

ISSN 0013-5860

Э
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
Т
1 2000

1930 - 2000



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ —
КОЛЛЕКТИВНЫЙ ЧЛЕН АКАДЕМИИ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК РФ
Издается с января 1930 года

№ 1 ЯНВАРЬ 2000

УЧРЕДИТЕЛИ

ДЕПАРТАМЕНТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
МИНПРОМА РФ (г. МОСКВА)
АО «ЭЛЕКТРОВЫПРЯМИТЕЛЬ»
(г. САРАНСК)
АООТ «ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ
«ЭЛЕКТРОЗАВОД» (г. МОСКВА)
АО «ЭЛЕКТРОНИКА» (г. ВОРОНЕЖ)
АО «ВЭЛНИИ» (г. НОВОЧЕРКАССК)
АССОЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕРОВ СИЛОВОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ (г. МОСКВА)
АССОЦИАЦИЯ «АВТОМАТИЗИРОВАН-
НЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД» (г. МОСКВА)
НТА «ПРОГРЕССЭЛЕКТРО»
(г. МОСКВА)
АО «РОСЭЛПРОМ» (г. МОСКВА)

СОВЕТ УЧРЕДИТЕЛЕЙ

ИВАНОВ В.Н., ЧИБИРКИН В.В., МА-
КАРЕВИЧ Л.В., МЕЩЕРЯКОВ В.М.,
ЩЕРБАКОВ В.Г., КОВАЛЕВ Ф.И. (пред-
седатель совета), ЮНЬКОВ М.Г., ПО-
ДАРУЕВ А.И., ГЛОВАЦКИЙ А.В.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
КОЧЕТКОВ В.Д.

БЕЛКИН Г.С., ДАЦКОВСКИЙ Л.Х.,
ДОЛКАРТ В.М., КОПЫЛОВ И.П.,
ЛУРЬЕ А.И., МАВЛЯНБЕКОВ Ю.У.,
МОСКАЛЕНКО В.В., НИКУЛИН А.А.,
РОЗАНОВ Ю.К., СЛЕЖАНОВС-
КИЙ О.В. (зам. главного редактора),
ТРУБАЧЕВ С.Г., ТУБИС Я.Б.,
УСОВ Н.Н., ФИНКЕЛЬ Э.Э., ФЛОРЕН-
ЦЕВ С.Н.

Издатель: ЗАО "Знак"

103012, Москва, Б.Черкасский пер., 2/10

Адрес редакции:

123242, Москва,

Зоологическая ул., 11, комн. 213

Факс/телефон: 254-11-52

E-mail elektrotechnika@mtu-net.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Кочетков В.Д. Нашему журналу 70 лет	1
Митин С.Г. Главному редактору журнала «Электротехника» В.Д.Кочеткову	2
Терещенко Г.Ф. Редколлегии и читателям журнала «Электро- техника»	2
Герасимов В.Г., Альтов В.А. Редакционной коллегии журнала «Электротехника»	2
Стома С.А. Коллективу журнала «Электротехника»	3
Пешков И.Б. Редакционной коллегии журнала «Электротехника»	3
Аметистов Е.В. Журналу «Электротехника»	4
Юньков М.Г. Журналу «Электротехника»	5
Ковалев Ф.И. Ассоциация инженеров силовой электроники	6
Пешков И.Б. Кабельная промышленность: ситуация и перспективы развития	9

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Беспалов В.Я., Мощинский Ю.А., Петров А.П. Динамические показатели трехфазных асинхронных двигателей, включаемых в однофазную сеть	13
Войнова Т.В. Программное обеспечение для моделирования трех- фазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым рото- ром в составе системы управления электроприводами и для бездатчикового измерения регулируемых переменных	19
Логинова Е.Ю. Выбор рациональных режимов охлаждения тяговых двигателей постоянного тока локомотивов	25

ЭЛЕКТРОПРИВОД

Браславский И.Я., Зюзев А.М., Костылев А.В. Баланс реак- тивной мощности в системе тиристорный преобразователь напряжения — асинхронный двигатель	30
--	----

ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Долкарт В.М. Использование новейших быстродействующих циф- ровых логических КМОП микросхем на малое напряжение питания.	33
Малафеев С.И., Мамай В.С., Микрюков В.И., Серебренни- ков Н.А. Микроконтроллерное устройство для защиты элек- трической сети от однофазных замыканий на землю	40

ЭЛЕКТРОТЕРМИЯ

Минеев А.Р., Рубцов В.П. Статистические и динамические по- казатели качества работы электротехнических установок (на примере электропечей)	42
---	----

НАУЧНАЯ ГИПОТЕЗА

Копылов И.П. Электромагнитный момент планеты — климат, приливы и океанская зыбь	51
---	----

ХРОНИКА

Герасимов В.Г. ВЭЛК-99	59
Пешков И.Б. 8-я Международная выставка «Технология кабель- ного производства»: анализ перспектив развития	62
Татьяна Анатольевна Глазенко	64

НАШЕМУ ЖУРНАЛУ 70 ЛЕТ

Журнал «Электротехника» — коллективный член Академии электротехнических наук — издается с 1930 г. В январе 2000 г. журнал отмечает свое 70-летие.

За эти 70 лет журнал сформировался как основной научно-технический печатный орган в электротехнике. Его публикации содействовали научно-техническому прогрессу электротехнической науки СССР и России, широко освещали достижения в технике и производстве основных электротехнических изделий. Привлечение широкого круга высокопрофессиональных ученых и инженеров позволило освоить большое количество фундаментальных исследований, лежащих в основе развития современной электротехники.

Журнал активно информировал научно-техническую общественность о мировых достижениях, проводимых выставках и семинарах.

На страницах журнала возникали интересные дискуссии по отдельным наиболее интересным темам.

В последние годы журналом практикуется издание тематических номеров, освещающих вопросы машиностроения, электропривода, силовой электроники, изоляционной техники, высоковольтной техники, кабельной техники, электротермии и др.

Журнал публикует обзорные, постановочные и дискуссионные статьи, информирует читателей о проблемах управления наукой и производством, рассматривает вопросы стандартизации, изобретательства и рационализации, помещает рецензии на книги и статьи по электротехнике, дает информацию о новых изделиях и нормативных документах, помещает рекламные материалы.

В современных условиях журнал приобретает все большее значение для сохранения старых и налаживания новых научно-технических и практических связей между производителями и потребителями электротехнического оборудования.

Публикуемая на страницах журнала реклама продукции, информация об условиях и сроках ее поставки, выпуск специальных номеров журнала по тематике и материалам (в том числе рекламным) заказчика, помогает найти надежных партнеров как у нас в стране, так и за рубежом.

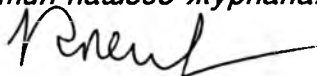
Успеху журнала способствовало то, что на протяжении всей своей деятельности он привлекал к сотрудничеству многих известных ученых и ведущих деятелей электротехнической промышленности, а академики А.Г.Иосифьян и Г.Н.Петров долгие годы были главными редакторами журнала.

Значительное время основным издателем журнала было Министерство электротехнической промышленности СССР. О большой значимости этого журнала для развития промышленности страны свидетельствует то обстоятельство, что руководителями журнала были заместители министра электротехнической промышленности Ю.А.Никитин и Н.А.Оболенский. Мы с благодарностью отмечаем их плодотворный и очень полезный для страны труд.

В тяжелые годы перестройки, когда многие журналы, потеряв своих основных издателей, не выдержали испытание жизнью, журнал «Электротехника» был взят под опеку ведущими научно-исследовательскими организациями страны: ВЭИ им.Пенина, ВНИИ КП, ВНИЭТО, ВНИИ Электропривод и др., объединенными, созданными на базе ликвидированного Минэлектротехпрома и многими электротехническими предприятиями и ассоциациями. Существенная помощь журналу была оказана Министерством науки. И журнал выжил!

И сегодня в день 70-летнего юбилея хочется сказать им всем: «Большое спасибо!». Тем более, что сейчас, приобретая второе дыхание, журнал, сохраняя традиции прошлого, развивает свою деятельность в условиях намечающегося подъема отечественной науки и производства, привлекая все больший круг высококвалифицированных авторов.

С праздником 70-летия нашего журнала!



В.Д.Кочетков, главный редактор



Главному редактору журнала «Электротехника» В.Д.Кочеткову

Министерство экономики Российской Федерации поздравляет коллектив и ветеранов редакции с 70-летним юбилеем журнала «Электротехника».

За эти годы журнал «Электротехника» сформировался как ведущий научно-технический печатный орган в отечественной электротехнике. Его публикации содействуют научно-техническому прогрессу в электротехнической промышленности страны, широко освещают достижения в технологии и производстве прогрессивных электротехнических изделий.

В сложные годы переходного периода, когда многие технические издания не выдержали испытания жизнью, журнал «Электротехника» продолжает успешно функционировать и в настоящее время переиздается на английском языке в США.

Сейчас это один из основных печатных органов в машиностроении, который объединяет вокруг себя научные организации и промышленные предприятия, привлекая к тесному сотрудничеству видных деятелей науки и практиков.

Желаю коллективу редакционной коллегии журнала «Электротехника» и всем его читателями доброго здоровья, личного счастья, новых творческих замыслов и свершений на благо России.

Заместитель Министра
экономики РФ

С.Г.Митин

Редколлегии и читателям журнала «Электротехника»

Уважаемые коллеги!

Примите сердечные поздравления и пожелания успехов в связи с 70-летием журнала «Электротехника».

В течение 70 лет ваш журнал содействовал прогрессу электротехнической науки, практике проектирования и эксплуатации электротехнических установок. В нем обсуждаются фундаментальные вопросы теоретической и прикладной электротехники, постоянно дается информация о последних достижениях науки, техники и производства.

Сегодня очень важны публикуемые вами материалы о проблемах управления наукой и производством, вопросах стандартизации, изобретательства и рационализации.

В современных условиях журнал способствует сохранению старых и налаживанию новых связей между разработчиками, производителями и потребителями электротехнического оборудования.

Безусловно, успеху журнала способствовало постоянное привлечение к сотрудничеству видных ученых и руководителей электротехнической отрасли промышленности.

Желаю вашему журналу еще долгие годы способствовать успехам отечественной электротехники, от которой во многом зависит развитие экономики и энергетическая безопасность страны.

Первый заместитель Министра науки
и технологий Российской Федерации,
Член-корреспондент РАН

Г.Ф. Терещенко

Редакционной коллегии журнала «Электротехника»

Уважаемые коллеги!

Президиумы Российской и Международной академий электротехнических наук сердечно поздравляют коллектив и читателей журнала «Электротехника» со знаменательной юбилейной датой —

70-летием со дня основания.

Созданный в 1929 г. журнал за время своего существования всегда старался освещать актуальные вопросы основных направлений электротехнической науки и технических достижений промышленных предприятий. Благодаря усилиям коллектива редакторов в журнале расширена тематика и успешно пропагандируются результаты новых разработок элементной базы, устройств и комплексных систем для ведущих отраслей промышленности, космоса и сельского хозяйства.

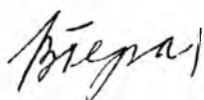
В современных условиях журнал приобретает все большее значение в сохранении старых и налаживании новых научно-технических и практических связей между производителями и потребителями электротехнического оборудования.

Журнал вызывает большой интерес в научных и инженерных кругах специалистов широкого профиля и получил признание в отечественных и зарубежных научных кругах.

Успеху журнала способствовало то, что на протяжении всей своей деятельности он привлекал к сотрудничеству многих известных ученых и ведущих специалистов электротехнической промышленности. В течение ряда лет главными редакторами Вашего журнала были такие крупнейшие ученые и организаторы электротехнической науки и промышленности, как А.Г.Иосифьян, Г.Н.Петров и Н.А.Оболенский.

В связи с юбилеем мы искренне желаем руководству и всем сотрудникам журнала дальнейших успехов в деле пропаганды всего нового в электротехнической науке и промышленности, способствующего совершенствованию электротехнического оборудования во всех областях его применения, а также доброго здоровья, счастья, творческих радостей и благополучия каждому члену вашего коллектива.

С искренним уважением



Президент АЭН РФ
В.Г.Герасимов



Президент МАЭН
В.А.Альтов

Коллективу журнала «Электротехника»

Сотрудники НПП ВНИИЭМ им.А.Г.Иосифьяна сердечно поздравляют Вас со знаменательной датой — 70-летием издания Вашего журнала.

Ни одна отрасль народного хозяйства, ни один из технологических процессов не могут, как правило, обойтись без применения разнообразных изделий электротехники, и поэтому Ваш плодотворный труд является немаловажным звеном в цепи внедрения достижений электротехнической науки в разработки, определяющие технический прогресс.

Столь зрелый возраст Вашего журнала свидетельствует о плодотворной стратегической линии «Электротехники» и говорит о том, что его коллективом пережиты вместе со страной и трудное время испытаний, и годы подъема и энтузиазма.

Многие десятилетия связывают нас общей работой. Основатель нашего института и его первый директор А.Г.Иосифьян с 1955 по 1965 г. был главным редактором журнала и не только перевел его название от информационного «Вестник электропромышленности» к более наукоемкому «Электротехника», но и обеспечил резкий рост научной значимости публикаций. В настоящее время Ваш журнал один из известных ведущих научно-технических журналов, призванный пропагандировать комплексные решения задач создания новой техники и передовых технологий.

Ведущие специалисты нашего института постоянно сотрудничают с журналом как авторы статей и члены редколлегии.

Мы высоко ценим Ваше внимание к достижениям ВНИИЭМ, надеемся и в дальнейшем плодотворно сотрудничать с Вами.

Желаем Вашему коллективу прекрасного настроения, уверенности в завтрашнем дне, творческих сил и энергии для продолжения благородного и столь необходимого дела как просвещение и обмен научно-технической информацией.

По поручению коллектива
Генеральный директор



С.А.Стома

Редакционной коллегии журнала «Электротехника»

Ассоциация «Электрокабель» и Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности (ОАО «ВНИИКП») сердечно поздравляют редакционную коллегию, коллектив редакции, авторский актив и читателей журнала «Электротехника» с 70-летием со дня основания.

