настоящее время парк таких станков в СНГ и странах Балтии составляет около 6500 единиц, в том числе около 500 единиц импортных с суммарной потребностью в электрошпинделях около 1500 штук в год для воспроизводства и реновации.

Более благоприятные условия на мировом рынке высокоскоростных мехатронных узлов и модулей сложились в секторе электрошпинделей и высокоскоростных электродвигателей для деревообработки, где темпы сокращения рынка были в два–три раза ниже, а по некоторым типам продукции спада не наблюдалось и даже было некоторое увеличение. Наиболее динамичными локальными рынками технологического оборудования для деревообработки в период 1990–1992 гг. являлись рынки Франции и Испании, что позволило западноевропейским производителям электроприводов для деревообработки (преимущественно германским) не сокращать производственные мощности в условиях общего кризиса. Помимо упомянутых локальных рынков перспективными в области деревообработки являются рынки Северной Америки, Юго-Восточной Азии и Южной Кореи в связи с "проснувшейся" модой на деревянную мебель, отделку интерьеров и т. п., связанную с долгосрочной тенденцией в развитых промышлен-

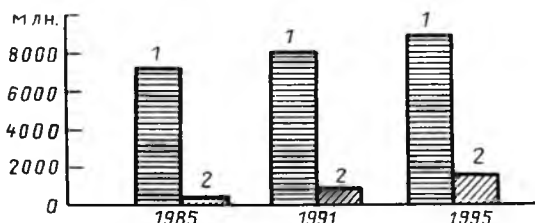


Рис. 4. Рост рынка высокоскоростных приводов: 1 — ЭП станков; 2 — высокоскоростные приводы

ных странах на "экологически чистую" продукцию. Состояние этих секторов рынка электроприводов для деревообработки еще более обнадеживающее. На это может, например, указывать такой показатель: итальянский импорт деревянной фурнитуры и изделий из дерева, прошедших финишную обработку, за декабрь 1991 г. превысил аналогичный показатель за 1990 г. на 19,7 % и 26,8 % соответственно. Импорт деревянной мебели в 1991 г. в Италии увеличился по сравнению с предыдущим годом в среднем на 40–45 % (от +10,1 % на кухонные гарнитуры до 73,2 % на стулья). Импорт комплектов дверей, оконных рам, потолочных и стенных панелей увеличился на 30 % (в среднем по Европе на 10,5 %). Менее благоприятное положение у японских производителей деревообрабатывающего оборудования — объемы производства 1990–1991 гг. сократились на 20 % и в 1992 г. прогнозируется сокращение еще на 10 %, а объем экспорта в 1991 г. составил только 75,5 % уровня предыдущего. Здесь следует отметить, что из-за жестких протекционистских мер японский рынок оказывается практически закрытым для всех типов высокоскоростных мехатронных узлов и модулей, производимых в Европе.

После распада СССР на территории России оказалось 71,8 % потенциала деревообрабатывающей промышленности бывшего Союза — около 2200 предприятий с полумиллионным парком станков. Общий спад производства деревообрабатывающей промышленности России за последние два года составил около 15–20 % (что в 2–2,5 раза лучше, чем по другим отраслям). С учетом того, что отложенный спрос на высокоскоростные электрошпиндели для деревообработки в 1989 г. составлял около 70–80 % объема их производства, даже сейчас в условиях глубокого экономического кризиса в России спрос на электроприводы для деревообработки в 1,5–2 раза превышает предложения и составляет примерно 6–8 тыс. штук в год. Ведущими фирмами-производителями высокоскоростных электрошпинделей и электродвигателей для деревообработки в Европе являются: "Perske" (ФРГ), "Colombo" (Италия), МЗСПЭ (Россия). Суммарный объем производства не превышал 50 тыс. штук в год, в том числе около 2 тыс. в России.

В последние 2–3 года наметилась тенденция к использованию в деревообработке силовых электрошпинделей повышенной частоты вращения. На рынке широко представлены гаммы шпинделей с частотой вращения вала, равной или превышающей 18 000 об/мин. В таблице приведены их сравнительные характеристики.

Наибольший интерес для рынка в настоящее время представляют деревообрабатывающие электрошпиндели повышенной мощности, например, с частотой вращения 24 000 об/мин: "Colombo", серия RU мощностью 3,35; 4,69; 12; 13,4 кВт;

Фирма	Модель	Мощность, кВт	Частота, Гц	Скорость об/мин
Omlat	WLHP25	6	933	28 000
Colombo	RU90/2R	5,36	450	27 000
Omlat	WLHP40	20	600	18 000
Colombo	RU154/22	16,1	300	18 000
Perske	HF710,7	10	300	18 000
МЗСПЭ	ЭВ18/4	4	300	18 000
МЗСПЭ	ЭД18/3	3	300	18 000

"Perske", серия U — 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 1,85; 3 кВт;  
"Omlat" серии WL/WLHP—7; 7,5; 10 кВт.

Для внутреннего высокоскоростного шлифования все чаще используются высокоскоростные электрошпиндели, так как с помощью шпинделей с ременным приводом невозможно достичь требуемого числа оборотов. Аналогичным образом при фрезеровании и сверлении повышается тенденция к увеличению числа оборотов, особенно при обработке алюминиевых сплавов, пластмасс и других материалов. В России разработками таких электрошпинделей занимается НИЦ "Мехатроника".

Производство внутришлифовальных электрошпинделей составляет около 35 % всего производства высокоскоростных мехатронных узлов. Сокращение производства шпинделей в 1990–1991 гг. составило около 15 % в год, что примерно соответствовало темпам сокращения производства подшипников такими фирмами как SKF (Швеция), "Timken" (США), GMN (ФРГ), SNFA (Франция). На территории СНГ положение было усугублено конверсией оборонного комплекса, что привело к полному прекращению производства подшипников на ряде предприятий. Тем не менее парк внутришлифовальных станков в СНГ в 1992 г. составляет 61 000 штук, из которых 77 % старше 10 лет и требуют реновации. Емкость рынка внутришлифовальных станков составляет 400–500 штук/год, годовая же потребность в электрошпинделях для внутреннего шлифования почти на порядок выше, так как гарантийная наработка на отказ не превышает 2000 ч.

Для скоростного силового фрезерования имеется тенденция применения высокоскоростных электрошпинделей на магнитных подшипниках. Такие шпиндели были предложены на рынок фирмами GMN (ФРГ), IBAG (Швейцария) и NTN-Toyo Bearing (Япония), они оказались на порядок дороже традиционных (стоимость комплектного привода на базе такого электрошпинделя 100 тыс. дол.) и в условиях кризиса не нашли ожидаемого спроса в сфере обработки легких сплавов, например, алюминиевых в аэрокосмической промышленности.

На мировом рынке высокоскоростных мехатронных узлов и модулей благодаря всеобщему экономическому спаду сложилась ситуация, когда кон-

куренция между высокоспециализированными предприятиями-производителями вышла за пределы конкуренции ценовой широты номенклатуры и даже качества продукции. Сейчас предметом конкуренции является так называемое "всеобщее качество" ("total quality"), имеющее гораздо более широкое значение, чем просто оценка качества продукции, и включающее в себя такие компоненты как оценка качества технологических процессов и производства в целом, расширение и разнообразие сервисных услуг, быстрота оказания технической помощи, доступность и наличие запасных частей, создание "капиллярных" сетей сбыта и т. п. Наиболее характерна такая стратегия для жесткого и агрессивного западноевропейского рынка, где все большее влияние приобретает "человеческий" фактор в потребительских свойствах высокотехнологичных товаров. Например, уже с 1994 г. на общий рынок стран ЕЕС практически не будут допускаться высокотехнологичные товары, предлагаемые предприятиями, не имеющими сертификации производства в соответствии с нормами стандартов ISO 9000. Ведущей европейской сертификационной фирмой в рассматриваемой нами области является "Norske Ueritas", имеющая в СНГ совместное предприятие "Quality Consulting".

Несмотря на экономический кризис или благодаря ему происходит относительное увеличение экспорта над внутренними продажами в области Hi-Tech. Так, если в середине 80-х годов доля экспорта электрошпинделей не превышала 32–35 %, то в 1991–1992 гг. его уровень составил 40–43 %, при этом сектор высокоскоростных электрошпинделей рынка Hi-Tech уменьшался на 10–15 % в год. Исключением является рынок приводных средств для деревообработки, где темпы сокращения рынка не превышали 5–7 % в год, а по некоторым позициям даже наблюдалось усиление активности рынка. Увеличение удельного веса экспорта также послужило одной из причин ориентации на стратегию "total quality".

Необходимо отметить, что в условиях кризиса возрастает удельный вес затрат на исследования и разработки. В качестве показателя, отражающего исследовательскую деятельность любой фирмы, берется отношение затрат на исследования к общему объему затрат. По данным Технического отделения Ассоциации японских станкостроителей в 1991 г. наиболее высокий показатель таких затрат наблюдался при производстве специальных электрических машин 9,5 % (рис. 5) (для сравнения в 1986 г. — 5,5 %), затем в точном машиностроении — 7,8 % (в 1986 г. — 4,6 %) и в станкостроении — 5,1 % (в 1987 г. — 3,1 %). Такого рода издержки можно значительно снизить, организовав систему совместных исследований. В настоящее время существует ряд таких международных проектов, в рамках которых ведутся работы по разработке высокоскоростных прецизионных узлов

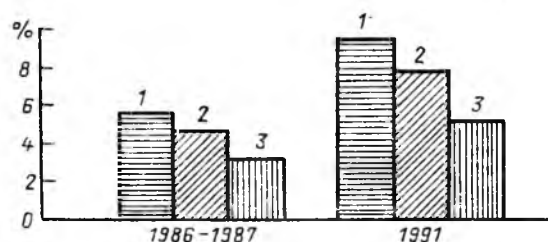


Рис. 5. Затраты на исследования и разработки в отношении к общему объему затрат:

1 — электрические машины; 2 — точное машиностроение; 3 — станкостроение

и модулей и их компонентов. Это программы ESPRIT BRITE, проекты EUPEKA и EUPOMESCHATRONICA, в том числе с участием российских предприятий.

На положение на рынке высокоскоростных мехатронных узлов и модулей, а также электроприводов на их базе будут влиять различные факторы, определяющие положение высокоскоростных мехатронных узлов как товара:

товар сильно защищенный, направленный на отдельные группы потребителей;

широкой номенклатуры и видовых форм;

имеет хорошую привлекательность для потенциального потребителя, но находится на сегменте рынка с сильной конкуренцией;

при прочих равных условиях (производительность, качество, сервис и т. д.) основным оружием на данном сегменте рынка является цена;

доля рынка невелика, но при сильной привлекательности товара для клиентов следует вкладывать деньги в производство данного товара;

товар находится на переходе в состояние "Star". Больших быстрых прибылей добиваться нельзя — риск погубить рынок;

большинство сделок по данному товару являются узко специализированными, которые характеризуются значительным весом "крупных" преимуществ: "ноу-хау" по продукции, технологическое "ноу-хау" по правильному применению продукции. При относительно небольшом количестве конкурентов ожидают большие капитальные вложения. Необходимо сосредоточить внимание на определенном виде продукции с целью завоевания первенства и лидерства.

В заключение необходимо отметить:

1. Наблюдается относительный рост рынка высокоскоростных электроприводов на фоне общего потребления регулируемых электроприводов в машиностроении, что связано как с количественными показателями рынка, так и с более высокой стоимостью таких электроприводов.

2. Происходит изменение структуры рынка высокоскоростных электроприводов в пользу рынка конечных потребителей с задачами ремонта и реновации оборудования. Эта тенденция должна сохраниться в США до середины 1993 г., в Западной Европе — до конца 1993 г., в СНГ — до 1994 г.

3. Высокая интенсивность технологических исследований в области обработки новых конструкционных материалов, в первую очередь для автомобильной промышленности, а также тематика крупных международных проектов позволяют предположить, что в ближайшие годы начнется модернизация парка технологического оборудования в машиностроении с существенным ростом применения высокоскоростных электроприводов нового поколения.

Желающим получить более детализированную информацию о положении на рынке высокоскоростных электроприводов, мехатронных узлов и модулей, а также по вопросам организации маркетинговых исследований в этой области необходимо обращаться в:

**научно-инженерный центр "Мехатроника".**  
109316, Москва, Остاپовский проезд, 9.  
Тел. (095) 276-97-07.

**Фирма "Евромехатроника-ДЕНИКС".**  
109280, Москва, а/я 107.  
Тел. (095) 275-00-03 доб. 1-88.

**Совместное предприятие "Прецимек".**  
Тел. (095) 276-51-80.

УДК 621.3:568.386

## УЧЕБНЫЙ ПЛАН ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

В. В. МОСКАЛЕНКО

МЭИ

В статье рассматривается учебный план бакалавра по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнология", разработанный в МЭИ применительно к специальности "Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов".

Начавшиеся в стране преобразования в экономической и социальной сферах требуют соответствующих изменений в подготовке специалистов с высшим образованием. По своим возможностям новым требованиям времени соответствует многоступенчатая система высшего образования, которая предусматривает, кроме традиционной инженерной, также бакалаврскую и магистровскую академические степени выпускников вузов.

С одной стороны, эта система в наибольшей степени удовлетворяет индивидуальным потребностям и возможностям учащихся. Бакалавриат (первая ступень) готовит специалиста с фундаментальным и широким электротехническим образованием и определенной в некоторой предметной области специализацией в относительно короткий

срок (четыре года). Такое образование может заинтересовать тех, кто хотел бы после окончания вуза работать в сфере наладки и эксплуатации электрооборудования, оператором сложных электротехнических систем, техническим руководителем небольшого производственного коллектива, специалистом по менеджменту или маркетингу в сфере производства и распределения электротехнической продукции.

Инженер и магистр могут получить более глубокую и целенаправленную подготовку по определенным специальностям и профилю, которая позволит им заниматься, например, исследованием, проектированием и конструированием электромеханических систем (электроприводов) и их компонентов, работать наладчиком сложных комплексов электрооборудования, преподавателем техникумов, колледжей, ПТУ и вузов. Наиболее одаренные специалисты из числа инженеров и магистров смогут продолжить повышение своей научной квалификации путем обучения в аспирантуре и далее в докторантуре.

С другой стороны, такая система подготовки специалистов в наилучшей степени отвечает запросам производства и науки. Очевидно, что целенаправленно подготовленный и заинтересованный в своей работе специалист наилучшим образом будет выполнять свои профессиональные обязанности, принося при этом и наибольшую пользу государству. Особое значение в этом отношении имеет завершающий этап подготовки инженеров и магистров, который должен проводиться по индивидуальным планам, содержание которых должно определяться характером профессиональной деятельности и местом будущей работы специалиста. Этот этап обучения должен быть оформлен договором между вузом, специалистом и заинтересованной организацией, который определяет все взаимные обязательства сторон, в том числе и финансовые.

Отметим, что многоступенчатая система лучше отвечает и подготовке специалистов для зарубежных стран, представители которых отличаются весьма дифференцированными целями обучения и уровнем предвузовского образования. По существу в МЭИ в течение последних лет уже использовалась практика выпуска после окончания четвертого курса некоторого количества студентов из зарубежных стран со степенью бакалавра, поскольку их дальнейшее обучение на степень инженера (магистра) не соответствовало их реальным возможностям.

Предложенная Министерством науки, высшего образования и технической политики Российской Федерации в качестве исходной структура образовательно-профессиональной программы по технике, послужившая основой учебных планов подготовки бакалавров, предусматривает восьмисеместровый период обучения с длительностью каждого семестра в 17 учебных недель. Продолжительность

учебных занятий в неделю составляет 54 ч, что определяет общий объем подготовки бакалавра в 7344 ч, при этом обязательные аудиторные занятия не должны превышать 60 % этого объема. Подготовка специалиста обеспечивается изучением социально-гуманитарных дисциплин, которым отводится 20–25 % учебного времени, естественно-научных — 35–45 %, общетехнических дисциплин — 25–30 %, дисциплин специализации — 10–15 %.

Важной особенностью учебного плана подготовки бакалавра является наличие в каждом цикле, кроме обязательных, определенного объема часов для изучения элективных дисциплин, устанавливаемых вузом (факультетом или выпускающей кафедрой) по своему усмотрению, при этом все дисциплины специализации являются элективными. Занятия по иностранному языку, физическому воспитанию (сверх обязательного объема) и военной подготовке факультативные.

Характерной чертой разработанных в МЭИ учебных планов является максимальное использование в них положительного опыта отечественной высшей школы по подготовке инженеров электротехнического профиля. Практически остались неизменными перечень основных дисциплин, их размещение, объемы и межпредметные связи. Тем самым сохраняется и может быть использован весь мощный потенциал отечественной высшей школы — квалифицированный профессорско-преподавательский штат, созданная лабораторная база, вычислительные центры, учебно-методическое обеспечение.

В перечне дисциплин и их предполагаемом содержании существенное изменение претерпел лишь социально-гуманитарный цикл (1690 ч). В качестве обязательных дисциплин в него вошли история, философия, политология, культурология, основы гуманитарных знаний, иностранный язык, правоведение, экономика и бизнес, физическая культура. Кроме того, 245 ч отведены в 7 и 8 семестрах для изучения дисциплин, устанавливаемых вузом, в том числе и по выбору студентов.

Общеинженерная подготовка специалиста формируется за счет обязательных дисциплин: "Физика" (400 ч), "Информатика" (200 ч), "Физические основы электроники" (115 ч), "Химия" (140 ч), "Инженерная графика и основы проектирования" (239 ч), "Метрология" (71 ч), "Электротехническое материаловедение" (139 ч), "Основы автоматического управления" (132 ч), "Экология" (70 ч), "Безопасность жизнедеятельности" (136 ч).

Механическая ветвь этой подготовки включает в себя, кроме курса "Физика", дисциплины "Теоретическая механика" и "Прикладная механика", предусматривающие изучение сопротивления материалов и основ конструирования машин.

Математическая ветвь базового учебного плана включает в себя обязательный курс "Высшая математика" (718 ч), а также дисциплины по выбо-

ру: "Математическая статистика и теория вероятности", "Теория функции комплексного переменного", "Моделирование в технике", "Основы автоматического управления".

Базовая электротехническая подготовка специалиста формируется на основе обязательных дисциплин "Теоретические основы электротехники", "Электрические машины", "Электрические и электронные аппараты", "Основы электротехнологии", а также элективных курсов "Теория электромагнитного поля", "Физические основы производства электроэнергии", "Электроснабжение", "Электрические измерения", "Проектирование электротехнических устройств", "Силовые преобразователи электроэнергии".

Ряд перечисленных курсов — "Физика", "ТОЭ", "Физические основы электроники", "Электрические и электронные аппараты", "Силовые преобразователи электроэнергии" — призваны обеспечивать и необходимую подготовку специалиста в области электронной техники.

В учебном плане реализован непрерывный в течение всего срока обучения компьютерный цикл, который предусматривает изучение аппаратного и программного обеспечения средств вычислительной техники как для обеспечения инженерного труда, так и целей управления электромеханическими системами.

В этом цикле — обязательный курс "Информатика" (200 ч) и элективные дисциплины "Основы компьютерной техники", "Компьютерная техника в электрооборудовании", "Применение программируемых контроллеров в электроприводе".

Профилизация подготовки бакалавра — электротехника осуществляется за счет дисциплин специального цикла. Для бакалавра со специализацией в области автоматизированного электропривода набор этих дисциплин включает в себя традиционные курсы "Элементы систем автоматизации", "Теория электропривода", "Системы управления электропривода", а также предусматривает возможность изучения других дисциплин за счет часов ДУС.

Базовое бакалаврское высшее образование завершается государственным экзаменом, при успешной сдаче которого студенту выдается диплом бакалавра технических наук по направлению "Электротехника".

В настоящее время начался этап разработки и согласования программ дисциплин учебных планов. С целью повышения качества подготовки специалистов представляется целесообразным проведение всероссийского конкурса как по перечню элективных дисциплин учебного плана, так и их программ. Этот конкурс мог бы быть организован секцией учебно-методического объединения по специальности при участии Ассоциации "Автоматизированный электропривод" с освещением его хода и итогов на страницах журнала "Электротехника".



С учебными планами можно ознакомиться в МЭИ по адресу: 111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, МЭИ, кафедра АЭП, тел. 362-71-65, 362-74-25.

УДК 347.79(088.8)

## НОВЫЙ ПАТЕНТНЫЙ ЗАКОН

Г. М. ОКУНЬ

НПО "Электропривод"

С 14 октября 1992 г. введен "Патентный закон Российской Федерации". В этом законе имеется ряд существенных отличий от ранее действовавшего Закона СССР "Об изобретениях в СССР".

Патентный закон Российской Федерации обеспечивает не только правовую охрану изобретений и промышленных образцов, но и полезных моделей. Право на изобретение и промышленный образец подтверждает патент, а на полезную модель — свидетельство.

К полезным моделям относится только конструктивное выполнение средств производства и предметов потребления, а также их составных частей. Полезной модели предоставляется охрана, если она является новой и промышленно применимой. Полезная модель является новой, если совокупность ее существенных признаков неизвестна из уровня техники.

Уровень техники включает ставшие общедоступными до даты приоритета полезной модели опубликованные в мире сведения о средствах того же назначения, что и заявленная полезная модель, а также сведения об их применении в Российской Федерации. В уровень техники включаются при условии их более раннего приоритета все поданные в Российской Федерации другими лицами заявки на изобретения и полезные модели (кроме отозванных), а также запатентованные в Российской Федерации изобретения и полезные модели.

Правовая охрана полезных моделей осуществляется во многих зарубежных странах, в том числе в Германии, Италии, Франции, Китае, Японии, при этом количество подаваемых заявок на них в 3–8 раз превышает количество подаваемых заявок на изобретения.

Патент на изобретение действует в течение 20 лет, считая с даты поступления заявки в Патентное ведомство, а на промышленный образец — 10 лет.

Действие патента на промышленный образец может быть продлено Патентным ведомством, но не более чем на пять лет. Свидетельство на полезную модель действует в течение пяти лет и может быть продлено, но не более чем на три года.

Право на получение патента на изобретение,

промышленный образец и свидетельства на полезную модель, созданные в связи с выполнением автором своих служебных обязанностей или полученного от работодателя конкретного задания, принадлежит работодателю, если договором между ними не предусмотрено иное. При этом автор имеет право на вознаграждение, соразмерное выгоде, которая получена работодателем или могла бы быть получена им при надлежащем использовании объекта промышленной собственности, в случаях получения работодателем патента, передачи работодателем права на получение патента другому лицу, принятия работодателем решения о сохранении соответствующего объекта в тайне или неполучения патента по поданной работодателем заявке по причинам, зависящим от работодателя. Вознаграждение выплачивается в размере и на условиях, определяемых на основе соглашения между ними.

Если работодатель в течение четырех месяцев с даты уведомления его автором о созданном изобретении, полезной модели и промышленном образце не подаст заявку в Патентное ведомство, не переуступит право на подачу заявки другому лицу и не сообщит автору о сохранении соответствующего объекта в тайне, то автор имеет право подать заявку и получить патент на свое имя. В этом случае работодатель имеет право на использование объекта промышленной собственности в собственном производстве, но с выплатой патентообладателю компенсации, определяемой на договорной основе.

Если автор желает получить на свое имя патент на изобретение, полезную модель или промышленный образец, созданные в связи с выполнением служебных обязанностей, то целесообразно обратиться к работодателю до истечения четырех месяцев со дня его уведомления о созданном объекте промышленной собственности.

В случае недостижения соглашения между сторонами о размере и порядке выплаты вознаграждения или компенсации спор рассматривается в судебном порядке.

Патентное ведомство по истечении 18 месяцев с даты поступления заявки на изобретение, прошедшей формальную экспертизу с положительным результатом, публикует сведения о заявке, кроме случаев, когда она отозвана.

Экспертизу заявки по существу Патентное ведомство проводит по ходатайству заявителя или третьих лиц. Ходатайство может быть подано в любое время в течение трех лет с даты поступления заявки. Если ходатайство о проведении экспертизы не будет подано в указанный срок, заявка на изобретение считается отозванной.

Заявленному изобретению с даты публикации сведений о заявке до даты публикации сведений о выдаче патента предоставляется временная правовая охрана в объеме опубликованной формулы.

Физическое или юридическое лицо, использую-

щее заявленное изобретение в указанный период, выплачивает патентообладателю после получения патента компенсацию. Ее размер определяется соглашением сторон.

Это положение распространяется на изобретения, полезные модели и промышленные образцы с даты уведомления заявителем использующего их лица о поданной заявке на выдачу патента (свидетельства), если в отношении изобретений эта дата наступила ранее даты публикации сведений о заявке, а в отношении полезных моделей и промышленных образцов — ранее даты публикации сведений о выдаче патента.

Закон предусматривает исключительное право патентообладателя на использование охраняемых патентом изобретения, промышленного образца и свидетельством — полезной модели.

Однако любое физическое или юридическое лицо, которое до даты приоритета изобретения, полезной модели, промышленного образца использовало на территории Российской Федерации созданное независимо от его автора тождественное решение или им сделаны необходимые к этому приготовления, сохраняет право на дальнейшее его безвозмездное использование без расширения объема. При этом право преждепользования может быть передано другому физическому или юридическому лицу только совместно с производством, на котором имело место использование тождественного решения или были сделаны необходимые к этому приготовления.

Любое лицо, не являющееся патентообладателем, вправе использовать изобретение, полезную модель или промышленный образец, защищенные патентом, лишь с разрешения патентообладателя на основе лицензионного договора.

Лицензионный договор подлежит регистрации

в Патентном ведомстве и без регистрации считается недействительным.

Любое физическое или юридическое лицо, использующее с нарушением настоящего Закона изобретение, полезную модель или промышленный образец, защищенные патентом, считается нарушителем патента. По требованию патентообладателя или обладателя исключительной лицензии нарушение патента должно быть прекращено, а физическое или юридическое лицо, виновное в нарушении патента, обязано возместить патентообладателю причиненные убытки в соответствии с гражданским законодательством Российской Федерации. Для того, чтобы не нарушать права патентообладателя, разработчики и изготовители продукции должны проводить проверку на патентную чистоту.

Следует обратить внимание на то, что патентование в зарубежных странах изобретений, полезных моделей и промышленных образцов, созданных в Российской Федерации, осуществляется не ранее, чем через три месяца после подачи заявки в Патентное ведомство. В необходимых случаях Патентное ведомство может разрешить патентование ранее указанного срока.

В заключение отметим, что согласно Постановлению Верховного Совета Российской Федерации "О введении в действие Патентного закона Российской Федерации" разрешено обменивать авторские свидетельства СССР, по которым не истек двадцатилетний срок с даты подачи заявки на патенты Российской Федерации.

#### От редакции.

Журнал в последующих номерах ответит на Ваши вопросы, возникшие в связи с вводом в действие Патентного закона Российской Федерации.

Получив патент на изобретение, полезную модель, промышленный образец, фирменный (товарный) знак в Российской Федерации или за рубежом, Вы обеспечите высокое качество изделия, рекламу фирме, защитите себя от недобросовестных конкурентов, сможете в течение всего срока выпуска продукции с использованием Вашего изобретения увеличить прибыль, а имея патентный формуляр на изделие, Вы гарантированы от нарушения прав патентовладельцев.

Квалифицированные специалисты НИИЭлектропривод могут для Вас:

1. Разработать товарный (фирменный) знак.
2. Составить заявку на:  
товарный (фирменный) знак; промышленный образец;  
полезную модель; изобретение.
3. Составить договор на куплю/продажу лицензии на изобретение, полезную модель.
4. Обеспечить патентоправовую защиту Ваших разработок и фирменного (товарного) знака.
5. Провести поиск патентной и научно-технической информации.

Патентные исследования выполняются как по общим вопросам проектирования и конструирования электроприводов, так и их использованию в промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве.

Н а ш а д р е с: 107078, Москва, Садово-Спасская ул., д. 1/2, корп. 2, ВНИИЭлектропривод, тел. (095) 208-26-65.

# НОВЫЙ ГОСТ "ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ".

Госстандарт РФ Постановлением № 1430 от 21.10.1992 г. утвердил ГОСТ Р 50369-92 "Электропривод. Термины и определения". Он вводится в действие с 1 июля 1993 г. взамен ГОСТ 16593-79. ГОСТ разработан НПО "Электропривод" и МЭИ и содержит пять разделов:

- общие понятия;
- термины, относящиеся к функциональному назначению электропривода;
- термины, определяющие физический принцип преобразования электрической энергии в механическую;
- термины, определяющие структуры электропривода;

термины, относящиеся к технической реализации электроприводов;

термины, входящие в математическое описание электропривода.

Определение электропривода сформулировано следующим образом: "Электропривод — электро-механическая система, состоящая в общем случае из взаимодействующих электрических, электро-механических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними сопредельными электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенными для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса".

---

## СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

---

УДК 62-83-2:621.316.37

### МНОГОКООРДИНАТНЫЙ КОМПЛЕКТНЫЙ ДИСКРЕТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

А. П. БАЛКОВОЙ, В. Ф. КОЗАЧЕНКО, Н. А. ОБУХОВ,  
Г. А. СЛИВИНСКАЯ

МЭИ

Многокоординатный шаговый электропривод, обладая конструктивной пластичностью (гибкостью), позволяет создавать достаточно сложные устройства точного воспроизведения движений (сборочные центры, измерительные машины, установки для лазерной обработки материалов и пр.), в которых совмещено управление технологическими и транспортными операциями и получен качественно новый уровень конструктивной интеграции электро-механического преобразователя с рабочим органом.

Основные области применения привода: робототехника и гибкое автоматизированное производство, в особенности, сборка малогабаритных изде-

лий (например, электромагнитных реле, часов и т. д.); автоматический монтаж радиокомпонентов и микросхем на печатных платах; измерительные машины, установки лазерной, электроискровой маркировки, гравировки и т. д.

**Новые тенденции в проектировании гибких производственных систем.** Современная практика автоматизации производства убедительно показывает, что классический способ проектирования гибких производственных систем (ГПС), когда для создания отдельного гибкого производственного модуля (ГПМ) используются традиционные элементы технологического оборудования (роботы, станки с числовым программным управлением, накопители, бункеры и т. д.), в ряде случаев приводит к неоправданной избыточности и вследствие этого к высокой стоимости, материалоемкости и, в конечном счете, к экономической неэффективности разрабатываемого оборудования. Так, использование современного робота с большим числом степеней подвижности для реализации простой операции загрузки вряд ли экономически оправдано.

Альтернативой традиционному подходу является применение при проектировании ГПМ достаточно широкой серии "интеллектуальных" модулей движения различного типа (линейных, планарных, поворотных) со встроенными датчиками и индивидуальной системой микропроцессорного управления, снабженных необходимыми типами интерфейсов для сопряжения с системой управле-

ния более высокого уровня и средствами сопряжения с рабочим инструментом или обрабатываемой деталью. Из отдельных блоков — элементов такого своеобразного "конструктора", может проектироваться система воспроизведения взаимосвязанных движений деталей и инструментов конкретного ГПМ с одновременной минимизацией числа степеней подвижности в системе и, соответственно, материальных затрат.

Серия модулей движения может включать в себя модули движения традиционного типа, выполненные, например, на основе вращающихся двигателей и кинематических преобразователей движения (типа винт-гайка, шариковая винтовая пара и др.), а также модули движения нового типа — на основе линейных, планарных и поворотных шаговых двигателей с аэростатическими опорами. Последние имеют принципиальные преимущества, так как являются по существу "бесфрикционными" модулями движения, что обеспечивает отсутствие износа и, как следствие, сохранение метрологических характеристик привода в течение всего времени его эксплуатации. Это обстоятельство позволяет проектировать ГПМ вообще без кинематических преобразователей движения, что несомненно выгодно с точки зрения повышения надежности системы и сокращения сроков регламентных работ.

Второй подход к проектированию ГПС позволяет оптимальным образом реализовать идею конструктивной интеграции органов движения с инструментом или органов движения с обрабатываемой деталью (спутником). Кроме того, появляется возможность реализации технологических и транспортных операций на единой элементной базе. Особенно привлекательной выглядит при этом возможность решения не только задачи автоматизированного проектирования и автоматизированной технологической подготовки производства (САПР — АСТПП), но и задачи автоматизированного проектирования самих гибких производственных систем (САПР — ГАП). Архитектурная гибкость модульной системы движения позволяет при этом не только сократить сроки и стоимость проектирования новых машин и механизмов, но и автоматизировать этот процесс, адаптировать саму технологическую установку к типу подлежащего реализации технологического процесса, отказавшись от традиционного приспособления технологии к имеющейся номенклатуре машин и механизмов.

Такая концепция построения ГПС является, по мнению авторов, очень перспективной, так как сочетает в себе достоинства высокопроизводительных жестких роторно-конвейерных линий с достоинствами традиционных ГПС. Работы в этом направлении активно ведутся рядом фирм в США, Японии и Европе, а также в России и Белоруссии.

**Краткая характеристика серии модулей движения.** По результатам более чем 20-летних исследо-

ваний в лаборатории дискретного электропривода Московского энергетического института (МЭИ) под руководством проф. Ивоботенко Б. А. разработана гамма модулей движения, выпускаемых в настоящее время малыми партиями Опытным заводом МЭИ. В качестве базового элемента серии выбран индукторный линейный шаговый двигатель с аэростатическими опорами [1].

Якорь такого двигателя имеет две обмотки управления и постоянный магнит для возбуждения. Индуктор является пассивным и изготовлен путем фрезерования зубцовой поверхности. За счет подвода воздуха под давлением к якорю, между якорем и индуктором создается воздушная подушка размером 20 мкм, обеспечивающая полное отсутствие трения при перемещении якоря относительно индуктора. С точки зрения преобразования энергии такой электромеханический преобразователь подобен обычным синхронным двигателям с возбуждением от постоянных магнитов [1, 2].