На протяжении всего существования журнал «Электротехника» освещает на своих страницах самые актуальные проблемы основных направлений электротехнической науки, пропагандирует технические до-

стижения передовых промышленных предприятий отрасли, способствует расширению кругозора работников научных, конструкторских и промышленных организаций, а также широко предоставляет возможности для творческих дискуссий и оперативных сообщений о значительных событиях в жизни электротехников страны (конгрессы, съезды, конференции, выставки).

Являясь одним из старейших отечественных отраслевых журналов, с момента выхода первого номера журнал «Электротехника» ведет большую целенаправленную работу по расширению тематики публикаций, повышению их научного уровня, прикладной значимости и приближению к разносторонним интересам специалистов-электротехников.

Актуальность публикаций, стремление отвечать потребностям своих читателей и взыскательный подход к авторам статей и сообщений сделали журнал «Электротехника» одним из самых распространенных и авторитетных печатных изданий в электротехнической отрасли.

В качестве авторов публикаций на страницах журнала выступают не только известные ученые-электротехники и ведущие специалисты промышленных предприятий, вузов и научные работники исследовательских и конструкторских организаций электротехнического профиля, но и сотрудники предприятий и институтов смежных отраслей, а также Российской академии наук.

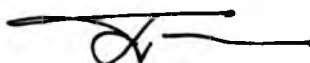
За многие годы существования журнала «Электротехника» на его страницах получили отражение история советской и российской электротехники, развитие новых научных направлений, техники и технологии.

На протяжении истекших семи десятилетий выросли и сменились несколько поколений читателей и авторов журнала «Электротехника», но одно осталось неизменным — стремление журнала оперативно откликаться на самые животрепещущие проблемы, которые ставит жизнь перед электротехнической наукой и техникой во всем их многообразии.

Журнал «Электротехника» является наиболее доступным и распространенным печатным органом для работников электротехнических предприятий. Его авторитет высок не только в России, но и в странах СНГ, в других государствах; его выписывают и охотно читают как в ближнем, так и в дальнем зарубежье.

В эти юбилейные для журнала «Электротехника» дни Ассоциация «Электрокабель» и ОАО «ВНИИКП» желают его главному редактору, членам редакционной коллегии, сотрудникам редакции и авторам журнала дальнейших творческих успехов в их ответственной и почетной работе.

*Президент Ассоциации «Электрокабель»,
Генеральный директор ОАО «ВНИИКП»,
профессор, доктор технических наук*



И.Б.Пешков

Журналу «Электротехника»

Московский энергетический институт поздравляет журнал «Электротехника» со славным 70-летием.

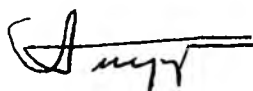
Журнал основан в годы выполнения первого пятилетнего плана, когда ставилась задача «постепенного перевода хозяйства страны на новую техническую базу, на техническую базу крупного производства, связанного так или иначе, прямо или косвенно, с делом электрификации». Это было время интенсивного развития электротехнической промышленности в СССР, и журнал «Электротехника» с первых номеров активно участвовал в пропаганде и обобщении передового опыта, анализировал состояние и тенденции развития электротехнической продукции, способствовал формированию научных направлений в области электротехнических материалов, электромашиностроения, преобразовательной техники, электропривода.

Журнал бережно хранит славные традиции. Актуальность обсуждаемых вопросов, тщательный отбор материала, высокое качество публикуемых статей обеспечили журналу широкую известность, уважение и благодарность научно-технической общественности.

Многие сотрудники Московского энергетического института — постоянные читатели и авторы журнала, главный редактор и ряд членов редколлегии — выпускники МЭИ.

Мы уверены, что творческое содружество МЭИ и журнала «Электротехника» приносит взаимную пользу, служит общему делу — совершенствованию отечественной электротехнической науки и практики.

Желаем журналу процветания, а членам редколлегии и редакции — здоровья и новых творческих успехов!



Аметистов Е.В., ректор МЭИ, чл.-корр. РАН

ЖУРНАЛУ «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

От имени ассоциации «Автоматизированный электропривод», объединяющей электроприводчиков Российской Федерации, сердечно поздравляю редакцию и редакционную коллегию с 70-летием со дня основания ведущего журнала электротехников нашей страны.

Развитие науки и техники невозможно без постоянного творческого обмена мнениями специалистов. Журнал «Электротехника» с момента его основания стал действенным органом коллективного творчества по обобщению и обмену опытом ученых и инженеров, обсуждению и выработке рекомендаций по важнейшим научно-техническим проблемам, координации перспективных научных исследований, использованию достижений науки и производства.

История журнала «Электротехника» — история отечественной электротехнической науки и производства и в том числе история развития отечественного электропривода.

Научно-технические и производственные задачи в области электропривода за 70 лет претерпели значительные изменения в связи с появлением новых проблем и новых возможностей.

Историю развития отечественного электропривода, возрастание его роли в научно-техническом прогрессе, результаты деятельности ученых, инженеров и производственных коллективов отражал и продолжает отражать на своих страницах журнал «Электротехника».

Журнал «Электротехника» объединил видных ученых по электроприводу. «Электротехника» сегодня один из самых авторитетных научно-технических журналов, где рассматриваются в комплексе проблемы электропривода.

В разные годы в работе журнала активное участие принимали видные ученые Чиликин М.Г., Сандлер А.С., Поздеев А.Д., Рудаков В.В., Дружинин Н.Н., Шубенко и др.

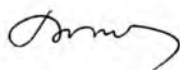
И сегодня, несмотря на определенные трудности авторитет журнала остается на высоком уровне, достойно представляя на своих страницах электротехническую отрасль и ее подотрасль электропривод, помогая решать научные, производственные и эксплуатационные электротехнические задачи.

Этому процессу способствуют своим активным участием в работе журнала ведущие ученые электроприводчики профессора Борцов Ю.А., Башарин А.В., Браславский И.Я., Ильинский Н.Ф., Ключев В.И., Собинин Ю.А., Соколовский Г.Г., Терехов В.М., Хватов С.В., Онищенко Г.Б. и многие другие специалисты по электроприводу из различных регионов России, стран СНГ и других зарубежных стран. Необходима и дальше консолидация широкого круга ученых и инженеров.

Сегодня, в большей степени чем раньше, особая роль принадлежит журналу «Электротехника» — главному журналу электроприводчиков, который на всех больших этапах создания новой техники электропривода помогал формировать и проводить в жизнь научно-техническую политику по наиболее важным вопросам.

Есть уверенность в том, что ученые, инженеры, производственники, эксплуатационники по электроприводу и в дальнейшем будут эффективно сотрудничать с журналом, что поможет успешному развитию отечественного электропривода.

От имени электроприводчиков РФ желаю редакции и редколлегии дальнейших успехов в Вашем благородном труде.



**М.Г.Юньков, Президент ассоциации
«Автоматизированный электропривод», профессор**

АССОЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕРОВ СЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

КОВАЛЕВ Ф.И., президент Ассоциации инженеров силовой электроники,
председатель Совета учредителей журнала «Электротехника»

Ассоциация силовой электроники (АСЭ) поздравляет журнал «Электротехника», отмечающий 70-летний юбилей, и желает ему сохранения славных традиций и высокого уровня одного из ведущих мировых электротехнических журналов.

Ассоциация является одним из учредителей журнала «Электротехника» и активно участвует в его работе, подготавливая два тематических выпуска в год.

Силовая электроника как одно из прогрессивных интенсивно развивающихся научно-технических направлений, сформировалась во второй половине XX века. С появлением в 50-е годы силовых полупроводниковых приборов (диодов и транзисторов), сначала германиевых, а затем и кремниевых, начался процесс, который в итоге вывел силовую электронику на уровень ведущих технологий XX века.

Роль и значение силовой электроники определяется тем, что около двух третей всей вырабатываемой электроэнергии потребляется в преобразованном виде.

Суть силовой электроники составляют методы и средства, обеспечивающие изменение параметров электрической энергии с помощью электронных вентилях.

Эффективность силовой электроники определяется тем, что коммутация электрических цепей, являющаяся основополагающим принципом управления потоками электроэнергии, осуществляется электронными ключами без значительных потерь энергии, т.е. с весьма высоким КПД.

Это является фундаментальным отличием силовой электроники от информационной, осуществляющей передачу информации и управление информационными потоками, и для которой главными являются количество, скорость и качество передачи информации.

Информационная электроника, обеспечивавшая достижение фантастических результатов в деле глобальной компьютеризации всех областей человеческой деятельности, долгое время затеняла силовую электронику.

Однако постоянно возрастающий расход энергоресурсов, остро поставивший перед человечеством проблему энергосбережения, вывел силовую электронику из тени информационной электроники.

По очень точному определению профессора Боуза (Bose) информационная электроника является мозгом XXI века, а силовая — его мускулами.

Огромное влияние на развитие силовой электроники оказали силовые полупроводниковые приборы, управляемые структурой «Металл — окисел — полупроводник» (МОП).

Создание в 70-е годы полевых транзисторов (MOSFET), а затем в 80-е годы биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) повлекло за собой столь радикальные изменения в силовой электронике, что можно говорить о революции, переживаемой этим научно-техническим направлением. Практически во всем диапазоне мощностей (до 1 МВт)

создатели преобразовательного оборудования получили в свое распоряжение «идеальные» ключи.

Низкий уровень потерь и малая мощность управления МОП-транзисторов позволили реализовать заманчивую идею создания силовых интегральных схем, в которых на одном кристалле технологическими приемами изготавливаются силовые ключевые элементы, схемы их запуска и защиты, устройства управления, регулирования и диагностики. Из-за наличия в их составе элементов, выполняющих логические операции и автоматически обеспечивающих определенные режимы работы нагрузок, такие устройства получили название интеллектуальных (SMART, INTELLIGENT).

Осуществляя связь между управляющими командами малой мощности и потребляющей энергию нагрузкой, силовые интегральные схемы фактически представляют собой активную часть преобразовательного устройства. Однокристалльные силовые интегральные схемы наиболее широко применяются в автомобильной электронике в качестве инверторов, контроллеров постоянного и переменного тока.

Однокристалльные силовые интегральные схемы оказывают огромное влияние на развитие силовой электроники, особенно в зоне небольших мощностей и низких напряжений.

МОП-транзисторы стимулировали развитие силовых гибридных модулей, в которых силовые ключевые, а в последнее время и информационные элементы соединяются методами пленочной технологии на общей теплопроводящей изолирующей подложке, образуя всю или часть схемы преобразовательного устройства.

Силовые интегральные схемы и гибридные модули позволяют в несколько раз снизить массу, габариты, трудоемкость изготовления и, как следствие, себестоимость оборудования, повысив при этом его надежность.

Силовая электроника объединяет достижения техники коммутации электрических цепей и передовую технологию управления. За счет этого обеспечивается как экономическая эффективность преобразования параметров электрической энергии, так и оптимизация управления технологическими процессами.

Начиная с 70-х годов не существует каких-либо ограничений или принципиальных трудностей для создания преобразовательного оборудования постоянного и переменного тока в диапазоне мощностей от единиц ватт до десятков мегаватт, которое уже сегодня внедрено практически во все отрасли народного хозяйства (рис. 1).

Характерная особенность силовой электроники заключается в том, что проблемы, над разрешением которых работают специалисты этого научно-технического направления, весьма разнообразны и охватывают электротехнику, электронику, физику, теорию управления и т.д.

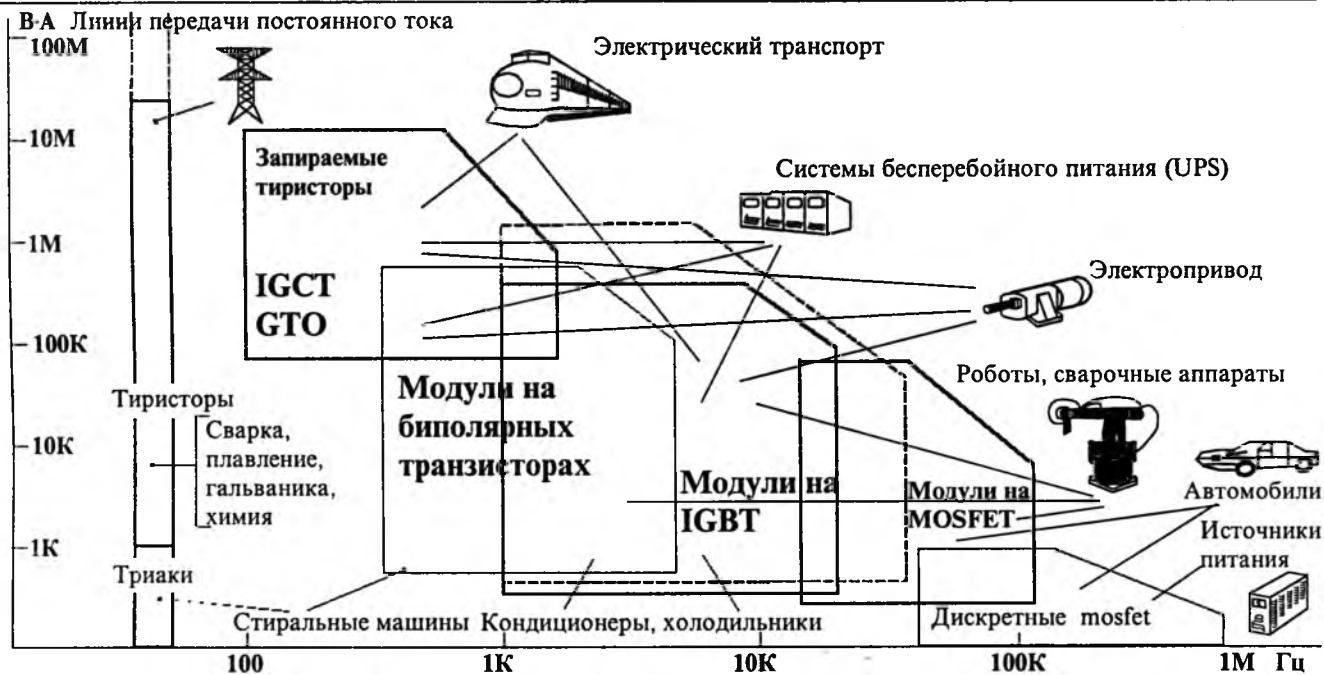


Рис.1. Области применения силовой электроники

Жизненная необходимость профессионального объединения специалистов, различных профилей явилась побудительным мотивом создания Ассоциации инженеров силовой электроники, целью которой является формирование благоприятных условий для развития творческой активности членов Ассоциации с учетом исключительной специфики силовой электроники.

Образованная относительно недавно, в 1992 г., Ассоциация, как добровольная самоуправляемая общественная организация, в настоящее время объединяет ведущих специалистов не только стран СНГ, но и других государств.

Среди членов Ассоциации 44 академика, 76 докторов наук, 112 кандидатов наук. В настоящее время Ассоциация объединяет видных ученых и научных работников, инженеров, руководителей и ведущих работников промышленных предприятий, менеджеров, преподавателей высших учебных заведений (рис.2).

Актуальность создания АСЭ подтверждает динамика роста численности ее членов. Ежегодно число членов возрастает на 20—25% (рис.3).

Ассоциация активно сотрудничает с ведущими предприятиями электротехнической и электронной промышленности Российской Федерации, Украины, Белоруси (АО «Электроника», АО «Воронежский завод полупроводниковых приборов», АО «Электровыпрямитель», НИИ «Преобразователь», НПО «Транзистор», АО «Контур», АО «Лепсе», АО «Старт» и др.) и мировыми лидерами в области силовой электроники и электротехники (фирмы «Siemens», АBB, «Hitachi», «International Rectifier», «Mitsui»).

Ассоциация помогает своим членам получать современную научно-техническую информацию, готовит по заказам предприятий, фирм и организаций информационные обзоры по состоянию и перспективам развития силовой электроники и отдельных ее направлений.

Ассоциация организует семинары, симпозиумы, конференции, помогая своим членам участвовать в их проведении и обеспечивая их материалами международных и национальных конференций. Ассоциация регулярно участвует в международных выставках (например «Электро 96», «Электро 98», «Наука, Машиностроение, Рынок», «Электро 99 и др.), способствуя рекламе работ и достижений ее членов.

Ассоциация уделяет особое внимание работникам промышленных предприятий, работающим в области силовой электроники, помогая повышению их квалификации.

Ежеквартально выпускается информационный бюллетень, который содержит оперативную информацию о выставках, семинарах, конкурсах и др., а



Рис.2. Структура членов АСЭ

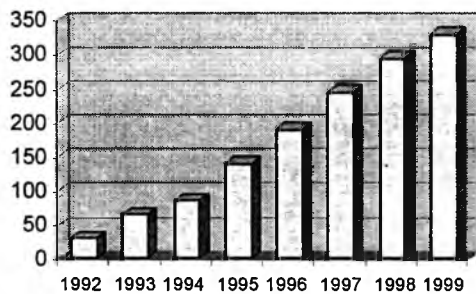


Рис.3. Рост членов АСЭ (в 1999 г. данные за 8 месяцев)

также переводы и аннотации наиболее интересных научных статей ведущих мировых специалистов. В бюллетене имеется рубрика, посвященная внутренней жизни Ассоциации. В бюллетене бесплатно помещается реклама разработок членов Ассоциации и сотрудничающих с ней фирм.

Ассоциация регулярно проводит научные семинары, посвященные современным силовым полупроводниковым приборам и устройствам силовой электроники, на которых обсуждаются вопросы проектирования и моделирования, производства, эксплуатации, маркетинга и др. Очень часто семинары организуются совместно с известными мировыми фирмами. На этих семинарах специалисты знакомят участников с вопросами разработки, производства, применения и эксплуатации производимой фирмами продукции.

Ассоциация собрала прекрасную библиотеку публикаций по силовой электронике и смежным направлениям. В нее входят подборки журналов «Электротехника», ЕРЕ (Европейское общество силовой электроники), журналы IEEE «Spectrum», «Industrial Electronics», «Power Electronics» (IEEE) и т.д., материалы наиболее известных конференций по электронике и электротехнике, каталоги ведущих фирм, отдельные технические материалы и др. Члены АСЭ имеют возможность бесплатно пользоваться этими материалами.

Разнобой в терминах и определениях по силовой электронике в мировой практике, вызванный в том числе и применяемыми специальными фирменными пояснениями и патентными соображениями, затрудняет общение специалистов разноязычных стран. Это усугубляется еще и тем, что буквальным их перевод оказывается иногда не только непонятным, но и неблагозвучным. Для того, чтобы помочь в этом плане специалистам, Ассоциация приступила к подготовке краткого энциклопедического словаря, в котором будут приведены двуязычные термины на английском и русском языках. Следует отметить, что до настоящего времени, не в последнюю очередь из-за молодости самой силовой электроники, такого словаря нет.

Одной из важнейших задач АСЭ является ее сотрудничество с IEEE. Создано российское отделение общества силовой электроники (PELS) института инженеров-электриков и электронщиков (IEEE), возглавляемое вице-президентом АСЭ, доктором техн. наук, проф. Ю.К.Розановым, которое преследует цель установления тесных творческих контактов членов АСЭ с мировой электротехнической общественностью и получение самой современной информации в области силовой электроники и смежных научно-технических направлениях.

По заказу предприятий и фирм Ассоциация подготавливает аналитические обзоры состояния электронной и электротехнической промышленности.

В Ассоциации функционирует секция, способствующая улучшению подготовки молодых инженеров, аспирантов и студентов вузов. Итоги трех конкурсов на лучшую научно-техническую работу показали высокий уровень работ, отмеченных жюри и получивших дипломы.



Рис.4. Число членов региональных отделений

Учитывая прогресс элементной базы силовой электроники за последние 10—15 лет, эффективное ее использование обуславливается подготовленностью специалистов к ее восприятию. Это особенно касается стран СНГ, получивших реальный доступ к применению новинок силовой электроники в последние годы. Чтобы преодолеть эти трудности АСЭ приступила к созданию учебно-консультационных центров, которые позволяют инженерам ознакомиться с новейшей элементной базой и изделиями на ее основе ведущих мировых фирм и предприятий стран СНГ. Для этой цели в Москве (МЭИ, кафедра ЭиЭА) и С.-Петербурге (кафедра силовой электроники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций) созданы учебно-консультационные центры.

Центры организуют курсы (включая лекции, лабораторные работы) по применению новейших изделий силовой электроники в области силовых полупроводниковых приборов и модулей, а также интеллектуальных интегральных схем силовой электроники.

Благотворная идея создания профессионального объединения специалистов силовой электроники подтверждается неопровержимыми фактами, всеми результатами деятельности Ассоциации.

В то же время следует отметить, что АСЭ еще не стала достаточно массовой организацией. Большую часть АСЭ составляют руководители всех рангов, профессора, доктора и кандидаты наук и другие специалисты высшей квалификации.

По составу АСЭ ее можно отнести к клубу научной и промышленной элиты, а не к массовой демократической организации, несмотря на то, что методы и способы ее функционирования предельно демократизированы и ориентированы на массового специалиста.

Одним из методов расширения и демократизации деятельности АСЭ является создание региональных центров. В настоящее время в составе АСЭ 12 региональных отделений (рис.4).

Региональные отделения активно участвуют в деятельности Ассоциации, регулярно поводят семинары отделений (например, в 1999 г. проведено 8 научных семинаров в Запорожье, 6 семинаров в Харькове, ежемесячно проводятся семинары в Санкт-Петербурге и других отделениях АСЭ). Запорожское и Санкт-Петербургское региональные отделения активно участвуют в конкурсах АСЭ.

Кабельная промышленность: ситуация и перспективы развития

ПЕШКОВ И.Б., доктор техн. наук, проф., генеральный директор

ОАО «ВНИИКТ»

Последние годы в кабельной промышленности в мире в целом наблюдаются негативные явления. В 1996 г. общий объем производства в стоимостном выражении, по данным CRU, составлял 66686 млн.дол. США и снизился по сравнению с 1995 г. на 3,2%. В этот объем не входит производство кабелей и проводов в КНР, который принимается равным примерно 10% общего мирового производства. В 1997 г. произошло дальнейшее снижение объемов производства (на 3,1% по сравнению с 1996 г.), а в 1998 г. это снижение достигло 9,1% [1]. В различных регионах мира это снижение было различным.

Наиболее устойчивым с точки зрения производства кабельной продукции показал себя северо-американский сектор (США, Канада, Мексика), который производит около 1/3 всей продукции. В этом секторе падение производства составило 0,8%. В то же время в Азии остро ощущались последствия кризиса, в результате которого производство кабельной продукции в северо-восточном регионе (Япония, Южная Корея, Тайвань) упало на 20,7%, а в остальных азиатских государствах — на 14,5%. Снижение объемов производства в Западной Европе составило 4,8%, Восточной Европе — 10,2%. Среди Западно-Европейских стран в худшем положении Англия, которая всегда ориентировалась на экспорт кабельной продукции, страны Бенилюкса и Скандинавии, Италия. В относительно лучшем положении оказалась Испания (небольшой рост) и Германия.

С точки зрения распределения объемов мирового потребления по типам кабельной продукции можно установить следующую иерархию в порядке убывания (рис. 1):

- низковольтные кабели и провода энергетического назначения — 31%;
- силовые кабели — 25%;
- кабели связи, в том числе компьютерные, для применения внутри помещений — 17%;
- медные кабели связи для прокладки вне помещений — 9%;
- обмоточные провода — 9%;
- волоконно-оптические кабели — 8%.



Рис.1. Мировое потребление кабельной продукции по номенклатурным позициям в 1998 г. (стоимостная оценка)

Характерным процессом для мировой кабельной промышленности является концентрация производства, выразившаяся в процессе слияния и укрупнения ряда компаний. Концентрация производства в мировой кабельной промышленности не столь значительна, как в производстве меди и алюминия — основных металлов для производства кабелей и проводов, однако эта концентрация вполне очевидна. Концентрация в производстве кабелей и проводов, по оценке экспертов будет протекать по следующим направлениям:

1) мегаслияние между компаниями среди 15 крупнейших фирм, действующих в одном и том же регионе (например, «Pirelli» — «Siemens»);

2) аналогичные мегаслияния между фирмами, действующими в разных регионах (например, «General Cable»-BICC);

3) выборочные покупки и слияния между фирмами своего рода второго дивизиона (например, «Belden»-CSI);

4) консолидация среди крупнейших производителей кабелей и проводов в Японии, Южной Корее и на Тайване.

Уже в 1997—1998 гг. были сделаны серьезные шаги по концентрации в мировой кабельной промышленности: слияние компаний «Essex» и «Superior»; приобретение фирмами «Corning» и «General Cable» фирмы BICC; приобретение фирмой «Pirelli» отделения силовых кабелей фирмы «Siemens»; покупка ряда кабельных заводов фирмой «Draka». Эти изменения могли бы быть еще большими, если бы не активное сопротивление японских фирм-производителей кабельной продукции.

По данным CRU «Alcatel», «Pirelli» и «BICC General» захватили 16% мирового рынка, который в 1999 г. составляет около 65 млрд.дол. С учетом «Superior-Essex» и «Sumitomo Electric» эта доля концентрации возрастет до 21%. В целом в кабельной промышленности в 1999 г. концентрация производства 10 крупнейших производителей достигла 33%. Этот анализ сделан на основании кумулятивного процента акций, который принадлежит отдельным фирмам.

Как известно, в результате экономического кризиса, охватившего в 90-е годы страны бывшего СССР и Восточной Европы, производство кабельной продукции, являющейся по существу комплектующей и зависящей от изменения объемов внутреннего валового продукта, непрерывно снижалось. Достаточно сказать, что по данным Ассоциации «Электрокабель», объединяющей кабельные заводы СНГ, объем производства кабельной продукции в 1998 г. составил всего лишь 21% объема производства 1999 г.

Первые положительные тенденции в кабельной промышленности России и СНГ в целом проявились в III квартале 1999 г., что позволило добиться за 9

месяцев увеличения производства кабелей и проводов на 5% по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года. Среди номенклатурных групп кабельной продукции за этот период следует выделить увеличение объемов производства в следующих:

- эмалипровода — 138%;
- кабели силовые гибкие — 117%;
- провода автотракторные — 123%;
- шнуры осветительные — 118%;
- геофизические кабели и провода — 112%;
- цветной прокат — 134%;
- шнуры связи — 112%;
- провода шланговые — 120%;
- провода телефонные распределительные однопарные — 121%;
- кабели сигнально-блокировочные — 142%;
- кабели многопарные шахтные станционные — 113%.

Следует отметить также силовые кабели до 1 кВ — 102%, установочные провода — 108%, провода неизолированные медные гибкие — 107%, контактные провода — 106%. Продолжается рост производства продукции (отдельных типов), предназначенной для оборонных отраслей промышленности (кабели управления — 111%, военно-полевые провода и кабели — 115%), хотя абсолютные объемы выпуска этой продукции невелики.

В ряде номенклатурных групп кабельной продукции продолжается снижение объема производства по сравнению с 1998 г.: городские телефонные кабели — 76%, кабели силовые 1 кВ и выше — 94%, провода для воздушных линий электропередач — 64%, контрольные кабели — 90%, кабели зонной местной связи — 58%.

Если рассматривать отдельно производство волоконно-оптических кабелей, то в целом выпуск за рассматриваемый период возрос примерно вдвое. Однако весь рост был достигнут в основном за счет производства на заводе «ТрансВОК», поставляющем кабели Министерству путей сообщения. Что же касается производства на остальных заводах, традиционно ориентирующихся на потребности предприятий связи, то их выпуск практически не изменился. Это свидетельствует о том, что предприятия связи России пока еще не преодолели последствий августовского кризиса. Этой же причиной объясняется и снижение объемов производства городских телефонных кабелей.

Тем не менее следует предположить, что последствия кризиса в системе предприятий связи России будут преодолены, и их потребности в кабелях связи и информатики возрастут.