Точность отработки двигателем заданного перемещения в разомкнутой структуре привода определяется полюсным делением машины. Так, при полюсном делении 0,64 мм целый (конструктивный) шаг машины составляет 160 мкм, а дробный шаг при коэффициенте дробления 64—2,5 мкм (используется метод микрошагового управления). Реально точность отработки перемещения в разомкнутом приводе ограничена магнитным гистерезисом машины и не превышает  $\pm 20$  мкм.

На основе базового двигателя с движением якоря вдоль плоской поверхности индуктора построены модули движения других типов:

линейные модули движения "уголкового" типа, с движением якоря вдоль двух плоских поверхностей — индукторов — направляющих, расположенных под углом друг к другу;

линейные модули движения "трубчатого" типа, с движением индуктора вдоль одной оси;

поворотные модули движения с вращением индуктора вокруг одной оси (аналогичны по конструкции обычным двигателям вращательного типа);

поворотные модули движения типа "поворотный стол" с движением плоского кольцевого индуктора вокруг одной оси (аналогичны по конструкции двигателям торцевого типа);

двухосевые модули движения с конструктивной интеграцией поворотного и линейного "трубчатых" модулей движения, за счет чего осуществляется движение вдоль заданной оси с одновременным поворотом вокруг этой оси;

двухосевые модули движения с конструктивной интеграцией линейного "трубчатого" двигателя и поворотного двигателя типа "поворотный стол" с движением вдоль заданной оси и одновременным поворотом вокруг этой оси;

двухосевые модули движения с конструктивной интеграцией двух линейных модулей движения в одном устройстве — "планарные" модули движе-

ния. Якорь таких двигателей может перемещаться одновременно в двух независимых направлениях;

многоосевые модули движения (трех- и четырехкоординатные), полученные путем конструктивной интеграции перечисленных модулей, например, планарного и линейного двигателей, когда обеспечивается независимое движение в декартовой системе координат  $x, y, z$ ;

модули движения портального типа на основе конструктивной интеграции нескольких линейных модулей движения.

Диапазон усилий, развиваемых линейными двигателями, 35–400 Н·м, номинальный фазный ток 1,5 или 3 А, допустимая инерционная нагрузка от 1 до 18 кг. Ход зависит от размеров индуктора. Так, для планарных машин выпускаются индукторы со следующими размерами рабочего поля: 786–706 мм, 786–380 мм, 706–400 мм. Максимальные рабочие скорости при отсутствии нагрузки достигают 0,8 м/с, при значительной инерционной нагрузке — снижаются до 0,5 м/с.

Модули движения характеризуются тем, что зубчатая структура индуктора используется в случае необходимости как информационная поверхность для съема данных о положении якоря внутри полюсного деления машины с помощью встроенных в якорь индуктивных, емкостных или магниторезисторных датчиков положения и организации управления с обратной связью по положению. Возможна также конструктивная интеграция двигателей с пьезоэлектрическими датчиками положения — акселерометрами.

Двигатели могут иметь как аэростатические опоры, так и опоры обычного типа. При необходимости все или некоторые оси могут комплектоваться кинематическими преобразователями движения, например, шариковыми винтовыми парами, обеспечивающими преобразование вращательного движения вала двигателя в поступательное движение какого-либо рабочего органа, например, столика для крепления инструмента, детали или палеты. Имеется широкий спектр электромеханических модулей движения, позволяющий в каждом конкретном случае оптимизировать конструкцию технологической установки в соответствии с ее назначением и характером выполняемых технологических операций.

**Структура и принцип построения системы управления.** Система управления шаговым двигателем является многоосевой системой точного воспроизведения движений с возможностями как позиционного, так и контурного управления. Она предназначена для создания многокоординатного шагового электропривода на базе применения вращающихся, линейных, планарных шаговых двигателей и шаговых двигателей с комбинированным характером движения, а также для комплексной автоматизации всех технологических процессов в составе установки (изделия) на основе многокоординатного шагового электропривода.

Система управления шаговыми двигателями является мультимикропроцессорной системой управления, построенной по иерархическому трехуровневому магистрально-модульному принципу.

На нижнем уровне управления реализуется принцип прямого цифрового управления одной осью электропривода с помощью микропроцессорного контроллера — модуля контроллера (МК), автономного инвертора тока — модуля инвертора тока (МИ) и блока электрического дробления шага и обработки сигналов датчиков обратной связи, конструктивно выполненного в виде интерфейсного модуля связи (МС) контроллера и инвертора тока. Три названных модуля и шаговый двигатель (или одна координата многокоординатного двигателя) вместе с кинематическим преобразователем (если он есть) и рабочим органом образуют электропривод оси или однокоординатный электропривод. Электропривод оси может быть как разомкнутым, так и замкнутым. В последнем случае сигнал обратной связи с датчика обратной связи вводится в модуль связи контроллера и инвертора тока, предварительно обрабатывается здесь и в виде цифрового кода поступает в модуль контроллера.

Каждый осевой контроллер имеет встроенный модуль ввода-вывода дискретной информации для приема логических сигналов о состоянии технологического оборудования и привода (датчиков конечного положения, аварийных датчиков и т. д.) и выдачи технологических команд (включение-выключение воздуха, включение-выключение схвата и т. д.). Это позволяет осуществлять в простейшем случае управление дискретной автоматикой технологической установки без каких-либо дополнительных модулей ввода-вывода дискретных сигналов или отдельно установленных дополнительных промышленных программируемых контроллеров.

На среднем уровне управления осуществляется согласованное управление с помощью модуля центрального процессора (МЦП) и общей шины с магистральным параллельным интерфейсом несколькими осями электропривода (до трех осей) и соответствующим технологическим оборудованием, подключенным к модулям ввода-вывода дискретных сигналов отдельных осевых контроллеров.

К шине магистрального параллельного интерфейса подсоединяются все модули осевых контроллеров и другие программно-управляемые модули, к числу которых могут относиться специальные устройства сопряжения с объектом управления, например, модули обмена информацией по каналу общего пользования (МКОП), дополнительно обеспечивающие связь системы управления шаговыми двигателями с какими-либо приборами и информационно-измерительными системами или дополнительные модули ввода-вывода дискретных сигналов, рассчитанные на большое число входов и выходов.

Конструктивно модуль центрального процессора и модули, входящие в состав осевых электроприводов, устанавливаются в каркас (крейт) вместе с модулем выпрямителя (МВ) и модулем вторичных источников питания (МП) [3]. На базе одного крейта можно реализовать управление трехосевым электроприводом.

На верхнем уровне управления осуществляется согласованное управление группами электроприводов (не более чем три оси в каждой группе) и технологическим оборудованием, подключенным к осевым контроллерам групп. В качестве управляющего устройства на этом уровне управления могут использоваться персональные компьютеры, промышленные программируемые контроллеры и управляющие ЭВМ, имеющие выход на стандартный последовательный интерфейс RS-232 для сопряжения с модулями центрального процессора, установленными в крейтах. Общее число осей привода в технологической установке неограничено и определяется лишь числом последовательных каналов связи, имеющихся в устройстве управления верхнего уровня.

**Принцип построения силовой части электропривода.** Силовая часть электропривода построена по схеме преобразователя частоты с регулятором напряжения (звеном постоянного напряжения) и автономным двухфазным реверсивным инвертором тока и рассчитана на управление двухфазными шаговыми двигателями с разнополярной коммутацией фаз.

Инвертор тока представляет собой двухфазный широтно-импульсный преобразователь напряжения (ШИМ-преобразователь), охваченный глубокой отрицательной обратной связью по току. Силовая часть преобразователя выполнена по мостовой схеме, в диагональ которого включена фаза двигателя. Аналоговый сигнал задания тока фазы сравнивается с сигналом обратной связи по току, и полученное рассогласование поступает на вход регулятора тока. Выходной сигнал регулятора является входным сигналом задания напряжения для ШИМ-преобразователя. Для каждого сигнала задания тока, независимо от уровня мгновенной противоЭДС, индуктивности и сопротивления обмотки, регулятор тока автоматически устанавливает такую скважность импульсов напряжения, приложенных к фазе, чтобы обеспечить протекание в ней заданного тока. Инвертор тока работает во втором импульсном режиме, обеспечивая приложение к обмоткам двигателя импульсов положительного и отрицательного напряжения.

Регулятор напряжения применяется для минимизации потерь в двигателе на вихревые токи и перемагничивания от высокочастотной составляющей тока, возникающей вследствие ШИМ-модуляции, а также для снижения динамических потерь в ключевых элементах инвертора тока путем минимизации частоты ШИМ-модуляции. Минимизация достигается применением косвенной поло-

жительной обратной связи по скорости двигателя, реализованной путем измерения ЭДС вращения. С ростом скорости вращения двигателя напряжение на выходе регулятора напряжения автоматически увеличивается, способствуя сохранению режима инвертора тока и поддержанию требуемого момента двигателя. Таким образом, автоматически в функции скорости вращения двигателя поддерживается необходимый минимальный уровень напряжения питания инвертора тока и минимизируется частота ШИМ, а следовательно, и потери в двигателе и инверторе тока.

Можно считать, что силовая часть электропривода представляет собой двухканальный управляемый источник тока, способный в широком диапазоне частот вращения двигателя воспроизводить заданные токи и момент двигателя.

Конструктивно регулятор напряжения и инвертор тока выполнены в виде одного модуля — модуля инвертора тока, на вход которого поступают два аналоговых сигнала задания мгновенных значений токов фаз, а к выходу подсоединены обмотки управления шаговым двигателем.

**Принцип построения модуля связи осевого контроллера с модулем инвертора тока.** Модуль связи осевого контроллера с инвертором тока обеспечивает две основные функции:

глубокое электрическое деление конструктивного шага машины с максимальным коэффициентом дробления 64 и координатное преобразование из полярной системы координат в декартову для непосредственного цифрового управления вектором суммарного тока статора и, соответственно, моментом двигателя;

ввод двух синусно-косинусных аналоговых сигналов с датчика положения, установленного на валу (якоре) двигателя и последующее преобразование этих сигналов для получения цифрового кода положения подвижного элемента (ротора или якоря) двигателя внутри полюсного деления машины. Имеются модификации модуля связи, предназначенные для ввода и обработки сигналов обратной связи с импульсных датчиков положения (например, оптических линеек) и датчиков ускорения — пьезоэлектрических акселерометров.

Принцип реализации первой функции следующий: на вход модуля связи поступают от модуля контроллера два цифровых восьмиразрядных кода задания фазы и амплитуды вектора суммарного тока статора — фазовое и амплитудное управляющие воздействия. Эти цифровые коды фиксируются в регистрах фазы и амплитуды.

Код фазы тока поступает далее на вход двухканального нелинейного синусно-косинусного цифроаналогового преобразователя, построенного на основе ПЗУ и двух линейных ЦАП. Здесь фаза вектора суммарного тока статора преобразуется в сигналы задания токов фаз по двум ортогональным осям — синусно-косинусное преобразование.



Код амплитуды тока с регистра амплитуды тока поступает на вход дополнительного линейного цифроаналогового преобразователя и далее на вход опорного напряжения основного нелинейного синусно-косинусного ЦАП. Последний, выполняя функцию умножающего ЦАП, масштабирует задания токов фаз по двум ортогональным осям в соответствии с требуемой амплитудой вектора суммарного тока статора.

Одному циклу изменения цифрового кода фазового управляющего воздействия от 0 до 256 соответствует один электрический оборот вектора суммарного тока статора или одно полюсное деление машины. Назовем код фазы тока номером электрического состояния машины. Так как для двухфазных машин в полюсном делении укладываются 4 конструктивных (целых) шага машины, то единичное приращение номера электрического состояния будет соответствовать дробному шагу, равному  $1/64$  целого шага, что соответствует максимально возможному коэффициенту электрического дробления шага 64. В том случае, если пользователю по каким-либо причинам требуется уменьшить коэффициент электрического дробления шага, например, для получения требуемой по условиям технологии дискретности перемещения, это достигается не изменением аппаратной части системы управления, а программным способом, путем соответствующего увеличения минимального значения приращения номера электрического состояния.

Вторая функция реализуется с помощью преобразователя двух аналоговых синусно-косинусных сигналов, снимаемых с датчика положения, например, магниторезисторного, в цифровой код, построенного аналогично R/D-конвертору для преобразования выходных аналоговых сигналов вращающегося трансформатора (резольвера). Выходной цифровой код положения фиксируется в регистре и может быть считан в осевой контроллер привода для последующего сравнения с сигналом программно-заданного положения и выработки корректирующих воздействий.

**Принцип построения осевого контроллера.** Осевой контроллер представляет собой одноплатную микропроцессорную систему, построенную на основе однокристалльной микроЭВМ КР1816ВЕ31, имеющую выход на шину с параллельным магистральным интерфейсом для связи с модулем центрального процессора и выход на шину локального параллельного интерфейса для связи с модулем связи и через него с инвертором тока. Дополнительно модуль осевого контроллера имеет встроенный модуль ввода-вывода дискретных сигналов на 2 или 4 входных сигнала (в зависимости от модификации контроллера) и 4 выходных сигнала (из них 2 с оптронной гальванической развязкой на напряжения до 24 В и токи до 0,5 А и 2 без гальванической развязки на напряжения 5 В для

передачи управляющих сигналов от модуля контроллера к модулю инвертора тока).

В контроллере реализовано программное управление двигателем по "математической модели объекта управления". Идея управления состоит в следующем: математическую модель шагового двигателя, обмотки которого получают питание от инвертора тока, удастся существенно упростить и представить в виде дифференциального уравнения второго порядка (уравнения движения) во всем диапазоне частот вращения, при которых инвертор сохраняет свойства инвертора тока. Если желаемая тахограмма движения ротора или подвижного элемента линейного ШД известна, то может быть получено решение уравнения движения относительно требуемого закона изменения фазового и амплитудного управляющих воздействий в функции времени. Это решение может быть получено либо в реальном масштабе времени, когда одновременно ведется управление двигателем и формируются соответствующие значения фазового и амплитудного управляющих воздействий, либо в режиме прогноза, т. е. предварительного расчета и последующего управления в реальном времени на основе данных прогноза. Первый подход реализован в осевом контроллере для разомкнутых систем привода, а второй — для замкнутых. Во втором случае часть ресурсов процессора расходуется на реализацию цифровых регуляторов, обеспечивающих коррекцию сформированного на основе математической модели привода программного движения в условиях действия внешних возмущающих воздействий и возможного изменения параметров привода, например, момента инерции.

**Позиционное управление.** При позиционном управлении осевой контроллер обрабатывает задание на перемещение, которое дополнительно может сопровождаться заданием на требуемую скорость перемещения. В состав программного обеспечения осевого контроллера входит ряд рабочих программ, обеспечивающих управление двигателем по его математической модели с различными планировщиками траектории (тахограммы) движения;

с трапецеидальным (длинно-индексный цикл перемещения) или треугольным (кратко-индексный цикл перемещения) графиком скорости с возможностью независимого задания ускорения на разгон и торможение привода;

то же, что и выше, но с возможностью ограничения рывка на программно-заданном уровне при разгоне, выходе на установившуюся скорость, переходе к режиму торможения, при переходе к режиму фиксации. Эта программа ориентирована на привод с кинематическими преобразователями движения и позволяет уменьшить удары в передачах в процессе выборки зазоров и повысить надежность и срок службы оборудования;

с предельным быстродействием, когда при разгоне и торможении привода используются максимальные динамические возможности двигате-

ля и осуществляется по-существу старт-стопное движение на любом заданном перемещении с любой заданной скоростью. При этом траектории разгона и торможения являются экспоненциальными и пользователь имеет возможность задать в качестве параметров эквивалентные электромеханические постоянные времени привода при разгоне и торможении и установившиеся предельные значения скоростей разгона и торможения. Программа ориентирована прежде всего на работу с линейными двигателями с аэростатическими опорами;

с синусно-косинусным графиком скорости и возможностью задания только двух параметров — максимального ускорения при пуске и максимального ускорения в начале торможения. Эта программа обеспечивает среднее быстродействие и "мягкий" процесс фиксации привода;

универсальная программа позиционного управления, обеспечивающая произвольно заданный пользователем график скорости, например, параболический. При этом производится предварительная линейная интерполяция желаемых траекторий разгона-торможения с помощью специальной программы настройки, расположенной в управляющей ЭВМ, и загрузка рассчитанных параметров в осевые контроллеры.

Во всех случаях файл параметров привода, на основе которого строится "управление по модели", предварительно загружается в осевые контроллеры. Этот файл содержит такие параметры как момент инерции привода, полюсное деление машины и т. д.

**Контурное управление.** Система управления шаговыми двигателями обеспечивает так называемое распределенное контурное управление, когда устройство управления верхнего уровня выполняет функции интерполяции только на этапе планирования движения, т. е. в режиме подготовки данных, разбивая задачу движения вдоль некоего контура на составляющие движения по отдельным осям. При этом реализованы линейная и круговая интерполяции применительно к каждой паре совместно работающих осей. Это означает, что для любых двух координат можно задать отработку некоторой прямой или дуги окружности с требуемой контурной скоростью.

После загрузки программы движения в модули центрального процессора и осевые контроллеры, последние работают автономно и синхронно (все осевые контроллеры, участвующие в контурном движении, имеют синхронизированные тактовые генераторы), решая каждый свою часть задачи. Требуемая траектория движения получается как сумма согласованных движений отдельных осей. При этом полностью снимается ограничение на число одновременно работающих в режиме контурного управления осей привода, более того, часть осей может работать в режиме позиционного, а часть — в режиме контурного движения.

Программы контурного управления функционируют в двух вариантах — для разомкнутых и замкнутых систем. В последнем случае осуществляется коррекция сформированных программных движений по сигналам датчиков обратной связи, что уменьшает динамические ошибки воспроизведения траекторий.

Имеется двухосевой вариант контроллера, осуществляющий управление в реальном масштабе времени одновременно двумя осями привода. При этом реализованы варианты линейной и круговой интерполяции. Данная версия системы управления рассчитана прежде всего на использование в лазерных технологических комплексах, где требуется в основном контурное движение в плоскости.

**Структура программного обеспечения.** Программное обеспечение системы управления шаговыми двигателями построено по иерархическому принципу.

На верхнем уровне в распоряжении пользователя имеются средства, позволяющие установить конфигурацию системы (число осей, их адреса и символические имена, число дискретных входов-выходов, задействованных в каждом осевом контроллере, наличие дополнительных модулей и др.) и написать программу согласованного управления всеми осями данной установки и технологическим оборудованием в соответствии с картой технологического процесса. Для написания программы пользователю предлагается специализированный язык программирования многоосевого электропривода ML, позволяющий описать всю необходимую последовательность движений в их взаимосвязи с технологическими командами. Особенность языка состоит в том, что в результате трансляции создается не одна исполняемая программа, а несколько — для всех уровней управления: для управляющей ЭВМ, осуществляющей синхронизацию работы групп электроприводов (крейтов), для модуля центрального процессора, осуществляющего синхронизацию работы отдельных осей и технологического оборудования, для каждого из осевых контроллеров, осуществляющих непосредственное управление движением.

Средний уровень является монитором реального времени и обеспечивает обмен данными и командами между управляющей ЭВМ, модулями центрального процессора и осевыми контроллерами, а также вызов и выполнение необходимых программ. Естественно, что программные модули монитора входят в программное обеспечение управляющей ЭВМ, модуля центрального процессора и осевых контроллеров вместе с драйверами ввода-вывода информации, а также интерпретаторами программ управления приводами и технологическим оборудованием (полученными в результате трансляции с языка ML).

Нижний уровень включает в себя программы непосредственного управления осями в режимах позиционного и контурного движений, программы

тестовой проверки оборудования, таймеры, процедуры обслуживания прерываний и др.

Необходимое конкретному пользователю программное обеспечение для осевых контроллеров и модулей центрального процессора поставляется в виде ПЗУ. Для пользователей, имеющих в качестве верхнего уровня управления персональный компьютер, совместимый с IBM PC/XT/AT, дополнительно может поставляться интерактивная графическая среда подготовки программ и управления приводами и технологическим оборудованием, включающая конфигуратор системы, редактор, транслятор с языка ML и монитор реального времени. Здесь предусмотрен также режим ручного управления приводами и оборудованием и режим обучения.

Имеется программная поддержка наиболее распространенных в настоящее время систем подготовки конструкторской документации (ACAD) и графики (различные рисовальные пакеты типа Paint Brush) на персональных компьютерах IBM PC/XT/AT. Например, есть возможность подготовить желаемую траекторию движения лазерного луча в пакете ACAD или снять ее сканером с имеющегося чертежа и преобразовать полученные файлы в соответствующую программу управления шаговым электроприводом.

**Основные технические характеристики привода** (на примере разомкнутой системы управления с линейными или планарными двигателями с полюсным делением 0,64 мм)

Максимальный фазный ток, А .....	3
Максимальное фазное напряжение, В .....	150
Для позиционных систем:	
Максимальная скорость, м/с .....	0,8
Диапазон регулирования скорости .....	1:16 000
Максимальное ускорение, м/с <sup>2</sup> .....	100
Диапазон регулирования ускорения .....	1:256
Максимальный рывок, м/с <sup>3</sup> .....	15 000
Диапазон регулирования рывка .....	1:2000
Точность позиционирования, мкм .....	+/-20
Для контурных систем:	
Максимальная контурная скорость, м/с .....	0,04
Точность воспроизведения траектории, мкм ...	+/-50

**Примеры применения.** В настоящее время в промышленности работает ряд технологических установок на базе комплектного дискретного электропривода: автоматизированные сборочные центры для сборки малогабаритных электромагнитных реле, для лазерного раскроя листового материала, для зондового контроля качества изделий электронной промышленности и др.

На рис. 1 показана фотография гибкого производственного модуля "Трасса-4сМ", разработанного в Центральном научно-исследовательском технологическом институте НПО "Техномаш" (г. Москва) в содружестве с Московским энергетическим институтом по заказу НПО "Электроника" (г. Ви-

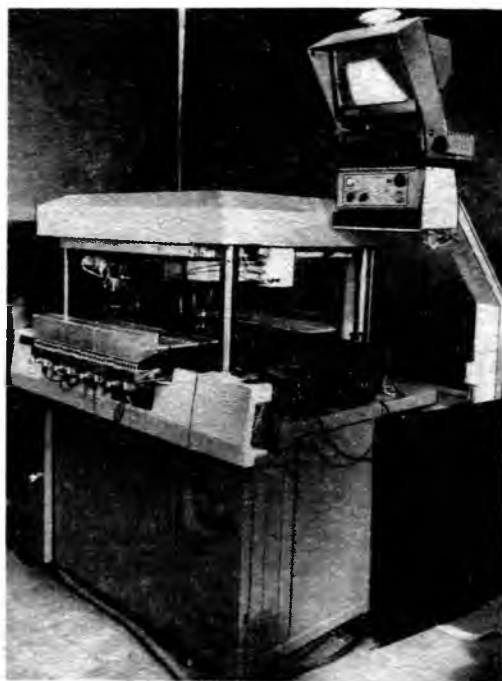


Рис. 1. Гибкий производственный модуль "Трасса-4сМ"

ноградов Закарпатской обл.) и предназначенного для поверхностного монтажа изделий электронной техники.

Конструктивно ГПМ выполнен в виде станины, над которой на четырех опорах расположен индуктор с двумя планарными шаговыми двигателями (потолочная конструкция). На станине располагается однонаправленный транспортный узел, позволяющий перемещать спутник с закрепленными на нем платами. С передней и задней сторон транспортного узла находятся накопители элементов (до 80 различных типономиналов) либо в виде вибробункеров с насыпными элементами, либо в виде ленточных накопителей. В качестве элементной базы используются резисторы, конденсаторы, транзисторы, диоды и микросхемы в ЧИП-исполнении размером от 1,5–2 мм до 4–6 мм как отечественного, так и импортного производства.

Гибкий производственный модуль выпускается в двух модификациях: с двумя специализированными головками — установочной и клеевой (рис. 2); с двумя универсальными головками, каждая из которых выполняет обе функции — нанесение дозированного количества клея на плату в место установки элемента и собственно установку заданного по программе элемента (рис. 3). Установочная головка позволяет автоматически менять тип схвата и поворачивать элемент на 360° с дискретностью 90°.

В качестве устройства управления нижнего и среднего уровней используется мультимикропроцессорная система управления комплектным дискретным электроприводом, внешний вид которой показан на рис. 4 (справа), а в качестве устройства

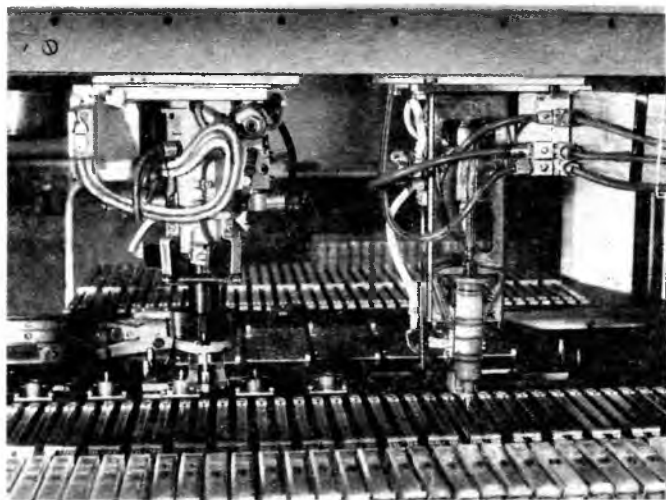


Рис. 2. ГПМ с двумя специализированными головками — клеевой и установочной



Рис. 3. Демонстрация установки элемента на печатную плату

управления верхнего уровня — промышленный программируемый контроллер "ПРОК", имеющий выносной пульт управления с дисплеем, а также два дисководов для ввода управляющих программ с гибких магнитных дисков.

Для включения ГПМ в гибкую производственную линию на входе и выходе транспортной магистрали устанавливаются лифтовые накопители, а также печь для полимеризации клея. В настоящее время ГПМ используется для автоматизации монтажа элементов плат селекторов телевизионных каналов. На одну маленькую плату (рис. 2) уста-

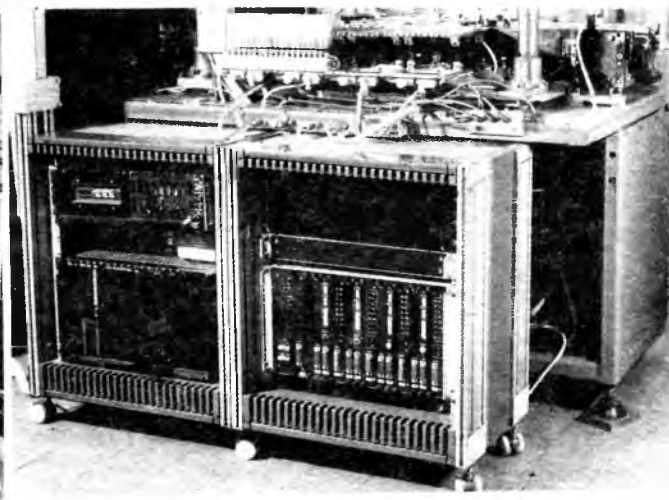


Рис. 4. Система управления многокоординатным дискретным электроприводом

навливается 114 отдельных элементов, а на большую (рис. 3) — более тысячи.

Использование подобного ГПМ позволило в 3—5 раз увеличить плотность монтажа изделий электронной техники на печатной плате и перейти к выпуску изделий в микроминиатюрном исполнении.

Таким образом, модульный подход к проектированию ГПМ на базе комплектного дискретного электропривода позволяет создавать высоконадежное и высокопроизводительное оборудование, отвечающее современным требованиям. По вопросам сотрудничества просим обращаться по адресу:

105835, ГСП, Москва, Е-250, ул. Красноказарменная, 14, Московский энергетический институт, кафедра автоматизированного электропривода.

Телефон: 362-71-51.

Телефакс: (095) 361-16-20.

#### Список литературы

1. Ивоботенко Б. А., Козаченко В. Ф. Шаговый электропривод в робототехнике. М.: МЭИ, 1984.
2. Ивоботенко Б. А., Козаченко В. Ф. Проектирование шагового электропривода. М.: МЭИ, 1985.
3. Система управления шаговыми двигателями / А. П. Балковой, В. Ф. Козаченко и др. // Материалы семинара "Применение в промышленности электроприводов на перспективной элементной базе". М., 1992.

# ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ МЕХАТРОННЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И ДРУГИХ МЕХАНИЗМОВ

А. А. КИРИЛЛОВ, В. В. ГОРЧАКОВ, В. М. НИКИТИН,  
Я. М. КУПЧАН  
ВНИИР

С середины 80-х годов в мировой практике интенсивно разрабатываются агрегатно-модульные конструкции станков и гибких производственных модулей (ГПМ). При их конструировании используется новое направление — создание интегрированных узлов, получивших название мехатронных. При применении таких узлов появляется возможность наращивания технологического уровня автоматизации оборудования за счет введения в конструкцию станков механизмов и узлов с локальными системами управления.

Использование локальной отладки узлов и механизмов и повышение диагностических возможностей оборудования сокращает время сборки станков, а применение однородных конструкций узлов и механизмов в различных станках упрощает его сервисное обслуживание.

Важным элементом электрооборудования станков и ГПМ являются регулируемые электроприводы, техническое совершенство и характеристики

которых существенно влияют на основные параметры станков.

Наиболее перспективным направлением развития электропривода для станков и ГПМ, а также мехатронных узлов для них является создание и использование электроприводов переменного тока с бесконтактными асинхронными или синхронными двигателями.

В настоящее время отечественной промышленностью освоено или осваивается серийное производство регулируемых электроприводов переменного тока, основные параметры которых приведены в таблице.

Электроприводы ЭПБ2, ЭКРУ, ЭПБ3 комплектуются:

на моменты  $0,1 \div 7$  Н·м синхронными двигателями типа 2ДВМ с возбуждением от редкоземельных магнитов; двигатели имеют встроенные датчик положения ротора и бесщеточный тахогенератор; для замыкания электропривода по пути имеется исполнение двигателей с пристроенным импульсным датчиком по типу ВЕ-178;

на моменты 7–35 (47, 70) Н·м синхронными электродвигателями типов ДВУ, ДВФ с возбуждением от магнитов на основе феррита стронция; двигатели имеют встроенные датчик положения ротора, тахогенератор; для замыкания по пути в двигателях ДВУ имеется исполнение со встроенным импульсным датчиком типа ПУФ, а в двигателях ДВФ — исполнение с пристроенным датчиком типа ВЕ-178.

Электропривод механизма

Параметр	подачи станков		главного движения			
	Транзисторные	Тиристорные с НПЧ	Транзисторный		Тиристорный с НПЧ	
	ЭПБ2, ЭКРУ, ЭПБ3	ЭТС1, ЭТС2	Размер 2М-5	ЭПА1-02	ЭТА1-01	ЭТА1-02
Номинальный момент, Н·м	0,1–35 (47,70)	47–170			3,0–265	
Номинальная мощность, кВт		—	2,2–18,5	0,5–7,5		
Диапазон регулирования частоты вращения при постоянном:						
момента	10 000	10 000	4500	50	1000	20
мощности	—	—	1:3	1:4	—	
Максимальная частота вращения, об/мин	2000–6000	1500, 2000	3000–5000	до 18 000	2000	
Полоса пропускания, Гц	100	35–40	—	100	35–40	
Тип двигателя:						
синхронный с возбуждением от постоянных магнитов	2ДВМ (РЗМ), ДВУ ДВФ (феррит)	4С2П, ДВУ (феррит)	—	—	—	
асинхронный	—	—	4АХБ2, 4АБ2	4А, АИР и др.	АХДЧ, АДЧ, 4АММЧП	
Число осей	до 5–6	1	1	до 3	1	

Примечание. В скобках указаны моменты, при которых электроприводы обеспечивают работу при максимальных частотах вращения, соответственно, 1200 и 1000 об/мин.

На моменты 47 и 70 Н·м двигатели могут быть изготовлены по спецзаказу.

Все двигатели имеют исполнение с магнито-электрическим тормозом.

Для оптимальной компоновки некоторых механизмов подготовлено производство электродвигателей дисковой конструкции типа ЗДВУ на моменты 1,7–47 Н·м и максимальные частоты вращения 2000–4000 об/мин с малой осевой длиной и большим, чем у цилиндрических на тот же момент, диаметром.

Проведены исследовательские работы и созданы опытные образцы двигателей прямого действия, имеющих малую частоту вращения ( $n_{\max} \leq 200$  об/мин) и большой вращающий момент (сотни ньютонметров и более). Применение таких двигателей дает возможность исключить механический редуктор, повысить точностные и динамические параметры электропривода при высоких удельных показателях (до 5 Н·м/кг и более).

Электроприводы ЭПБЗ имеют специальное исполнение с контроллером, обеспечивающим дополнительную диагностику электропривода и позволяющим обмен информацией о состоянии электропривода между электроприводом и ЭВМ верхнего уровня.

Тиристорные электроприводы ЭТС1 с синхронными двигателями типа 4С2П, разработанными на базе двигателей единой серии 4А, на моменты 47–170 Н·м, а также электроприводы ЭТС2 со специальными синхронными двигателями типа ДВУ265, ДВУ300 на те же моменты выполнены с трехфазно-двухфазным преобразователем с непосредственной связью. Применение НПЧ позволило обеспечить двусторонний обмен энергией между двигателем и питающей сетью, а двухфазное исполнение двигателей — минимальные габариты преобразователя за счет сокращения количества тириستоров.

Электроприводы ЭТС2 имеют специальный электронный блок защиты двигателей от размагничивания и расширенную диагностику по сравнению с электроприводом ЭТС1. Для повышения быстродействия двигателя типа ДВУ265, ДВУ300 выполнены в специальном корпусе удлиненной формы с уменьшенной бочкой статора по сравнению с двигателями типа 4С2П, что позволило иметь у них значительно меньший момент инерции.