Более сложная ситуация сложилась в производстве кабельной продукции энергетического назначения. Неуклонное снижение объемов производства силовых и контрольных кабелей в течение последних 9 лет свидетельствует о том, что программы развития энергетики России практически не выполняются или выполняются в слабой степени.

В настоящее время в отечественной кабельной промышленности с точки зрения перспективного раз-

вития внимание сконцентрировано на следующих направлениях:

- пожаробезопасные кабели с использованием материалов, не содержащих галогенов;
- силовые кабели среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- волоконно-оптические кабели;
- компьютерные кабели.

Рассмотрим эти направления развития кабельной техники несколько подробнее.

Пожарная безопасность кабельных сетей имеет важнейшее значение для электростанций, особенно атомных (АЭС). Поэтому уровень требований к кабелям для АЭС включает совокупность таких требований, как нераспространение горения, минимальное дымовыделение, минимальная коррозионная активность продуктов газовой выделенной, огнестойкость, т.е. сохранение работоспособности в течение определенного времени в условиях пожара (от 3 до 180 мин). Аналогичные кабели, прежде всего силовые и контрольные, должны применяться в метрополитене, на надводных и подводных кораблях, на объектах коммунального хозяйства, в местах скопления больших количеств людей (стадионы, дворцы спорта, аэропорты, театры и т.д.).

В свое время ВНИИ КП совместно с предприятиями химической и кабельной промышленности разработал кабели с использованием поливинилхлоридных пластикатов, имеющих повышенную стойкость к распространению горения. Это было достигнуто за счет введения в рецептуру пластикатов увеличенного количества наполнителей, причем одновременно это привело к снижению количества хлористых соединений, выделяемых при горении. Однако сейчас поставлена и решается задача создания кабелей, в конструкции которых вообще отсутствуют какие-либо галогеносодержащие материалы. Поэтому несмотря на то, что производство ранее разработанных силовых и контрольных кабелей продолжается, кабельная промышленность России готовится к выпуску кабелей следующего поколения.

Это так называемые «безгалогенные» кабели, изготавливаемые с применением полимерных композиций, не содержащих галогенов. В зависимости от областей применения кабелей при их изготовлении могут быть использованы как термопластичные, так и сшитые композиции, причем сшивка может осуществляться химическим способом или облучением на электронных ускорителях. Основные характеристики безгалогенных пожаробезопасных кабелей приведены в таблице.

Для производства кабелей в огнестойком исполнении в качестве элемента, обеспечивающего огнестойкость, используется огнестойкий барьер из стеклослюдинитовых лент, накладываемых методом обмотки на токопроводящую жилу. Производство стеклослюдинитовых лент для кабельной промышленности освоено на заводе электроизоляционных материалов «Элинар» (г. Наро-Фоминск).

Другое направление — силовые кабели среднего

Основные характеристики безгалогенных пожаробезопасных кабелей

Показатель	Требования стандартов и методы испытаний	Значения
Нераспространение горения	МЭК 332, ч.3 ГОСТ 12176-89	Категории А и В
Показатели коррозионной активности газов	МЭК 754/1-2 VDE 472.813	$pH > 4$
Оптическая плотность дыма	МЭК 1034/1-2	5—10%
Огнестойкость	МЭК 331	180 мк при 750°С

направления на рабочее напряжение 10—35 кВ [2]. В отечественной практике они выпускаются практически только с пропитанной бумажной изоляцией. В мировой практике уже сравнительно давно осуществлен переход на использование изоляции из сшитого полиэтилена, что позволило существенно упростить технологию монтажа и эксплуатацию кабельных сетей и повысить производительность труда на кабельных заводах. Достаточно сказать, что в таких странах как США, Япония, Франция, Швеция, Финляндия производство силовых кабелей с пропитанной бумажной изоляцией полностью прекращено, и силовые кабели среднего напряжения выпускаются только с полимерной изоляцией. Для России и стран СНГ актуальным является в первую очередь выпуск силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ. Трудности в организации такого производства связаны с большими капитальными затратами и высокой стоимостью наклонных кабельных линий непрерывной вулканизации в инертной газовой среде.

Более привлекательной для отечественной практики является альтернативная технология вулканизации, основанная на применении силанольносшиваемых композиций полиэтилена. В этом случае для наложения изоляции могут использоваться существующие на кабельных заводах экструзионные линии без изменений или модернизированные, что связано со способом введения силанов в полиэтилен. Принцип получения полиэтилена, сшитого с помощью силанов, основан на способности специальных соединений на основе силанов при определенных условиях присоединяться к макромолекуле полиэтилена и подвергаться гидролизу. Гидролиз привитых макромолекул приводит к последующему сшиванию цепей в присутствии катализаторов. Сшивание изоляции возможно даже при длительной выдержке барабанов с кабелем в атмосферных условиях за счет влаги, содержащейся в атмосфере. Однако обычно для сшивания изоляции на кабельных заводах используются либо баки с горячей водой, либо камеры, заполненные водяным паром.

Освоение силанольносшиваемых композиций началось также при производстве самонесущих изолированных проводов для воздушных линий электро-

передач (ЛЭП) на напряжение 0,6/1—20 кВ, особенно незаменимых в сельской местности, где такие линии обеспечивают бесперебойную передачу электроэнергии в условиях гроз, сильного ветра и т.д. Это тем более актуально в связи с принятием в России решения о внедрении в практику электрификации защищенных ЛЭП. Основные преимущества ЛЭП, сооружаемых с применением изолированных проводов:

— высокая электробезопасность при эксплуатации за счет исключения однофазных замыканий на землю, связанных с обрывом проводов при атмосферных воздействиях в зимнее время и при падении деревьев, а также отсутствия возможности непосредственного контакта с токопроводящими элементами;

— высокая эксплуатационная надежность;

— низкое реактивное сопротивление (в 3 раза ниже, чем у обычных ЛЭП);

— снижение трудоемкости при монтаже и эксплуатации и исключение перерывов в обеспечении потребителей электроэнергией.

Одновременно при использовании самонесущих изолированных проводов решается проблема вырубки лесов под трассы ЛЭП. Не случайно массовое строительство ЛЭП такого типа началось в скандинавских странах: Финляндии, Швеции, Норвегии.

Типовая конструкция провода и его подвеска на деревьях показаны на рис.2. Упрочнение проводов достигается за счет применения алюминиевого сплава или стальных элементов в составе конструкции. Проводники, как правило, уплотняются с коэффициентом уплотнения до 0,94.

За последние годы при наличии общего спада в кабельном производстве бурное развитие получило развитие волоконно-оптических кабелей, используемых преимущественно для целей связи [3]. Волоконно-оптические кабели используются прежде всего в городской связи для соединений между автоматическими телефонными станциями и узлами связи. Такие линии имеют длину 5—10 км и 120 каналов на пару волокон. Промежуточные регенераторы отсутствуют. Внутризональные и магистральные волоконно-оптические кабели предназначены для передачи информации на расстояния в сотни километров и имеют большое

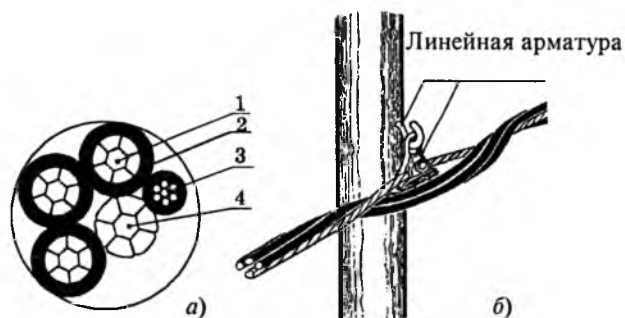


Рис.2. Провод самонесущий изолированный на напряжение 1 кВ (а) и его подвеска на деревьях (б):

1 — токопроводящая жила из алюминиевых проволок; 2 — изоляция из сшитого полиэтилена; 3 — изолированный провод освещения; 4 — нулевая несущая жила из сплава алюминия

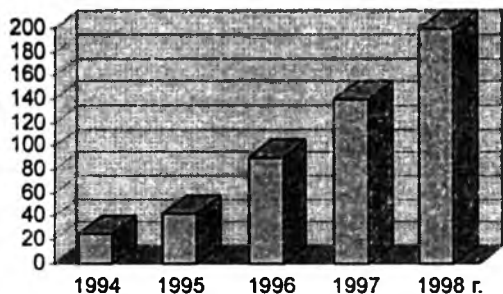


Рис.3. Производство волоконно-оптических кабелей в странах СНГ в 1994—1998 гг. (в тысячах волокон-километров)

количество каналов. Кроме того, в России начат выпуск волоконно-оптических кабелей, предназначенных для эксплуатации на опорах ЛЭП, а также на электрифицированных участках железных дорог. Более того, последний тип кабелей в 1999 г. составил около половины всех выпущенных волоконно-оптических кабелей.

Увеличение объемов производства волоконно-оптических кабелей в странах СНГ в 1994—1998 гг. показано на рис.3. В 1999 г. объем производства волоконно-оптических кабелей должен возрасти по сравнению с 1998 г., как указывалось выше, почти вдвое.

Новые типы оптических волокон, разработанных фирмами «Alcatel» (Франция) и «Corning» (США), обеспечивают скорость передачи информации до 1,6 Тбит и более, т.е. создают возможности для нового революционного скачка в области волоконно-оптической связи.

Отечественные кабельные заводы в настоящее время имеют запас мощностей по производству волоконно-оптических кабелей и смогут в ближайшие годы удовлетворять все требования потребителей.

В мировой практике в последнее время внимание привлечено к развитию производства медных компьютерных кабелей, представляющих собой несколько скрученных пар в экране. Шаги скрутки жестко регламентированы, экранироваться могут как сами пары, так и кабель в целом. Экран может выполняться как из проволок, так и из фольги. Эти кабели используются для вертикального (стволового) каблирования в зданиях и для горизонтального каблирования на этажах (разводки). Например, в США для горизонтального каблирования, на которое приходится основная масса кабелей, используется 96% компьютерных кабелей с медными жилами и только 4% приходится на волоконно-оптические кабели, которые также могут использоваться для этих целей [4].

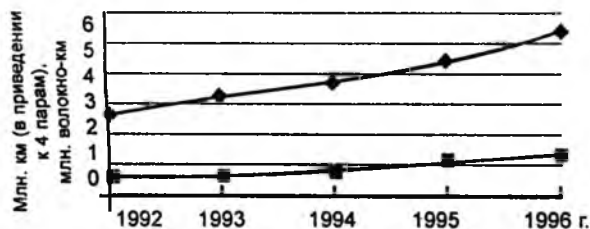


Рис.4. Объемы мирового производства компьютерных кабелей в 1992—1996 гг.:

◆ — медь; ■ — волокно

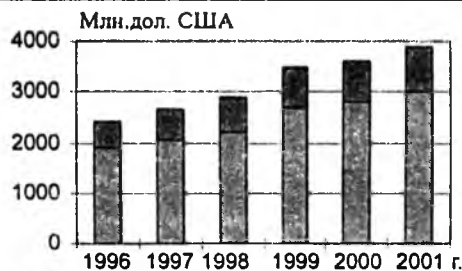


Рис.5. Прогноз мирового рынка компьютерных кабелей до 2001 г.:

■ — медь; ■ — волокно

Объемы мирового производства компьютерных кабелей в 1992—1996 гг. приведены на рис.4. Из приведенных данных следует, что производство медных компьютерных кабелей развивалось более быстрыми темпами, чем волоконно-оптических компьютерных кабелей. Прогноз рынка компьютерных кабелей до 2001 г. показан на рис.5. Очевидно, что прогнозируется дальнейшее развитие производства медных компьютерных кабелей. Соответствующее производство начато и в России.

Расширение использования средств беспроводной связи не повлияет на рынок компьютерных кабелей, так как беспроводная связь имеет ряд серьезных недостатков: невысокая скорость передачи информации, не обеспечивается секретность передачи информации, недостаточная помехозащищенность.

Естественно, что прогресс наблюдается и в других областях кабельной техники. Так, в области производства эмальпроводов внимание уделяется повышению скоростей эмалирования проволоки. Одной из важнейших характеристик эмальагрегатов является произведение скорости эмалирования v (м/мин) на диаметр D эмальируемой проволоки (мм), так называемое vD . В настоящее время производство эмальпроводов в мире осуществляется в диапазоне $vD=50\div 80$, однако ведущие научно-исследовательские работы позволяют предположить достижение vD порядка 150—200. Одновременно выполняются работы по решению экологических проблем эмальпроизводства.

В 1998—1999 гг. отечественной кабельной промышленности удалось перейти почти полностью на использование эмальлаков, выпускаемых в России заводом «Электроизолит» (г.Хотьково).

Итоги 1999 г. позволяют кабельной промышленности России и СНГ в целом надеяться на дальнейший прогресс и увеличение объемов кабельного производства, что приведет к безусловной интенсификации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области кабельной техники.

Список литературы

1. Newsletter ICF. September 1999. NL29.
2. Пешков И.Б. Тенденции в развитии производства силовых кабелей среднего напряжения//Кабели и провода. 1999. № 1(256).
3. Пешков И.Б. Кабели связи в России и перспективы их развития//Связь России в XXI веке. М., 1999. С. 655—664.
4. Daniels R. The World Network Data Cables Market// ICF-97, Istanbul, October 1997.

Динамические показатели трехфазных асинхронных двигателей, включаемых в однофазную сеть

БЕСПАЛОВ В.Я., доктор техн.наук, МОЩИНСКИЙ Ю.А., канд.техн.наук, ПЕТРОВ А.П., инж.

МЭИ

Разработана математическая модель трехфазного асинхронного двигателя, включаемого в однофазную сеть. Дифференциальные уравнения записаны в координатах $(\alpha-\beta)$, с последующим преобразованием в обобщенную базисную модель. Представлены результаты расчета режимов пуска и реверса, а также влияния начальной фазы напряжения на динамические показатели асинхронного двигателя типа 4АА56А4УЗ. Предложен обобщенный критерий качества динамических показателей, с помощью которого произведена оценка этих схем.

Трехфазные асинхронные двигатели (АД), питаемые от однофазной сети, являются основой электропривода малой и средней мощности, который используется преимущественно в сельском хозяйстве, бытовой и медицинской аппаратуре, в электроинструментах, а также там, где отсутствует трехфазная сеть [1]. Применение такого вида питания обусловлено не только отсутствием трехфазной питающей сети, но и более широкой номенклатурой и доступностью трехфазных АД по сравнению с однофазным исполнением. При этом в большинстве случаев в качестве фазосдвигающего элемента используется конденсатор, что обусловлено получением наиболее выгодных характеристик.

Существует довольно много фундаментальных работ, посвященных данному типу двигателей, но в большинстве из них затрагиваются исследования статических режимов [1—3], а динамические режимы освещены недостаточно полно. Актуальность исследования динамических режимов асинхронных конденсаторных двигателей (АКД) обусловлена областями их применения, в которых как показывает практика, преобладают именно динамические режимы работы. И хотя отдельные исследования динамики некоторых схемных решений АКД проводились, например в [4—6], сравнения различных схем включения АКД по динамическим показателям не было. Данная статья призвана восполнить этот пробел.

В теории АКД разработано достаточно большое количество схем включения трехфазного АД в однофазную сеть [2], на практике же находит применение лишь небольшая их часть [1]. Принимая во внимание это обстоятельство, целесообразно при исследовании динамических показателей АКД ограничиться рассмотрением четырех схем (рис.1), которые были рекомендованы в однофазной модификации единой серии 4А [6] и применяются в электроприводах ведущих западных производителей.

Расчет емкостей рабочих и пусковых конденсаторов производился по методике, предусматривающей получение минимума обратного поля и подробно описанной в [7].

Вывод системы дифференциальных уравнений (ДУ) выполнен при следующих допущениях: воздушный зазор равномерен, магнитная проводимость неизменна, отсутствуют потери на гистерезис и вихревые токи, высшие пространственные гармоники пренебрежимо малы, магнитное поле в воздушном зазоре синусоидально, фазные обмотки статора и эквивалентные обмотки ротора сдвинуты в пространстве на 90° .

ДУ записываются в неподвижных жестко связанных со статором ортогональных координатах $(\alpha-\beta)$. При этом все схемы (рис.1) трехфазных АКД приводятся к эквивалентной базовой схеме (рис.2), которая имеет две обмотки: главную по оси α и вспомогательную конденсаторную по оси β . Параметры двухфазной эквивалентной машины приводятся к числу витков главной фазы α , совмещенной с фазой А исходного трехфазного симметричного АД.

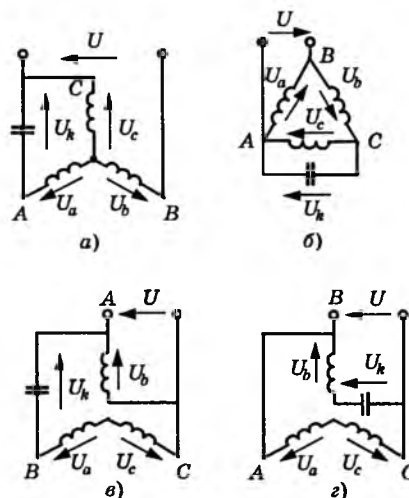


Рис.1. Схемы включения трехфазного АКД

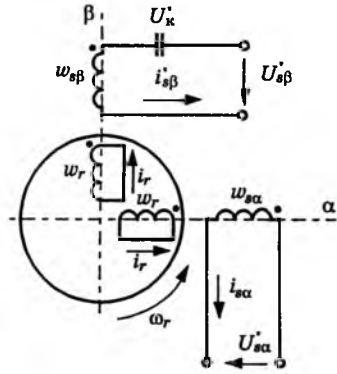


Рис.2. Базисная модель эквивалентного двухфазного АКД

Рассмотрим математическую модель на примере схемы на рис.1,а. В принятой системе координат по второму закону Кирхгофа можно записать следующую систему ДУ в матричной форме [8]:

$$|U_{\alpha\beta}| = |Z_{\alpha\beta}| |I_{\alpha\beta}|;$$

$$\begin{pmatrix} U'_{s\alpha} \\ U'_{s\beta} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{s\alpha} + DL_{s\alpha} & 0 \\ 0 & R_{s\beta} + DL_{s\beta} \\ DM - M\omega_r & 0 \\ 0 & DM + M\omega_r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ i_{r\alpha} \\ i_{r\beta} \end{pmatrix} \quad (1)$$

где $U'_{s\alpha} = U_{s\alpha}$; $U'_{s\beta} = \frac{U_{s\beta}}{K}$ — приведенные напряжения на фазах статора α и β ; $R_{s\alpha}$, $R_{s\beta}$, R_r , $L_{s\alpha}$, $L_{s\beta}$, L_r — активные сопротивления и полные индуктивные сопротивления фаз статора и ротора; K — коэффициент трансформации; M — взаимная индуктивность между фазами статора и ротора; $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, $i_{r\alpha}$, $i_{r\beta}$ — токи статора и ротора по соответствующим фазам; $D = d/dt$ — оператор дифференцирования.

Преобразование напряжений и токов от фазной системы координат к системе координат (α - β) и наоборот осуществляется с помощью матрицы преобразования $|G_{\alpha\beta}|$, в последнем случае используется обратная матрица $|G_{\alpha\beta}|^{-1}$ [9]:

$$|G_{\alpha\beta}| = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix};$$

$$|I_{\alpha\beta}| = |G_{\alpha\beta}| |I_{ABC}|; \quad |U_{\alpha\beta}| = |G_{\alpha\beta}| |U_{ABC}|, \quad (2)$$

где $|U_{ABC}| = \text{colon}[U_a, U_b, U_c]$; $|I_{ABC}| = \text{colon}[i_a, i_b, i_c]$ — векторы столбцы фазных напряжений и токов статора.

Дополним систему (2) уравнением движения:

$$D\omega_r = \frac{P}{J}(M_s - M_c); \quad (3)$$

$$M_s = k_{11}(\Psi_{s\beta}\Psi_{r\alpha} - \Psi_{s\alpha}\Psi_{r\beta}),$$

где ω_r — угловая частота вращения ротора; J — момент инерции ротора и связанных с ним

вращающихся масс; p — число пар полюсов; $\Psi_{s\beta}$, $\Psi_{r\alpha}$, $\Psi_{s\alpha}$, $\Psi_{r\beta}$ — потокосцепления статора и ротора по соответствующим осям; k_{11} — коэффициент; M_s — электромагнитный момент; M_c — момент сопротивления.

В итоге получим полную систему ДУ, описывающих переходные электромеханические процессы в АД. Для того, чтобы перейти к системе ДУ, описывающей переходные электромеханические процессы в АКД (рис.2), необходимо установить связь между напряжениями на фазах α и β , напряжением на конденсаторе U_k и напряжением питающей однофазной сети U .

Для схемы на рис.1,а запишем следующие уравнения Кирхгофа:

$$U + U_B - U_A - U_k = 0; \quad U + U_B - U_C = 0; \quad i_A = i_k. \quad (4)$$

Так как для этой схемы $i_A + i_B + i_C = 0$, нулевая последовательность отсутствует и $U_A + U_B + U_C = 0$. Решая (4), находим U_A , U_B , U_C .

Используя (2) и (4), получаем:

$$U_{s\alpha} = \frac{2}{3}U_A - \frac{1}{3}U_B - \frac{1}{3}U_C = \frac{U - 2U_k}{3}; \quad U_{s\beta} = \frac{-U}{\sqrt{3}},$$

где $U_k = \frac{1}{C_{p(n)}} \int i_{s\alpha} dt$; $C_{p(n)}$ — емкость рабочего или пускового конденсатора; $U_{s\alpha\beta} = U_{\alpha\beta} \sin(\omega_1 t + \varphi_0)$ — напряжение сети; $U_m = U\sqrt{2}$ — амплитуда напряжения сети; $\omega_1 = 2\pi f_1$ — угловая частота; f_1 — частота сети; φ_0 — начальная фаза питающего напряжения.

Поскольку конденсаторной фазой обычно считают фазу β , для приведения данной модели в соответствие с моделью двухфазных конденсаторных двигателей, поменяем индексы у напряжений и

токов. Тогда $U_{s\alpha} = \frac{-U}{\sqrt{3}}$; $U_{s\beta} = \frac{U - 2U_k}{3}$ и система

ДУ (2) принимает вид:

$$\begin{pmatrix} U'_{s\alpha} \\ U'_{s\beta} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{s\alpha} + DL_{s\alpha} & 0 \\ 0 & R_{s\beta} + DL_{s\beta} + \frac{1}{C_{p(n)}D} \\ DM - M\omega_r & 0 \\ 0 & DM + M\omega_r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ i_{r\alpha} \\ i_{r\beta} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $U'_{s\alpha} = \frac{-U}{\sqrt{3}}$; $U'_{s\beta} = \frac{U}{3}$; $C_{\alpha\beta} = \frac{3}{2}C_k$; $1/D$ — символ интегрирования; параметры в координатах (α - β): $R_{s\alpha} = R_{s\beta} = R_1$, $L_{s\alpha} = L_{s\beta} = L_1$; $R_r = R_2$; $L_r = L_2$; $K=1$.

Рассмотрим вторую схему включения АКД (рис.1,б). Уравнения Кирхгофа имеют вид:

$$U_A = U_B; \quad U_B + U_C + U = 0; \quad U_C = U_K; \quad i_B - i_C = i_K.$$

Используя переход от фазных напряжений к напряжениям в осях ($\alpha-\beta$), получаем:

$$U'_{\alpha} = U; \quad U'_{\beta} = \frac{-1}{\sqrt{3}}(U + 2U_K);$$

$$\frac{i_B - i_C}{\sqrt{3}} = \frac{i_K}{\sqrt{3}} = i_{\beta}; \quad C_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} C_{p(n)}.$$

Система ДУ аналогична системе (5), при этом параметры не меняются за исключением емкостей рабочего и пускового конденсаторов ($C_{p(n)}$).

Двигатель с включением обмоток по схеме, приведенной на рис.1,б, можно рассматривать как двухфазный. Главную обмотку образует фаза В, а конденсаторную образуют две последовательно включенные фазы А и С. При этом коэффициент трансформации

$$K = \frac{w_B k_0}{w_{AC} k_0} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Приведение параметров конденсаторной фазы к главной фазе α производится по следующим соотношениям:

$$R_{\beta} = \frac{1}{K^2} R_{\alpha C}; \quad L_{\beta} = \frac{1}{K^2} L_{\alpha C};$$

$$R_{\alpha C} = 2R_{\alpha A}; \quad L_{\alpha C} = 2L_{\alpha A},$$

где $R_{\alpha A}$ и $L_{\alpha A}$ — сопротивление и индуктивность двух последовательно включенных фаз.

Напряжение конденсаторной фазы β , приведенное к числу витков фазы α :

$$U'_{\beta} = \frac{U}{K} = \sqrt{3} U_{\beta} \sin(\omega_1 t + \varphi_0).$$

Следовательно, и в этом случае переходные процессы описываются системой ДУ (5), в которой:

$$U'_{\alpha} = U; \quad U'_{\beta} = \sqrt{3} U; \quad C_{\alpha\beta} = K^2 C_{p(n)}.$$

Аналогично преобразовывается и схема на рис.1,г, с той лишь разницей, что фаза α приводится к фазе β , при этом $K = \sqrt{3}$.

Значения напряжений, сопротивлений, индуктивностей, коэффициентов трансформации и емкостей конденсаторов для всех схем в координатах ($\alpha-\beta$) приведены в табл.1.

Токи в фазах статора, выраженные через токи в координатах ($\alpha-\beta$):

— для схемы на рис.1,а

$$i_A = i_{\beta}; \quad i_B = -\frac{i_{\beta}}{2} + \frac{i_{\alpha}}{2} \sqrt{3}; \quad i_C = -\frac{i_{\beta}}{2} - \frac{i_{\alpha}}{2} \sqrt{3};$$

— для схемы на рис.1,б

$$i_A = i_{\alpha}; \quad i_B = -\frac{i_{\alpha}}{2} + \frac{i_{\beta}}{2} \sqrt{3}; \quad i_C = -\frac{i_{\alpha}}{2} - \frac{i_{\beta}}{2} \sqrt{3};$$

— для схемы на рис.1,в

$$i_B = i_{\alpha}; \quad i_A = -i_C = \frac{i_{\beta}}{K};$$

— для схемы на рис.1,г

$$i_B = i_{\beta}; \quad i_A = -i_C = \frac{i_{\alpha}}{K};$$

— для всех схем

$$i_{\beta} = \frac{i'_{\beta}}{K}; \quad U_K = \frac{U'_K}{K},$$

где i'_{β} и U'_K — ток и напряжение на конденсаторе в базисной системе.

Таким образом, в данной модели приведению подвергаются параметры одной из фаз двухфазной эквивалентной машины, что обуславливает подачу на фазы двух разных напряжений, одно из которых зависит от коэффициента трансформации, но в итоге упрощается система ДУ, коэффициенты которой не зависят от K . Следует заметить, что в результате приведения напряжений по фазам α и β один из токов двух фаз (i'_{β}), а также напряжение на конденсаторе (U'_K) имеют математический смысл, а делением на K приводятся к истинным значениям, как это было описано выше.