Транзисторные электроприводы типа "Размер 2М-5" с асинхронными двигателями выпускаются в шкафом исполнении и включают в себя электропривод главного движения на мощность до 18,5 кВт и приводы подачи.

Транзисторные электроприводы типа ЭПА1-02 предназначены для управления стандартными асинхронными двигателями серий 4А, АИР и другими мощностью до 7,5 кВт. Разрабатывается

исполнение таких электроприводов на мощность до 11,5 кВт.

Специальные исполнения электроприводов ЭПА1-02 позволяют управлять электрошпинделями с числом оборотов до 48 000 об/мин, а также группой электродвигателей от одного преобразователя.

Тиристорные реверсивные электроприводы типа ЭТА1-01, ЭТА1-02 с НПЧ предназначены для управления специальными двухфазными асинхронными двигателями мощностью 3–265 кВт. Электродвигатели разработаны на базе двигателей серии 4А, имеют принудительную вентиляцию, что обеспечивает работу их с постоянством момента во всем диапазоне скоростей. Электроприводы типа ЭТА1-01 имеют установленный на валу двигателя комплектный датчик ПДФ9, включающий в себя фотоимпульсный датчик и бесщеточный тахогенератор, и обеспечивают диапазон регулирования частоты вращения до 1 : 1000.

Электроприводы типа ЭТА1-02 бездатчиковые с диапазоном регулирования частоты вращения 1 : 20. Ведутся работы по созданию тиристорных электроприводов с НПЧ для управления стандартными асинхронными трехфазными двигателями мощностью до 400 кВт с обеспечением их работы от НПЧ на частотах, близких к 50 Гц. Созданы опытные образцы таких электроприводов.

Начаты работы по созданию преобразователей частоты на запираемых тиристорах, позволяющих получать частоты 50 Гц и более и имеющих более высокий (по сравнению с НПЧ) коэффициент мощности.

На базе микропроцессорного набора К1801 разработан и серийно выпускается контроллер типа КПМ12-03, обеспечивающий цифровой контур обратной связи по положению. Вместе с электроприводами ЭПБ2, ЭКРУ, ЭПБЗ, ЭТС, ЭТА этот контроллер позволяет организовать режимы позиционирования и программного управления цикловым движением механизмов с выводом информации о перемещении на специальный пульт. Цифровые стандартные каналы связи, имеющиеся в КПМ12-03, позволяют управлять электроприводом или группой электроприводов от ЭВМ верхнего уровня в следящем режиме, т. е. обеспечить контурное или сложное пространственное движение по запрограммированной в ЭВМ траектории. Такие системы на базе персональных ЭВМ типа ДБК и IBM уже введены в действие лазерной раскройки листов из различных материалов и в контрольно измерительном оборудовании для обмера турбинных лопаток.

В качестве примера компоновки электропривода с механизмом может служить накопитель уточной нити ткацкого станка, выполненный в виде мехатронного узла, в который входят:

синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов мощностью 150 Вт;



силовой гибридный транзисторно-диодный модуль с полевым управлением ключами;  
микропроцессорная (на базе серии 1821) система управления накопителем;  
барабан для раскладки нитей (механический узел накопителя);  
стопорный электромагнит отпуска нити;  
датчики положения ротора двигателя, числа сдерживаемых витков и обрыва нити.

Выполнение такого накопителя в виде механического узла позволило выйти на уровень ведущих фирм Европы, США, Японии.

УДК 62-83::621.313.333

## АСИНХРОННЫЙ МАССОВЫЙ РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ПОВЫШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ И ДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Л. П. ПЕТРОВ, О. А. АНДРЮЩЕНКО,  
А. А. ВЬГУЖАНИН, Я. Б. ТУБИС

ОПИ, ВНИИПТИЭМ

В широком перечне технических требований, предъявляемых к современному асинхронному электроприводу в промышленности и сельском хозяйстве, можно выделить ряд требований, удовлетворяющих запросам большого числа потребителей, которые можно реализовать на базе серийных асинхронных короткозамкнутых двигателей, управляемых от тиристорного преобразователя напряжения (система ТПН-АД). Под термином "массовый" подразумеваем электропривод, оптимально сочетающий стоимостные и массогабаритные показатели с выполнением типовых, наиболее часто требуемых функций, таких как управляемые по заданному показателю пуск и торможение, оптимизация энергетических показателей в установившемся и переходных режимах, защита ЭП от аварийных режимов, использование местного и дистанционного управления, элементов автоматической диагностики. Массовый электропривод должен быть адаптирован к различным условиям эксплуатации как по характеру момента нагрузки и качеству напряжения сети, так и по климатическим условиям.

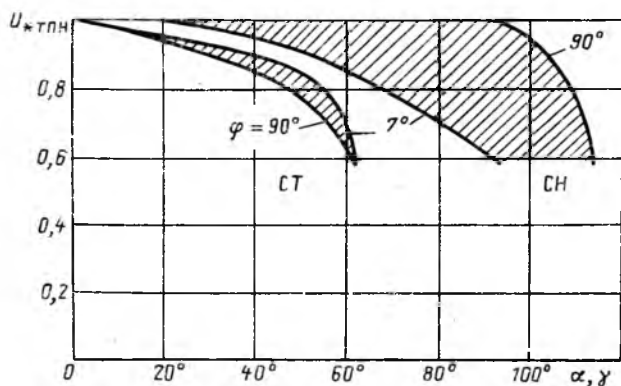
Реализация перечисленных требований повышает качество технологических процессов и увеличивает общий срок службы приводного двигателя.

Одним из путей повышения энергетических и динамических характеристик электропривода ТПН-АД является применение принципа синхронизации работы тиристоров ТПН с током обмоток статора АД. В отличие от синхронизации по напряжению сети (СН), где угол включения тиристоров  $\alpha$  отсчитывается от начала полуволны фазного напряжения, при синхронизации по току нагрузки (СТ) угол включения тиристоров  $\gamma$  отсчитывается от момента окончания тока в предыдущей полуволне. Использование СТ в системе управления ТПН позволяет по новому подойти к проектированию выходных и фазосдвигающих устройств, а также устройств защиты. Отсутствует проблема ограничения минимального значения угла регулирования  $\gamma$ , так как в режиме насыщения, независимо от фазового угла тока  $\varphi$ , автоматически обеспечивается равенство  $\gamma = 0$ . Автоматизировано также ограничение максимального угла регулирования на уровне граничного  $\alpha_{гр} = 120^\circ$  или  $\gamma_{гр} = 60^\circ$ .

Принципиально отсутствует специфичное для систем с СН условие работы с  $\alpha < \varphi$ , вынуждающее применять выходные устройства с импульсами управления тиристорами большой ширины или частотно-импульсное заполнение в диапазоне от  $\alpha$  до  $180^\circ$ . При регулировании угла  $\gamma$  на тиристоры подаются одиночные импульсы, сформированные только из условий надежного их включения, что позволяет уменьшить потребление энергии и габариты источников питания, фильтров, ключей и выходных трансформаторов. Для сравнения в таблице приведены технические данные выходных устройств ТПН различного исполнения, содержащих шесть силовых тиристоров. Сам по себе положительный факт уменьшения рассеивания мощности в системе управления облегчает и проблемы конструирования ТПН для эксплуатации в широком диапазоне изменения температуры окружающей среды, а также при закрытом исполнении устройств.

В ТПН с шестью тиристорами и СТ диапазону изменения угла управления  $0 \leq \gamma \leq 60^\circ$  соответствует диапазон  $0 \leq \alpha \leq 120^\circ$  в системе с СН. Получаемый диапазон достаточен для формирования практически любых статических и динамических характеристик асинхронного ЭП и может быть реализован в одноканальной системе импульсно-фазового управления, не вызывающей ошибки в углах включения тиристоров по фазам и полупериодам даже при аналоговом ее исполнении. Строгая симметричность углов включения тиристоров способствует в некоторой степени повышению энергетических показателей АД. В канале устройства СТ содержится информация о работе всех тиристоров и линий, подводящих питание к ТПН и двигателю. Это обстоятельство упрощает схематические решения аварийной защиты и диагностики состояния данных элементов электропривода. Эта же информация при минимальном объеме ее

Тип ТПН	Способ синхронизации	Параметры импульса управления тиристорами			Параметры цепей питания платы выходных устройств			Конструктивные параметры платы выходных устройств	
		$I_y, A$	$t_y, мкс$	$f_y, кГц$	$U_n, В$	$I_n, A$	$P_n, Вт$	Габариты В×Ш×Г, мм	Масса, кг
ТСУ-2 "Климатика"	СН	0,5	70	5	36	0,4	14,4	140×260×35	0,71
РТТ-63	СН	0,9	35	7	24	0,4	9,6	230×160×35	0,73
ПТР	СТ	0,4	250×2	0,3	30	0,07	2,1	100×160×25	0,22



Графики действующего значения выходного напряжения ТПН при управлении нагрузкой с различными значениями  $\varphi$  в системах СН ( $\alpha$ ) и СТ ( $\gamma$ )

обработки используется и при формировании режима энергосбережения при неполной нагрузке двигателя.

Основная особенность АД как электрической нагрузки ТПН состоит в непостоянстве фазового угла тока и его значительной зависимости от нагрузки на валу. Так, на рабочем участке естественной механической характеристики фазовый угол тока статора изменяется от  $\varphi_n$  практически до  $90^\circ$  при изменении нагрузки от номинальной до холостого хода. На искусственных характеристиках выходное напряжение ТПН при постоянных значениях углов включения тириستоров зависит от нагрузки ЭП, причем в системах с СН и СТ эта зависимость различна как в количественном, так и, что особенно интересно, в качественном выражении. На рисунке представлены экспериментальные зависимости областей действующего значения выходного напряжения ТПН от углов регулирования  $\alpha$  при СН и  $\gamma$  при СТ при изменении фазового угла нагрузки от  $7^\circ$  до  $90^\circ$ . В электроприводе с СТ эта зависимость выражена значительно слабее,

чем при СН. Внутренняя обратная связь между нагрузкой на валу или фазовым углом тока нагрузки и выходным напряжением ТПН, осуществляемая через устройства синхронизации, противоположна по знаку в системах с СН и СТ. В электроприводе с СН при постоянном угле управления тиристорами увеличение нагрузки на валу вызывает увеличение активной составляющей тока и уменьшение угла нагрузки  $\varphi$ , а это, в свою очередь, приводит к уменьшению выходного напряжения ТПН. Очевидно, это служит причиной неустойчивой работы ЭП в разомкнутой системе, особенно в диапазоне углов  $\alpha \approx 90^\circ$ , где наблюдается максимальная зависимость выходного напряжения от угла тока нагрузки. В разомкнутых и замкнутых системах ТПН-АД это приводит к большим провалам скорости при набросе нагрузки. Реакция ЭП с СТ на изменение момента нагрузки противоположна, т. е. при набросе нагрузки и постоянном угле включения тиристоров  $\gamma$  выходное напряжение преобразователя увеличивается, провалы скорости практически отсутствуют. Колебания тока статора и скорости двигателя в разомкнутой системе не наблюдаются.

В соответствии с изложенными принципами разработана серия устройств, названных тиристорными пускателями типа ПТР для асинхронных двигателей мощностью от 0,25 до 200 кВт\*. Изготовлены и прошли испытания опытные образцы пускателей при работе на промышленных объектах с асинхронными двигателями мощностью до 100 кВт. Пускатели рекомендуются для широкого применения, особенно для тяжелых условий работы с резко и часто меняющейся нагрузкой.

\* Тиристорные пускатели для асинхронных двигателей / Л. П. Петров, О. А. Андрущенко, В. А. Воробьев и др. // Электротехническое производство. М.: Информэлектро. 1990. Вып. 10(34). С. 7.

# ТРАНЗИСТОРНЫЕ СИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПУТИС

С. И. ГУЛЕВСКИЙ, А. М. РОХЛИН, А. П. УСАЧЕВ,  
С. Г. ШРАМЕНКО

НЭТИ

В статье представлены результаты разработки преобразователей ПУТИС (преобразователи унифицированные транзисторные импульсные сетевые), проведенной в отделе систем воспроизведения движений Новосибирского электротехнического института при участии фирмы "Сибирь — Мехатроника" ТОО. Преобразователи ориентированы на использование в многокоординатном электроприводе в комплекте с системой управления верхнего уровня (системой ЧПУ) и синхронными электродвигателями с постоянными магнитами.

Разработка характеризуется следующими основными особенностями: модульная конструктивная концепция; возможность компоновки до шести координат суммарной мощностью до 20 кВт·А; питание непосредственно от сети (между сетью и двигателем — только модули преобразователя); устойчивость к коротким замыканиям; контроль состояний и функционирования; неотключаемая индикация предаварийных состояний и срабатывания защит, обмен информацией с системой верхнего уровня.

Основу преобразователя ПУТИС образуют общий модуль питания МП-50 и покоординатный осевой модуль МО-12, имеющие следующие основные характеристики:

## Модуль питания

Напряжение питания при $f=50$ Гц, В . . . . .	$3 \times 380$	+10 % -15 %
Силовая магистраль:		
напряжение, В . . . . .	440–600	
ток, А . . . . .	50	
Вторичная магистраль:		
напряжение, В . . . . .	$30 \pm 1$	
ток, А . . . . .	6	
Мощность рекуперации, Вт . . . . .	200	
Габаритные размеры, мм . . . . .	$82 \times 420 \times 400$	

## Модуль осевой

Длительный ток, фазный действующий, А . . . . .	12
Кратковременный ток, фазный действующий (2 с), А . . . . .	24
Диапазон регулирования . . . . .	1:10 000
Полоса пропускания контура скорости, Гц . . . . .	100
Габаритные размеры, мм . . . . .	$58 \times 420 \times 400$

Преобразователи ПУТИС в своем составе имеют также три дополнительных модуля: МК-50 — модуль коммутационный, МФ-1700 — модуль фильтров и МР-1000 — модуль резисторов. Модуль МК-50 осуществляет подключение и отключение преобразователя от сети. Модуль МФ-1700 устанавливается дополнительно при подключении к модулю МП более одного-двух осевых модулей. Модуль МР-1000 устанавливается дополнительно при высоких значениях энергии рекуперации.

Общая функциональная схема преобразователя и ее разбивка по модулям приведены на рис. 1. Силовая часть преобразователя представляет собой автономный инвертор напряжения АИН с питанием непосредственно от сети через промежуточное звено постоянного тока. Инвертор выполнен на одноключевых транзисторных модулях МТКДЗ — (40, 63, 80) — 8 по трехфазной мостовой схеме и расположен в осевом модуле МО. Промежуточное звено образуют трехфазный неуправляемый выпрямитель, устройство слива (транзисторный ключ с балластным резистором) энергии торможения и емкостный фильтр. Эта часть расположена в модуле питания МП, параметры которого рассчитаны на питание до шести осевых модулей. Емкостный фильтр МП обеспечивает работоспособность осевых модулей суммарной мощностью 5 кВт·А. Напряжение промежуточного звена образует силовую магистраль постоянного тока  $514 \text{ В} \pm 10 \%$ , к которой подключаются все осевые модули и модуль фильтра. Дополнительно из силовой магистрали в модуле питания централизованно формируется вторичная магистраль постоянного стабилизированного напряжения 30 В (ВИПМ). Питание цепей управления осевых модулей осуществляется от вторичной магистрали через локальные вторичные источники ВИП, которые также имеют гальваническую развязку.

Кроме указанных элементов модуль питания и осевые модули имеют систему контроля и диагностики, на которую возложены следующие функции:

контроль работоспособности всех модулей и на основании этого формирование сигналов состояния координат типа "Готовность" для информационного обмена с системой верхнего уровня;

разблокировка координат электропривода и управление контактором силовой цепи питания по сигналам ЧПУ и состоянию модулей (блокировка и отключение от сети в аварийных ситуациях);

хранение информации состояния модулей после отключения питания.

Контроль состояний осуществляется в двух аспектах — эксплуатационный контроль и аварийный. В первом случае осуществляется контроль параметров, превышение которых возможно из-за нарушения режимов работы привода и условий эксплуатации (перегрев радиаторов, балластного резистора слива, двигателя, ампер-секундная перегрузка, температура окружающей среды). По

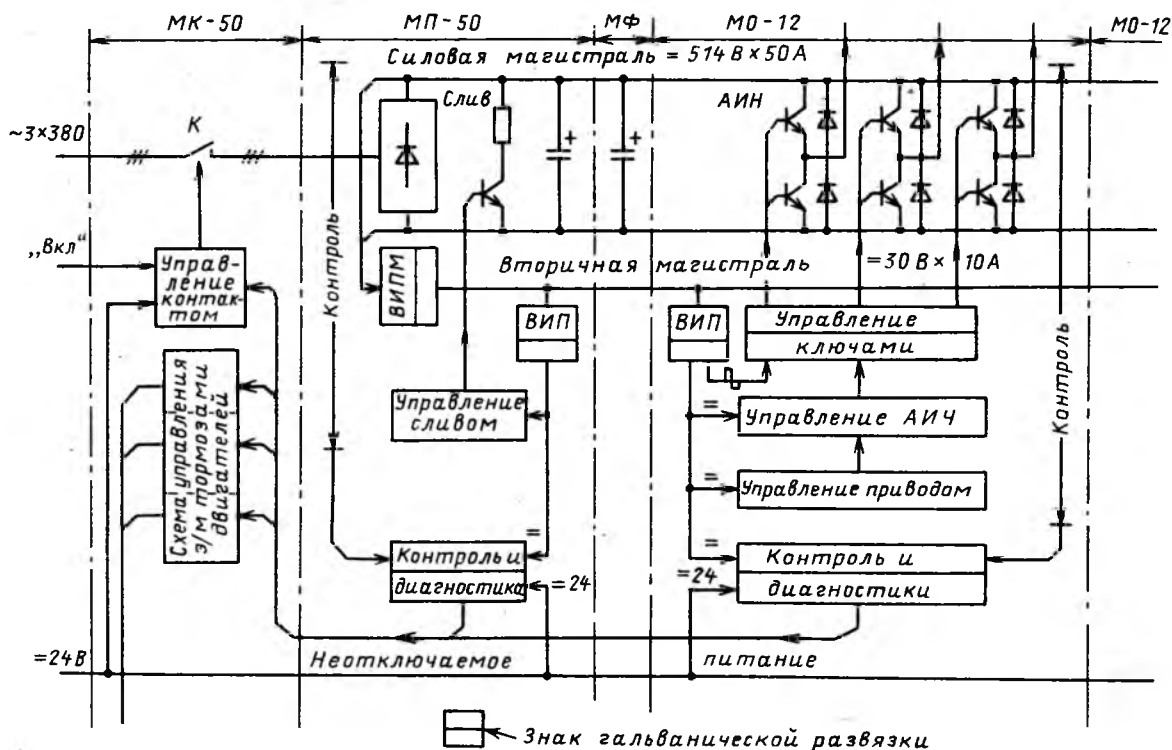


Рис. 1. Функциональная схема преобразователя ПУТИС и ее разбивка по модулям

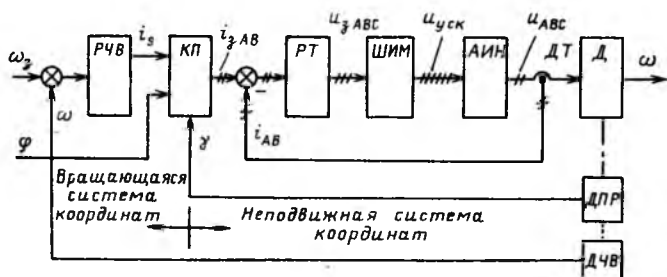


Рис. 2. Функциональная схема электропривода

результатам эксплуатационного контроля осуществляется формирование предупредительных сигналов (по выходу какого-либо из параметров на предпустимый уровень). Аварийный контроль осуществляется за параметрами, отклонение которых является недопустимым для работоспособности преобразователя и привода (повышение и понижение уровней питания, неисправность функционирования силовых ключей, обрыв сигналов датчиков обратных связей, обрыв фазы силового питания, короткое замыкание цепи нагрузки и пр.). По результатам аварийного контроля формируется сигнал аварии соответствующего модуля, по которому производится мгновенная блокировка преобразователя и привода, отключение от сети и снятие сигналов готовности. Сигналы отключающих защит заносятся в память схемы диагностики, которая имеет независимое (неотключаемое) питание 24 В и светодиодную индикацию.

Электропривод координаты включает трехфазный синхронный двигатель с набором необходимых датчиков и преобразователь энергии с систе-

мой частотно-токового управления. Функциональная схема электропривода приведена на рис. 2 и содержит: синхронный двигатель (Д), датчик положения ротора двигателя (ДПР), датчик частоты вращения (ДЧВ), регулятор частоты вращения (РЧВ), координатный преобразователь (КП), трехфазный регулятор тока (РТ), широтно-импульсный модулятор (ШИМ), автономный инвертор напряжения (АИН), двухфазный датчик тока (ДТ).

На вход РЧВ поступают внешний сигнал задания частоты вращения  $\omega_z$  и сигнал обратной связи с ДЧВ  $\omega$ . Сигнал на выходе РЧВ  $i_s$  и внешний сигнал  $\varphi$  образуют вектор задания токов двигателя во вращающейся системе координат. Вращающаяся система координат жестко связана с ротором, информация об угловом положении которого  $\gamma$  поступает с ДПР. КП имеет два входа и преобразует сигналы  $\varphi$  и  $i_s$  в два сигнала задания фазных токов  $i_{3A}$ ,  $i_{3B}$  в трехфазной неподвижной системе координат. С выхода ШИМ на вход транзисторного АИН поступают сигналы управления силовыми ключами  $u_{\text{СК}}$ .

Элементы функциональной схемы электропривода имеют следующие особенности реализации.

**Двигатель** — синхронный трехфазный с постоянными магнитами.

**Датчик положения ротора** — бесконтактный редуктосин, работающий в фазовом режиме с частотой запитки 5 кГц.

**Датчик частоты вращения** — бесконтактный синхронный тахогенератор с трапецидальной формой ЭДС и электронным коммутатором.

**Датчик тока** — компенсационного принципа действия на базе специально разработанного преобразователя Холла.

**Инвертор** выполнен на самозащищенных ключах без использования каких-либо дополнительных элементов в силовой цепи. Формирование траектории переключения реализовано по цепи базы.

**Схема ШИМ** реализует закон коммутации ключей АИН, при котором в состоянии переключения с частотой ШИМ находятся ключи только двух фаз.

**Координатный преобразователь** выполнен с использованием цифровой техники и перемножающих ЦАП. При этом сигнал редуктосина предварительно преобразуется в двоичный восьмиразрядный код положения ротора, который используется также для управления коммутатором датчика частоты вращения.

В настоящее время на базе преобразователей ПУТИС и электромеханизмов поступательного перемещения ЭМП реализованы приводы подачи ТАНДЕМ, а на основе специальных тихоходных двигателей — приводы безредукторных поворотных столов.

УДК 62-83.001:531

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОРНЕВОГО ГОДОГРАФА И ПАРЫ ДОМИНИРУЮЩИХ КОРНЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В. Г. АЛФЕРОВ, Ха Куанг ФУК  
МЭИ

В настоящее время динамические свойства электромеханических систем (ЭМС) изучены достаточно полно, при этом использовалась динамическая жесткость электропривода, имеющего линеаризованную механическую характеристику [1]. При оценке демпфирующей способности ЭМС в [2, 3] изложен основанный на распределении корней характеристического уравнения метод анализа условий взаимодействия процессов в электрической (ЭП) и механической (МП) частях электропривода. В [4] рекомендуются приближенные зависимости этих корней от параметров электропривода. Первый метод не дает непосредственной картины влияния изменения параметров системы на корни характеристического уравнения, а во втором методе приближенные результаты расче-

та справедливы только при определенных значениях коэффициента демпфирования  $\delta$ .

Перспективно развитие систем управления, не являющихся в полном смысле адаптивными, но обеспечивающих приемлемое качество работы (точность, быстродействие) при изменении характеристик воздействий и неустойчивости параметров. Такие системы получили название робастных, анализ их возможен при использовании в том числе и метода корневого годографа (КГ) с введением понятия доминирующих корней (ДК). На КГ можно полностью оценить влияние изменений параметров ЭМС на корни их характеристического уравнения и определить оптимальные значения этих параметров при максимальном демпфировании. Доминирующими корнями называется пара комплексно-сопряженных корней характеристического уравнения, которые находятся в непосредственной близости к мнимой оси комплексной плоскости в непрерывных системах. Другие корни характеристического уравнения должны находиться существенно левее ДК в комплексной плоскости. Тогда можно "грубо" оценить динамические свойства электромеханических систем посредством ДК. Структурная схема двухмассовой электромеханической системы дана на рис. 1, где  $ЗК$  — звено компенсации;  $РС$  — регулятор скорости;  $T_я$ ,  $T_м$  — постоянные времени — электромагнитная и электромеханическая;  $\beta$  — жесткость линеаризованной механической характеристики;  $J_1$ ,  $J_2$  — моменты инерции двигателя и механизма.

В предположении жестких механических связей ( $c_{12} = \infty$ ) ДК системы совпадают с двумя корнями характеристического уравнения ЭП, которое имеет вид:

$$\text{при } T_м = \text{const:}$$

$$1 + T_я \frac{T_м p^2}{T_м p + 1} = 0; \tag{1}$$

$$\text{при } T_я = \text{const:}$$

$$1 + T_м [p(T_я p + 1)] = 0. \tag{2}$$

Корневые годографы, соответствующие (1) и (2), данные на рис. 2, а, б. Показатели динамических характеристик ЭП оцениваются следующим образом: при  $T_я \leq T_м/4$  время переходного процесса  $t_{п.п}$  находится в пределах  $6 T_я \leq t_{п.п} \leq 3 T_м$ ; при

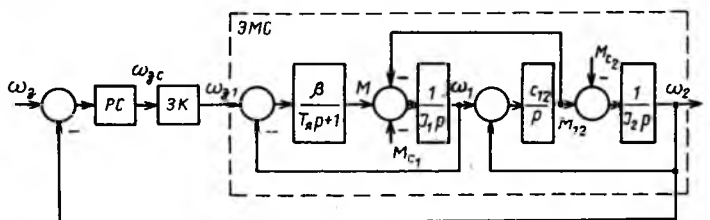


Рис. 1. Структурная схема двухмассовой ЭМС

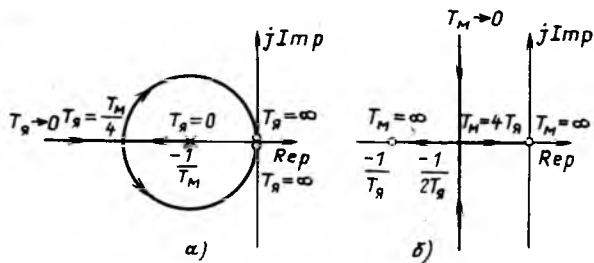


Рис. 2. Корневые подографы одномассовой системы при:  
а —  $T_M = \text{var}$ ;  $T_{M^*} = \text{const}$ ; б —  $T_M = \text{var}$ ;  $T_{M^*} = \text{const}$

$T_{M^*} > T_M/4$  коэффициент затухания  $\alpha_d$  и частота колебания  $\Omega_0$  удовлетворяют условиям:  
 $\alpha_d = \frac{1}{2T_{M^*}} < \frac{2}{T_M}$  и  $\Omega_0 \leq \frac{1}{T_M}$ .

Для оценки динамических качеств двухмассовых ЭМС с линеаризованной механической характеристикой КГ строятся на основании характеристических уравнений:

без учета  $T_{M^*}$ :

$$1 + T_{M^*} \frac{s(s^2 + 1)}{\gamma s^2 + 1} = 0; \quad (3)$$

с учетом  $T_{M^*}$ :

$$1 + T_{M^*} \frac{s(T_{M^*} s + 1)(s^2 + 1)}{\gamma s^2 + 1} = 0, \quad (4)$$

где  $s = p/\Omega_{12}$ ;  $\Omega_{12}$  — частота недемпфированного механического резонанса;  $T_{M^*} = \Omega_{12} T_M$ ;

$T_{M^*} = \Omega_{12} T_M$ ;  $\gamma = \frac{J_1 + J_2}{J_1}$  — соотношение масс [1].

В первом случае существует оптимальное значение  $T_{M^* \text{opt}}$ , при котором наблюдается максимальное демпфирование (рис. 3). Действительно, при  $1 < \gamma < 9$  значение максимального коэффициента демпфирования определяется (рис. 3, а) так:

$$\delta_{\max} = \cos \Phi_{\max}, \quad (5)$$

где  $\Phi_{\max}$  — угол между осью абсцисс и касатель-

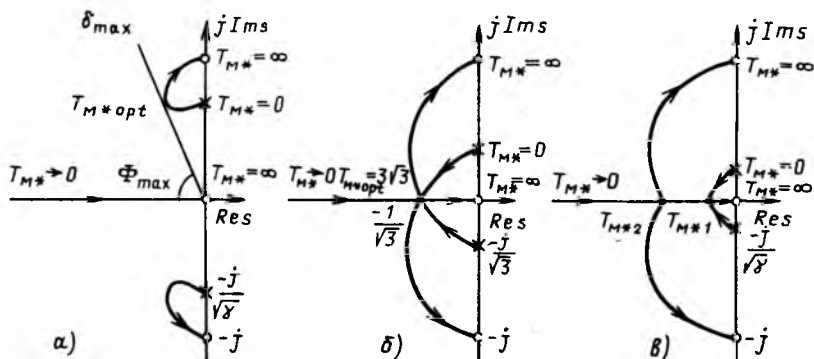


Рис. 3. Корневые подографы двухмассовой системы ( $T_M \approx 0$ ) при:

а —  $1 < \gamma < 9$ ; б —  $\gamma = 9$ ; в —  $\gamma > 9$

ной к кривой КГ, проведенной из начала координат.

При  $T_{M^* \text{opt}} = 4\sqrt{\gamma^3}$  оптимальный коэффициент демпфирования

$$\delta_{\text{opt}} = (\sqrt{\gamma} - 1)/2. \quad (6)$$

При  $\gamma \geq 9$  (рис. 3, б, в) полное демпфирование наблюдается при

$$\frac{\gamma s_{c1}^2 + 1}{-s_{c1}(s_{c1}^2 + 1)} \leq T_{M^*} \leq \frac{\gamma s_{c2}^2 + 1}{-s_{c2}(s_{c2}^2 + 1)} \quad \delta_{\text{opt}} = 1, \quad (7)$$

где

$$s_{c1,2} = - \left[ \frac{\gamma - 3 \pm \sqrt{(\gamma - 1)(\gamma - 9)}}{2\gamma} \right]^{1/2}$$

— седловые точки КГ [6].

Во втором случае КГ (рис. 4, 5) состоят из соответствующих колебаниям ЭП и МП ветвей, которые определяются характеристическим полиномом вида

$$(T_{ЭП}^2 s^2 + 2\delta_{ЭП} T_{ЭП} s + 1)(T_{МП}^2 s^2 + 2\delta_{МП} T_{МП} s + 1) [2].$$

Оптимальное значение коэффициента демпфирования двухмассовой ЭМС  $\delta = \min(\delta_{ЭП}, \delta_{МП})$  при изменении  $T_{M^*} = T_{M^*}$  равно:

$$\delta_{\text{opt}} = \max \delta = \max \min(\delta_{ЭП}, \delta_{МП}). \quad (8)$$

При  $1 < \gamma < 5$  (рис. 4) наблюдается неполное демпфирование и оптимум достигается при предельном значении электромагнитного демпфирующего действия во взаимосвязанной двухмассовой ЭМС (рис. 4, б) соответственно в седловых точках

$$KГ s_c = \frac{1}{2} (-\sqrt{\gamma - 1} \pm \sqrt{5 - \gamma}):$$

$$T_{M^* \text{opt}} = \frac{1}{T_{M^* \text{opt}}} = 2\sqrt{\gamma - 1};$$

$$\delta_{\text{opt}} = \frac{\sqrt{\gamma - 1}}{2}. \quad (9)$$

При  $\gamma \geq 5$  (рис. 5) и достаточно малых  $T_{M^*}$  полное демпфирование возможно при удовлетворении условия

$$T_{M^*} \leq T_{M^* \text{opt}} = \frac{1}{2\sqrt{\gamma - 1}}$$

$$\text{и } T_{M^*1} \leq T_{M^*} \leq T_{M^*2}, \quad (10)$$



а в критическом случае при  $\delta_{ЭП} = \delta_{МП} = 1$  имеет место:

$$\left. \begin{aligned} T_{M*} &= \frac{1}{T_{Я*}} = 2\sqrt{\gamma - 1}; \\ T_{ЭП*} &= \frac{\sqrt{\gamma - 1} - \sqrt{\gamma - 5}}{2}; \\ T_{МП*} &= \frac{\sqrt{\gamma - 1} + \sqrt{\gamma - 5}}{2}, \delta_{opt} = 1, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

что соответствует двум седловым точкам КГ (рис. 5, б)  $s_{с.э} = -(1/T_{ЭП*})$  и  $s_{с.м} = -(1/T_{МП*})$ .

Корневые годографы двухмассовой ЭМС (рис. 3–5) показывают, что ДК системы находятся на той ветви, соответствующей колебанию МП, которая оказывает наибольшее влияние на динамику и демпфирование системы, поэтому максимальное значение  $\delta_{max}$  в общем случае можно оценить согласно (5).