В расчетах были использованы следующие номинальные данные и параметры схемы замещения трехфазного асинхронного двигателя типа 4АА56А4У3:

Таблица 1

Параметр	Схема по рис.1			
	а	б	в	г
C_p	3,11	5,89	2,67	3,7
C_n	9,6	16,74	6,21	10,9
$C_{\alpha\beta}$	$\frac{3}{2} C_{p(n)}$	$\frac{1}{2} C_{p(n)}$	$\frac{1}{3} C_{p(n)}$	$C_{p(n)}$
K	1	1	$\sqrt{3}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
$R_{\alpha\beta}$	$R_{\alpha\beta} = R_1$	$R_{\alpha\beta} = R_1$	$R_{\alpha} = R_1$ $R_{\beta} = \frac{2R_1}{K^2}$	$R_{\alpha} = \frac{2R_1}{K^2}$ $R_{\beta} = R_1$
$L_{\alpha\beta}$	$L_{\alpha\beta} = L_1$	$L_{\alpha\beta} = L_1$	$L_{\alpha} = L_1$ $L_{\beta} = \frac{2L_1}{K^2}$	$L_{\alpha} = \frac{2L_1}{K^2}$ $L_{\beta} = L_1$
M $U_{\alpha,\beta}$	M $U_{\alpha,\beta} \sin(\omega_1 t + \varphi_0)$			
$U_{\alpha,\beta}$	$U_{\alpha} = -\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$U_{\alpha} = U_m$	$U_{\alpha} = U_m$	$U_{\alpha} = \frac{U_m}{K}$
	$U_{\beta} = \frac{U_m}{3}$	$U_{\beta} = -\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$U_{\beta} = \frac{U_m}{K}$	$U_{\beta} = U_m$
U_m	$U\sqrt{2}$	$U\sqrt{2}$	$U\sqrt{2}$	$U\sqrt{2}$
U	380	220	220	220

$P_{ном} = 120$ Вт, $\cos\varphi_{ном} = 0,66$, $\eta_{ном} = 0,63$,
 $U_{ном} = 380/220$ В, $R_1 = 90,5$ Ом, $X_m = 603,7$ Ом, $X_2' =$
 $= 75,4$ Ом, $S_{ном} = 8,2\%$, $X_1 = 43,7$ Ом, $R_2' = 75,4$ Ом,
 $p = 2$, $M_n = 0,8$ Н·м, $J = 0,0007$ кг·м².

Описанная математическая модель была реализована в среде математического пакета MathCAD 7 Pro. Основной модуль программы для схемы на рис.1,а:

$$X = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad D(t, Y) = \begin{bmatrix} U_{\alpha\alpha} \cdot (\sin(\omega_1 \cdot t) + \varphi_0) - k_1 \cdot Y_0 + k_2 \cdot Y_2 \\ U_{\beta\beta} \cdot (\sin(\omega_1 \cdot t) + \varphi_0) - k_3 \cdot Y_1 + k_4 \cdot Y_3 - Y_5 \\ -k_6 \cdot Y_2 + k_7 \cdot Y_0 - Y_4 Y_3 \\ -k_8 \cdot Y_3 + k_9 \cdot Y_1 + Y_4 Y_2 \\ \frac{P}{J} \cdot [k_{11} \cdot (Y_1 Y_2 - Y_0 Y_3)] - M_c \\ \frac{1}{C_{\alpha\beta p}} (a_1 \cdot Y_1 - a_2 \cdot Y_3) \end{bmatrix}$$

$n = 0 \dots 3000$ (6)
 $Z = \text{rkfixed}(X, t1, t2, n, D) \quad Z_{n,9} = k_{11} \cdot (Z_{n,2} \cdot Z_{n,3} - Z_{n,1} \cdot Z_{n,4})$

Здесь X — вектор столбец начальных условий (в общем случае может иметь ненулевые значения); D(t, Y) — вектор столбец, в котором записана правая часть системы ДУ (5) в форме Коши относительно потокосцеплений; Z — функция, реализующая решение системы ДУ одним из набора стандартных численных методов, в данном случае используется метод Рунге—Кутты с фиксированным шагом (rkfixed); t1 и t2 — границы интервала интегрирования ДУ; n — количество точек на интервале. Последнее выражение в (6) соответствует формуле электромагнитного момента (3), токи фаз статора α и β вычисляются через потокосцепления [10], а обратное преобразование к фазным токам симметричных обмоток АКД производится по описанному для (2) алгоритму.

Модуль вычисления параметров эквивалентного АКД и коэффициентов ДУ для схемы (рис.1,а) имеет вид:

Параметры фаз АД $\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1$

$$L1 = \frac{x1 + xm}{\omega_1} \quad L'2 = \frac{x'2 + xm}{\omega_1} \quad M = \frac{xm}{\omega_1}$$

Для статора (α-β) $R_{s\alpha} = r1 \quad R_{s\beta} = r1 \quad L_{s\alpha} = L1 \quad L_{s\beta} = L1$
 Для ротора (α-β) $R_r = r'2 \quad L_r = L'2$

Определение коэффициентов ДУ

$$A2 = L_{s\alpha} \cdot L_r - M^2 \quad B2 = L_{s\beta} \cdot L_r - M^2 \quad k_{11} = \frac{3 \cdot pM}{2 \cdot B2}$$

$$k_1 = \frac{R_{s\alpha} \cdot L_r}{A2} \quad k_2 = \frac{R_{s\alpha} \cdot M}{A2} \quad k_3 = \frac{R_{s\beta} \cdot L_r}{B2} \quad k_4 = \frac{R_{s\beta} \cdot M}{B2}$$

$$k_6 = \frac{R_r \cdot L_{s\alpha}}{A2} \quad k_7 = \frac{R_r \cdot M}{A2} \quad k_8 = \frac{R_r \cdot L_{s\beta}}{B2} \quad k_9 = \frac{R_r \cdot M}{B2}$$

Определение коэффициентов для нахождения токов статора модели через потокосцепления

$$a1 = \frac{L_r}{A2} \quad a2 = \frac{M}{A2}$$

Для исследования динамических показателей АКД и АД на модели были рассмотрены следующие режимы:

- пуск с рабочей емкостью при холостом ходе;
- пуск с пусковой емкостью при холостом ходе;
- пуск с последующим реверсированием при рабочей емкости и нагрузке на валу M_c , равной 30% $M_n = 0,6$ Н·м;
- пуск с последующим реверсированием при пусковой емкости и нагрузке на валу $M_c = M_n = 0,6$ Н·м;
- пуск симметричного АД при холостом ходе;
- пуск с последующим реверсированием симметричного АД при номинальной нагрузке $M_c = M_n = 0,8$ Н·м.

В табл.2 представлены результаты расчетов динамических показателей для всех схем (рис.1), для сравнения приведены динамические показатели симметричного АД (АКД и АД типа 4АА56А4У3). В табл.2: $t_{пуск}$ — время разгона до установившейся скорости; $i_{ауд}$, $i_{буд}$, $i_{суд}$ — мгновенные значения ударных токов в фазах (А, В, С); $M_{ауд}$ — мгновенное значение ударного электромагнитного момента; $M_{пуль}$ — максимальное мгновенное значение пульсирующего момента.

Для оценки свойств схем в динамических режимах работы по основным показателям, таким как максимальный ударный ток, ударный электромагнитный момент, время разгона до установившейся частоты вращения и максимальное напряжение на конденсаторе, вводится обобщенный критерий качества динамических показателей. При этом используется мультипликативный принцип учета отдельных факторов и аддитивный при определении суммарного обобщенного критерия.

Формулы для расчета относительных параметров:

$$K_{M \text{ дин}} = \frac{M_{ауд}}{M_{аудАД}}; \quad K_{I \text{ дин}} = \frac{i_{\text{макхд}}}{i_{\text{макхдАД}}};$$

$$K_{I \text{ дин}} = \frac{i_{\text{пуск}}}{3I_{\text{н.АД}}}; \quad K_{U \text{ дин}} = \frac{U_{\text{к}}}{U_{\text{к.н}}}$$

Здесь в качестве базисных значений взяты динамические показатели симметричного АД, при определении относительного времени пуска за базовые приняты три механических по-

стоянных времени АД $\left(T_{\text{н.АД}} = \frac{J\omega_1}{M_n} \right)$, а в качестве $U_{\text{к.н}}$ — номинальное напряжение применяемых конденсаторов, равное 500 В.

Обобщенный критерий качества динамических показателей для каждой схемы и динамического режима определяется следующим образом:

$$\xi_{\text{дин}} = K_{M \text{ дин}} \cdot K_{I \text{ дин}} \cdot K_{I \text{ дин}} \cdot K_{U \text{ дин}}$$

Таблица 2

Схема АКД на рис.1	ω_r , рад/с	$t_{\text{пуск}}$, с	$i_{\text{ауд}}$, А	$i_{\text{буд}}$, А	$i_{\text{суд}}$, А	$M_{\text{а.уд}}$, Н·м	$M_{\text{пул}}$, Н·м	$C_{(p)}$, мкФ	U_k , В	$\xi_{\text{дин}}$ ($\xi_{\text{дин.сум}}$), о.е.
1. Пуск при рабочей емкости на холостом ходу										
<i>a</i>	314	0,21	1,64	0,89	0,93	0,44	0,56	3,11	424	0,032
<i>б</i>	314	0,28	1,61	0,79	0,89	0,31	0,48	5,89	383	0,026
<i>в</i>	314	0,39	1,62	0,91	1,28	0,24	0,34	2,67	283	0,021
<i>г</i>	314	0,56	1,61	0,72	0,9	0,21	1,07	3,7	352	0,015
АД	314	0,09	1,51	1,71	1,72	2,86	—	—	—	—
2. Пуск при пусковой емкости на холостом ходу										
<i>a</i>	314	0,12	1,63	1,38	0,92	1,0	2,9	9,6	352	0,034
<i>б</i>	314	0,14	1,69	1,0	1,17	0,62	2,0	16,74	482	0,035
<i>в</i>	314	0,17	1,6	1,8	1,4	0,38	2,7	6,21	479	0,027
<i>г</i>	314	0,15	0,42	1,34	1,2	0,33	9,1	10,9	377	0,012
3. Пуск при рабочей емкости при $M_c=0,3M_n$ ($M_n=0,6$ Н·м для АКД)										
<i>a</i>	305	0,7	1,64	0,88	0,95	0,46	0,4	3,11	400	0,107
<i>б</i>	309	0,75	1,6	1,1	0,8	0,42	0,41	5,89	380	0,094
<i>в</i>	307	0,73	0,95	1,4	0,87	0,44	0,6	2,67	417	0,093
<i>г</i>	309	0,76	0,43	0,47	0,51	0,45	1,33	3,7	344	0,027
4. Пуск при пусковой емкости при M_n (для АД $M_n=0,8$ Н·м)										
<i>a</i>	288	0,27	1,64	1,37	0,96	0,9	2,2	9,6	303	0,060 (0,232)
<i>б</i>	300	0,4	1,63	1,11	1,04	0,63	1,18	16,74	405	0,082 (0,238)
<i>в</i>	306	0,43	1,62	2,01	1,8	0,43	0,5	6,21	400	0,073 (0,215)
<i>г</i>	305	0,48	1,63	2,5	2,2	0,31	0,23	10,9	358	0,066 (0,120)
АД	284	0,15	1,61	1,75	1,72	2,96	—	—	—	—
5. Реверс при рабочей емкости при $M_c=0,3M_n$ ($M_n=0,6$ Н·м для АКД)										
<i>a</i>	314	0,7	2,23	1,03	1,33	1,69	0,88	3,11	453	—
<i>б</i>	314	0,6	2,22	0,81	1,18	1,2	1,17	5,89	400	—
<i>в</i>	304	0,9	1,62	2,5	0,9	1,5	0,91	2,67	407	—
<i>г</i>	301	0,86	0,75	0,49	0,41	1,95	1,2	3,7	354	—
6. Реверс при пусковой емкости при M_n (для АД $M_n=0,8$ Н·м)										
<i>a</i>	308	0,56	2,1	2,45	1,24	2,45	4,0	9,6	445	—
<i>б</i>	310	0,5	2,14	1,95	1,65	2,61	3,1	16,74	531	—
<i>в</i>	309	0,61	1,65	1,91	2,3	0,9	0,9	6,21	420	—
<i>г</i>	312	0,74	1,72	2,8	2,07	0,83	0,57	10,9	379	—
АД	310	0,13	2,11	1,5	1,86	3,09	—	—	—	—

Затем также для всех схем определяется суммарный обобщенный критерий в режимах 1—4 (табл.2):

$$\xi_{\text{дин.сум}} = \sum_n \xi_{\text{дин}},$$

где $n=1\div 4$ — динамические режимы работы.

По рассчитанным данным для обобщенного критерия качества динамических показателей (табл.2) построена диаграмма распределения (рис.3). Таким образом, анализ данных табл.2 и рис.3 показывает, что наилучшими динамическими характеристиками в пусковых режимах обладает схема на рис.1,г, а неблагоприятными — схема на рис.1,б.

Были проведены исследования влияния начальной фазы включения напряжения (φ_0) на переходные процессы пуска АКД (4АА56А4УЗ), результаты которых показаны на рис.4, 5. Из приведенной на рис.4 кривой видно, что наиболь-

шие ударные моменты возникают при сдвиге фазы на 40 и 240°, а наименьшие — при сдвиге на 120 и 280°. В установившемся режиме сдвиг фазы питающего напряжения не оказывает значительного влияния на осциллограммы процессов (рис.5). Продолжительность времени переходного процесса от начала пуска до установившегося режима при различных значениях φ_0 одна и та же. При пуске можно отметить различие значений ударных токов и напряжений фаз, а также электромагнитного момента и напряжения на конденсаторе при синусоидальном ($u=U_m \sin \omega_1 t$) и косинусоидальном ($u=U_m \cos \omega_1 t$) напряжениях питания. При синусе эти значения несколько выше, однако на характер протекания переходных процессов это не влияет (рис.5). Когда напряжение пропорционально $\sin(\omega_1 t + \varphi_0)$ и $\sin(\omega_1 t - \varphi_0)$, электромагнитный момент имеет одинаковые законы изменения во времени и

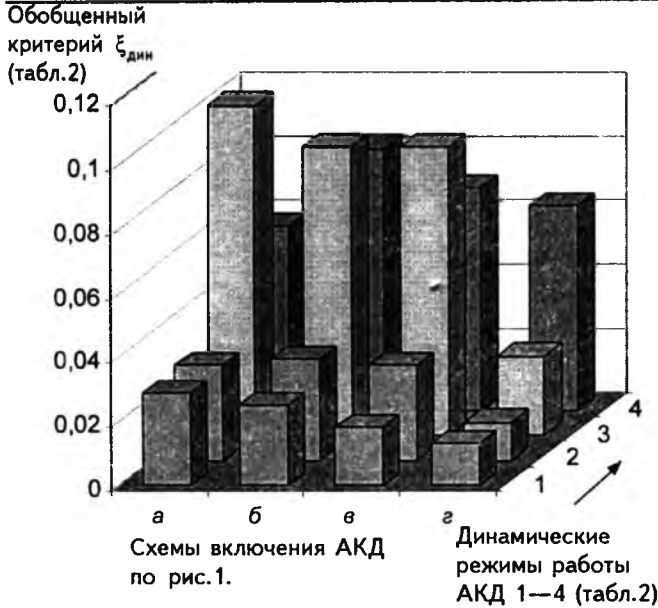


Рис.3. Диаграмма распределения величины обобщенного критерия для различных схем включения и динамических режимов работы

мгновенные значения, т.е. знак начальной фазы напряжения не влияет на значение момента; то же самое отмечается и при косинусоидальном законе питания двигателя.