Использование ДК на основании метода КГ можно расширить для оценки динамических свойств электромеханических систем с учетом

вязкого трения и многомассовых систем. Построение КГ в общем случае может осуществляться с пакетом РС-MATLAB на ЭВМ. С учетом "грубости" тогда можно пренебречь остальными, кроме ДК, корнями и оценить через

$s_{ДК} = -\delta\Omega_H \pm j\Omega_H\sqrt{1 - \delta^2}$  (где  $\Omega_H$  – резонансная частота;  $\delta$  – коэффициент демпфирования) динамические показатели систем регулирования электромеханического объекта. Тогда эквивалентная передаточная функция ЭМС имеет вид

$$w_{ЭМС}(s) = \frac{\omega_2}{w_{31}} = \frac{\Omega_H^2}{s^2 + 2\delta\Omega_H s + \Omega_H^2} \quad (12)$$

В ЭМС с малым коэффициентом демпфирования ( $\delta < 1$ ) запас устойчивости исключительно мал, что нежелательно сказывается на их колебательности. В силу этих обстоятельств в [5] предлагается метод модального управления, который позволяет обеспечить заданные желательные динамические показатели. В статье используется Т-образная схема (рис. 6) [6] в качестве звена компенсации (ЗК) влияния корней  $s_{ДК}$ , передаточная функция которого имеет вид:

$$w_{ЗК}(s) = \frac{\omega_{31}}{w_{3,c}} = \frac{1 + 2R_1 cs + c^2 R_1 R_2 s^2}{1 + c(R_2 + 2R_1)s + c^2 R_1 R_2 s^2} \quad (13)$$

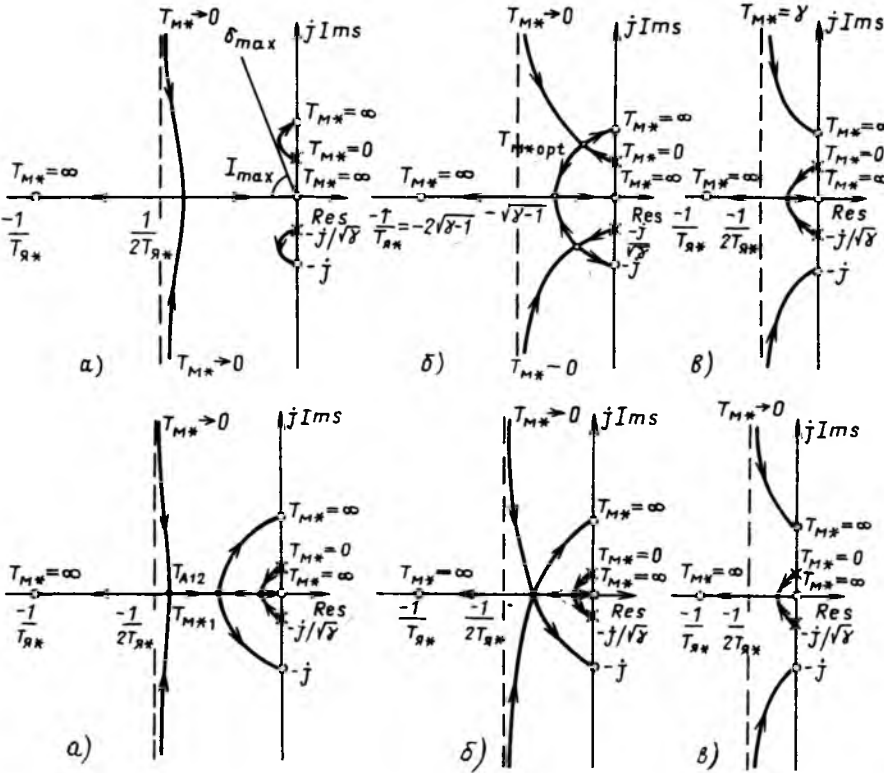


Рис. 5. Корневые годографы двухмассовой системы ( $T_{Я} \neq 0$ ) при  $\gamma \geq 5$ :

$$а - T_{Я*opt} < \frac{1}{2\sqrt{\gamma-1}}; б - T_{Я*opt} = \frac{1}{2\sqrt{\gamma-1}}; в - T_{Я*opt} > \frac{1}{2\sqrt{\gamma-1}}$$

Рис. 4. Корневые годографы двухмассовой системы ( $T_{Я} \neq 0$ ) при

$$1 > \gamma > 5: \\ а - T_{Я*opt} < \frac{1}{2\sqrt{\gamma-1}}; б - T_{Я*opt} = \frac{1}{2\sqrt{\gamma-1}}; в - T_{Я*opt} > \frac{1}{2\sqrt{\gamma-1}}$$

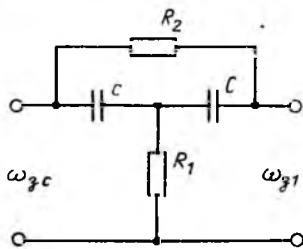


Рис. 6. Т-образная схема звена компенсации влияния доминирующих корней

При удовлетворении условия

$$\frac{1}{c\sqrt{R_1 R_2}} = \Omega_n \text{ и } \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = \delta \quad (14)$$

корни характеристического уравнения эквивалентной системы ЗК и ЭМС имеют вид:

$$s_{eq} = -(\delta_{eq} \pm \sqrt{\delta_{eq}^2 - 1})\Omega_n, \text{ т. е.} \\ p_{eq} = -(\delta_{eq} \pm \sqrt{\delta_{eq}^2 - 1})\Omega_n \Omega_{12}, \quad (15)$$

где

$$\delta_{eq} = \frac{1 + 2\delta^2}{2\delta} > 1.$$

Синтез регулятора скорости РС тогда может осуществляться на основе, допустим, стандартной настройки [1].

В качестве примера рассмотрена следящая система управления антенной с двумя приводными двигателями постоянного тока типа ДПМ-31 ( $U_n = 110 \text{ В}$ ;  $\omega_n = 140 \text{ с}^{-1}$ ;  $P_n = 12 \text{ кВт}$ ). Данные системы:  $T_{я} = 0,033 \text{ с}$ ;  $T_{м} = 0,116 \text{ с}$ ;

$c_{12} = 0,21 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$ ;  $J_1 = 0,814 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $J_2 = 0,012 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $\gamma = 1,113$ . Вычислены:  $\Omega_{12} = 4,413 \text{ с}^{-1}$ ;  $T_{м*} = 0,491$ ;  $T_{я} = 0,1324$ . КГ этой

системы принимает вид (рис. 4, а) с парой ДК  $s_{ДК} = -0,021 \pm j0,954$ . Коэффициент демпфирования ДК  $\delta = 0,022$ . Если выбрать  $c = 10 \text{ мкФ}$ , то получаем  $R_1 = 1,08 \text{ мОм}$ ;  $R_2 = 0,52 \text{ кОм}$  и  $\delta_{eq} = 22,7$ , что соответствует корням компенсируемой системы  $s_{eq1} = -45,46$ ;  $s_{eq2} = -0,021$  или  $p_{eq1} = -200,6 \text{ с}^{-1}$ ;  $p_{eq2} = -0,093 \text{ с}^{-1}$ .

## Выводы

1. Получена посредством метода КГ полная картина влияния изменений постоянных времени  $T_{я}$ ,  $T_{м}$  на корни характеристического уравнения ЭМС.

2. Определена аналитическая зависимость этих постоянных от соотношения масс  $\gamma$  при максимальном демпфировании механических колебаний.

3. Показана возможность компенсации влияния ДК на колебательность ЭМС с использованием Т-образной схемы, что повышает демпфирующую способность систем.

## Список литературы

1. Ключев В. И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1985.

2. Задорожный Н. А., Земляков В. Д. Анализ электромеханического демпфирующего действия в электроприводах с вязким трением и упругим механическим звеном // Электричество. 1985. № 5. С. 60—63.

3. Задорожный Н. А., Земляков В. Д. Оценка демпфирующей способности электропривода с упругими механическим звеном и вязким трением на валу двигателей // Электричество. 1989. № 4. С. 70—72.

4. Ольшанников В. В., Каминская Д. А., Розенвайг А. В. К вопросу об анализе динамики двухмассовой системы электропривода по корням характеристического уравнения // Изв. вузов. Электромеханика. 1984. № 5. С. 98—102.

5. Алферов В. Г., Ха Куанг Фук. Модальное управление следящим электроприводом с использованием доминирующих корней // Электричество. 1993. № 5.

6. Кью В. С. Automatic Control System. 5th ed. Prentice-Hall. // Inc., Englewood Cliffs, Newjersey. 1987.

УДК 62-83:621.313.3

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЕНЕРАТОР—ДВИГАТЕЛЬ НА ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

В. Н. ОСТРИРОВ, С. В. НОСАЧ

МЭИ

Электропривод по схеме генератор—двигатель (Г—Д) для некоторых типов машин до настоящего времени остается труднозаменимым. Например, подавляющая часть эксплуатируемых в стране одноковшовых экскаваторов оснащена этой системой, на нее ориентируются и при проектировании серийных машин. Имеющий мировую известность производитель одноковшовых экскаваторов фирмы "Dresser Marion" (США) также применяет систему Г—Д. Применение системы Г—Д обусловлено прежде всего малой мощностью карьерных сетей, в условиях которых использование силовых вентилярных преобразователей затруднительно.

Совершенствование системы управления для электропривода Г—Д в этой связи остается актуальным. Управление в данной системе осуществляется по цепи возбуждения генератора, а при двухзонном регулировании — и по цепи возбуждения двигателя, как правило, с помощью тиристорных преобразователей — возбудителей в исполнительной части и систем управления на аналоговой элементной базе в информационной части.

Тиристорные преобразователи имеют относительно высокую аппаратную насыщенность, кото-

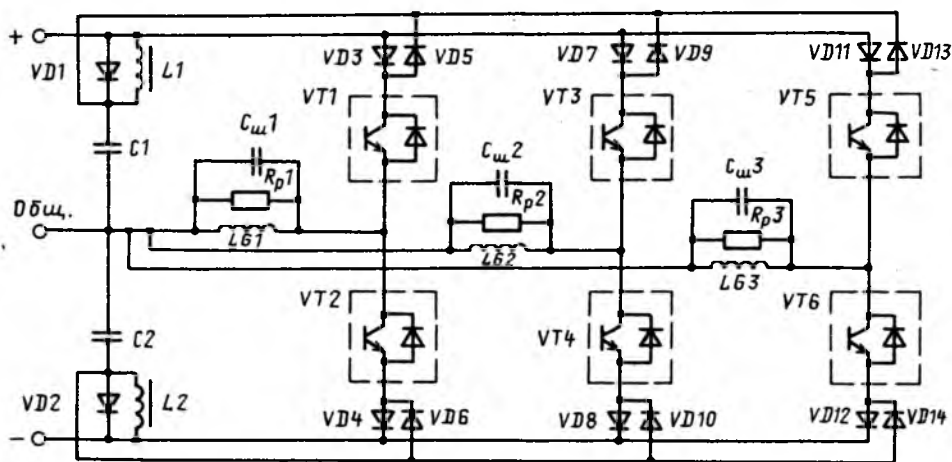


Рис. 1. Принципиальная схема трехканального возбuditеля

рая практически не зависит от мощности преобразователя, а определяется в основном схемой выпрямления. На экскаваторах для возбуждения генераторов нашли применение реверсивные трехфазные или мостовые схемы выпрямления, т. е. на одну выходную координату работают 6 или 12 силовых тиристоров. На современном уровне развития силовой полупроводниковой техники такое решение для питания относительно маломощных цепей возбуждения не представляется таким бесспорным, каким оно казалось десятилетие назад, когда разрабатывались тиристорные возбuditели.

В качестве альтернативы тиристорным преобразователям на мощностях до 10 кВт (в ближайшей перспективе и на большие мощности) авторами разработаны транзисторные преобразователи — возбuditели с минимальным числом управляемых силовых ключей. На рис. 1 приведена принципиальная схема трехканального транзисторного возбuditеля для питания обмоток возбуждения трех генераторов постоянного тока, установленных на экскаваторе. Транзисторы преобразователя работают в ключевом режиме, управление осуществляется в режиме широтно-импульсной модуляции.

От известных решений приведенная схема отличается применением силовых конденсаторов  $C_{ш1}-C_{ш3}$ , шунтирующих обмотки возбуждения, что изменяет характер нагрузки преобразователя с активно-индуктивного на активно-емкостный.

В отличие от традиционных схем преобразования с импульсным регулированием, в которых к нагрузке прикладывается поочередно напряжение  $+U_{ин}$ , затем  $-U_{ин}$  для симметричного закона коммутации или  $+U_{ин}$ , затем 0 для несимметричного закона коммутации в данной схеме в зависимости от емкости амплитуда пульсаций напряжения может быть снижена в 20 и более раз.

Питание обмоток возбуждения постоянным напряжением с пульсацией на частоте ШИМ не более 10 % номинального напряжения возбуждения позволяет уменьшить потери в стали генерато-

ров от вихревых токов, что особенно важно для генераторов с литыми станинами.

В качестве управляемых силовых ключей в разработке применены транзисторные модули типа МТКД, которые выпускаются на токи до 80 А, напряжения до 800 В и частоты коммутации до 5 кГц. Причем полная управляемость ключей позволила организовать защитные отключающие цепи на каждом модуле и тем самым обеспечить их безаварийную работу на короткозамкнутую цепь.

В результате получен высококачественный исполнительный элемент системы возбуждения с постоянной времени 2–3 такта ШИМ (миллисекунды) и линейной характеристикой управления.

Информационная часть системы управления, построенная на аналоговой элементной базе, реализует обычно жесткий закон управления, так как любое изменение существующих или придание системе новых функций требует аппаратной модернизации уже законченной системы, а унификация достигается путем аппаратной избыточности.

В информационной части альтернативной системы использован цифровой процессор обработки сигналов (ЦПОС) типа КМ1813ВЕ1, который представляет собой законченную однокристалльную микроЭВМ с ОЗУ, ПЗУ, АЦП и ЦАП, размещенных на одном кристалле, удобную для обработки аналоговой информации, организации защиты, блокировок, систему команд (данные представляются в десятичном коде в диапазоне от  $-1$  до  $+1$  с дискретностью  $6 \cdot 10^{-8}$ ), параллельно работающие аналоговую и цифровую секции процессора (частота отсчетов в созданной цифровой системе 5 кГц при частоте ШИМ 2 кГц).

Возможности системы управления на базе одной микросхемы ЦПОС КМ1813ВЕ1 можно оценить по представленной на рис. 2 структурной схеме системы управления, где функциональные блоки, реализованные программно, обведены пунктирной линией. На схеме приняты следующие обозначения:  $U_z$ ,  $U_{зн}$ ,  $U_d$ ,  $U_{он}$ ,  $U_{от}$ ,  $U_y$  — сигналы задания, задатчика интенсивности, переключения приводов, обратной связи по напряжению генера-

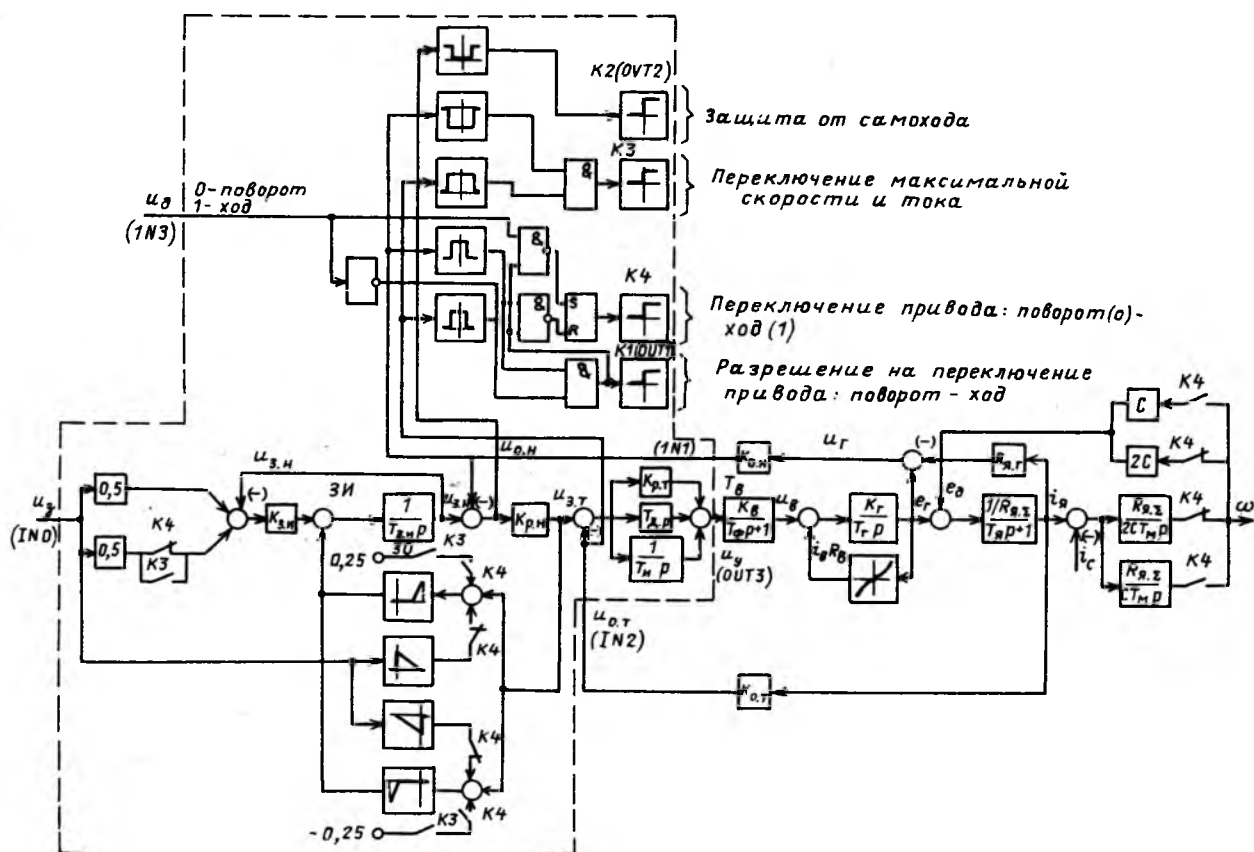


Рис. 2. Структурная схема системы управления

тора, обратной связи по току якоря управления соответственно;  $U_r$  — напряжение генератора;  $K_{зи}$ ,  $K_{р.н}$ ,  $K_{р.т}$ ,  $K_v$ ,  $K_r$ ,  $K_{о.н}$ ,  $k_{о.т}$  — коэффициенты усиления задатчика интенсивности, регулятора напряжения, регулятора тока, транзисторного возбудителя, генератора, обратной связи по напряжению генератора, обратной связи по току якоря соответственно,  $T_{зи}$ ,  $T_d$ ,  $T_i$ ,  $T_f$ ,  $T_r$ ,  $T_{я}$ ,  $T_m$  — постоянные времени задатчика интенсивности, дифференциальной части регулятора тока, интегральной части регулятора тока, фильтра на входе транзисторного возбудителя, генератора, электромагнитная постоянная времени якорной цепи,

электромеханическая постоянная времени соответственно;  $R_{я}$ ,  $R_{я.г}$ ,  $R_v$  — сопротивления якорной цепи суммарное, якорной цепи генератора, обмотки возбуждения генератора соответственно;  $E_d$ ,  $E_r$  — ЭДС генератора и двигателя;  $c$  — постоянная двигателя при номинальном потоке;  $\omega$  — частота вращения двигателя;  $IN$ ,  $OUT$  — обозначение входов и выходов процессора;  $K1-K4$  — программные ключи.

При полном использовании ПЗУ процессора информационная часть системы обслуживает два работающих разновременно механизма карьерного экскаватора — механизма поворота и механизма хода. Программа с одного привода на другой переключается по дискретной команде, поданной на вход  $IN3$  ЦПОС с пульта машиниста. На входы  $IN0-IN2$  даются соответственно аналоговые сигналы задания, обратной связи по току якоря и обратной связи по напряжению генератора, на выходах  $OUT1-OUT3$  выведены: дискретный сигнал управления коммутационной аппаратурой, переключающей генератор с двигателями поворота на двигатель хода, дискретный сигнал защиты от самохода привода, аналоговый сигнал управления на вход ШИМ исполнительной части.

Системой формируются приведенные на рис. 3 статические электромеханические характеристики приводов и реализуется структура автоматического управления подчиненного регулирования координат

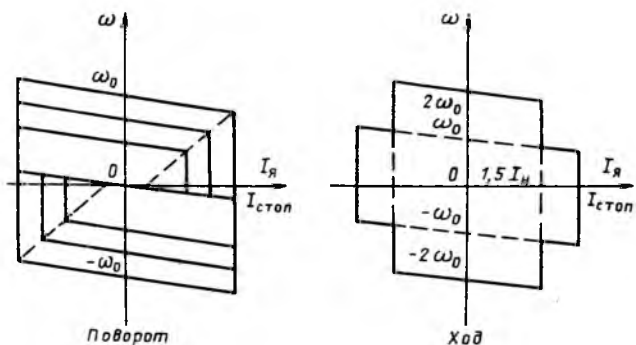


Рис. 3. Статические электромеханические характеристики электроприводов

нат с последовательной коррекцией, получающей задание от адаптивного задатчика интенсивности.

Недостатком данной ЦПОС являются восьми-разрядные АЦП и ЦАП. Их невысокая разрядность потребовала при синтезе цифровой системы регулирования учитывать квантование по уровню, т.е. рассматривать систему регулирования, как нелинейную цифровую САР. Квантованием по времени, опираясь на теорему Котельникова, можно пренебречь. Комплексный коэффициент усиления для каждого из двух контуров регулирования цифровой САР имеет вид

$$w_n^*(j\omega) = \frac{kT_i}{e^{j\omega T_i} - 1} - \frac{kT(1 - e^{-T_i/T})}{e^{j\omega T_i} - e^{-T_i/T}}, \quad (1)$$

где  $k$  — коэффициент усиления скорректированного контура;  $T$  — некомпенсируемая постоянная времени контура;  $T_i$  — период задержки импульсного элемента.

"Грубость" АЦП при наличии программного ПИД регулятора тока приводит к автоколебаниям напряжения высокочастотного транзисторного возбудителя в установившихся режимах работы электропривода. Хотя в основных регулируемых координатах привода (ток якоря и напряжение генератора) колебания не проявляются, они вредны, так как увеличивают потери в стали генератора.

Справиться с этой проблемой можно путем введения цифровых фильтров по ошибкам регулирования (рис. 4, а) с постоянной времени  $T_\phi = 0,1T$ . С их помощью удастся при незначительном уменьшении запаса по абсолютной устойчивости обеспечить значительное уменьшение частоты и амплитуды автоколебаний замкнутой нелинейной САР. Сказанное иллюстрируется АФХ, приведенными на рис. 4, б, где кривая 1 — годограф системы с фильтром; 1' — асимптота, к которой стремится годограф 1 при  $\omega \rightarrow 0$ ; кривая 2 — годограф системы без фильтра; 2' — асимптота, к которой стремится годограф 2 при  $\omega \rightarrow 0$ . Прямая, проведенная на расстоянии 0,5 от мнимой оси, ограничивает зону устойчивости нелинейной импульсной системы.

Разработка успешно прошла этап макетирования, стендовых испытаний. Качество регулирования координат систем управления экскаваторными электроприводами на практике оценивается в двух наладочных режимах: опыте холостого хода (при разомкнутой якорной цепи) и в опыте короткого замыкания (при снятом возбуждении двигателей). Осциллограммы данных опытов, записанные на электроприводе Г—Д, мощностью 100 кВт при управлении им от разработанной системы управления даны на рис. 5 и 6. Положительным итогом применения перспективной элементной базы для

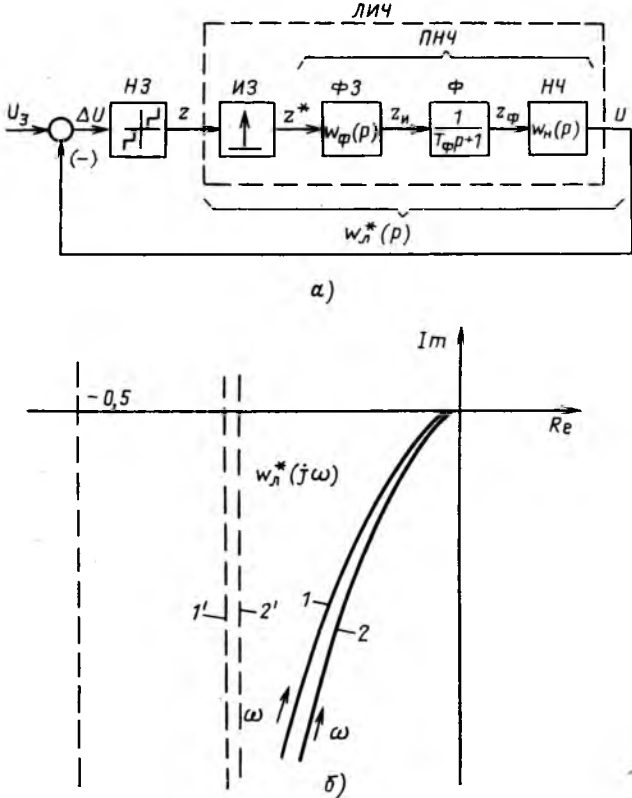


Рис. 4. Эквивалентная структурная схема цифрового контура тока (а) и его АФХ (б)

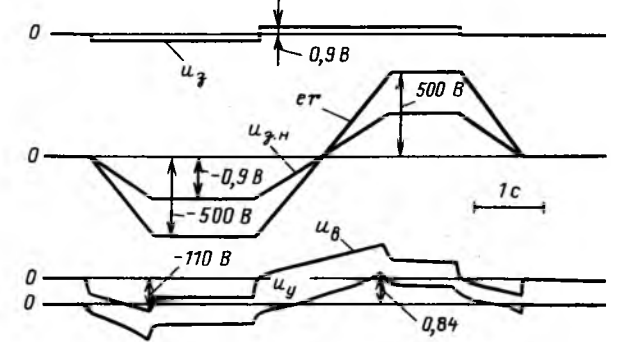


Рис. 5. Осциллограммы опыта холостого хода электропривода

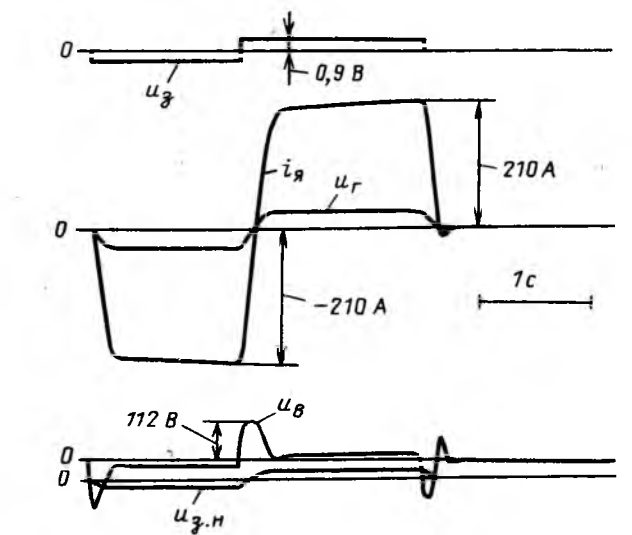


Рис. 6. Осциллограммы опыта короткого замыкания

системы управления экскаватором с электроприводами Г—Д следует считать универсальность аппаратных средств — система адаптируется к параметрам горной машины программным путем, значительное сокращение количества комплектующих в системе и за счет этого увеличение в 2,5 раза средней суммарной расчетной наработки на отказ элементов системы управления по сравнению с применяемыми в настоящее время системами.

#### Список литературы

1. А. с. 1767686 СССР. Многоканальное устройство возбуждения / В. Н. Остриров, С. В. Носач, В. В. Березин, Е. М. Садовников // Открытия. Изобретения. 1992. № 10.
2. Теория автоматического управления / Под ред. А. Т. Нетушила. М.: Высшая школа, 1976.

---

## ОБМЕН ОПЫТОМ

---

УДК [62-83:629.113/115].001.8

### СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ОБОРУДОВАНИИ АЗЛК

А. Ф. ГОЛЫГИН

ПО "Москвич"

Вопросы внедрения и эксплуатации электроприводов на современном автомобильном заводе занимают одно из центральных мест в работе инженерных служб, обеспечивающих работоспособность оборудования. Полученный при этом опыт несомненно интересен как для теории, так и для практики электропривода.

На автомобильном заводе внедряются и эксплуатируются практически все виды электроприводов: простейшие асинхронные для вентиляторов и насосов, широкая гамма станочных электроприводов (постоянного тока транзисторные и тиристорные, частотные переменного тока, электроприводы, в состав которых входят высокомоментные двигатели и синхронные двигатели с постоянными магнитами), электроприводы роботов, маховиковые электроприводы прессов, следящие конвейерные, электроприводы для прокатки металла и т. д.

В рамках проводимой реконструкции ПО "Москвич" внедряет большой парк отечественного и импортного оборудования, которое оснащено самой передовой техникой управления и электроприводами. Широкий диапазон систем электропривода ставит перед персоналом завода сложные

задачи в организации монтажа, наладки и дальнейшей эксплуатации оборудования, определяет специфику работы инженерных подразделений.

Завод работает в условиях конвейерного производства — каждые 1,5 мин выпускается автомобиль, при этом длительные простои оборудования недопустимы. Указанные обстоятельства предъявляют высокие требования к надежности систем электропривода, удобству в эксплуатации и ремонте, возможности быстрого отыскания неисправностей.

Каким образом решаются эти задачи в период реконструкции производств?

Электроприводы главных сборочных конвейерных линий имеют горячее резервирование. На приводных площадках устанавливаются резервные двигатели и имеются резервные шкафы с преобразователями и средствами управления. Это обуславливается тем, что при отказе электропривода нет времени для отыскания неисправности и ремонта. В подобных случаях быстро переключают на резервную систему, затем производят ремонт отказавшей.

На главных сборочных конвейерах установлены электроприводы фирмы "Сиетам" Франция. Простая схема этих электроприводов — нереверсивный полууправляемый мост, суммирующий транзисторный усилитель, простейшее СИФУ на двухбазовом диоде обеспечивают высокую надежность электропривода.

Наши попытки внедрить резервную систему на базе комплектного электропривода БУ3609 к успеху не привели из-за его частых отказов. Это проявилось в низком качестве полупроводниковых узлов (дрейф нулей операционных усилителей), плохой электроаппаратуре. Резервная система была разработана силами инженерных подразделений завода.

Аналогичные проблемы возникают с отечественными электроприводами, установленными на другом оборудовании. Рассмотрим некоторые примеры.

На токарных новосибирских станках установлен частотный асинхронный электропривод "Размер-2М". Работая в составе системы с ЧПУ, он обладает широким диапазоном регулирования скорости, имеет устройство диагностики, что является несомненным преимуществом по сравнению с другими типами преобразователей. В то же время имеют место частые отказы электропривода "Размер-2М", обусловленные плохим конструктивным исполнением как силовой, так и управляющей части, недостаточной вентиляцией силовых ключей и ненадежной электронной базой.

На стендах для испытаний коробки переменных передач установлены электроприводы БУ3601. Опыт эксплуатации указанных электроприводов показал ряд их существенных недостатков: плохая индикация состояния электропривода и работоспособности отдельных плат (индицируется только



рабочее состояние и срабатывание защиты), отсутствие зависимого токоограничения от скорости вращения двигателя, плохое конструктивное исполнение.

Аналогичными недостатками обладают комплектные тиристорные электроприводы БУ-3509 и БУ-3609, которыми оснащены вильнюсские и витебские шлифовальные станки. Отсутствие аварийной сигнализации и диагностики, работоспособности отдельных плат значительно осложняет их эксплуатацию и ремонт. Недостаточное охлаждение силовых тиристоров, применение в схеме блока питания конденсаторов типа К50-20 с низкой надежностью являются причинами частых отказов.

Подобные недостатки присущи комплектным электроприводам ЗТЗИ, ЭТ1-Е1, ЭТ1-Е2. Внедряя указанные электроприводы, потребитель сталкивается с низким качеством этой продукции: плохая пайка элементов, ошибки в монтаже, зачастую просто неработающий преобразователь.

Дополнительные трудности в процессе эксплуатации отечественных электроприводов создает отсутствие резервных блоков, узлов, плат. Заводы, производящие преобразователи, не продают их потребителю. Поэтому для обеспечения требуемой оперативности ремонта завод вынужден идти на дополнительные затраты, покупая полные комплекты электроприводов.

Одной из особенностей реконструкции заводов объединения является внедрение большого количества мощных электроприводов, входящих в системы энергообеспечения и вентиляции. К ним относятся электроприводы компрессорных установок, насосов подачи холодной и горячей воды, приточных систем воздухообмена и т. д. На их долю приходится более половины потребляемой заводом электроэнергии.

В настоящее время для подобных установок используется нерегулируемый асинхронный электропривод. Однако создание автоматизированной системы управления энергообеспечением и программа экономии электроэнергии привели к необходимости применения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов.

На приточных системах главного сборочного корпуса завода используются электроприводы с преобразователями частоты типа ПЧТ-100 кВт (ХЗМЗ). В системе подмеса теплофикационной воды применяется преобразователь ПЧТ-400 кВт. Для поддержания давления городской воды на насосных станциях применены комплектные частотные электроприводы ЭКТ-2Д (Запорожье).

Все установки энергообеспечения объединены в систему "АСУ-энерго", выполненную на базе программируемых контроллеров типа IBM.

В рамках проводимой реконструкции на заводах объединения внедряется большой парк импортного оборудования.

Отличительной особенностью этого оборудова-

ния является организация управления исключительно на базе программируемых контроллеров, ЧПУ, управляющих ЭВМ. Во многих случаях гидропривод вытеснен электроприводом, который хорошо "связывается" с программируемыми системами.

Остановимся на некоторых особенностях импортных электроприводов, используемых на АЗЛК.

Станочные регулируемые электроприводы как постоянного, так и переменного тока в большинстве случаев имеют транзисторные преобразователи, а двигатели выполнены с применением постоянных магнитов.

Электроприводы постоянного тока уступают по количеству электроприводам с синхронными двигателями с постоянными магнитами. Обусловливается это очевидными преимуществами данных электроприводов: отсутствием коллектора, малым моментом инерции, повышенным вращающим моментом.