Для оценки адекватности предложенной математической модели было проведено сравнение результатов теоретического и экспериментального исследований переходных процессов АКД марки УАД-72, включенного в однофазную сеть по схеме рис.1,а, имеющего следующие номинальные данные и параметры схемы замещения:

$$P_{ном} = 70 \text{ Вт}, \cos\varphi_{ном} = 0,81, \eta_{ном} = 0,74,$$

$$U_{ном.ф} = 220 \text{ В}, R_1 = 40,4 \text{ Ом}, X_m = 660 \text{ Ом},$$

$$X_2 = 69,9 \text{ Ом}, S_{ном} = 9\%, X_1 = 30,3 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 42,15 \text{ Ом}, p = 1, C_p = 4 \text{ мкФ}, C_n = 14 \text{ мкФ}.$$

Теоретические исследования проводились по описанной методике моделирования, а экспериментальные были проведены на компьютеризованном стенде, предназначенном для исследования динамических режимов работы электро-механических преобразователей, созданном на кафедре «Электротехнические комплексы автономных объектов» МЭИ. В качестве нагрузки на

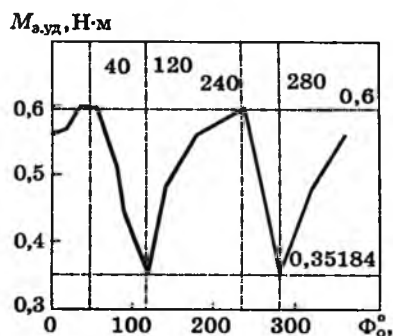


Рис.4. Зависимость ударного момента от фазы включения напряжения при пуске АКД на холостом ходу по схеме рис.1,а

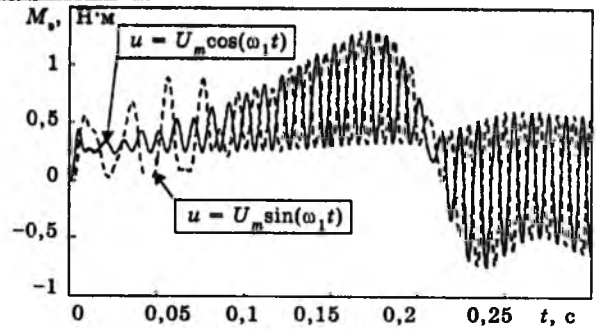


Рис.5. Зависимость электромагнитного момента от времени при пуске АКД на холостом ходу с различным законом питания по схеме рис.1,а

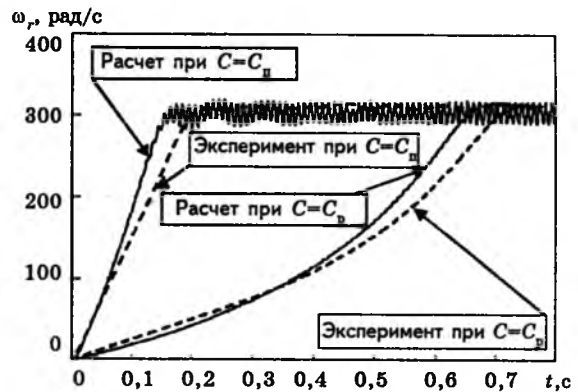


Рис.6. Сравнение расчетных и экспериментальных данных частоты вращения при пуске УАД-72 на холостом ходу

стенде использовалась коллекторная электрическая машина постоянного тока с независимым возбуждением. Данные снимались по семи информационным каналам для трех фазных токов и напряжений, а также для угловой частоты вращения ротора. При снятии данных по токам и напряжениям использовались датчики индукционного типа, а для угловой частоты вращения — датчик Холла с одним импульсом на оборот. Вся полученная таким образом информация поступала на монитор персонального компьютера в графическом виде, а также на магнитные носители памяти в виде файлов числовых массивов данных.

Анализ кривых (рис.6) показывает, что переходной процесс в модели протекает несколько быстрее, чем в реальности. Это частично можно объяснить трудностью определения момента инерции двигателя постоянного тока, сочлененного с исследуемым двигателем.

Слабое проявление колебаний частоты вращения в установившемся режиме на экспериментальной кривой (рис.6) в сравнении с теоретической (пуск АКД при пусковой емкости) объясняется наличием некоторой зоны нечувствительности одноимпульсного датчика Холла, возникающей при весьма быстром изменении регистрируемой величины, порядка тысячных долей секунды.

Таким образом, общая оценка теоретических и экспериментальных данных позволяет сделать заключение об их хорошей сходимости, погрешность при этом не превышает 10%, что в свою очередь подтверждает адекватность предложенной методики исследования переходных процессов АКД.

Выводы

1. Разработана математическая модель трехфазного асинхронного двигателя в ортогональных координатах (α - β), включаемого в однофазную сеть с конденсатором. Исследованы динамические режимы пуска и реверса при пусковой и рабочей емкостях, а также различном значении нагрузки.

2. Сопоставление динамических показателей четырех наиболее применяемых схем включения проведено при помощи предложенного обобщенного критерия оценки качества динамических режимов работы. Анализ показал, что наилучшими динамическими характеристиками в пусковых режимах обладает схема на рис.1,а, а неблагоприятными — схема на рис.1,б.

3. Оценка влияния фазы напряжения на динамические показатели позволила установить, что при синусоидальном питании отмечены несколько большие значения ударного момента, чем при косинусоидальном, однако на характер протекания переходного процесса фаза напряжения влияния не оказывает.

4. Сравнение результатов экспериментально-исследования режима пуска с теоретическими расчетами дало хорошую сходимость данных и подтвердило адекватность разработанной математической модели.

Список литературы

1. Торопцев Н.Д. Трехфазные асинхронные двигатели в однофазных сетях. М.: Энергоатомиздат, 1997.

2. Адаменко А.И. Методы исследования несимметричных асинхронных машин. Киев: Наукова думка, 1969.

3. Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А. Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности. Ч.1. М.: МЭИ, 1997.

4. Алымкулов К.А., Беспалов В.Я., Баскин Л.Б., Курманова Г.Т. Анализ переходных процессов однофазного асинхронного конденсаторного двигателя при повторных включениях//Изв. вузов. Электромеханика. 1982. № 8.

5. Consoli A., Lipo T.A. Orthogonal axis models for asymmetrically connected induction machines// Transactions IEEE. V-Pas-101. 1982. № 12.

6. Алымкулов К.А. Однофазные асинхронные двигатели для электроприводов малой мощности. Бишкек: МП «Нива», 1995.

7. Мощинский Ю.А., Петров А.П. Анализ схем трехфазного асинхронного двигателя при включении в однофазную сеть//Электротехника. 1999. № 9.

8. Мощинский Ю.А., Бессмертных Н.А. Математическая модель однофазного асинхронного двигателя с пусковым сопротивлением//Электричество. 1997. № 1.

9. Хэнкок Н. Матричный анализ электрических машин. М.: Энергия, 1967.

10. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа, 1984.

Беспалов Виктор Яковлевич — профессор кафедры электромеханики Московского энергетического института. Окончил в 1960 г. электромеханический факультет МЭИ. В 1992 г. защитил докторскую диссертацию на тему: «Асинхронные машины для динамических режимов работы».

Мощинский Юрий Анатольевич — доцент кафедры электромеханики МЭИ. Окончил в 1965 г. электромеханический факультет МЭИ. В 1975 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование синхронного двигателя с постоянными магнитами с асинхронно-гистерезисным пуском».

Петров Алексей Петрович — стажер кафедры электромеханики МЭИ. Окончил в 1995 г. энергетический факультет Киргизского технического университета.

Программное обеспечение для моделирования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в составе системы управления электроприводами и для бездатчикового измерения регулируемых переменных

ВОЙНОВА Т.В., инж.

НПП ВНИИЭМ

Описаны программное обеспечение для моделирования на ПЭВМ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и способ его включения в общую модель системы управления с одним или несколькими двигателями, реализованную на языках Си++ или Паскаль. Показаны возможность использования ПО для бездатчикового измерения регулируемых переменных АД, в том числе, и в системах с векторным управлением, и учета гармонического состава входного сигнала.

Автором разработаны математическая модель [1] и программные средства [2] для исследова-

ния трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором как объекта регули-

рования. Эта модель состоит из двух аналитических (эталонных) моделей АД (модель 1 и модель 2), на вход которых подают синусоидальное напряжение, и одной модели в приращениях (модель 3), которые можно включить в полную модель системы управления электроприводом на базе одного или нескольких трехфазных АД с короткозамкнутым ротором. Кроме того, эти же модели АД могут быть использованы для бездатчикового измерения регулируемых переменных АД, в том числе в системах с векторным управлением. Многодвигательный вариант модели может быть применен для реализации бездатчиковых измерителей регулируемых переменных одного АД, использующих наблюдатели переменных, а также для учета гармонического состава сигналов напряжения на зажимах статора и токов статора в цепи обратной связи.

На рис.1—3 показаны примеры использования разработанного программного обеспечения: — для учета гармонического состава напряжения на зажимах статора АД (модель 4, рис.1); — для повышения точности бездатчикового измерителя частоты вращения с наблюдателем тока статора [3] (рис.2); — для реализации бездатчикового измерения регулируемых переменных АД на основе моделей 1—4 с наблюдателями (рис.3).

Появление быстродействующих цифровых сигнальных процессоров открыло возможность для использования описываемых моделей в реальном времени в составе системы автоматического управления электроприводами (САУ ЭП). Как правило, с целью облегчения программирования для сигнальных процессоров разрабатываются трансляторы с языка Си, на котором и следует писать программы, выполняющие сложные расчеты.

Программные модули, реализующие модель АД, написаны на языках Си++ и Паскаль и отлажены соответственно в среде Borland C++Builder 3.0 и в среде Borland Delphi 4. Модель двигателя позволяет наблюдать более 40 переменных.



Рис.2. Бездатчиковый измеритель частоты вращения с наблюдателем по [3] и с моделью объекта по [1]

Моделирование системы автоматического управления электроприводом можно выполнить с помощью следующих программных модулей:

ZnUpr — формирования закона управления, например, $U/f = \text{const}$, причем $f = \text{const}$ или $f = K f_{\text{пуск}}$, или изменяется по какому-либо другому закону;

ModDatch — моделирования датчиков сигналов обратной связи;

ModReg — моделирования регуляторов;

ModelPW — моделирования преобразователя частоты;

Upravlenie — определения очередности запуска перечисленных модулей и организации различных структур измерителей регулируемых переменных АД, например, представленных на рис.1—3;

InitAD (рис.4) — инициализации моделей АД;

ADKZR — моделирования АД в конкретный момент времени;

RGSTR — регистрации наблюдаемых переменных;

OTOBR — отображения наблюдаемых переменных;

ModSau (рис.5) — инициализации модели САУ ЭП и связи управляющих и регулирующих модулей с моделью объекта регулирования, т.е. с моделью асинхронного двигателя.

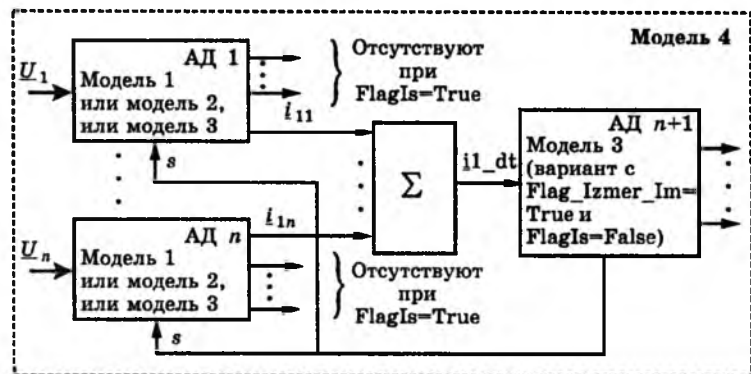


Рис.1. Модель для учета гармонического состава напряжения на зажимах статора АД

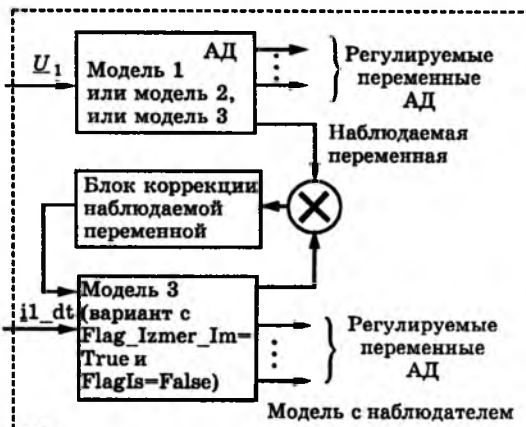


Рис.3. Бездатчиковый измеритель регулируемых переменных АД на основе моделей по [1]

В модуле ModSau выполняются:

— задание варианта САУ ЭП (одноводвигательный или многодвигательный — KolAD = 1, 2...N);

— инициализация модуля ZnUpr, заключающаяся в задании:

закона управления ($ZakUpr=1, 2$ и т.д.; $0 < K_f \leq 1$, где $K_f=1$ соответствует заданию скачком частоты вращения поля статора; $K_f < 1$ — частота возрастает линейно с угловым коэффициентом K_f до значения, определяемого $f_{пуск}$; $ZakUpr=1$, например, соответствует закону управления $U/f = const$); максимального значения напряжения U_m на зажимах статора АД, максимального f_{1m} и начального $f_{1пуск}$ значений частоты изменения напряжения;

— инициализация модулей ModDatch и ModReg;

— инициализация модуля ModelPW, заключающаяся в задании параметра ZakPW, определяющего тип преобразователя частоты или в упрощенной модели (при отсутствии модулей ModDatch и ModReg) вида выходного сигнала преобразователя частоты, например: синусоида или другая фигура, заменяющая синусоиду;

— инициализация модуля RGSTR регистрации параметров;

— вызов на выполнение модуля InitAD инициализации модели АД;

— организация циклического с минимальным шагом дискретизации (шагом dt моделирования АД) модели САУ и регистрации наблюдаемых переменных (модели сигналов с выходов датчиков, регуляторов и преобразователя частоты могут иметь свой шаг дискретизации);

— вызов на выполнение модуля OTOBR отображения наблюдаемых переменных.