В одном корпусе с двигателем обычно собираются электромагнитный тормоз, тахогенератор и датчик положения.

Особенностями импортных электроприводов являются также унификация блоков, хорошая диагностика, хорошая приспособленность для работы с программируемыми системами управления.

Приведенные примеры показывают высокий уровень внедряемых электроприводов и их широкую гамму, в связи с чем обеспечение их работоспособности представляет сложную задачу. Для ее решения в объединении созданы подразделения, оснащенные специальным оборудованием, приборами и стендами. Для работы в этих подразделениях привлекаются специалисты с высшим образованием, имеющие опыт практической работы с современными электроприводами.

УДК 621.382.233.026-83::621.313.333

## **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ТИРИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

В. А. АНИСИМОВ, А. О. ГОРНОВ, М. Ю. КАТАЕВ,  
Г. В. КАТОЛИКОВ, А. В. КИСЕЛЕВ, А. Л. КОВАЛЕНКО,  
Г. А. КРИКУНЧИК, Ю. В. РОЖАНКОВСКИЙ, А. Э. ТАРАСОВ

**МЭИ, ЗВИ**

Примерно 90 % всей электрической энергии, направляемой на получение механической работы, преобразуется электроприводами с короткозамкну-

тыми асинхронными двигателями. Основная масса этих электроприводов — как эксплуатируемых, так и вновь создаваемых — построена на основе релейно-контакторной аппаратуры с весьма ограниченными возможностями для управления и регулирования потоков энергии в электромеханической системе. В таких электроприводах часть потребляемой энергии не только используется нерационально, но и вызывает появление нежелательных электрических, магнитных, механических и тепловых перегрузок, непосредственно ускоряющих износ элементов электропривода.

Современное состояние силовой полупроводниковой техники позволяет в настоящее время широко применять статические преобразователи для управления асинхронными двигателями. Известны два основных типа преобразователей переменного тока: частоты и напряжения. Первые позволяют решать практически любые задачи по управлению асинхронными двигателями и регулированию их скорости; возможности вторых ограничены, в особенности для регулирования скорости в длительном режиме работы. В то же время по своим массогабаритным и стоимостным показателям преобразователи частоты значительно уступают преобразователям напряжения (по нашим ориентировочным оценкам, примерно в 5–10 раз в зависимости от выполняемых функций). Современные преобразователи переменного напряжения могут быть выполнены в габаритах, сопоставимых с соответствующими им по мощности обычными контактными коммутационными аппаратами (контакторами, пускателями), и в то же время обладать значительно более широкими возможностями для управления асинхронными двигателями.

На протяжении последних 10 лет на кафедре "Автоматизированного электропривода" Московского энергетического института ведутся научно-исследовательские и проектно-конструкторские разработки устройств управления асинхронными двигателями общепромышленных серий на базе тиристорных преобразователей переменного напряжения с расширенными функциональными возможностями.

В статье приведены основные результаты, полученные при разработке и внедрении этих устройств для асинхронных электроприводов различных производственных механизмов.

Упрощенная схема тиристорного преобразователя переменного напряжения показана на рис. 1. За счет изменения напряжения управления  $U_y$  на входе системы импульсно-фазового управления (СИФУ) на выходе преобразователя (входе асинхронного двигателя) получают несинусоидальное симметричное регулируемое по амплитуде напряжение (при постоянной частоте основной гармонической составляющей 50 Гц). Такие преобразователи используются в основном для ограничения пусковых токов и ударных моментов асинхронных

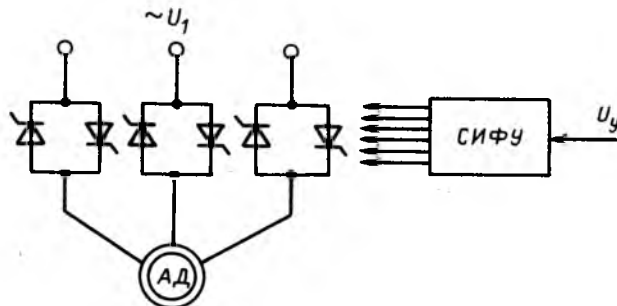


Рис. 1

двигателей с короткозамкнутым ротором и регулирования скорости асинхронных двигателей с фазным ротором. В последнее десятилетие они начали применяться также для повышения энергетических показателей (КПД, коэффициента мощности) асинхронных двигателей, длительно работающих с недогрузкой или с переменной нагрузкой.

Устройства, выполненные по схеме на рис. 1, могут быть использованы также для следующих целей:

- стабилизации напряжения на статоре двигателя;
- стабилизации номинальной частоты вращения;
- выравнивания нагрузок многодвигательных электроприводов;
- симметрирования фазных напряжений или токов;
- сушки обмоток двигателя.

Функциональные возможности тиристорных преобразователей напряжения можно существенно расширить, снабдив СИФУ, как это показано на рис. 2, вторым релейным входом, на который подается модулирующий сигнал  $U_p$ , блокирующий

в определенные промежутки времени прохождение управляющих импульсов к тиристорам преобразователя, в результате чего питание асинхронного двигателя кратковременно прерывается. В общем случае релейный сигнал может быть произвольным: сформированный внешним устройством или полученный на выходе релейного регулятора в замкнутой системе регулирования, изменяющийся во времени по произвольному закону или с определенной частотой и скважностью.

При различных законах модуляции преобразователь напряжения позволяет дополнительно:

- обеспечить электрическое торможение двигателя;
- существенно увеличить момент двигателя при трогании (с одновременным снижением среднего значения пускового тока);
- кратковременно вращать двигатель в прямом и обратном направлениях на пониженной скорости с большими нагрузками, превышающими ее номинальное значение;

реализовать шаговый режим движения ротора; зафиксировать ротор в неподвижном состоянии.

Большинство перечисленных функциональных возможностей реализуется при кратковременных

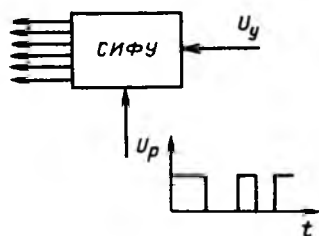


Рис. 2

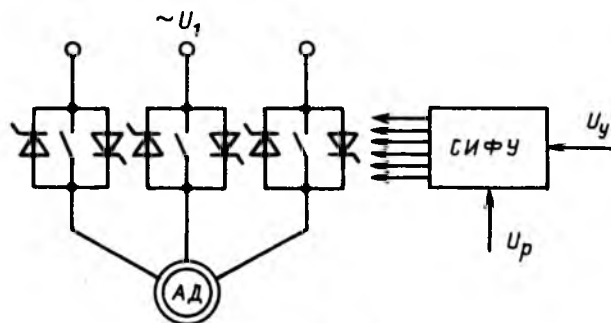


Рис. 3

режимах работы преобразователей либо при длительных режимах с пониженной нагрузкой. В то же время преобразователи по схеме на рис. 1 постоянно включены в цепь двигателя, поэтому они должны быть рассчитаны на полную мощность двигателя. При этом снижается КПД электропривода из-за потерь в преобразователе, а сам преобразователь нуждается в естественном или принудительном теплоотводе.

Расчетные оценки, а затем и эксплуатация опытных образцов показали, что выполнение преобразователя как пускового устройства возможно без специальной системы охлаждения. Тепловой режим тиристорной части удастся обеспечить путем использования перегрузочной способности и теплоемкости тиристоров, теплоемкости шинной системы при минимальной, обеспечиваемой этими элементами теплоотдаче. Это позволяет существенно уменьшить габариты и массу преобразователя при условии, что он шунтируется после окончания пуска. Такие преобразователи должны иметь схему, показанную на рис. 3. В наших разработках для шунтирования тиристоров используются однофазные низковольтные малогабаритные контакторы без дугогасительных устройств. При этом работа тиристоров и контакторов согласуется таким образом, чтобы тиристоры обеспечивали включение, прерывание и регулирование потоков мощности в фазах нагрузки, а контакторы осуществляли гальваническую, практически бестоковую коммутацию.

Блок из двух встречно-параллельно включенных тиристоров, контактора и двухканальной СИФУ образует универсальный модуль, с помощью которого можно получить преобразователи для различных нагрузок: однофазной (например, для питания однофазных двигателей, освещения, сварочных агрегатов, нагревательных устройств) и трехфазной по симметричной (три однофазных модуля) или несимметричной схеме (два однофазных модуля).

Широкий набор функциональных возможностей преобразователя позволяет решать разнообразные задачи для различных производственных механизмов. Как правило, проблемы, возникающие при эксплуатации производственных механизмов, весьма специфичны и определяются многими фактора-

ми: типом механизма, технологическим процессом, условиями эксплуатации, квалификацией обслуживающего персонала, качеством используемого оборудования и т. п. Наш опыт показывает, что конкретные условия эксплуатации и, в частности, пуска асинхронных двигателей, гораздо разнообразнее классических, для которых обычно разрабатываются типовые устройства и алгоритмы пуска.

При применении разработанных нами устройств для модернизации промышленных электроприводов в каждом конкретном случае разработке и внедрению предшествовал этап изучения и исследования действующей установки с целью выявления специфики технологического процесса, условий эксплуатации производственного механизма и их сопоставления с возможностями тиристорного преобразователя напряжения для улучшения работы электропривода и этого механизма.

Эффективное использование преобразователей для расширенного класса реализуемых функций удастся обеспечить при наличии гибкой конструктивной структуры, позволяющей исключать избыточные функции элементов силовой цепи, в значительной степени определяющих их массогабаритные показатели. К таким элементам относятся охладители тиристоров, предохранители, дугогасительные устройства контакторов и сами контакторы, шунтирующие преобразователь.

Ниже приведены примеры использования разработанных нами устройств для модернизации электроприводов различных производственных механизмов.

#### Шаровая мельница

Приводной двигатель	
Тип . . . . .	4AM225M6Y2
Мощность, кВт . . . . .	37
Частота вращения, об/мин . . . . .	980
Напряжение сети, В . . . . .	380

Шаровая мельница предназначена для приготовления формовочной массы при изготовлении керамической плитки. Приводной двигатель оборудован релейно-контакторной системой управления. При загрузке и выгрузке необходимо относительно точно позиционировать барабан мельницы

для того, чтобы приемные и выходные отверстия совпадали с подающим и приемным бункерами. До модернизации эта операция производилась вручную в "толчковом" режиме, для чего оператору приходилось осуществлять 5–6 "толчков" в прямом и обратном направлениях.

После длительной остановки мельницы находящаяся в ней масса спекалась и прилипала к днищу, вследствие чего значительно возрастал момент трогания при пуске. Запустить мельницу в этом случае удавалось лишь в режиме "раскачки" путем многократного включения и отключения двигателя в строго определенные моменты времени.

Тяжелые пусковые режимы работы электропривода шаровых мельниц являлись причиной быстрого выхода из строя двигателей и передаточных устройств.

Для модернизации электропривода шаровых мельниц был разработан преобразователь, позволяющий увеличить момент двигателя при трогании, вращать его в прямом и обратном направлениях при пониженной скорости и ограничивать ток статора в пусковых режимах. В результате применения этого преобразователя позиционирование мельницы осуществляется за одно включение, обеспечен ее гарантированный запуск при спекании формовочной массы, в два раза снижены пусковые токи, устранено проскальзывание ременных передач.

#### Вентиляторы установок кондиционирования

##### Приводные двигатели

Тип .....	4A225M8Y3	4A250S4Y3
Мощность, кВт .....	30	75
Частота вращения, об/мин ..	735	1480
Напряжение сети, В .....	380	380

Основной особенностью вентиляторов является их большой момент инерции по сравнению с собственным моментом инерции приводного двигателя. По этой причине возникают затяжные пусковые режимы (от нескольких секунд до нескольких десятков секунд), характеризующиеся повышенными динамическими усилиями в механических звеньях и значительным шумом, что объясняется резонансными явлениями в самом двигателе и за счет упругих деформаций и проскальзывания клиноременной передачи. В рассматриваемых установках пусковые режимы были столь неблагоприятными, что при нескольких ее пусках подряд двигатели выходили из строя. Дополнительные неблагоприятные условия эксплуатации возникали из-за повышенного напряжения на питающем фидере в нерабочее время, вследствие чего существенно увеличивались потери в двигателе и его нагрев. Для этих установок применен преобразователь, обеспечивающий ограничение напряжения, подводимого к статору, со специальным законом изменения во времени напряжения управления  $U_y$

преобразователя при пусках вентилятора. Благодаря этому уменьшился нагрев двигателя в рабочем режиме, полностью устранены резонансные явления, возбуждаемые самим двигателем, и значительно ослаблен резонанс, вызываемый упругостью ремней. В итоге снизились вибрация и шум электропривода при пуске, увеличилось примерно в 1,5–2 раза число допустимых пусков подряд.

#### Вентилятор градирни

##### Приводной двигатель

Тип .....	ВАСО 15-23-34У1
Мощность, кВт .....	75
Частота вращения, об/мин .....	178
Напряжение сети, В .....	380

Градирня используется для охлаждения технологической воды на предприятии химического производства.

Двигатель вентилятора установлен вертикально внутри градирни, колесо вентилятора расположено непосредственно на валу двигателя. Основная проблема, возникающая при эксплуатации таких вентиляторов, связана с наличием влажной агрессивной окружающей среды.

После длительной остановки вентилятора обмотки двигателя увлажнялись, из-за чего падало сопротивление изоляции и при последующем включении обмотка повреждалась. Ремонт двигателя был связан со значительными материальными затратами, так как необходимо было демонтировать и повторно устанавливать электродвигатель вместе с вентилятором массой 10 т на высоту 25 м. Повторный запуск исправной установки был возможен лишь после паузы длительностью не менее 1 ч. Было выявлено также, что для удобства эксплуатации желательны режимы медленного вращения вентилятора в обратную сторону (для устранения наледи) и стопорения его колеса, вращающегося за счет естественной тяги (для осмотра подшипников).

Для вентилятора градирни разработан преобразователь, обеспечивающий следующие режимы:

- ограничения тока при пуске;
- постоянного прогрева обмоток двигателя при неработающем вентиляторе;
- вращения вентилятора в обратную сторону при малой скорости;
- стопорения колеса вентилятора.

Основными результатами внедрения явились устранение частых пробоев изоляции обмоток, существенное сокращение (в 3–4 раза) паузы при повторном пуске вентилятора и улучшение условий труда для обслуживающего персонала.

#### Свайные вибропогружатели

##### Приводные двигатели

Тип .....	AI355S4Y3	AI355M4Y3
Мощность, кВт .....	132	200
Частота вращения, об/мин ..	1485	1485
Напряжение сети, В .....	380	380

Свайные вибропогружатели создают вибрационные усилия вращением эксцентрически расположенных относительно вала массивных тел. При отключении двигателя эти тела за счет силы тяжести поворачиваются в крайнее нижнее положение, которое является наиболее неблагоприятным с точки зрения запуска установки. По этой причине для привода вибропогружателей часто используются асинхронные двигатели с фазным ротором и реостатным управлением. Из-за сильных вибраций срок службы таких двигателей не превышал нескольких десятков часов.

Замена двигателей с фазным ротором асинхронными короткозамкнутыми возможна лишь при увеличении их пускового момента и одновременном ограничении пускового тока. Последнее условие вызвано соизмеримой мощностью источника питания (трансформатора или дизель-генераторной установки) и длинной кабельной линией. Для решения поставленной задачи использован специальный алгоритм управления асинхронным двигателем, позволяющий производить пуск с предварительной форсировкой магнитного потока. При этом удалось увеличить пусковой момент двигателя в 2–2,5 раза при одновременном уменьшении среднего тока статора примерно в два раза по сравнению с соответствующими значениями для обычной схемы подключения двигателя к сети с номинальным напряжением.

#### Штамповочные прессы

##### Приводные двигатели

Тип .....	4A132M4УЗ	AK2-82-4
Мощность, кВт .....	11	30
Частота вращения, об/мин ..	1450	735
Напряжение сети, В .....	380	380

Особенностью штамповочных прессов является работа с переменной нагрузкой, когда интервалы времени нагружения (когда штамп выдавливает деталь) чередуется с паузами, когда производится смена заготовок и инерционный маховик накапливает энергию для следующего удара. Маховик, сглаживающий пульсации нагрузки на валу двигателя, вызывает затяжной пусковой режим прессы. Для ограничения пусковых токов в рассматриваемых случаях использовался способ переключения обмоток двигателя со звезды на треугольник.

При штамповании мелких деталей и при больших паузах для смены деталей пресс работает с неполной средней (за цикл) нагрузкой, поэтому его энергетические показатели (КПД, коэффициент мощности) ниже (в особенности, последний) соответствующих номинальных значений. Применение преобразователя с системой автоматического регулирования напряжения на статоре двигателя в функции его загрузки позволило сократить непроизводительный расход активной и реактивной энергии. Эффект получен путем снижения напряжения на двигателе в периоды холостого хода.

Для прессы с двигателем мощностью 11 кВт сокращено потребление активной энергии на 4,5 %, реактивной — на 65 %. Для прессы с двигателем мощностью 30 кВт соответствующие показатели составили 3 % и 45 %.

Применение преобразователя позволило осуществлять пуски с ограничением по току взамен переключения обмоток статора со звезды на треугольник.

Описанные примеры лишь выборочно иллюстрируют разнообразные возможности тиристорных преобразователей переменного напряжения. У нас имеются положительные результаты применения рассматриваемых устройств для других производственных механизмов: компрессора, погружного насоса, центробежного сепаратора, турбовоздуходувки, траверсной тележки, экструдера.

Во всех перечисленных случаях удалось устранить либо ослабить неблагоприятные воздействия на элементы электропривода и иногда сформировать не предусмотренные ранее режимы, которые позволили облегчить условия эксплуатации электроприводов и (или) создали дополнительные удобства для обслуживающего персонала.

#### Выводы

Тиристорный преобразователь переменного напряжения обладает более широкими возможностями для управления асинхронными двигателями, чем это принято считать в настоящее время. С его помощью можно не только улучшить "штатные" условия работы электроприводов, но и создать непривычные для обычного короткозамкнутого асинхронного двигателя режимы, улучшающие условия эксплуатации многих производственных механизмов. Опыт указанных разработок использован акционерным обществом "Завод им. Вл. Ильича" (г. Москва), которое выпускает промышленные образцы преобразователей напряжения с расширенными функциональными возможностями для управления асинхронными двигателями мощностью до 250 кВт.

#### Список литературы

1. Плавный пуск и торможение погружных насосных агрегатов / Л. Б. Масандилов, Ю. В. Рожанковский, М. Т. Стомахина, Е. Л. Колосова // Электротехника. 1990. № 4.
2. Анисимов В. А., Горнов А. О., Рожанковский Ю. В. Особенности тиристорных преобразователей напряжения для электроприводов массового применения // Промышленная энергетика. 1990. № 10.
3. Анисимов В. А., Горнов А. О., Рожанковский Ю. В. К проблеме повышения энергетической и функциональной эффективности массовых асинхронных электроприводов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1990. № 5.
4. Родригес Х. Р., Рожанковский Ю. В. Экономия электроэнергии при регулировании частоты вращения центробежных нагнетателей // Промышленная энергетика. 1991. № 9.

УДК 62-83.06.06

## НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

(по материалам международных  
выставок в Москве)

Б. З. БРЕЙТЕР, Я. Б. РОЗМАН

ЭНИМС

На международных выставках "Электро-92" и "Привод-91", проходивших в Москве, принимали участие известные европейские фирмы: "ABB Strömberg" (Финляндия); отделение "Reliance Electric" (Австрия); "Baumüller", "Bosch", "Indramat", "Elpro AG", "Schorch", "Siemens" (ФРГ), "Electrotehnica" (Румыния).

Электроприводы (ЭП) постоянного тока фирмы "Electrotehnica" имеют тиристорные силовые блоки. Максимальная мощность ЭП главного движения 39 кВт. Дискретность датчиков положения до 4000 дискрет на 1 оборот. Для главного привода планшайбы токарно-карусельных станков поставляются приводы мощностью до 60 кВт со скоростями 650—1950 об/мин. Приводы подачи собраны по трех- и шестипульсным схемам, диапазон регулирования скорости 1:20 000. Используется PID — закон регулирования. Предлагается пять типоразмеров преобразователей серии CMTREM-S. Для многокоординатных станков рекомендуются тиристорные преобразователи серии VAMC, насчитывающие 13 типоразмеров.

Электроприводы постоянного тока для промышленных роботов серии VRM и VRM1 состоят из тиристорных преобразователей, силовых трансформаторов, дросселя и двигателя постоянного тока. Кроме того, они поставляются с задатчиками скорости, контакторами, устройствами позиционирования. Полоса пропускания 10 Гц. Предусмотрен преобразователь на три координаты. Технические данные электроприводов даны в табл. 1.

Электроприводы переменного тока с асинхронными и вентильными двигателями комплектуются преобразователями частоты с промежуточным звеном постоянного тока. В инверторах, как правило, применена широтно-импульсная модуляция (ШИМ), что, как известно, позволяет улучшить выходные характеристики двигателей. В большинстве электроприводов для инверторов используются транзисторы, а в приводах большой мощ-

Таблица 1  
Электроприводы постоянного тока фирмы "Electrotehnica"

Модель	Номиналь- ная выход- ная мощ- ность, кВт	Номиналь- ный мо- мент, Н·м	Диапазон регули- рования скорости	Габариты преобра- зователя, мм
VRM	2—5		1:1000	401×259×137
VRM1	1—2,2		1:1000	161×267×177
VAMS		0,08—25	1:5000	270×290×270
CMTREM-S		3—18	1:20 000	285×275×230

ности Sami star (табл. 2) — запираемые тиристоры. Благодаря этому достигнуты высокие энергетические, динамические и массогабаритные показатели.

В рассмотренных электроприводах применены в основном два вида торможения. При нерекуперативном торможении энергия рассеивается главным образом в балластном резисторе, подключаемом временно параллельно на вход инвертора посредством специального транзистора (или тиристора). Этот способ торможения реализован, в частности, в электроприводе Servodyn-SPM. Широко регулируемые электроприводы имеют, как правило, частотное рекуперативное торможение, что, помимо снижения потерь в приводе, позволяет получить высокие динамические свойства. В электроприводе Simodrive 650 применена оригинальная схема с одним управляемым выпрямителем, но с двумя дополнительными вентилями и с двумя транзисторами. В электроприводе BVC/BVN включены параллельно диодный выпрямитель и обратный управляемый выпрямитель на транзисторах, что снижает количество управляемых приборов в схеме, но предъявляет высокие требования по допустимому напряжению к транзисторам обратного выпрямителя.

Специальные двигатели для электроприводов переменного тока оснащены пристроенными датчиками положения или скорости, встроенной тепловой защитой и независимой вентиляцией. Кроме того, эти двигатели имеют большой критический момент для обеспечения кратковременной перегрузки во всем диапазоне регулирования, высокое отношение момента к моменту инерции, что способствует высоким динамическим показателям электропривода. Благодаря низкому уровню шума и вибрации и относительно небольшим габаритным размерам двигатели можно устанавливать непосредственно на механизм. Специальные двига-



## Асинхронные электроприводы

Фирма, страна	Модель	Номинальная выходная мощность, кВт·А (двигателя, кВт)	Диапазон регулирования (максимальная частота), Гц	Структура	Преобразователь	
					Габариты, мм	Масса, кг
"Elpro AG", ФРГ	PM-220/240,	0,6—4,2	(400)	В—И	132×256×87	
	PML-230				216×343×166	
	PMB-400, PMBL-400	4—11,9	(400)	В—И	245×365×215	5,5
					216×343×166	10
	VC-400	12—42	(400)	В—И	272×385×260	14
					272×385×294	21
"Electrotehnica", Румыния	CSFV, CSFVS	5—270	1—40 (200)	В—И	515×980×360	70
					515×1220×360	112
					640×1200×450	250
					1550×2100×750	1000
					800×2080×900	400
					900×2080×900	800
"Schorch", ФРГ	CSFS	50—200	1:312,5(125)	В—И	2200×1920×600	
	CMSF001MD	0,75	1:4 (200)	В—И	380×270×225	
	VCE	0,75—15	1:10 (50)	В—И		
	Microverter	1,2—2,8	1:20 (440)	В—И	262×183×137	0,85—2,8
	Microverter-D	1,4—15	(440)	В—И	340×190×165	4,1—9,5
		20—39	(480)	В—И	330×522×295	22—24
"Siemens", ФРГ	Miniverter-D	27—152	1:40, 1:100	В—И	360×600×350	36—110
					528×1100×435	
	Maxiverter-D	170—660	1:20, 1:100	В—И	1200×2000×600	560—980
					1800×2000×600	
	Monoverter	30—3200	1:10, 1:50(50:100)		450×1050×500	235
					5100×2000×800	2500
"Bosch", ФРГ	Servodyn-SPM	3,5—63	1:300 (300)	В—И ШИМ		
"Baumüller", ФРГ	BUC/BUH	3—20	1:500 (300)	В(УВ)—ШИМ		11+17
"Indramat", ФРГ	2AD	(3—22)	1:10 000 000	В—И	255×415×485	
		(22—52)			460×1000×320	
"Siemens", ФРГ	Symodrive 650	(3:7—63)	1:500 000	УВ—И	460×460×302	40
				ШИМ	608×1230×320	220
					700×1600×460	
"Reliance Electric", Австрия	Invertron VTI	(7,5—110)	1:480(240)	В—И ШИМ	320×590×370	
"ABB Strömberg", Финляндия	Sami ministar	(2,2—45)	1:240(120)	В—И ШИМ	300×428×290	20
					600×770×290	85
					700×1400×400	160
					2255×2215×636	2400

тели для станочных электроприводов имеют большой диапазон регулирования скорости выше номинальной, в значительной части этого диапазона осуществляется регулирование с постоянной мощностью, а, начиная с некоторой скорости и до максимальной, допустимая мощность снижается. Благодаря внутреннему интенсивному охлаждению снижены габариты двигателей. Специальные двигатели выпускают фирмы "Baumüller", "Bosch", "Indramat", "Siemens", "Schorch" и другие. Для снижения шума двигателя в преобразователях фирмы "Elpro AG" используется переменная ча-

стота модуляции инвертора (от 7,2 до 14,4 кГц; от 3,3 до 5,6; от 1,9 до 7,8 кГц для отдельных типов-размеров преобразователей с разными мощностями двигателей). В номинальных данных двигателей фирмы "Schorch" фигурируют дополнительные потери от несинусоидального тока.

Системы автоматического регулирования в различных асинхронных электроприводах (табл. 2) имеют различную степень сложности в зависимости от диапазона регулирования и назначения. В электроприводах Sami ministar компенсируется падение напряжения на активном сопротивлении

статора, есть исполнение с компенсацией скольжения двигателя.

Следует отметить использование микропроцессорной техники для систем управления и регулирования. Реализованы высококачественные системы регулирования с применением векторного управления.

Достигнуты глубокие диапазоны регулирования скорости (Simodrive 650, 2AD) с режимами позиционирования у асинхронных электроприводов главного движения станков, что является сложной технической задачей.

Кроме того, в микропроцессорных электроприводах реализованы новые функции: задание (ввод) параметров двигателя и желаемых характеристик электропривода, диагностирование, ввод основных показателей на дисплей, связь с ЭВМ верхнего уровня. В ряде электроприводов фирм "ABB Strömberg", "Bosch" и других имеется сигнализация о неисправностях. Электропривод фирмы "Bosch" выдает сигналы для обработки в программируемых контроллерах, кроме того, возможен вывод параметров в аналоговом виде: скорость, ток двигателя, активная мощность; преобразователь частоты PM(B)L-230/PMBL-400 имеет последовательный интерфейс для сопряжения с системами управления высшего уровня. В схеме управления преобразователя VC 400 используется 16-разрядный микропроцессор, обеспечивающий все виды защит, сигнализацию, обработку аналоговых и цифровых входных сигналов, выдачу аналоговых и цифровых выходных сигналов.

Для повышения надежности электроприводов применяется несколько видов защиты, в том числе И — контроль двигателя (фирма "Elpro AG"); используется гальваническое разделение цепей управления с силовыми цепями. Кроме того, выполняется контроль печатных плат на промежуточных и конечной стадиях их изготовления с помощью ЭВМ, термостарение преобразователя ("Sami"), во время которого имитируются различные режимы эксплуатации.

Преобразователи частоты типа PM(B)L-230/PMBL-400 (табл. 2) предназначены для работы с однофазными двигателями мощностью 1,5—3,0 кВт.

Области применения преобразователей частоты PM(B)L-230/PMBL-400: насосы, кондиционеры, подъемно-транспортное оборудование, химическое машиностроение, вентиляторы, водоснабжение, мешалки, текстильные и другие машины. Преобразователи CMSF001MD используются в ЭП настольных станков, центрифуг, конвейеров, упаковочных машин, дозаторов, мешалок.

Силовая часть электроприводов фирмы "Schorch" выполнена в двух вариантах: в первом варианте она состоит из неуправляемого выпрямителя, конденсаторного фильтра, инвертора напряжения на транзисторах или тиристорах; во втором — из тиристорного выпрямителя, индуктивно-

го фильтра, тиристорного инвертора тока. Первый вариант предполагает многодвигательный ЭП, а второй — однодвигательный. Диапазон номинальных мощностей двигателей данной фирмы 1,0—4000 кВт, номинальные скорости от 1000 до 16 000 об/мин. Преобразователи комплектуются силовыми трансформаторами, которые размещены в общем электрошкафу с преобразователями.

Электроприводы с вентильными двигателями серий ААМС и VАМС фирмы "Electrotehnica" содержат транзисторный преобразователь, на выходе которого формируется синусоидальный ток. Синхронный двигатель с постоянными магнитами комплектуется тахогенератором и датчиком положения ротора. Момент двигателя от 0,08 до 47 Н·м. Диапазон регулирования скорости 1:10 000. Габаритные размеры преобразователя на четыре координаты 446×520×360 мм, масса от 8 до 15 кг.

УДК 621.316.76-83.001.5

## МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ-РЕГУЛЯТОРЫ С ИМПУЛЬСНЫМ ДАТЧИКОМ

А. В. БИРЮКОВ, Л. А. ПРОКОФЬЕВА, Н. Э. ФАДЕЕВА,  
В. М. ХУТОРЕЦКИЙ

НПО "Электропривод"

Усиление вычислительной мощности электроприводов при использовании микропроцессорной элементной базы позволяет повысить производительность и качество выпускаемой с их помощью продукции за счет более точного вычисления и задания регулирующих воздействий на координаты электропривода, а также рационального учета особенностей управляемого технологического механизма в информационной части такого привода. Кроме того, одна и та же микропроцессорная аппаратура привода программными средствами может быть специализирована для многих применений.

Микропроцессорные измерители-регуляторы предназначены для работы по сигналам первичного импульсного датчика (например, фотоэлектрического, типа ПДФ-5) либо в автономном режиме цифровых измерителей-индикаторов скорости и положения рабочих органов технологического механизма, либо в качестве измерителей-регуляторов координат электропривода в сочетании с промышленными серийно выпускаемыми аналоговыми и цифроаналоговыми приводами любой мощности.

Основные функции и технические данные, которые могут быть реализованы измерителями-регуляторами в различных сочетаниях и при использовании импульсных датчиков с различными параметрами:

предварительная обработка сигналов импульсного датчика частотой до 100 кГц с их гальванической развязкой, выделением достоверных сигналов, учетверением числа, формированием длительности и определением направления вращения по каждому очередному учетверенному импульсу;

цифровое измерение и индикация скорости с точностью до 0,001–0,1 % в диапазоне измеряемых скоростей от 1 до 3000 об/мин при времени усреднения от 0,01 до 1,0 с;

цифровое задание скорости в переходных и стационарных режимах с высокой стабильностью (с возможностью его цифроаналогового преобразования) в диапазоне от 3 до 3000 об/мин с дискретностью до 1 об/мин и диапазоном задания времени разгона и торможения электропривода с максимальной скоростью до 0 — от 0,5 до 15 с с дискретностью 0,1 с;

оперативная коррекция задания скорости "больше — меньше" в диапазоне от 0 до  $\pm 3000$  об/мин с темпом в 1 дискрету за 0,25 с;

интегральная коррекция среднего значения скорости электропривода со статической погрешностью не более 0,01–0,05 % относительно номинальной скорости при времени усреднения 1 с;

цифровое измерение и индикация положения рабочих органов промышленных механизмов (до трех) при наибольшей числовой емкости задаваемых и индицируемых параметров 5 декад;

числовая обработка результатов измерения и вводимых данных в соответствии с технологическими требованиями при наибольшей числовой емкости вычислительных операций 32 двоичных разряда;

одновременная индикация измеренных и задаваемых величин;

сохранение информации об измеренном положении рабочего органа при перерывах питания не менее 3600 с;

установка исходного состояния, наладочных параметров и оперативных заданий в измеритель-регулятор с помощью объектно-ориентированного пульта, в том числе, оперативная адаптация к варьируемым в широком диапазоне параметрам импульсных датчиков и электродвигателей;

контроль и сигнализация правильности действий человека-оператора, достоверности результатов измерения, правильности функционирования датчика и измерителя в автономном режиме и в составе электропривода;

связь с ЭВМ верхнего уровня иерархии по последовательному интерфейсу "20 мА токовая петля" в двоичном коде по специальному протоколу.

Элементная база — однокристалльная микро-

ЭВМ типа КР1816ВЕ35. Общий объем памяти программ 4 Кбайт.

В состав постоянной части аппаратных средств измерителей-регуляторов входят: ячейка обработки сигналов импульсного датчика (ЯИД), ячейка расширения (ЯР), ячейка устройства связи с объектом (УСО), пульт цифрового устройства (ПЦУ), а также объединяющая кассета с монтажом. В состав переменной части входит система электропитания, набор источников питания которой зависит от требуемого набора выполняемых функций и внешних соединений измерителя-регулятора.

Ячейка обработки сигналов является в данном устройстве ведущей процессорной, обрабатывающей сигналы импульсного датчика и пультные сигналы, выполняющей вычислительные операции и координацию работы остальных аппаратных средств.

Ячейка расширения дополняет ячейку ЯИД, увеличивая объем памяти, число устройств ввода-вывода и скорость вычислений последней, а также в необходимых случаях сохраняет информацию при перерывах питания.

Ячейка устройства связи включает в себя гальванические развязки и цифроаналоговые преобразователи.

Пульт цифрового устройства содержит кнопочное поле, набор цифровых и дискретных индикаторов, программируемое интерфейсное устройство.

Ячейки ЯИД, ЯР, УСО, пульт ПЦУ и импульсный датчик типа ПДФ-5 питаются пятью стабилизированными гальванически развязанными от сети напряжениями постоянного тока. Каждый источник питания гальванически отделен от своего корпуса, от кассеты цифрового устройства и аналоговой части электропривода.

Программная часть измерителей-регуляторов реализуется на языке ассемблера применительно к микроЭВМ типа КР1816ВЕ35.

В качестве примеров использования измерителей-регуляторов на рис. 1, 2 показаны два изде-



Рис. 1. Микропроцессорный измеритель-регулятор скорости



Рис. 2. Микропроцессорный измеритель положения

лия: микропроцессорный измеритель-регулятор скорости электропривода (цифровое устройство ЦУ для высокоточного электропривода) и микропроцессорный измеритель положения (МИП) с расширенными вычислительными возможностями).

Организация-разработчик — НПО "Электропривод".

Адрес: 107078, Москва, ул. Садовая-Спасская, д. 1/2, корп. 2.

Телефон: 208-29-20.

УДК 621.316.544.1.001.8

## МАЛЫЙ ПРОГРАММИРУЕМЫЙ КОНТРОЛЛЕР С УДАЛЕННЫМИ БЛОКАМИ ВВОДА-ВЫВОДА

В. Д. ТИМОШЕНКО, П. Г. ВАЙНШТЕЙН,  
П. М. ЛИМОРЕНКО

НПО "Электропривод"

**Общие сведения.** Малый программируемый контроллер типа БНХХХ.ХХХХХ.ХХХХХ УХЛ4 (далее КП-3) предназначен для систем управления электроприводом и локальных систем автоматики в различных областях народного хозяйства.

Контроллер КП-3 представляет собой программно управляемый автомат для преобразований цифровых и аналоговых входных сигналов в выходные сигналы управления объектом, в соответствии с алгоритмом функционирования объекта управления.

**Условия эксплуатации.** Номинальные параметры климатических факторов по ГОСТ 15150-69; температура окружающей среды от  $-5^{\circ}$  до  $+40^{\circ}$  °С; относительная влажность воздуха до 80 % при температуре  $25^{\circ}$  °С; тип атмосферы — 1; высота

установки изделия над уровнем моря — не более 2000 м. Окружающая среда должна быть невзрывоопасной, не содержащей агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, не насыщенной токопроводящей пылью и водяными парами.

Воздействие механических нагрузок по группе М6 ГОСТ 17516-72 при вибрационных нагрузках: частота до 100 Гц, ускорение до 1 g.

Требования по технике безопасности по ГОСТ 12.2.007.7-83.

**Технические данные.** Программируемый контроллер КП-3 имеет гибкую структуру, которая создается на основе блока микроконтроллера (БМК); блока ввода дискретных сигналов (БВ); блока вывода дискретных сигналов (БК); блока доступа (БД); пульта загрузки программ (ПЗП).

Контроллер КП-3 полностью совместим с контроллером КП-2 по системе команд, языку программирования и обеспечивает непосредственное подключение к локальной сети контроллера КП-2.

Контроллер КП-3 представляет собой свободно наращиваемую блочную систему, основным узлом которой является БМК.

Каждый БМК имеет собственный вычислитель на базе однокристальной микроЭВМ КР1816ВЕ31, двенадцать каналов ввода дискретных сигналов, четыре канала ввода аналоговых сигналов тока и восемь каналов вывода дискретных сигналов.

Каналы ввода дискретных сигналов БМК обеспечивают ввод дискретных сигналов в диапазоне 12—220 В постоянного и переменного тока.

Каналы ввода аналоговых сигналов БМК обеспечивают преобразование сигналов тока в диапазоне 0—5 мА в восьмиразрядный двоичный код.

Каналы вывода дискретных сигналов БМК обеспечивают коммутацию цепей постоянного и переменного тока. В качестве элементов коммутации используются герконовые реле РПГ8.

Каналы ввода-вывода БМК объединены в группы по четыре канала в каждой. Все группы гальванически развязаны друг от друга и цифровой части БМК, напряжение изоляции обеспечивается на уровне 1500 В.

В состав БМК входят два канала последовательного интерфейса, обеспечивающие подключение к нему устройств, соответствующих стандарту RS232C. Первый последовательный канал предназначен для подключения БМК к локальной сети контроллеров или к ЭВМ верхнего уровня.

Объем системного программного обеспечения БМК 16 Кбайт, объем оперативной энергонезависимой памяти, обеспечивающей сохранение программы пользователя в течение двух месяцев, 8 Кбайт.

Увеличение количества входов и выходов контроллера осуществляется путем подключения к БМК блоков БВ и БК. В максимальном наборе один БМК способен обрабатывать до 128 входных и 128 выходных переменных. Подключение блоков

БВ и БК к БПК осуществляется с помощью пятипроводного кабеля, причем расстояние между БМК и блоками ввода-вывода может достигать 20 м, что позволяет создавать систему управления с максимальным приближением устройств управления к исполнительным механизмам объекта.

Каждый блок ввода (БВ) содержит восемь каналов ввода дискретных сигналов следующих уровней 12, 24, 48, 110 и 220 В постоянного и переменного тока. Каналы ввода блока объединены в группы по четыре, напряжение изоляции между группами 1500 В.

Каждый блок вывода содержит восемь каналов вывода дискретных сигналов, объединенных в группы по четыре, напряжение изоляции между группами 1500 В. В состав КП-3 входят блоки вывода сигналов постоянного (12–48 В, 2 А) тока, переменного тока (220 В, 2 А) и универсальные, использующие в качестве коммутирующих элементов герконовые реле РПГ-2.

В случае создания систем управления, в которых количество входных и выходных сигналов превышает 256, возможно наращивание числа входов-выходов путем объединения нескольких БМК с подключенными к ним БВ и БК в локальную сеть. Максимальное количество БМК в сети — 8, наибольшее расстояние между ними 1000 м.

Габаритные размеры блоков: БМК — 300×250×70 мм; БВ — 180×110×40 мм; БК — 180×110×409 мм; ПЗП — 180×130×30 мм.

Напряжение питания 220 В переменного тока 50 Гц. Потребляемая мощность — не более 100 В·А. Масса: БМК — 2,5 кг; БВ — 0,4 кг; БК — 0,7 кг; БД — 0,4 кг; ПЗП — 0,4 кг.

На рис. 1 приведена структурная схема контроллера КП-3, на рис. 2 — структурная схема локальной сети программируемых контроллеров КП-3.

**Принцип действия.** Каждый блок микроконтроллера (БМК) программируемого контроллера КП-3 реализует алгоритм управления по программе, составленной на языке релейно-контактной символики и хранящейся в памяти в течение всей работы.

Для приема сигналов от объекта и выдачи сигналов на объект входы и выходы БМК, БВ и БК соединяются кабелями с объектом управления (рис. 1).

Если несколько контроллеров должны работать совместно, то они объединяются при помощи блоков доступа (БД) и линии связи в локальную сеть (рис. 2). Локальная сеть обеспечивает высокоскоростной обмен частью внутренних переменных и позволяет использовать в одной системе управления контроллеры КП-2 и КП-3 в соответствии с требованиями создаваемой системы.

Каждый БМК, входящий в состав локальной сети контроллеров, может в зависимости от положения переключателя режима находиться в одном из режимов: "ЗАГРУЗКА" или "РАБОТА". Для

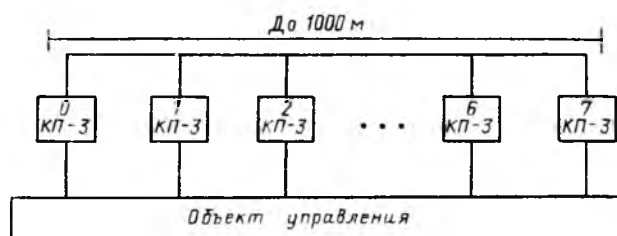


Рис. 1



Рис. 2

отладки программы пользователя предусмотрен режим "ОТЛАДКА", переход в который осуществляется путем выдачи специальной команды пульта загрузки программ.

Режим "ЗАГРУЗКА" предназначен для ввода, просмотра и редактирования программы пользователя, все операции выполняются с помощью ПЗП.

В режиме "РАБОТА" осуществляется исполнение программы пользователя. Рабочий цикл БМК состоит из трех фаз: ввода фотографии объекта; исполнения программы пользователя; вывода результата.

В первой фазе вводятся входные переменные, определяющие состояние объекта, и их значение запоминается в таблице состояния входов. При использовании БМК в составе локальной сети в таблицу состояния входов подставляются также значения сетевых переменных. Затем следует фаза исполнения программы пользователя, в результате которой по заданному пользователем алгоритму формируются значения выходных переменных в таблице выходов. В последней фазе выводится результат в каналы вывода БМК и БК.

В режиме "ОТЛАДКА" исполняются две первые фазы режима "РАБОТА", последняя фаза пропускается, таким образом пользователю предоставляется возможность осуществить пробный прогон программы с учетом состояния объекта, но без выдачи на него управляющих сигналов.

**Комплектность поставки.** В комплект поставки КП-3 входят: блок микроконтроллера БМК; блоки вывода БК; блоки ввода БВ, блок доступа БД; пульт загрузки программ ПЗП; комплект ЗИП; эксплуатационная документация.

*По всем вопросам, касающимся применения, приобретения и эксплуатации программируемых контроллеров КП-2, КП-3, обращаться по адресу: г. Москва, ул. Садово-Спаская, д. 1/2, к. 2, НПО "Электропривод", отдел 19 или по телефонам: (095) 208-28-04, 208-24-25, 208-26-03.*

# РАЗРАБОТКИ НПО "ЭЛЕКТРОПРИВОД"

НПО "Электропривод" разрабатывает и изготавливает средства и системы электропривода для ведущих отраслей производства – металлургического, целлюлозно-бумажного, горно-топливного, сельскохозяйственного, коммунального и др.

Большая часть разработанных электроприводов надежно эксплуатируется на объектах и положительно оценивается эксплуатационным персоналом.

В настоящем номере журнала публикуется информация о небольшой части разработок НПО "Электропривод", предлагаемых для использования в промышленных установках.

Подробную информацию о разработках НПО "Электропривод" можно получить по адресу:

107078, Москва, Садовая-Спасская ул., д. 1/2, корп. 2.

Контактные телефоны:

(095) 280-81-44, 208-21-81.

Телетайп: АТ 113339 ДУГА.

Факс: (095) 208 26 33.

## ЛОКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

### ПРОГРАММИРУЕМЫЙ КОНТРОЛЛЕР КП-2

КП-2 — новая усовершенствованная модель из серии разрабатываемых в НИИ Электропривод программируемых контроллеров. КП-2 выпускается серийно взамен контроллеров КП-1, КП-1М и представляет собой мультипроцессорное устройство, предназначенное для создания локальных систем контроля и управления оборудованием в металлургии, машиностроении, агропромышленном комплексе и других отраслях.

По сравнению с предыдущими моделями КП-2 — это:

расширенный язык релейно-контактной символики (ЯРКС), включающий арифметические и булевские операции;

расширенные функциональные возможности за счет применения интеллектуальных модулей — позиционирования, ввода число-импульсных сигналов и других, подключаемых так же, как и обычные модули

ввода-вывода;

возможность подключения цветного видеомонитора для отображения мнемосхем и динамической информации;

возможность объединения в локальную сеть по двухпроводной высокоскоростной линии связи;

возможность подключения ПЭВМ для отладки и загрузки программ;

меньшие габариты и масса.

КП-2 выпускается в базовом варианте в виде автономного подвесного блока ввода-вывода (БВВ) с габаритными размерами 700×600×400 мм и в составе низковольтных комплектных устройств (НКУ).

#### Основные технические данные

Напряжение питания, В . . . . .	переменное 220
Частота, Гц . . . . .	50
Температура окружающей среды, °С . . . . .	–5 до +40
Влажность окружающей среды . . . . .	80 % отн. вл. при 25 °С
Степень защиты . . . . .	IP51
Центральный процессор . . . . .	KP1816 BE31
Максимальное число релейных входов-выходов . . . . .	256
Емкость ОЗУ, Кбайт . . . . .	16
Объем системного обеспечения, Кбайт . . . . .	48
Длительность рабочего цикла . . . . .	5 мс на 1 Кбайт операторов ЯРКС
Скорость обмена по локальной сети, кбод . . . . .	128
Скорость обмена при связи с ПЭВМ, бод . . . . .	9600
Потребляемая мощность, Вт, не более . . . . .	140
Рассеиваемая мощность с подключенной нагрузкой, Вт, не более . . . . .	300
Масса с полным набором модулей ввода-вывода, кг, не более . . . . .	50



**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДУЛИ КП-2 (вычислители модулей выполнены на однокристальной микроЭВМ КР1816ВЕ31)**

Наименование	Назначение	Характеристики
Модуль позиционирования (МП)	Точное позиционирование технологического оборудования	<p>Число координат . . . . . 2</p> <p>Диапазон перемещения, мм . . . . . от <math>-2^{22}</math> до <math>2^{22}</math></p> <p>Скорость перемещения, мм/с . . . . . от 0 до <math>2^{14}</math></p>
Модуль число-импульсного ввода (МЧИ)	Ввод число-импульсных сигналов в КП-2	<p>Количество каналов . . . . . 4</p> <p>Максимальная частота следования импульсов, кГц . . . . . 500</p>
Модуль регулирования температуры (МРТ)	Обработка и регистрация заданного температурного режима	<p>Количество каналов . . . . . 4</p> <p>Диапазон изменения температуры, °С . . . . . от <math>-50</math> до <math>200</math></p>
Модуль цветного отображения (МЦО)	Вывод цветного графического изображения на экран цветного видеомонитора	<p>Число строк изображения . . . . . 256</p> <p>Число точек в строке . . . . . 512</p> <p>Число цветов изображения . . . . . 8</p> <p>Число цветов фона . . . . . 8</p>

**СИСТЕМНЫЕ БЛОКИ И МОДУЛИ КП-2**

Наименование	Назначение	Характеристики
Блок клавиатуры (БК)	Ручной ввод программ и данных в КП-2	<p>Число клавиш . . . . . 77</p> <p>Интерфейс . . . . . RS-232</p> <p>Скорость передачи, бод . . . . . 9600</p>
Блок отображения (БО)	Вывод информации из КП-2 на черно-белый видеомонитор "Электроника" МС6105	<p>Размер экрана монитора по диагонали, см . . . . . 31</p> <p>Число строк, поз . . . . . 32</p> <p>Число столбцов, поз . . . . . 82</p>
Блок доступа (БД)	Согласование уровней сигналов в локальной сети контроллеров	—
Блок концентратора (БКЦ)	Согласование протоколов обмена ПЭВМ и локальной сети контроллеров	Протокол обмена с ПЭВМ . . . . . RS-232
Модуль центрального процессора (МЦП)	Хранение и реализация программ управления, тестирование модулей и т. д.	<p>Объем ЗУ, Кбайт . . . . . 64</p> <p>в том числе:</p> <p>системного . . . . . 48</p> <p>оперативного . . . . . 8</p> <p>энергонезависимого . . . . . 8</p>
Модуль источника питания (МИП)	Питание всех модулей, установленных в контроллере	<p>Входное напряжение, В . . . . . 27</p> <p>Допустимая нагрузка, А</p> <p>+5 В . . . . . 10</p> <p>+15 В . . . . . 0,5</p> <p>-15 В . . . . . 0,5</p>
Модуль резервного питания (МРП)	Питание энергонезависимых ЗУ в модулях, установленных в контроллере	Срок хранения, мес . . . . . 6
Модуль программирования (МПП)	Предназначены для записи данных в микросхемы ПЗУ типа К573РФ2, К573РФ4	—

Тип модуля	Количество каналов	Характеристики сигналов
<b>Модули ввода дискретных сигналов постоянного и переменного тока</b>		
ЦВФ 11-А (постоянный и переменный ток)	16	12 В
ЦВФ 11-Б (постоянный и переменный ток)	16	24 В
ЦВФ 11-В (постоянный и переменный ток)	16	48 В
ЦВФ 11-Г (постоянный и переменный ток)	16	110 В
ЦВФ 12 (переменный ток 50 Гц)	16	220 В
<b>Модули вывода дискретных каналов постоянного и переменного тока</b>		
ВЦФ-01 (постоянный ток 12–80 В)	16	2 А
ВЦФ-02 (переменный ток 220 В, 50 Гц)	16	2 А
ВЦФ-03 (реле РПГ 2)	16	0,5 А
ВЦФ-04 (реле РПГ 8)	16	2 А
<b>Модули ввода аналоговых сигналов</b>		
МAB 20 (напряжение)	8	0–10 В
МAB 21 (ток)	8	0–5 мА
<b>Модули ввода сигналов от термосопротивлений</b>		
МAB 24 (термосопротивление ГР 21)	8	от –9 до 750 °С
МAB 25 (термосопротивление ГР 23)	8	от –100 до 200 °С
МAB 26 (термосопротивление ТСМ 50М)	8	от –100 до 200 °С
МAB 27 (термосопротивление ТСМ 50 П)	8	от –100 до 750 °С
<b>Модули ввода сигналов от термопар</b>		
МТП А1 (термопара ТВР)	8	от 0 до 1300 °С
МТП S (термопара ТПП)	8	от 0 до 1600 °С
МТП К (термопара ТХА)	8	от –200 до 1300 °С
МТП L (термопара ТХК)	8	от –200 до 770 °С
<b>Модуль вывода аналоговых сигналов</b>		
МВА 30 (напряжение)	2	–10 – +10 В
МВА 31 (ток)	8	0–5 мА

## "П Л А З М А"

### УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ, МЕДИЦИНСКОЙ, ПИЩЕВОЙ, ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

#### Области применения

В различных отраслях народного хозяйства для привода агрегатов, машин и механизмов применяются асинхронные трехфазные короткозамкнутые электродвигатели.

В зависимости от технологического процесса требуются плавный пуск, плавный останов управляемого механизма, а зачастую и регулирование скорости вращения как плавное, так и дискретное.

Перечисленные операции в массовых электроприводах затруднены из-за сложности, дороговизны и больших габаритных размеров традиционных систем электроприводов с частотным способом управления. Устройство "ПЛАЗМА" лишено этих недостатков.

При разработке электропривода наиболее часто встречается задача формирования пусковых и тормозных режимов, регулирования частоты вращения в небольшом диапазоне при кратковремен-

ных режимах с последующей работой асинхронного двигателя на естественной механической характеристике. Для этой цели в условиях массового применения более всего подходят маловентильные тиристорные преобразователи с естественной коммутацией, которыми снабжена "ПЛАЗМА".

Это устройство управления предназначено для механизмов, мощность электропривода которых не превышает 10 кВт с вентиляторной нагрузочной характеристикой:

перемешивающие устройства в жидких средах для химической промышленности;

вентиляторы и механизмы с вентиляторной нагрузкой;

центробежные насосы;

аппараты фракционирования для медицинской промышленности.

Применение в данном устройстве микропроцессорных средств управления позволяет использовать его в качестве автоматического устройства управления технологическими процессами как в программно временном режиме, так и от воздействия различных внешних возмущающих параметров (температура, давление, влажность, освещенность и т. д.).

В устройстве "ПЛАЗМА" предусмотрена возможность в процессе эксплуатации гибкого перепрограммирования параметров.

Применение данного устройства не ограничено для выше названных областей, так как снабжено аппаратными средствами, позволяющими использовать его для коммутации как силовых сетей (включение, отключение, останов механизма, аварийное отключение механизма), так и слаботочных (сигналы для индикации, сигналы управления).

Устройство "ПЛАЗМА" имеет возможность обрабатывать до 4 аналоговых и 15 дискретных выходных сигналов, может являться программируемым контроллером.

#### Технические характеристики

Номинальное напряжение сети, В . . . . .	380+38
	380-57



Номинальная частота сети, Гц . . . . .	50+1
Номинальный ток, А . . . . .	30
Номинальный момент, Н·м . . . . .	5,26
Пусковой момент, Н·м . . . . .	15,78
Номинальная частота вращения, об/мин . . . .	3000(1500)
Выходы:	
аналоговые, шт . . . . .	4
цифровые, шт . . . . .	15
Сигналы:	
аналоговые, В . . . . .	0-10
цифровые:	
логический "0", В . . . . .	0,4
логическая "1", В . . . . .	2,4
Мощность управляемого электродвигателя, кВт	До 10
Диапазон регулирования частоты вращения	1/10
Число ступеней регулирования скорости вращения электродвигателя . . . . .	10
Мощность электродвигателя в режимах плавного пуска, останова, кВт . . . . .	До 50

#### Конструктивное исполнение

Устройство "ПЛАЗМА" представляет из себя блок, состоящий из силовой части и одноплатного контроллера. Блок помещен в защитный кожух и устанавливается как на горизонтальной, так и на вертикальной поверхности. Для крепления на кожухе имеются крепежные отверстия. Габаритные размеры блока 300×240×140 мм.

## ВЫСОКОТОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЭПА

В НПО "Электропривод" разработаны цифро-аналоговые высокоточные электроприводы постоянного и переменного тока, которые могут использоваться в установках по выращиванию кристаллов, в линиях по получению тонких конденсаторных пленок, фотопленок, углеволоконистых материалов и т. д. — там ГДЕ ТРЕБУЕТСЯ ПОДДЕРЖАНИЕ СКОРОСТИ ДВИГАТЕЛЯ С ТОЧНОСТЬЮ НА ДВА ПОРЯДКА ВЫШЕ, ЧЕМ В АНАЛОГОВЫХ ПРИВОДАХ.

Электропривод состоит из аналогового преобразователя для двигателя постоянного или переменного тока, специального цифрового устройства с пультом управления и импульсного датчика или резольвера, устанавливаемого на валу двигателя.

На вход электропривода поступает сигнал задания скорости, и корректирующее воздействие от цифрового устройства, обеспечивающее высокую стабильность скорости двигателя при измене-



нии нагрузки, напряжения сети, температуры окружающей среды.

С пульта управления вводятся и индицируются на цифровом табло заданные и текущие параметры системы.

Предусмотрена возможность задания скорости от ЭВМ более высокого уровня иерархии в стандартном последовательном коде ИРПС.

**Технические данные электропривода**

Напряжение сети (от трехфазной сети), В . . .	380, 415, 440
Частота питающей сети, Гц . . . . .	50, 60
Диапазон мощностей, кВт . . . . .	0,1–10
Диапазон регулирования скорости . . . . .	0,1:10 000
Суммарная погрешность скорости относительно установленной, %, не более	
при $n_{max}$ . . . . .	0,01 (в аналоговых приводах 0,5)
при $0,1n_{max}$ . . . . .	0,05 (в аналоговых приводах 1,0)
при $0,005n_{max}$ . . . . .	0,5
при $0,0001n_{max}$ . . . . .	5,0
Максимальная скорость двигателя, об/мин . .	до 3000

**УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИМИ ЛИФТАМИ ТИПА УЛЖ-17**

Устройства управления пассажирскими лифтами типа УЛЖ-17 на микроэлектронике предназначены для управления пассажирскими лифтами в жилых зданиях с количеством этажей до 17 со скоростью 0,71; 1,0 и 1,4 м/с, грузоподъемностью до 630 кг с наличием исполнения на 25 этажей.

**Устройство реализует:**

смешанное управление по приказам вверх и вниз, собирательное по вызовам вниз, одиночное и парное управление, контроль открытых дверей, охрану от проникновения в шахту и другие дополнительные функции.

В устройстве минимизирована релейная часть, что значительно уменьшает его габариты и повышает надежность.

**Обеспечивает следующие режимы работы:**

- нормальную работу;
- управление из машинного помещения;
- ревизию;
- режим пожарной безопасности;
- наладку (погрузку).

**Условия эксплуатации:**

- высота над уровнем моря до 2000 м;
- рабочая температура окружающего воздуха от +1 до +35 °С;
- для тропического исполнения рабочая температура окружающего воздуха от +1 до +45 °С.

**Технические данные**

Привод . . . . .	Нерегулируемый
Вид сети . . . . .	Трехфазная, четырехпроводная
Напряжение питающей сети, В . . . . .	220, 380
Частота сети, Гц . . . . .	50, 60
Средний срок службы, лет . . . . .	25
Масса, кг . . . . .	90

Конструктивно устройство представляет собой два навесных шкафа БУЛ и БУР одностороннего обслуживания.

Конструкция дверей шкафов позволяет устанавливать их для открывания либо влево, либо вправо по желанию обслуживающего персонала.

Внешние электрические цепи присоединяются на клеммники, расположенные внутри шкафов.

Габаритные размеры шкафов, входящих в состав устройства, 600×650×350 мм.

Гарантийный срок устройства устанавливается 12 месяцев со дня ввода в эксплуатацию.

Разработчик проводит модернизацию устройства, а также разрабатывает грузовой и больничный варианты.

К эксплуатации допускаются лица, прошедшие обучение в "ЭЛ–ЛИФТ" по адресу: Москва, 101000, ул. Мархлевского 18, строение 1. Тел. 928-14-69.

**Изготовитель:**

**Арендное предприятие "МЭЛ"**

г. Москва, 107497, 2-й Иртышский пр., 11. Тел. 462-19-09.

## ТИРИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ С МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМОЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЛИФТОВ ШРТЛ-40

Тиристорный регулятор ШРТЛ-40 предназначен для управления асинхронным короткозамкнутым двухскоростным электродвигателем в замкнутой по скорости системе регулирования с использованием в качестве датчика обратной связи фотоимпульсного датчика скорости. Регулятор оснащен современной микропроцессорной системой управления, выполненной на основе однокристалльной микроЭВМ. В устройстве имеется режим квазичастотного управления, что значительно расширяет возможности его использования.

Силовая часть тиристорного регулятора выполняется в двух вариантах:

- с применением тиристорных модулей;
- с применением оптотиристорных модулей.

**Регулятор обеспечивает:**

замедление лифта непосредственно в заданную точку остановки без участка пониженной скорости с точностью  $\pm 2$  мм;

сокращение потребляемой электроэнергии на 20–25 %;

снижение нагрева приводного двигателя в среднем на 30 %.

**Особенностью устройства** является возможность модернизации действующих лифтов, оснащенных станциями управления на основе релейно-контакторной и микроэлектронной аппаратуры, а также обеспечение максимального качества движения с

лебедками любого типа за счет изменения программного обеспечения.

**Предусмотрены** контроль максимального рассогласования заданной и истинной скорости лифта, а также контроль наличия и правильной последовательности фаз питающего напряжения.

Наладка и поиск неисправностей проводятся с помощью специального выносного блока наладки, который подключается к плате процессора через отдельный разъем.

**Применение тиристорного регулятора ШРТЛ-40** позволит существенно улучшить потребительские качества как ныне действующих, так и вновь устанавливаемых лифтов, повысить надежность и безопасность лифтового оборудования при одновременной существенной экономии электроэнергии.

Габаритные размеры: 400×600×350 мм.

Масса 30 кг.

**Изготовитель:**

**Арендное предприятие "МЭЛ"**

г. Москва, 107497, 2-й Иртышский пр., 11.

Тел. 462-19-09.

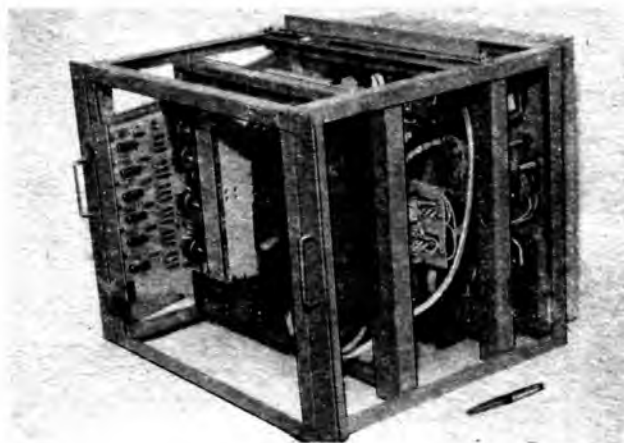
## ТИРИСТОРНЫЕ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТСУ-4

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ,  
ПРОСТОЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ,  
ДЕШЕВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД**

Тиристорные станции управления ТСУ-4 предназначены для управления асинхронными электроприводами в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства.

Станции управления четвертого поколения осуществляют:

- ♦ регулирование производительности промышленных механизмов (вентиляторы, мешалки, центрифуги, дозаторы и т. д.);
- ♦ управление коммутационными режимами (пуск, останов, реверс станков, подъемно-транспортных механизмов, вибраторов, включение и отключение освещения, отопления и т. п.);
- ♦ защиту двигателей от токов короткого замыкания и перегрузки, неправильного подключения и обрыва фаз питающей цепи.



Универсальность ТСУ-4 и простота в эксплуатации обеспечиваются применением микропроцессорных средств управления и силовых интегральных модулей. Современные конструкции с использованием естественного и низконапорного принудительного охлаждения и малым числом силовых вентиляторов позволяют существенно улучшить массогабаритные показатели устройств.

ТСУ-4 имеет конструктивные исполнения:  
открытое — блок для встраивания в НКУ;  
защищенное — ящик для самостоятельного использования.

Климатическое исполнение — для умеренного и холодного климата.

Максимальный диапазон изменения температур от  $-40$  до  $+40$  °С.

#### Технические данные

Номинальное напряжение, В . . . . .	380 (400, 440)
Номинальный ток, А . . . . .	От 4 до 400
Частота питающей сети, Гц . . . . .	50 (60)
Габаритные размеры, мм (на ток 63 А)	600×400×450
Масса, кг (на ток 63 А) . . . . .	40

## УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИМИ ЛИФТАМИ ДЛЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ТИПА УЛЖ-10

Устройства управления типа УЛЖ-10 на микроэлектронике предназначены для управления пассажирскими лифтами в жилых зданиях с количеством этажей до 10 со скоростью 0,71 и 1,0 м/с грузоподъемностью 320 и 400 кг.

**Устройство выпускается в двух видах:**

для одиночного управления;

для одиночного и парного управления в касетном исполнении.

**Устройство реализует:**

собирательное, смешанное управление с выполнением попутных вызовов вниз, контроль открытых дверей, охрану от проникновения в шахту, другие дополнительные функции.

В устройстве минимизирована релейная часть, что значительно уменьшает его габариты и повышает надежность.

**Обеспечивает следующие режимы работы:**

нормальную работу;

управление из машинного помещения;

ревизию;

режим пожарной безопасности;

наладку (погрузку).

**Условия эксплуатации:**

высота над уровнем моря до 2000 м;

температура окружающего воздуха от  $+1$  до  $+35$  °С;

в тропическом исполнении от  $+1$  до  $+45$  °С.

#### Технические данные

Привод . . . . .	Нерегулируемый
Вид сети . . . . .	Трехфазный
Напряжение питающей сети, В . . . . .	220, 380
Частота сети, Гц . . . . .	50, 60
Средний срок службы, лет . . . . .	25
Масса, кг . . . . .	85

Конструктивно устройство представляет собой два навесных шкафа БУЛ и БУР одностороннего обслуживания. Конструкция дверей шкафов позволяет устанавливать их для открывания либо влево, либо вправо по желанию обслуживающего персонала.

Габариты каждого шкафа: 600×600×350 мм.

Разработчик проводит модернизацию устройства, а также разрабатывает грузовой и больничный варианты.

К эксплуатации допускаются лица, прошедшие обучение в "ЭЛ-ЛИФТ" по адресу: Москва, 101000, ул. Мархлевского 18, строение 1.

Тел. 928-14-69.

**Изготовитель:**

**Арендное предприятие "МЭЛ"**

г. Москва, 107497,

2-й Иртышский пр., 11.

Тел. 462-19-09.

## НИЗКОВОЛЬТНОЕ КОМПЛЕКТНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИМИ ЛИФТАМИ СО СКОРОСТЬЮ ДО 1,6 М/С С РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ТИПА УЛМП-25-1,6

НКУ предназначено для управления пассажирскими лифтами со скоростью движения до 1,6 м/с, с регулируемым электроприводом переменного тока и имеет возможность объединения до четырех лифтов в группу.

НКУ оснащено современной микропроцессорной системой управления, в которой на одной одно-

кристальной микроЭВМ выполнены системы управления электроприводом, технологической автоматикой и групповой работы. Система обеспечивает работу лифта в здании до 25 этажей с полным собирательным управлением. Наличие регулируемого электропривода обеспечивает высокую плавность процессов разгона и замедления, высокую



точность остановки на этаже ( $\pm 20$  мм), отсутствие участка пониженной скорости перед остановкой.

Применение современных методов построения внешнего интерфейса позволяет сократить общую длину проводов, идущих в шахту лифта, в три раза при количестве этажей в здании до 25.

За счет изменения программного обеспечения НКУ может использоваться для лифтов различного назначения: жилых, административных или больничных зданий.

В качестве одного из вариантов предусматривается раздельное исполнение системы управления электроприводом и технологической автоматики, позволяющее нарастить число лифтов, объединяемых в систему групповой работы до восьми.

Применение регулируемого электропривода повышает комфортные показатели лифта; сокращает потребляемую электроэнергию на 20–25 %;

снижает нагрев двигателя на 30 %.

**Система управления обеспечивает:**

контроль за исправным состоянием тиристоров; быстродействующую электронную защиту от коротких замыканий и от токов перегрузки;

контроль наличия и правильной последовательности фаз питающего напряжения;

контроль максимального рассогласования заданной и истинной скорости.

Режимы работы НКУ полностью соответствуют требованиям ПУБЭЛ.

Габаритные размеры 800×600×350 мм.

Масса 40 кг.

**И з г о т о в и т е л ь**

**Арендное предприятие "МЭЛ"**

г. Москва, 107497,

2-й Иртышский пр., 11.

Тел. 462-19-09.

## ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Научно-производственным объединением "Электропривод" разработана серия угловых и линейных фотоэлектрических датчиков перемещения для цифровых систем промышленной автоматики.

Датчики рассчитаны на работу в тяжелых

условиях эксплуатации, имеют степень защиты IP-54. Применяются в металлургической, горнодобывающей промышленности, станкостроении и т. п.

Датчики положения выполняются как абсолютные (кодовые), так и фотоимпульсные с реверсивным счетчиком.

### КРУТОВЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ СКОРОСТИ И ПОЛОЖЕНИЯ СЕРИИ ПДФ

Предназначены для формирования и выдачи в дискретной форме сигналов о скорости и положении вращающегося исполнительного органа в различного рода оборудовании.

#### Технические данные

Напряжение питания, В . . . . .	5, 12, 15, 24
Разрешающая способность, имп/оборот	До 21 600
Максимальная частота следования импульсов, кГц	До 300

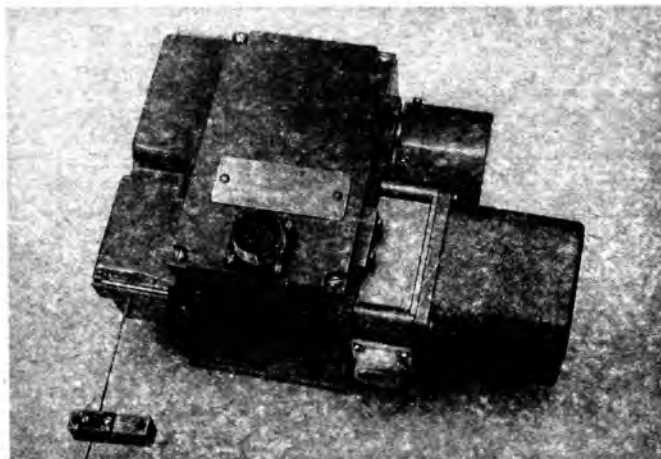
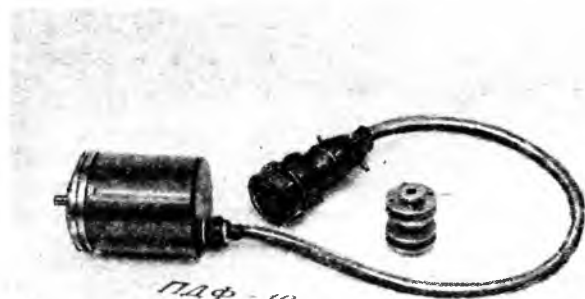
Выходные сигналы — две серии импульсов по двум отдельным каналам. Импульсы сдвинуты относительно друг друга на  $90 \pm 20^\circ$ .

### ЛИНЕЙНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ АБСОЛЮТНОГО ТИПА СЕРИИ ДП

Предназначены для контроля положения исполнительного органа рабочего механизма при его поступательном движении.

#### Технические данные

Напряжение питания, В . . . . .	15, 24
Разрешающая способность, мм . . . . .	0,02; 0,1; 0,15; 1,0
Максимальная частота следования импульсов по младшему разряду, кГц . . . . .	До 20
Длина измерений, мм . . . . .	От 120 до 2040



# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ И ТОВАРНАЯ ПРОДУКЦИЯ НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНОГО ЦЕНТРА "МЕХАТРОНИКА" И ПРЕДПРИЯТИЙ ГРУППЫ "МЕХАТРОНИКА"

## МЕХАТРОННЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, МЕХАТРОННЫЕ УЗЛЫ И МОДУЛИ, ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Группа "Мехатроника" предлагает:

- ♦ высокоскоростные мехатронные узлы (электрошпиндели) с частотой вращения от 6000 до 250 000 об/мин, мощностью от 0,12 до 30 кВт и электроприводы на их базе;
- ♦ прецизионные электроприводы на базе вентильных (синхронных), асинхронных и шаговых двигателей, встраиваемых в мехатронные узлы с крутящим моментом до 40 Н·м и частотой вращения до 6000 об/мин;
- ♦ низкооборотные высокомоментные безредукторные мехатронные модули вращения до 20 об/мин с моментом до 1500 Н·м и электроприводы на их базе;
- ♦ прецизионные модули линейного движения с усилием до 1000 Н, скоростью до 2 м/с, точностью позиционирования до 1 мкм и электроприводы на их базе;

а также

- ♦ помощь в организации научно-технического сотрудничества в рамках международного проекта "Евромехатроника";
- ♦ инжиниринг, маркетинг, консалтинг и подготовку кадров в области мехатроники и электромеханики, в том числе по сертификации производства и продукции;
- ♦ внедрение разработок с привлечением иностранных партнеров в Италии, ФРГ и других странах.

Мехатронные узлы представляют собой интегрированные в единое целое механические, электромеханические и электронные компоненты, которые образуют модульную электромеханическую систе-

му, состоящую из встроенного электродвигателя с электромагнитной или электромеханической редукцией, встроенных измерительных преобразователей механических и электрических величин, микроэлектронного устройства управления движением этой системы (встроенного и невстроенного исполнений) и других электронных, оптоэлектронных, электротехнических и механических элементов, обеспечивающих определенные технологические функции. Электроприводы на базе мехатронных средств представляют собой электромеханический преобразователь, состоящий из мехатронных узлов и модулей и обеспечивающих их функционирование электронных компонентов управления, диагностики и защиты.

По сравнению с функциональными аналогами мехатронные средства автоматизации (узлы и модули, электроприводы на их базе) имеют повышенный ресурс и безотказность работы (в 2–3 раза) и более высокую точность (1,5–2 раза). Сравнение экономических показателей блочно-модульного станка, выполненного на базе мехатронных узлов с аналогичными показателями обрабатывающего центра традиционного типа дает следующие результаты:

- сокращение занимаемой производственной площади в 2–2,5 раза;
- сокращение числа базовых деталей в 2–3 раза;
- уменьшение металлоемкости в 1,5–2 раза (особенно при нетрадиционной компоновке);
- сокращение сроков проектирования и изготовления в 2,5–3 раза;
- повышение производительности в 1,5–2 раза.

## ЭЛЕКТРОШПИДЕЛИ С ВОЗДУШНЫМИ ОПОРАМИ ТИПА АС 72, АСФ 72 И СЛ 80

Предназначены для применения в качестве двигательной части электроприводов главного движения станков для сверления и фрезерования плат печатного монтажа, скрайбирования твердых и хрупких неметаллических материалов, керамики, ферритов и других материалов алмазным инстру-

ментом. Область применения распространяется также на роторные системы различного назначения: распылители лакокрасочных покрытий в электростатическом поле, прядильные веретена, установки для испытания материалов на разрыв и т. п.

Характеристика	АС 72/0,18	АС 72/0,25	АС 72/0,4	АС 72/0,6	АСФ 72/0,6А	СЛ 80
Автоматическая смена инструмента	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть	Нет
Частота вращения, об/мин			15 000—80 000			
Частота питающего тока, Гц			250—1333			
Номинальная мощность на валу, кВт, не менее	0,18*	0,25*	0,4*	0,6*	0,6*	0,6
Диапазон напряжения**, В	46—244	46—244	46—244	46—244 или 46—183	46—244	Максимальная линейная скорость подачи 20 м/мин
Номинальное напряжение питания, В	220	220	220	220 или 165	220	Максимальное усилие подачи 100 Н
Максимальная радиальная нагрузка, Н			78,5			Максимальное линейное перемещение 20 мм
Максимальная осевая нагрузка, Н			98,1			
Давление воздуха, МПа	0,5—0,6	0,5—0,6	0,5—0,6	0,5—0,6	0,56+/-0,4	Точность линейного перемещения 0,05 мм
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	8	8	8	8	6	
Расход хладагента, л/ч	—	—	30	30	30	
Максимальный диаметр сверла, мм	3	3	6	6,5	6	
Максимальный диаметр фрезы, мм	—	—	3	3	3	
Масса, кг	2,8	2,8	2,9	2,9	3,9	5,0
Габаритные размеры (диаметр×длина), мм	60×220	60×220	60×220	60×220	61,915×279 диаметр 80	61,915×246

\* — Значения даны при напряжении 220 В и частоте 1200 Гц.

\*\* — Для частот выше 1200 Гц допускается любое напряжение в диапазоне 65—244 В для  $U_{ном} = 220$  В и 123—183 В для  $U_{ном} = 165$  В.

Представляют собой мехатронный модуль со встроенным трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Вал с напесованными на нем пятой и ротором вращается в двух подшипниках, вклеенных в корпус. Осевая нагрузка на вал воспринимается системой подпятников, охватывающих пяту. Для поддержания вращающегося вала применены аэродинамические опоры. Смазка подшипников и подпятников осуществляется сжатым воздухом.

Обеспечивают высокую плавность, безвибрационность вращения, большой межремонтный срок службы по сравнению со шпинделями на опрах качения, исключают применение масляного тумана, ухудшающего производственные условия.

Модели АС 72/0,4, АС 72/0,6, АСФ 72/0,6А имеют жидкостное охлаждение деионизированной

водой или другой антикоррозийной жидкостью на основе воды.

Электрошпиндель модели СЛ 80 представляет собой интегрированный мехатронный модуль, имеющий в своем составе: прецизионный шпиндель на аэростатических опорах, высокоскоростной электродвигатель вращения, линейный электродвигатель, датчик линейного перемещения.

Инструмент (сверло, фреза, шлифовальный круг и др.), закрепленный на выходном валу шпинделя, совершает регулируемое вращательное и линейное перемещения.

Рекомендуется применять в агрегатных головках, обрабатывающих центрах, шлифовальных и сверлильно-фрезерных станках. Является новинкой на рынке высокоскоростных электрошпинделей.

## ЭЛЕКТРОШПИДЕЛИ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ТИПА ШФВ

Предназначены для комплектации координатно-шлифовальных станков. Шпиндель представляет собой трехфазный асинхронный

двигатель, питаемый током регулируемой частоты. Шпиндели имеют фланцевое крепление и воздушное охлаждение.

Электрошпиндель	Масса, кг	Мощность, кВт	Частота питающего тока, Гц	Частота вращения, об/мин	Габаритные размеры (диаметр/длина), мм	Наибольший диаметр шлифовального круга, мм
ШФВ-12	9,3	0,8	100—200	600—1200	115/194	100—80
ШФВ-24	7,2	0,6	200—400	12 000—24 000	115/179	80—40
ШФВ-48	5,2	0,5	400—800	24 000—48 000	115/127	40—20
ШФВ-96	3,5	0,4	80—1600	48 000—96 000	115/95	20—10

## ЭЛЕКТРОШПИДЕЛИ ТИПА ШПЛ И ШКЛ

Предназначены для комплектации технологических газовых лазеров с быстрой подкачкой. Шпиндель снабжен жидкостным охлаждением и

системой пластической смазки подшипников. Рабочая среда — азот, углекислый газ, гелий.

Электрошпиндель	Масса, кг	Мощность, кВт	Частота питающего тока, Гц	Частота вращения, об/мин	Номинал напряжения, В	Габаритные размеры (диаметр×длина), мм
ШПЛ 9/2,2	26	22	300	9000	200, 380	160/414
ШПЛ 9/5,5	50	5,5	300	9000	220, 380	175/434
ШПЛ 9/7,5	46	7,5	300	9000	220, 380	175/440
ШПЛ 9/11	51	11,0	300	9000	220, 380	175/470
ШПЛ 18/11	51	11,0	600	18 000	220, 380	175/470
ШКЛ 9/2,2	29	2,2	300	9000	220, 380	160/330

## ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ (ЭЛЕКТРОШПИДЕЛИ) ТИПА Э, ЭД, ЭВ

Предназначены для комплектации деревообрабатывающих станков. Шпиндель представляет собой трехфазный асинхронный электродвигатель. Ротор вращается на радиально-упорных подшип-

никах. Осевой натяг подшипников создается тарированными пружинами. Охлаждение шпинделя воздушное. Избыточная температура нагрева не должна превышать 50 °С.

Электрошпиндель	Масса, кг	Мощность, кВт	Частота питающего тока, Гц	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В	Диаметр выходного вала, мм	Габаритные размеры, мм
ЭД-18/0,25	3	0,25	300	18 000	220, 380 переменного тока	14	135×60×231
ЭД-18/0,45	4	0,45	300	18 000		25	135×60×261
ЭД-18/1,5	8	1,5	300	18 000		18	135×80×327
ЭД-18/3	11	3,0	300	18 000		22	диаметр 132×329

Примечание. В электрошпинделях с вращением вала по часовой стрелке — резца левая.

## ЭЛЕКТРОШПИДЕЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ТИПА ШП

Предназначены для комплектации внутришлифовальных станков, имеют встроенное жидкостное охлаждение. Шпиндель приводится во вращение от встроенного асинхронного двигателя, питаемого током повышенной частоты. Ротор вращается на радиально-упорных подшипниках. Осевой натяг на подшипники создается тарированными пружи-

нами. Смазка подшипниковых опор осуществляется масляным туманом. Шпиндели типа ШП имеют устройство внутренней температурной защиты и рекомендуются для внутреннего шлифования подшипниковых колец. В электрошпинделе модели ШП-30/9П реализована консистентная (пластичная) смазка подшипниковых опор.

Электрошпиндель	Мощность, кВт	Частота питающего тока, Гц	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В
ШП-30/9П	9,0	500	30 000	220 трехфазного переменного тока
ШП-48/7,5	7,5	800	48 000	
ШП-72/3,0	3,0	1200	72 000	

## ПЛАНЕТАРНО-ШЛИФОВАЛЬНАЯ МЕХАТРОННАЯ ГОЛОВКА

### Основные технические характеристики

Диапазон радиальных подач, мм/мин . . . . .	0,5—500
Радиальное перемещение суппорта, мм . . . . .	35
Одна дискрета радиального перемещения, мкм . . . . .	0,25
Точность позиционирования радиального суппорта, мкм . . . . .	2
Масса (без шлифовального шпинделя), кг . . . . .	12
Диапазон диаметров обрабатываемых отверстий, мм . . . . .	4—50

В комплект поставки входят:

мехатронная головка радиального перемещения;  
шлифовальный шпиндель (из номенклатуры МЗСПЭ);  
узел стыковки;  
блок управления;  
присоединительные кабели и арматура;  
минимальный комплект вспомогательного и абразивного инструмента;  
руководство по эксплуатации.

## ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ВЕНТИЛЬНЫЙ ДЛЯ ГЛАВНОГО ПРИВОДА ТИПА КВЭП

### ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

бесконтактное исполнение;  
наличие независимой обмотки для регулирования магнитного потока.

Область применения: привод главного движения металлообрабатывающих станков с повышенными требованиями к точности и диапазону регулирования.

### Основные технические характеристики привода

Максимальная частота вращения, об/мин . . . . .	6000
Диапазон регулирования частоты вращения в первой зоне (с постоянным моментом) . . . . .	1:10 000
Диапазон регулирования частоты вращения во второй зоне (с постоянной мощностью) . . . . .	1:2
Номинальный момент, Н·м . . . . .	1—39

## ЭЛЕКТРОШПИДЕЛЬ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ

Предназначен для комплектации фрезерных и шлифовальных станков. Максимальная мощность — до 30 кВт·А при частоте вращения до 30 000 мин<sup>-1</sup> (10 000—100 000 мин<sup>-1</sup>) с диапазоном регулирования 1:10 (1:5).

Все электрошпиндели, разработанные НИЦ "Мехатроника", соответствуют мировому уровню. На базе этих шпинделей НИЦ "Мехатроника" может выполнить специализированные мехатронные узлы применительно к условиям конкретного производства.

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СЕРИИ CS

Используются для управления высокоскоростными электрошпинделями в мехатронных узлах станков различного назначения. В частности, сверлильно-фрезерных (для обработки плат печатного монтажа), шлифовальных, деревообрабатывающих и др. Базовые модели преобразователей с 1992 г. серийно выпускают СП "ГАМЕМ" по лицензии и при участии фирмы "Гамфиор" (Ита-

лия) с использованием импортных компонентов. Количество потребителей, подключаемых к одному преобразователю, ограничивается номинальным током преобразователя. Все типы преобразователей (базовые и специальные) имеют входное напряжение 3×380 В при частоте питающего тока 50/60 Гц и выходное напряжение 3×350.

### Основные технические характеристики

Базовые модели	Выходная частота, Гц	Номинальная мощность, кВт · А	Специализированные модели	Выходная частота, Гц	Номинальная мощность, кВт · А
CS1500/30/P	1500	30	CS2000/6/CNC	2000	6
CS2000/6/P	2000	6	CS2000/12/CNC	2000	12
CS2000/8/P	2000	8	CS2000/30/CNC	2000	30
CS2000/12/P	2000	12	CS2000/30/TC	2000	30
CS2000/15/P	2000	15	CS2000/30/TC/CNC	2000	3000
CS2000/30/P	2000	30	CS3000/6/TC	3000	6
CS3000/3/CNC/NV	3000	3,0	CS3000/12TC	3000	12
			CS3000/12/TC/CNC	3000	12

**Примечание.** Буквенные символы обозначают оснащение преобразователя следующими устройствами: **P** – контроль токовой отсечки; **NV** – регулировка входного напряжения 380–420–440 В; **TC** – контроль момента на валу двигателя; **CNC** – защита тормозных цепей.

НИИ "Мехатроника" разработана модель специализированного преобразователя мощностью 3 кВт · А (выходная частота 3200 Гц), оснащенная

унифицированным микропроцессорным устройством с сервоприводом, обеспечивающим программируемый разгон и торможение электропривода.

## МЕХАТРОННЫЕ ПОВОРОТНЫЕ СТОЛЫ ДИАМЕТРОМ ОТ 500 ДО 1000 мм

Предназначены для использования в общем машиностроении, например, в станкостроении.

### Основные технические параметры столов

#### ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

возможность работы в режиме позиционирования и силового резания;  
отсутствие редуктора;  
повышенная жесткость электромеханической системы, что обеспечивает увеличение скорости и точности обработки.

Столы комплектуются преобразователем привода, а также (по заказу) автономной системой управления.

Варианты исполнения: гладкие столы и столы со сменной палетой.

Режимы работ	630 мм	1000 мм
	Непрерывное позиционирование, контурное фрезерование	
Точность позиционирования, угл. с.	3,6	5,0
Максимальная скорость вращения, об/мин	10	4
Крутящий момент, Н · м:		
длительность 30 мин	1500	2500
длительность 5 мин	3000	4000
Масса устанавливаемого изделия ориентировочно, кг	1000	1500

# ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДАЧИ

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ:

станкостроение;  
робототехника;  
полиграфическое оборудование;  
текстильная промышленность.

## ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

высокое быстродействие;  
широкий диапазон регулирования скоростей вращения двигателя;  
высокие технические и эксплуатационные характеристики вследствие отсутствия щеточного узла и малой инерционности двигателя; легкость интегрирования в состав электрооборудования станков с ЧПУ;  
минимальные габариты двигателя благодаря применению редкоземельных магнитов в узле ротора;  
удобство наладки и обслуживания — в процессе

эксплуатации практически не требует вмешательства обслуживающего персонала;  
специалисты сервисного центра "Мехатрон" смонтируют, пустят в эксплуатацию, при необходимости быстро отремонтируют привод.

## СОСТАВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

трехфазный электродвигатель переменного тока;  
транзисторный преобразователь постоянного тока в переменный;  
групповой блок питания преобразователей; согласующий трансформатор.

## ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Крутящий момент электропривода, Н·м . . . . .	1—39
Диапазон регулирования, не менее . . . . .	10 000
Полоса пропускания, Гц, не менее . . . . .	300

## ПРЕЦИЗИОННЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Прецизионный электропривод (ПЛЭП) объединяет электродвигатель, полупроводниковый преобразователь и комплексный датчик по скорости и пути, отвечая самым высоким требованиям по быстродействию и качеству регулирования. Особенностью электродвигателя является отсутствие магнитного железа в статоре, что устраняет возникновение поперечных вибрационных электромагнитных сил между статором и ротором при движении, а также уменьшение электромагнитной постоянной времени электродвигателя.

В НИЦ "Мехатроника" разработан опытный образец унифицированного линейного электродвигателя, в основу которого положен принцип модульности. Реализация данного принципа осуществляется путем сборки элементарных унифицированных секций-модулей: последовательно для обеспечения необходимой длины перемещения и параллельно для достижения требуемого тягового усилия.

Габариты основной секции с индуктором при обеспечении рабочего зазора 1 мм (индуктор при этом крепится на исполнительном узле и перемещается по собственным направляющим):

Длина, мм . . . . .	150
Ширина, мм . . . . .	60
Высота, мм . . . . .	80

### Показатели назначения основной секции:

Номинальное усилие, Н . . . . .	40
Максимальное усилие, Н . . . . .	200
Максимальная скорость, м/с . . . . .	2
Максимальное ускорение, м/с . . . . .	50

Габариты тормозной секции (устанавливается по концам хода для осуществления магнитного торможения индуктора):

Длина, мм . . . . .	50
Ширина, мм . . . . .	60
Высота, мм . . . . .	80

Кроме того, необходимо отметить, что линейный электродвигатель разработан таким образом, что может комплектоваться серийно выпускаемыми преобразователями переменного тока серий ЭПБ, ЭАМ и др. с незначительной доработкой. В качестве обратной связи по скорости целесообразно использование комплексного датчика пути и скорости на базе фотоимпульсной "линейки".

Электроприводы ПЛЭП рекомендуется использовать в тех случаях, когда в производственных механизмах необходимо реализовать поступательное или возвратно-поступательное движение с рабочими скоростями выше 0,25 м/с.

Компоновка электропривода позволяет строить ПЛЭП со следующими основными эксплуатационными характеристиками:

Номинальное усилие, Н . . . . .	40—320
Максимальное усилие, Н . . . . .	200—1600
Максимальная скорость, м/с . . . . .	2

В настоящее время ведутся работы с целью расширения области применения ПЛЭП с номинальными усилиями до 4000 Н.



Мехатронный модуль МСР предназначен для безредукторного перемещения узлов и механизмов машин. МСР состоит из шестифазного синхронного двигателя, датчиков положения и скорости, смонтированных в одном корпусе. Низкооборотные модули рекомендуется применять в сборочных роботах, поворотных столах, делительных головках, а также в точных безредукторных приводах, в

том числе и в безкорпусном исполнении.

## Основные технические характеристики

Длительный момент, Н·м . . . . .	40
Максимальная частота вращения, об/с . . . . .	1,2
Точность углового положения, угл. с. . . . .	30
Напряжение фазное, В . . . . .	160
Масса, кг . . . . .	12

## ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДУЛЯ

высокая точность вращения;  
высокие удельные силовые показатели;  
отсутствие люфтов в передаче и дорогостоящих магнитных материалов;  
простота конструкции.

## ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА СКОльзяЩИХ РЕЖИМАХ

### ОСОБЕННОСТИ ПРИВОДА:

улучшенные динамические и статические характеристики;  
стабильность технических показателей независимо от динамических характеристик приводимых им механизмов.

### Основные технические характеристики электропривода

Диапазон регулирования частоты вращения . . .	1:10 000
Полоса пропускания по скорости, Гц, не менее	500
Максимальная частота вращения, об/мин . . . .	6000
Номинальный момент привода, Н·м . . . . .	1—39

## СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

### ВЫПУСК КНИГ ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ЭЛЕКТРОПРИВОДУ В ЭНЕРГОАТОМИЗДАТЕ

В 1990—1992 гг. в Энергоатомиздате вышли следующие книги:

1. **Автоматизированный электропривод** / Под общ. ред. Н. Ф. Ильинского, М. Г. Юнькова. 37 л. 18 000 экз.
2. **Бригиневич Б. В., Голованов А. К.** Наладка тиристорных электроприводов с отдельным управлением. 10,5 л. 12 000 экз.
3. **Осипов О. И., Усынин Ю. С.** Техническая диагностика автоматизированных электроприводов. 11 л. 4000 экз.
4. **Ильинский Н. Ф., Козаченко В. Ф.** Общий курс электропривода. Учебник для вузов. 31,5 л. 6500 экз.

В первом полугодии 1993 г. выйдут в свет:

1. **Еазеров И. Х., Фейгельман И. И., Ткаченко А. А.** Конструирование мощных тиристорных электроприводов. 20 л. 650 экз.

Изложены вопросы конструирования силовых тиристорных электроприводов, даны рекомендации по выбору и расчету

основных узлов и элементов. Рассмотрены конструкции, построенные на современной элементной базе, приведены методы выбора и расчета параметров различных систем охлаждения.

Для инженеров и техников, занимающихся разработкой и эксплуатацией силовых тиристорных электроприводов.

2. **Казмиренко В. Ф., Лесков А. Г., Введенский В. А.** Системы следящих приводов / Под ред. В. Ф. Казмиренко. 19 л. 500 экз.

Рассмотрены системы следящих приводов с учетом взаимного влияния отдельных следящих приводов, возникающего в автоматических манипуляторах, объектах с многозвенными опорно-поворотными устройствами, в двухканальных системах с силовыми дифференциалами и при наличии автономных источников энергии ограниченной мощности. Изложена концепция автоматизации аппаратуры систем следящих приводов.

Для инженерно-технических работников, специализирующихся в области проектирования, испытаний и эксплуатации автоматизированных приводов.

**В процессе подготовки к изданию находятся следующие книги:**

1. **Исаев И. Н., Созонов В. Г.** Электропривод механизмов циклического действия. 12 л. 1000 экз.

Изложены вопросы теории и проектирования систем электропривода механизмов циклического действия. Рассмотрены взаимосвязи основных параметров электропривода при заданной производительности и ограничении потерь в двигателе на цикл перемещения механизма. Показаны способы оптимизации электропривода по критериям минимума габаритов и мощности двигателя, минимума динамических нагрузок в системах с зазорами и упругими механическими передачами. Приведены практические приемы проектирования систем электропривода механизмов циклического действия.

Для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, исследованием и эксплуатацией электроприводов механизмов циклического действия. Может быть полезна студентам электромеханических специальностей.

2. **Хашимов А. А.** Специальные режимы частотно-управляемых асинхронных электроприводов. 12 л. 2250 экз.

Разработаны основы теории, новые математические модели и методы расчета частотно-управляемых асинхронных электроприводов в специальных режимах, позволяющие осуществить уточненный выбор мощности исполнительных электродвигателей и силовых элементов статических преобразователей частоты с автономными инверторами тока и напряжения. Даны рекомендации по повышению надежности и улучшению энергетических и эксплуатационных показателей автоматизированных частотно-управляемых асинхронных электроприводов.

Для инженерно-технических и научных работников, занятых проектированием, наладкой и эксплуатацией автоматизированных электроприводов, а также студентов, обучающихся по данной специальности.

3. **Масандилов Л. Б., Кадар И.** Специальные режимы асинхронного электропривода с преобразователями переменного напряжения. 15 л. (тираж будет определен по заявкам позднее).

Рассмотрены реализуемые на базе асинхронного электропривода с преобразователями переменного напряжения специальные режимы управления асинхронным двигателем: квазичастотный и дискретный. Описаны способы и алгоритмы осуществления этих режимов, статические и динамические характеристики, схемы управления. Изложены методы расчета электроприводов в установившихся и переходных режимах, а также алгоритмы расчетов на ЭВМ.

Для специалистов, занимающихся разработкой, автоматизацией, наладкой и эксплуатацией электроприводов переменного тока, будет также полезна студентам электромеханических специальностей.

Помимо перечисленных книг Энергоатомиздат предполагает выпустить следующие книги:

1. **Аракелиан А. К., Афанасьев А. А.** Регулируемый электропривод с вентильным двигателем. 18 л.

Изложены основополагающие разделы теории, расчета и проектирования электроприводов с вентильным двигателем на базе синхронной машины и полупроводникового преобразователя частоты: тиристорного или транзисторного. На основе современных методов математического моделирования и экспериментальных исследований рассмотрены: статика, динамика и энергетика систем с учетом нелинейных свойств магнито- и электропроводящих активных элементов, двигателя, упругих электромеханических связей, дискретности коммутационных процессов преобразователя и расположения обмоток машины, а также проблемы оптимизации и синтеза САУ с учетом многосвязности и многомерности вентильного двигателя и чувствительности управления последним.

Для научных работников и инженеров, работающих в области автоматизированного электропривода и электрических машин.

2. **Иванов Г. М., Кишко Р. С., Кочетков В. Д., Портной Т. З., Ушаков Л. И.** Энергооборудование одноковшовых экскаваторов. 20 л.

Рассмотрены основные проблемы электроприводов крупных одноковшовых экскаваторов, требования, предъявляемые к электроприводам главных механизмов экскаваторов. Изложены вопросы теории автоматизированного электропривода применительно к особенностям конструкции экскаваторов.

Приведены схемы электроприводов тяжелых одноковшовых экскаваторов, изготавливаемых в настоящее время. Значительное место отведено современной элементной базе электропривода экскаваторов — тиристорным преобразователям, электронным регуляторам, микропроцессорам.

Для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и эксплуатацией электроприводов экскаваторов и других механизмов с аналогичными условиями и режимами работы.

Справку о возможности приобретения книги можно получить в редакции литературы по электротехнике и промышленной электронике Энергоатомиздата по телефону 925-98-35.

## РЕЦЕНЗИЯ

на учебник "Общий курс электропривода"

(Н. Ф. Ильинский, В. Ф. Козаченко. М.: Энергоатомиздат, 1992. 544 с. Тираж 6500 экз.)

В книге изложены общие вопросы теории и практики автоматизированного электропривода. Современный электропривод — сложная электромеханическая система — обеспечивает все отрасли народного хозяйства механической энергией, получаемой из электрической. Быстрое обновление техники, появление новых технологий вызывает постоянную необходимость обновления электропривода, создания новых систем и устройств, удовлетворяющих самым высоким требованиям технологии.

Развитие электропривода органически связано с развитием многих естественных наук и технических дисциплин — физики, математики, электротехники, электроники, вычислительной техники и др. Знание электропривода необходимо не только узким специалистам по электроприводу, но и широкому кругу инженеров, которым по роду своей основной деятельности приходится иметь дело с электроприводом.

Рецензируемый учебник написан для студентов вузов, выбравших электротехнический профиль подготовки (направ-

ление "Электротехника, электромеханика и электротехнология" в новой структуре двухступенчатого образования) и будет полезен инженерам, занимающимся проектированием и эксплуатацией электроприводов).

Авторы книги сохранили преемственность в методических принципах построения и изложения курса. В учебнике в полной мере отразился положительный опыт московской школы электроприводчиков, представленной профессорами А. Т. Голованом, Д. П. Морозовым, М. Г. Чиликиным, А. С. Сандлером, А. А. Сиротиным, В. П. Бычковым и их учениками.

Как и выдержавший пять изданий учебник М. Г. Чиликина по общему курсу электропривода, настоящая книга интересна и доступна многим категориям пользователей. Содержание книги соответствует современному научно-техническому уровню мировой техники в сфере автоматизированного электропривода.

Одной из важных отличительных особенностей содержания рецензируемого учебника является широкое освещение новых подходов к управлению процессами в электроприводах, основанных на достижениях микроэлектроники и вычислительной техники: значительная часть учебника посвящена техническим средствам и методам цифрового управления в электроприводе, что в полной мере отвечает современным тенденциям развития этой области техники. Соответственно сокращен материал по релейно-контакторному управлению, так как по этим вопросам имеется достаточно публикаций. Книга написана простым и понятным языком, форма изложения материала близка к диалогу авторов и читателя. Впервые контрольные вопросы и задания включены в текст каждого параграфа – от простых до очень сложных. Это, несомненно, будет способствовать творческому процессу усвоения материала и позволит самостоятельно оценивать, как успешно приобретаются знания.

Перечисленные особенности книги делают ее весьма привлекательной по содержанию и изложению материала. Это обещает книге долгую жизнь и совершенствование в многократных переизданиях.

Книга не свободна от недостатков. В учебнике мало практических примеров и они размещены неравномерно по разделам.

Неодинакова детализация излагаемого материала в различных разделах: иногда излишне подробно для общего курса рассматриваются особенности управляющего канала электропривода.

Недостаточное внимание уделено современным электроприводам переменного тока, новым принципиальным и техническим решениям в этой области.

Нет примеров типовых промышленных реализаций электроприводов и их данных.

Недостаточно освещены противоречия между техническими потребностями и возможностью удовлетворения их средствами современного электропривода.

Вызывает удивление малый тираж книги: количество потенциальных читателей – студентов-электриков, для которых электропривод является обязательным курсом, и инженеров различного профиля составляет десятки тысяч только в России.

Книга написана высококвалифицированными специалистами, известными своими работами в России и за рубежом. Она, несомненно, поможет в работе и учебе всем интересующимся автоматизированным электроприводом.

**Борисов Ю. А.**, проф., зав. кафедрой систем автоматического управления С.-Петербургского электротехнического университета.

**Иванов Г. М.**, зам. генерального директора НПО "Электропривод".

**Юньков М. Г.**, проф., Президент ассоциации "Автоматизированный электропривод".

П Р И Н Я Т

Учредительной конференцией  
24 апреля 1992 г.

## У С Т А В

### Ассоциации "Автоматизированный электропривод"

#### 1. Общие положения

1.1. Ассоциация "Автоматизированный электропривод" (ААЭП) представляет собой общественное, добровольное, неприбыльное объединение как отдельных специалистов, так и трудовых коллективов специалистов предприятий, учреждений, организаций и учебных заведений. Членами Ассоциации могут быть другие общественные объединения, а также зарубежные общественные организации и специалисты.

1.2. Целью деятельности Ассоциации является объединение и координация усилий специалистов для содействия научно-техническому прогрессу в области разработки, исследования, производства и эксплуатации электромеханических

систем электрических приводов и их компонентов, всемерное содействие развитию творческой инициативы ее членов, эффективное использование их творческого потенциала в реализации задач электрификации и автоматизации технологических и производственных процессов, формирование и выражение общественного мнения по научно-техническим проблемам отрасли, содействие созданию социальной и материальной базы для развития профессиональной и творческой научно-технической деятельности членов Ассоциации.

1.3. Ассоциация действует на основе добровольности, равноправия ее членов, самоуправления, законности и гласности.

Выполняя функции, предусмотренные ее Уставом, Ассо-

циация действует в рамках Конституции Российской Федерации и российских законов.

1.4. Ассоциация осуществляет свою деятельность на территории Москвы, Московской области, Санкт-Петербурга, Ленинградской области и ряда других регионов Российской Федерации, где создаются и действуют отделения Ассоциации.

1.5. Ассоциация является юридическим лицом по действующему законодательству, имеет свой самостоятельный баланс, счет в банке, печать, бланк и адрес. Место нахождения штаб-квартиры Ассоциации: 107078, г. Москва, ул. Садовая-Спасская, 1/2, корпус 2.

1.6. Ассоциация вправе создавать свои филиалы и отделения.

## **2. Задачи Ассоциации**

2.1. Обеспечение информацией по вопросам исследований, разработки, производства, эксплуатации, маркетинга систем промышленного электропривода, их компонентов и сопутствующей аппаратуры.

2.2. Содействие членам Ассоциации в развитии, разработке и внедрении новых научно-технических решений.

2.3. Оценка приоритетных научно-технических направлений развития автоматизированного электропривода.

2.4. Оказание содействия в проведении независимой общественной экспертизы, оценки по запросам заинтересованных организаций научно-технического уровня разработок, продукции и производства.

2.5. Содействие изданию трудов и информационных материалов членов Ассоциации.

2.6. Организация научно-технических конференций, совещаний, симпозиумов, семинаров по проблемам электроприводов, проведение выставок продукции предприятий – членов Ассоциации, обеспечение информацией о международных конференциях, симпозиумах, выставках, семинарах по вопросам электропривода.

2.7. Установление научно-технических контактов между разработчиками, производителями и потребителями средств и систем электроприводов.

2.8. Содействие установлению связей с другими ассоциациями и объединениями, в том числе международными, имеющими общие цели и задачи с Ассоциацией.

2.9. Привлечение в сферу деятельности Ассоциации опыта и информации зарубежных фирм и организаций.

2.10. Участие по запросам заинтересованных организаций в разработке концепций учебных планов, программ, методических материалов по подготовке и переподготовке специалистов по электрическому приводу в соответствии с мировым уровнем.

## **3. Формы работы Ассоциации**

Для выполнения задач, перечисленных в разделе 2, Ассоциация использует следующие формы деятельности:

3.1. Издание журнала, выпуск информационных материалов.

3.2. Создание информационного банка данных о потребностях и предложениях промышленности в области электропривода и его средств.

3.3. Проведение конференций, выставок, семинаров, совещаний, симпозиумов, рекламирование разработок и продукции членов Ассоциации.

3.4. Использование других форм деятельности, не противоречащих Уставу Ассоциации и действующему законодательству.

3.5. Создание предприятий различных организационно-правовых форм, предусмотренных действующим законодательством.

3.6. Участие через свои предприятия во внешнеэкономической деятельности в установленном законом порядке.

3.7. Осуществление по запросам заинтересованных организаций научно-технических консультаций по вопросам автоматизированного электропривода.

## **4. Структура Ассоциации**

4.1. Высшим руководящим органом Ассоциации является конференция. Конференция принимает Устав Ассоциации, вносит в него изменения и дополнения, утверждает программу деятельности Ассоциации на очередной срок, обсуждает и утверждает отчет президента и Совета о проделанной работе, расходовании уставных средств, устанавливает порядок уплаты и размеры вступительных и членских взносов, принимает решение о прекращении деятельности Ассоциации.

Конференция решает и другие вопросы, относящиеся к деятельности Ассоциации.

4.2. Кворум конференции определяется присутствием не менее 50 % избранных на нее делегатов. Решение принимается двумя третями голосов делегатов, присутствующих на конференции.

4.3. Конференция созывается не реже одного раза в 4 года. Конференция избирает Совет Ассоциации, президента, вице-президентов и ответственного секретаря сроком на 4 года. Руководители вновь создаваемых филиалов и отделений Ассоциации кооперируются в состав Совета с последующим утверждением на конференции.

4.4. Совет Ассоциации координирует все направления деятельности Ассоциации в период между конференциями, рассматривает вопросы реализации решений конференции, готовит и созывает конференции Ассоциации, разрабатывает и представляет на рассмотрение и утверждение конференции стратегию и программу деятельности Ассоциации.

4.5. Президент Ассоциации является председателем Совета. Вице-президенты входят в состав Совета. Решения Совета принимаются простым большинством голосов при наличии не менее половины членов Совета.

4.6. Совет избирает Правление сроком на 4 года.

4.7. Совет организует комиссии и рабочие группы по отдельным направлениям деятельности Ассоциации, представители которых отчитываются один раз в год перед Советом.

4.8. Текущей работой Ассоциации руководит Правление в составе Президента, вице-президентов, ответственного секретаря и членов Правления.

4.9. Правление решает все вопросы, связанные с информационной и издательской деятельностью Ассоциации, готовит заключения и рекомендации по монографиям, учебникам, справочной литературе и другим видам публикаций членов Ассоциации.

4.10. Правление:

организует научно-технические конференции, семинары, симпозиумы по вопросам электропривода;

организует проведение независимой экспертизы по вопро-

сам деятельности Ассоциации, рекламу и научно-технические выставки;

оказывает содействие членам Ассоциации с целью участия их в международных конференциях, выставках и других мероприятиях;

организует решение текущих вопросов деятельности Ассоциации в период между заседаниями Совета;

принимает в члены Ассоциации;

предварительно готовит вопросы для рассмотрения на Совете и конференции Ассоциации;

организует решение других вопросов уставной деятельности, за исключением тех, которые относятся к компетенции конференции и Совета.

4.11. Правление правомочно решать вынесенные на его рассмотрение вопросы, если в его заседании участвуют не менее половины членов Правления.

4.12. Решения Правления принимаются простым большинством голосов. Каждый член Правления при голосовании имеет один голос. При равенстве голосов вопрос ставится на повторное голосование. Правление заседает не реже одного раза в квартал. Решение о заседании Правления, времени и месте его проведения принимается Президентом.

4.13. Президент действует от имени Ассоциации и представляет ее во взаимоотношениях с государственными органами, предприятиями, организациями, общественными объединениями, а также во взаимоотношениях с зарубежными партнерами.

4.14. Президент и вице-президенты осуществляют решение оперативных вопросов в период между заседаниями Правления и Совета. Распределение обязанностей между Президентом и вице-президентом утверждается Советом.

4.15. Президент несет ответственность за реализацию решений конференции, выполнение программных документов. Президент отчетывается перед Советом и конференцией.

4.16. Президент и вице-президенты могут быть избраны не более чем на два срока. Для избрания на первый срок достаточно простого большинства голосов участников конференции. Избрание на второй срок требует большинства не менее 2/3 голосов участников конференции.

4.17. Ответственный секретарь Ассоциации:

планирует и готовит вопросы к заседаниям Совета и Правления;

ведет документацию Совета и Правления и официальную переписку;

осуществляет контроль за выполнением принятых решений.

4.18. Порядок деятельности отделений Ассоциации определяется Положением.

## 5. Членство в Ассоциации, права и обязанности

5.1. Членами Ассоциации могут быть отдельные специалисты, коллективы предприятий, организаций, учреждений, учебных заведений, а также другие общественные организации, признающие Устав и принимающие участие в деятельности Ассоциации.

5.2. Члены Ассоциации имеют статус:

индивидуальных членов, являющихся специалистами в области электропривода;

коллективных членов, представляющих коллективы специалистов предприятий, учреждений, организаций и учебных

заведений (коллективных членов представляют их полномочные представители).

5.3. Члены Ассоциации имеют право:

избирать и быть избранными в руководящие органы Ассоциации;

вносить на рассмотрение руководящих органов Ассоциации предложения, входящие в круг уставных задач Ассоциации;

в порядке, установленном Советом, пользоваться информацией, имеющейся в Ассоциации, а равно любыми другими услугами, оказываемыми Ассоциацией;

обращаться в Совет за содействием в защите своих профессиональных и авторских прав;

участвовать в творческих объединениях, временных творческих коллективах, действующих под эгидой Ассоциации;

публиковать в печатных изданиях Ассоциации результаты своих научных работ и другую информацию;

принимать участие в научно-технических конференциях и совещаниях, а также в других мероприятиях, проводимых Ассоциацией.

5.4. Члены Ассоциации обязаны:

соблюдать Устав Ассоциации;

активно содействовать решению задач, стоящих перед Ассоциацией;

выполнять решения Ассоциации;

уплачивать членские взносы.

5.5. Прием в члены Ассоциации производится по решению Правления на основании письменного обращения заявителя.

5.6. Любой член Ассоциации может выйти из нее по собственному желанию. Момент выхода наступает после подачи соответствующего заявления или после прекращения уплаты членских взносов.

5.7. Членство в Ассоциации может быть прекращено по решению Совета в том случае, если деятельность члена Ассоциации противоречит ее целям и дискредитирует Ассоциацию.

## 6. Взносы и средства Ассоциации

6.1. Средства Ассоциации образуются из следующих источников:

уставных средств, формирующихся из вступительных и членских взносов;

добровольных взносов предприятий, организаций, учреждений, учебных заведений и отдельных граждан;

средств, получаемых от хозяйственной деятельности, предусмотренной Уставом, в том числе доходов от проведения различных мероприятий, организации выставок, аукционов, издательской деятельности, деятельности производственных структур при Ассоциации;

прочих поступлений, не запрещенных Законом.

6.2. Средства Ассоциации не могут быть источником получения прибыли и перераспределяться между членами Ассоциации. Они направляются Правлением с последующей отчетностью перед Советом на финансирование мероприятий, программ и проектов Ассоциации в соответствии с ее целями и задачами.

6.3. Размеры вступительных и членских взносов коллективных и индивидуальных членов устанавливаются Советом.

6.4. Ассоциация может обладать в качестве собственника только тем имуществом, которое необходимо для осуществления ее целей и деятельности.

## 7. Прекращение деятельности Ассоциации

7.1. Деятельность Ассоциации прекращается при принятии соответствующего решения конференцией, а также в случаях, предусмотренных действующим законодательством.

7.2. Ликвидация Ассоциации производится в установлен-

ном порядке ликвидационной комиссией, образуемой конференцией Ассоциации.

7.3. В случае ликвидации Ассоциации по решению конференции ее имущество направляется на цели, предусмотренные настоящим Уставом.

# АССОЦИАЦИЯ НЕЗАВИСИМЫХ ИНЖЕНЕРОВ-КОНСУЛЬТАНТОВ (АНИК)

## УВАЖАЕМЫЕ ГОСПОДА !

Мы хотели бы информировать Вас о создании в июле 1992 г. в г. Москве Ассоциации независимых инженеров-консультантов (АНИК, Москва).

Среди учредителей Ассоциации — инженерные фирмы негосударственной формы собственности, работающие в различных областях: телекоммуникация и средства связи, вычислительная техника и информатика, автоматизация банковских и межбанковских операций, геологоразведка, добыча и переработка нефти и газа. Объем инженерно-конструкторских и внедренческих работ этих фирм в 1992 г. составил около 200 млн. руб.

Актуальность образования такой Ассоциации вытекает из объективно развивающихся в России процессов становления новых организационных структур использования квалифицированных инженерных кадров и появления частных предприятий в сфере инженерной деятельности и услуг.

Отечественные консультационно-инженерные фирмы, объединенные в Ассоциацию, по нашему мнению, являются важным и необходимым механизмом формирующейся рыночной инфраструктуры экономики нашего общества, который позволит повысить эффективное использование Российского научно-технического и инженерного потенциала для решения конкретных производственных задач.

В большинстве стран мира сфера консультационно-инженерной деятельности, основанная на частной форме собственности инженерных фирм, является важной составляющей инфраструктуры национальной экономики. Независимость, квалификация, гибкость и динамизм подобных структур, их поддержка со стороны государства, общественных и других фондов служат основой качества и эффективности в реализации многих технических проектов, позволяют утверждать высокий престиж инженера в обществе. Деятельность нашей ассоциации основана на соблюдении ее членами следующих основных принципов, выработанных мировой практикой:

высокий уровень профессиональной квалификации и компетенции в области консультационного инженеринга;

независимость профессиональных суждений; следование принципам международного профессионального Кодекса независимых инженеров-консультантов.

**Цели и направления деятельности Ассоциации как в России, так и за рубежом:**

1. Содействие формированию и развитию отечественной сферы услуг в области независимых инженерных консультаций.

2. Предоставление услуг членам Ассоциации, другим фирмам и организациям-потребителям инженерных услуг, в том числе иностранным, по установлению между ними взаимовыгодного сотрудничества.

3. Установление контактов с национальными и международными организациями инженеров-консультантов и представление в них интересов членов Ассоциации.

4. Всемирное содействие членам ассоциации, другим инженерным фирмам в получении и практической реализации инженерных проектов в России и других странах, финансируемых международными фондами и другими иностранными заказчиками.

5. Изучение международного опыта ведения консультационно-инженерной деятельности и его распространение среди членов Ассоциации и других заинтересованных организаций и лиц.

6. Ассоциация представляет интересы своих членов в государственных органах власти и управления, входит с предложениями по развитию, совершенствованию и созданию благоприятных условий для деятельности независимых консультационно-инженерных структур.

По направлениям своей деятельности Ассоциация проводит конференции, семинары и другие мероприятия; осуществляет рекламную, выставочную и издательскую деятельность в интересах своих членов.

103006, Москва  
ул. Чехова, 8

Тел: (095) 200-05-61  
Факс: (095) 200-42-08  
Телекс: 414892 SANTA SU

Мы рады сообщить Вам, что еще одна ассоциация питомцев вуза начинает действовать: Ассоциация выпускников Московского энергетического института (факультет "Электрооборудования и автоматизации промышленности и транспорта" — ЭПИТ, в настоящее время ЭАПТФ) основана в Москве и официально зарегистрирована в конце мая 1992 г.

Как все ассоциации выпускников вузов в мире наша Ассоциация имеет целью помочь каждому, кто окончил ЭАПТФ МЭИ, в развитии личности, в подъеме творческой активности, в достижении новых положительных результатов во всех сферах жизни.

Как все ассоциации выпускников вузов в мире, мы будем заботиться о непрерывном совершенствовании образования на факультете, улучшении условий жизни студентов.

Мы намерены:

накапливать информацию о деятельности членов Ассоциации и использовать ее в указанных выше целях;

организовывать эффективную взаимопомощь членов Ассоциации;

стимулировать спонсорское участие в развитии факультета.

Мы надеемся, что лучшие традиции факультета, дух настоящей дружбы и взаимопомощи станут основными принципами предстоящей деятельности Ассоциации.

*Мы приглашаем всех, кто окончил ЭАПТФ МЭИ, вступить в Ассоциацию.*

Вступительный взнос: 500 руб. или 25 долларов США.

Наши расчетные счета открыты в МКБ "Главмосстройбанк":

в рублях: р/с № 700021, кор. сч. № 161735, МФО № 201791;

в долларах США: б/с № 001070100, кор. сч. в ММБ № 35392 DB 0108 USD.

В свою очередь Международный Московский банк имеет корреспондентские счета в:

BANK OF NEW YORK, NEW YORK (для долларов) 890-0055-014;

CREDIT LYONNAIS, NEW YORK (для долларов) 01.21.8890.001.00.

Просим сообщить нам:

место работы, должность, телефон, факс;

предмет деятельности Вашей фирмы с тем, чтобы помочь Вам в поиске партнеров;

домашний адрес, телефон.

Председатель Ассоциации  
выпускник ЭПИТа 1955 г.  
доктор техн. наук, профессор  
**Н. ИЛЬИНСКИЙ**

111250, Москва, Е-250, Красноказарменная, 14,  
МЭИ, ЭАПТФ. Тел. 362-70-36, 273-40-60

### **Об Экспертном совете Ассоциации "Автоматизированный электропривод"**

Экспертный совет ассоциации (ЭСА) является подразделением Ассоциации и действует в соответствии с ее Уставом.

Основной задачей деятельности ЭСА является проведение независимой научно-технической экспертизы технического уровня и качества продукции, проектных решений, исследовательских работ, учебных пособий и других разработок в сфере автоматизированного электропривода и промышленного электрооборудования.

Экспертизе могут подвергаться все работы и образцы техники, разрешенные для ознакомления ее авторами, производителями или организациями, представляющими материалы для экспертного рассмотрения.

Целью экспертизы является определение научно-технического уровня и качества продукции или результатов интеллектуальной деятельности, перспективности планов и проектов, выработки рекомендаций по практическому их использованию, а также другие экспертные заключения по запросу заинтересованных организаций.



**"Электроника-92". А. Шаф.** Более высокие уровни напряжений и токов приборов и устройств электроники могут быть реализованы как в системах автоматизации и силовой электроники, так и в вычислительной технике, автомобилестроении и других областях техники. Такие силовые полупроводниковые приборы будут представлены на международной конференции "Электроника-92" в ноябре 1992 г. в г. Мюнхен.

**"МСТ есть реальность". А. Шаф.** Силовая электроника предлагает новые привлекательные решения во многих разнообразных областях применения электрической энергии. Прогресс в силовой электронике идет нога в ногу с прогрессом в развитии полупроводниковых компонентов в качестве силовых ключей. Новый силовой полупроводниковый прибор — запираемый тиристор (МСТ) — теперь становится доступным для коммерческого использования.

**"Тенденции в развитии датчиков положения".** Схемы автоматизации производственных процессов, как и системы измерения для различных машин, должны использовать сигналы обратных связей о перемещении ползунов, вращении плит, поворотах рычагов и т. д. в цифровом представлении. Рассматриваемые датчики положения являются оптимальными для этих применений.

**"Позиционные системы управления с Колумбовским трением". Х. Хенрихсрайз.** Компенсация помех с использованием наблюдателя дает значительную возможность улучшить характеристики позиционных систем управления. Устройства текущего контроля были использованы для быстрого и эффективного внедрения концепции цифрового управления.

**"Магнитные сенсоры для бесконтактных измерений". Клаус В. Шленк.** Такие механические параметры как положение, перемещение, частота вращения или угол поворота надежно измеряются магнитными сенсорами на большом расстоянии и даже через перегородки. На практике применяются четыре типа сенсоров: импульсные сенсоры с обмотками, позиционные сенсоры, компенсационные сенсоры и сенсоры для измерения перемещений. Возбудитель обычно использует

постоянный магнит. Такие магнитные сенсоры сконструированы для использования в промышленности. Границы области применения распространяются от гидравлических компонентов и газовых счетчиков и линий и от измерений положения транспортных средств до систем регулирования скорости электроприводов.

**"Пленочные конденсаторы для ключевых источников питания". В. Лавене, Е. Ронду, Ф. Гарни.** Преимущества пленочных диэлектрических конденсаторов станут более важными по мере роста рабочей частоты источников питания на ключевых элементах. По мере роста рабочей частоты емкость требуемых для фильтрации конденсаторов будет уменьшаться и источники питания станут меньше по размеру. Это потребует конденсаторов с очень высокими электрическими свойствами, способных работать при высокой температуре окружающей среды.

**"Быстродействующие IGBT модули, хорошо приспособленные для применения в инверторе". А. Вудворт.** По мере развития быстродействующих IGBT модулей, быстросовмещающихся встраиваемых в них диодов и драйверов для обеспечения необходимой защиты задача проектировщиков инверторов упрощается.

**"Мощный каскад коррекции коэффициента мощности для бустерных конверторов". Денис Р. Графам, Томас Шнайдер.** Необходимость в коррекции коэффициента мощности за счет снижения гармоник в линиях переменного тока и тем самым улучшения их использования широко обсуждается в течение многих лет. Сейчас новый мощный каскад для бустерных конверторов является прекрасным средством для этого. Имея компактную и надежную конструкцию, удобную для промышленности и техники, эта продукция обеспечивает реальный прогресс в высокочастотной преобразовательной технике. В статье детально описываются этапы развития устройства.

**"Новая продукция".** В этом разделе журнала приводится информация о более чем пятидесяти новых видах изделий для преобразовательной техники и электропривода.

## ЗАЩИТА ДОКТОРСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ

В 1991—1992 гг. в Ученом Совете Д 053.16.04 защищены следующие диссертации:

1. Шрейнер Р. Т. "Асинхронные электроприводы с полупроводниковыми преобразователями частоты".

2. Никольский А. А. "Двухканальные электроприводы с пьезокомпенсаторами (теория и применение в точных электромеханических системах)".

3. Титов В. Г. "Асинхронно-вентильные нагружающие устройства для испытаний двигателей внутреннего сгорания (теория, исследование и разработка)".

4. Масандилов Л. Б. "Теория, исследование и разработка асинхронного электропривода со специальными режимами работы".

5. Бурянина Н. С. "Электротехнические комплексы и системы управления автоматизированными приводами основных технологических механизмов судовых шлюзов".

6. Каримов Х. Г. "Основы теории и разработка регулируемых бесконтактных электроприводов переменного тока широкой области применения".

## ГЛУБОКОУВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Московский энергетический институт и Московское правление НТО энергетики и электротехнической промышленности приглашает Вас принять участие в Международной конференции "Проблемы преобразования электроэнергии", посвященной 50-летию кафедры промышленной электроники МЭИ.

Конференция состоится **8–9 декабря 1993 г.** в Московском энергетическом институте.

Официальные языки конференции: *русский, английский.*

10 декабря в рамках празднования юбилея кафедры промышленной электроники в ДК МЭИ состоится вечер встречи выпускников и друзей кафедры.

Для участия в конференции необходимо до 30 июня 1993 г. выслать в адрес оргкомитета заявку и тезисы докладов.\* Тезисы доклада должны составлять один полностью заполненный машинописный лист. Печать через 1,5 интервала, рисунки и формулы должны быть выполнены тушью или чернилами. В шапке тезисов идут инициалы и фамилии авторов, под ними через 1,5 интервала в круглых скобках наименование организации и город, далее через 3 интервала название доклада, выполненное заглавными буквами. Каждая строка шапки выравнивается по левой кромке текста, отстоящей от левого края листа на 30 мм. Сверху необходимо отступить 30 мм, снизу 25 мм, а справа 5 мм. В заявке указываются название доклада; фамилия, имя, отчество, место работы, должность, телефоны докладчиков; адрес для переписки; для тех, кто учился на кафедре промышленной электроники МЭИ, в аспирантуре или ФПКП по этой же кафедре, указать соответствующие годы окончания.

Участие в конференции платное. Плата будет сообщена при рассылке пригласительных билетов.

Параллельно с конференцией предполагается проведение выставки и других рекламных мероприятий.

Все материалы по конференции, заявки на участие в выставке и праздничном вечере необходимо посылать по адресу:

111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., 14, МЭИ, кафедра ПЭ.

Справки по телефонам: (095) 362-74-71, 362-74-22 – Калиманов Андрей Константинович.

ОРГКОМИТЕТ

УДК 62-83:532.003.1

**Рынок высокоскоростных электроприводов на базе мехатронных модулей.** Ю. П. Богачев, С. А. Голембиовский. — Электротехника, 1993, № 6, с. 5

Проанализированы состояние и перспективы развития мирового рынка высокоскоростных станочных электроприводов, выполняемых на базе мехатронных модулей.

Ил. 5. Табл. 1.

УДК 347.79(088.8)

**Новый патентный закон.** Г. М. Окунь. — Электротехника, 1993, № 6, с. 13

Рассмотрены основные положения патентного закона Российской Федерации, введенного в действие с 14 октября 1992 г.

УДК 62-83-2:621.316.37

**Многокоординатный комплектный дискретный электропривод с микропроцессорным управлением для гибких автоматизированных производств и робототехнических комплексов.** А. П. Балковой, В. Ф. Козаченко, Н. А. Обухов, Г. А. Сливинская. — Электротехника, 1993, № 6, с. 15

Рассмотрены принципы построения и функционирования многокоординатного дискретного электропривода с шаговыми двигателями линейного, планарного, поворотного и комбинированного типов с мультимикропроцессорной системой управления для реализации прецизионных и контурных движений. Приведены основные технические характеристики привода и системы управления и обоснована перспективность его проектирования на основе новой концепции.

Ил. 4. Библ. 3 назв.

УДК 62-83::621.313.333

**Асинхронный массовый регулируемый электропривод с повышенными энергетическими и динамическими характеристиками.** Л. П. Петров, О. А. Андрющенко, А. А. Вычужанин, Я. Б. Тубис. — Электротехника, 1993, № 6, с. 25

Рассмотрено применение в асинхронном электроприводе с тиристорным преобразователем напряжения принципа синхронизации работы тиристоров по току двигателя и его реализация в преобразователях типа ПТР.

Ил. 1. Табл. 1.

УДК 62-83.001:531

**Использование метода корневого годографа и пары доминирующих корней при оценке динамических свойств.** В. Г. Алферов, Ха Куанг Фук. — Электротехника, 1993, № 6, с. 29

Рассмотрено как путем использования метода корневого годографа можно определить влияние изменения параметров на корни характеристического уравнения электромеханических систем с целью нахождения условий максимального демпфирования и компенсации влияния их доминирующих корней на механические колебания.

Ил. 6. Библ. 6 назв.

УДК 62-83::621.313.323.072.9

**Транзисторные синхронные электроприводы переменного тока на базе преобразователя ПУТИС.** С. И. Гулевский, А. М. Рохлин, А. П. Усачев, С. Г. Шраменко. — Электротехника, 1993, № 6, с. 27

Представлены результаты разработки преобразователей ПУТИС (преобразователи унифицированные транзисторные импульсные сетевые), ориентированные для использования в многокоординатном электроприводе в комплекте с системой управления верхнего уровня (системой ЧПУ) и синхронными электродвигателями с постоянными магнитами.

Ил. 2.

УДК 62-83::621.313.3

**Система управления электропривода генератор-двигатель на перспективной элементной базе.** В. Н. Остриров, С. В. Носач. — Электротехника, 1993, № 6, с. 32

Рассмотрено применение в схеме генератор-двигатель электроприводов механизмов экскаваторов, перспективных средств управления — транзисторных преобразователей для питания обмоток возбуждения и цифрового процессора обработки сигналов (однокристалльной микроЭВМ). Приведены полученные характеристики электропривода.

Ил. 6. Библ. 2 назв.

УДК [62-83:629.113/115].001.8

**Современные электроприводы, применяемые на оборудовании АЗЛК.** А. Ф. Голыгин. — Электротехника, 1993, № 6, с. 36

Проанализирован опыт использования на АЗЛК современных отечественных и зарубежных электроприводов для различных рабочих машин, механизмов и установок.

**Опыт разработки и применения тиристорных преобразователей напряжения для управления асинхронными электроприводами.** В. А. Анисимов, А. О. Горнов, М. Ю. Катаев, Г. В. Католиков, А. В. Киселев, А. Л. Коваленко, Г. А. Крикунчик, Ю. В. Рожанский, А. Э. Тарасов. – Электротехника, 1993, № 6, с. 37

Рассмотрено использование новых функциональных возможностей тиристорных преобразователей напряжения в схемах электроприводов с короткозамкнутыми асинхронными двигателями применительно к некоторым рабочим машинам и механизмам общепромышленного назначения.

Ил. 3. Библ. 4 назв.

УДК 62–83.06.07

**Некоторые тенденции развития зарубежных электроприводов.** Б. З. Брейтер, Я. Б. Розман. – Электротехника, 1993, № 6, с. 42

Анализируются основные тенденции развития зарубежных электроприводов по материалам международной выставки "Электро-92" и "Привод-91" в Москве.

Табл. 2.

**Микропроцессорные измерители–регуляторы с импульсным датчиком.** А. В. Бирюков, Л. А. Прокофьева, Н. Э. Фадеева, В. М. Хуторецкий. – Электротехника, 1993, № 6, с. 44

Рассмотрены микропроцессорные измерители–регуляторы, предназначенные для работы с серийно выпускаемыми регулируемыми электроприводами любой мощности с аналоговыми и цифроаналоговыми средствами управления.

Ил. 2.

УДК 621.316.544.1.001.8

**Малый программируемый контроллер с удаленными блоками ввода–вывода.** В. Д. Тимошенко, П. Г. Вайнштейн, П. М. Лиморенко. – Электротехника, 1993, № 6, с. 46

Рассмотрены параметры, основные технические характеристики и принципы действия малопрограммируемого контроллера типа КП–3.

Ил. 3.

Материалы номера подготовлены **В. В. Москаленко**, обложка выполнена по эскизам **А. О. Горнова**

Научный редактор Н. С. Разумовская. Литературный редактор А. М. Мескина.  
Художественный редактор Т. А. Дворецкова. Технический редактор Г. Г. Самсонова.  
Корректор С. Ю. Торокина

Сдано в набор 21.04.93. Подписано в печать 27.05.93. Формат 60×88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,82.  
Усл. кр.–отт. 9,54. Уч.–изд. л. 8,82. Тираж 1350 экз. Заказ 531.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М–114, Шлюзовая наб., 10

Набрано на ордена Трудового Красного Знамени Чеховском полиграфическом комбинате Министерства печати и информации Российской Федерации, 142300, г. Чехов Московской области

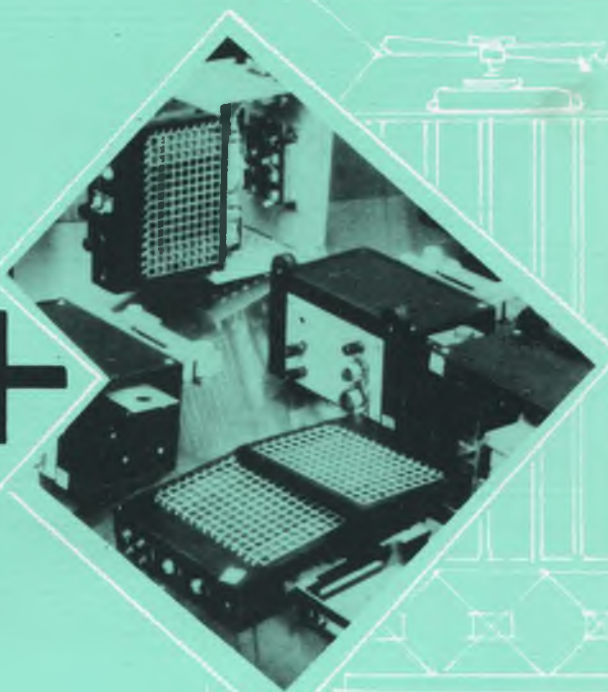
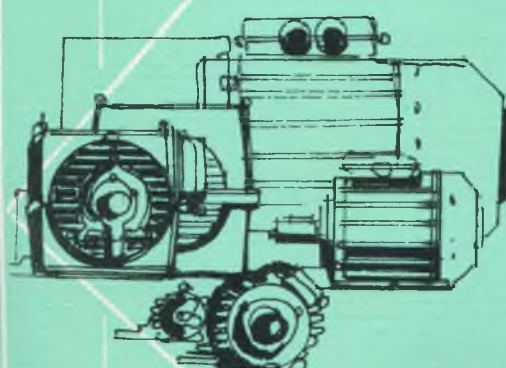
Отпечатано в Подольском филиале. 142110, г. Подольск, ул. Кирова, 25

# ПУСКОВЫЕ УСТРОЙСТВА

ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ С ПРИВОДОМ НА ОСНОВЕ  
КОРОТКОЗАМКНУТЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**РАЗРАБОТАНЫ** на основе шести и трехвентильных регуляторов напряжения.

**ОБЕСПЕЧИВАЮТ** повышение срока службы механических передач, асинхронных двигателей, линий и трансформаторов питания, коммутационных аппаратов, повышение удобства управления механизмов **ЗА СЧЕТ** снижения пусковых токов и моментов при легких пусках, форсирования моментов с ограничением тока при тяжелых пусках, повышения числа допустимых пусков подряд, вращения двигателя вперед и назад при малых скоростях, обеспечения программного пуска.



**ОТЛИЧАЮТСЯ** пониженными габаритами, массой и потерями энергии в преобразовательной части **ЗА СЧЕТ** использования силовых элементов на основе контакторно-тиристорных, тиристорно-магнитных функциональных гибридов

**РАЗРАБОТЧИК:** Кафедра Автоматизированного электропривода Московского энергетического института, 105835, ГСП, Москва, Е-250, Красноказарменная ул, 14,  
телефон 362-75-41



# ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ

с частотой вращения от 6000 до 2500 об/мин  
и мощностью от 0,12 до 30 кВт

мехатронные модули

# ВЫСОКОМОМЕНТНЫЕ

низкооборотные безредукторные с частотой вращения до  
20 об/мин и моментом до 1500 Н·м

мехатронные модули

# ЛИНЕЙНЫЕ

прецизионные с усилием до 1000 Н, скоростью до 2 м/с и точ-  
ностью позиционирования до 1 мкм

мехатронные модули

# ПРЕЦИЗИОННЫЕ

с встраиваемыми двигателями с моментом до 40 Н·м и часто-  
той вращения до 6000 об/мин

мехатронные модули

ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ РАЗНООБРАЗ-  
НЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

РАЗРАБАТЫВАЕТ И ПРОИЗВОДИТ ГРУППА

# МЕХАТРОНИКА

Тел. 276-97-07    Факс 200-02-79    Телекс 411053  
109316, Москва, Остаповский проезд, 9