В модуле InitAD (рис.4) осуществляются:

— задание для каждого двигателя параметров Т-образной схемы замещения АД, механической части привода и характера прилагаемой нагрузки (момент нагрузки M_c можно изменять в модуле Upravlen по любому временному закону или в модуле InitAD задать его постоянной величиной, установив, в случае необходимости, FlagUdNagr признак ударного изменения нагрузки на величину dMc в момент времени $TdMc$ от начала моделирования и длительностью $dTud$);

— задание номера ModelAD модели двигателя [1] (1 — эталонная модель 1, 2 — эталонная модель 2, 3 — модель 2 в приращениях);

— задание dt шага моделирования АД (при использовании нескольких моделей АД каждая из них может иметь свой шаг дискретизации). Этот шаг в модели АД используется для отслеживания момента приложения ударной нагрузки;

— установка, например, для модели 4 (рис.1) с целью экономии времени, затрачиваемого на

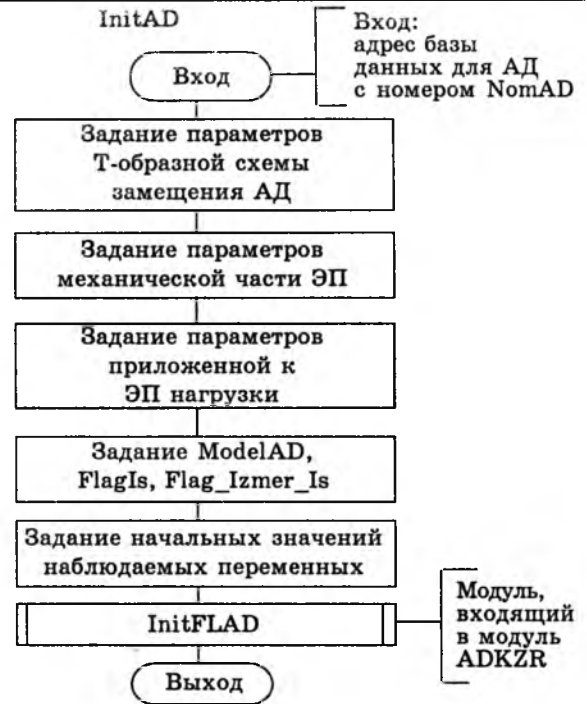


Рис.4. Алгоритм инициализации модели АД

расчет, признака FlagIs моделирования по напряжению только токов статора, а также признака Flag_Izmer_Im для модели 3 (рис.1,3), при котором входом в модель считаются не сигналы напряжения на зажимах статора, а токи статора $I1a_dt, I1b_dt, I1c_dt$, которые могут быть и выходом датчиков тока статора;

— вызов на выполнение подпрограммы InitFLAD, осуществляющей начальную установку некоторых внутренних для программы моделирования АД признаков; эта подпрограмма содержится в модуле ADKZR.

Модуль ADKZR и модули (ModAdmgn, ModAdpr, Matemat, ModAdkzr, PrPrir), реализующие непосредственно модели АД [1], являются, в отличие от описанных, неизменными в модели САУ ЭП. Они обеспечивают моделирование переходных процессов в одном или нескольких двигателях, входящих в систему управления.

Модуль VarADKZR содержит описание структуры переменных, используемых для моделирования АД.

Для того чтобы подключить программное обеспечение модели АД к модели САУ ЭП или использовать его при прямом процессорном управлении электроприводом, необходимо:

— определить структуру САУ ЭП и количество (KolAD), тип (ModelAD) и объем (FlagIs, Flag_Izmer_Im) используемых моделей АД (например, по рис.1—3).

При этом параметр ModelAD может быть равен 1, 2 или 3, в зависимости от типа выбираемой модели (1 и 2 соответствуют эталонным моделям 1 и 2 [1] при синусоидальном входном сигнале, 3 — модели 2 в приращениях).

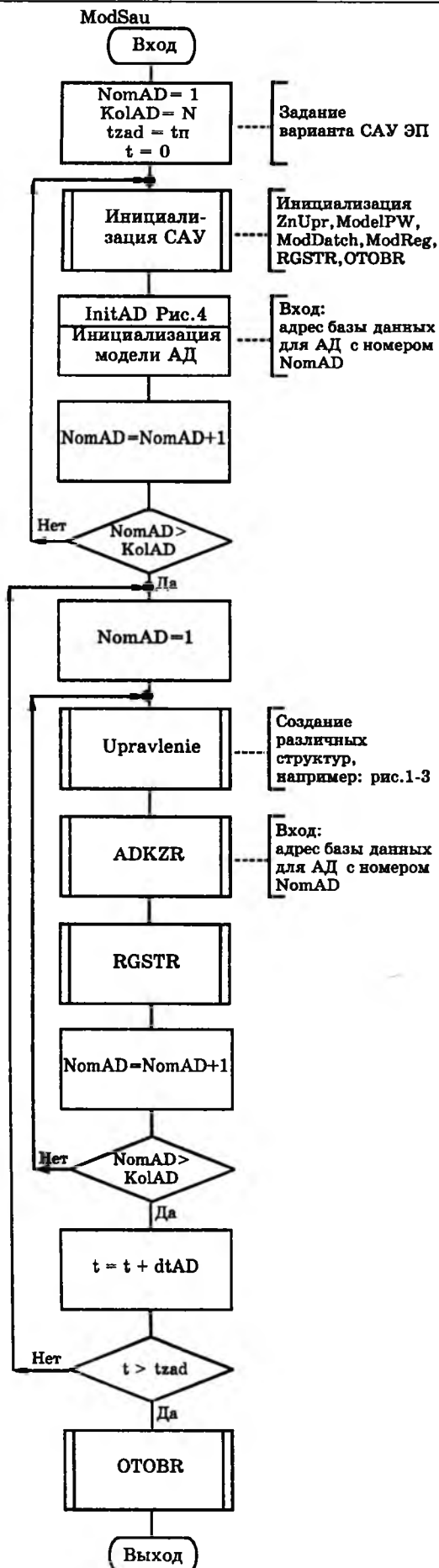


Рис.5. Алгоритм модели САУ ЭП

Параметр `FlagIs=True` позволяет сократить время расчета за счет сокращения наблюдаемых параметров до одного: i_1 — вектора тока статора, наиболее часто используемого в сложных моделях, в частности с наблюдателями. При `FlagIs=False` используется полная модель АД.

Параметр `Flag_Izmer_Im=True` настраивает модель 3 на ввод задания в виде вектора тока статора, а не напряжения;

— по количеству (`KolAD`) требуемых моделей АД зарезервировать массивы памяти со структурой, описанной в программном модуле `VarADKZR`;

— написать программные модули `InitAD` и `Upravlenie`, учитывающие структуру САУ ЭП; для модели 3 в приращениях начальные значения регулируемых переменных АД могут быть ненулевыми и заданы например, в модуле `InitAD`;

— подключить перед компоновкой программного обеспечения САУ ЭП неизменяемые объектные модули `ADKZR`, `ModAdmgn`, `ModAdprg`, `Matemat`, `ModAdkzr`, `PrPrir` и `VarADKZR`;

— в каждом программном модуле, использующем переменные, описанные в модуле `VarADKZR`, включить его имя с помощью оператора `#include «VarADKZR.h»` в программах, написанных на языке Си++, или добавить `VarADKZR` в строку с оператором `Uses` в программах, написанных на языке Паскаль.

В качестве примера рассмотрим модель 4 (рис.1), предназначенную для учета гармонического состава напряжения на зажимах статора АД. В этой модели параметр `KolAD` (количество моделей АД) равен $n+1$, где n — число учитываемых гармоник. Для реализации модели 4 необходимо зарезервировать память для $n+1$ массива данных со структурой, описанной в модуле `VarADKZR`, n первых моделей АД имеют признак `Flag_Izmer_Im`, равный `True`, и поэтому по векторам i_1 гармоник напряжения статора моделируют векторы i_1 токов статора, которые затем суммируются и в качестве задания `i1_dt` поступают на вход $(n+1)$ -й модели АД, на выходе которой формируется полный набор регулируемых переменных АД.

Вычисленное в этой модели относительное скольжение должно быть использовано на следующем шаге вычисления во всех $n+1$ моделях АД. Для этого его значение должно быть перед каждым следующим циклом вычисления переписано из массива данных модели АД $n+1$ в массивы остальных моделей. В качестве моделей АД 1 — АД n может быть выбрана любая из моделей, описанных в [1] из-за того, что на их вход поступает идеальная синусоида. Таким образом, параметр `ModelAD` для моделей АД 1 — АД n может быть равен 1, 2 или 3, но обязательно одинаковый для всех n моделей, чтобы обеспечить одинаковую точность вычислений. Параметр

Flag_Izmer_Im для этих моделей задается равным False, так как входом моделей является сигнал напряжения статора. С целью сокращения времени расчета для этих моделей (для всех или выборочно) параметр FlagIs может быть задан равным True. В связи с тем, что на вход модели АД $n+1$ поступает несинусоидальный сигнал тока i_{1_dt} , параметр ModelAD для этой модели должен быть равен 3 (модель в приращении), а параметр Flag_Izmer_Im равен True (на входе ток, а не напряжение). Кроме того, так как эта модель является результирующей, параметр FlagIs должен быть равен False, чтобы обеспечить возможность наблюдения за любыми регулируемыми переменными АД.

На рис.6—9 представлены графики переходных процессов при прямом пуске двигателя 4A100/L4Y3 на напряжение $U_m=380$ В частотой $f_1=50$ Гц при скачкообразном изменении частоты и моменте нагрузки $M_c=0$, полученные в упрощенной, разомкнутой модели САУ, в которой на зажимы статора АД поступают с моделей преобразователя частоты (ПЧ) управляющие сигналы напряжения различной формы.

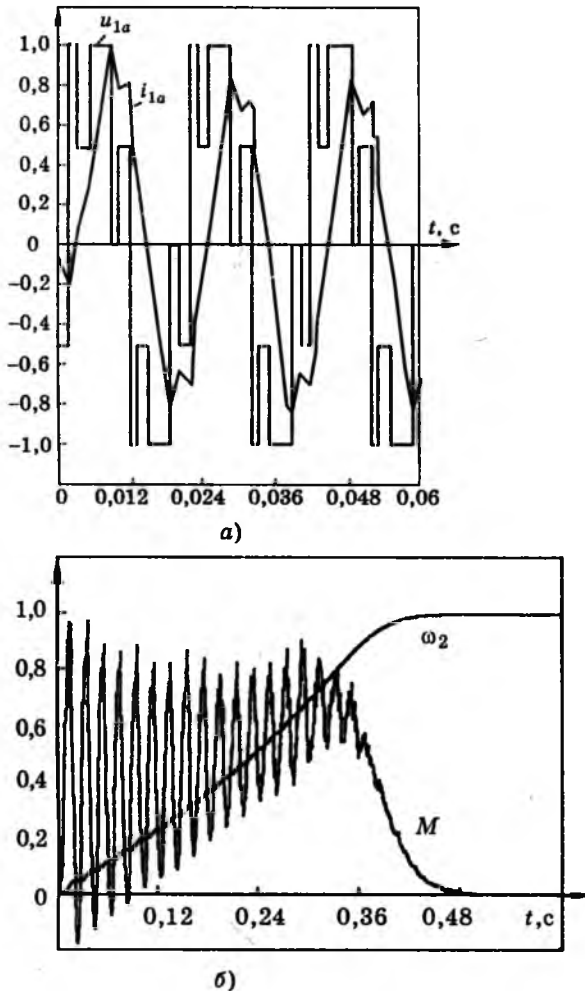


Рис.6. Переходные процессы в АД при управлении от ПЧ с АИН $i_{1a\max}=74,13$ А; $M_{\max}=83,78$ Н·м

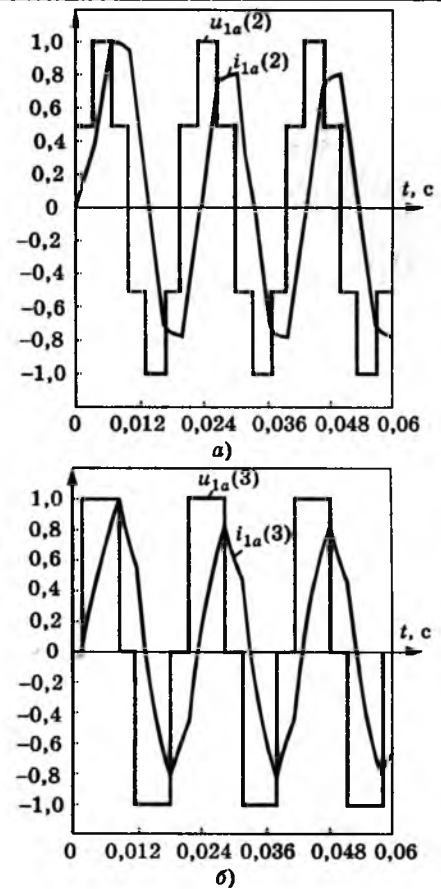


Рис.7. Напряжения u_{1a} в фазе a статора и соответствующие им токи i_{1a} : а — при шестипульсовой ШИМ с паузом $\pi/3$; б — при прямоугольной ШИМ с паузой $\pi/3$

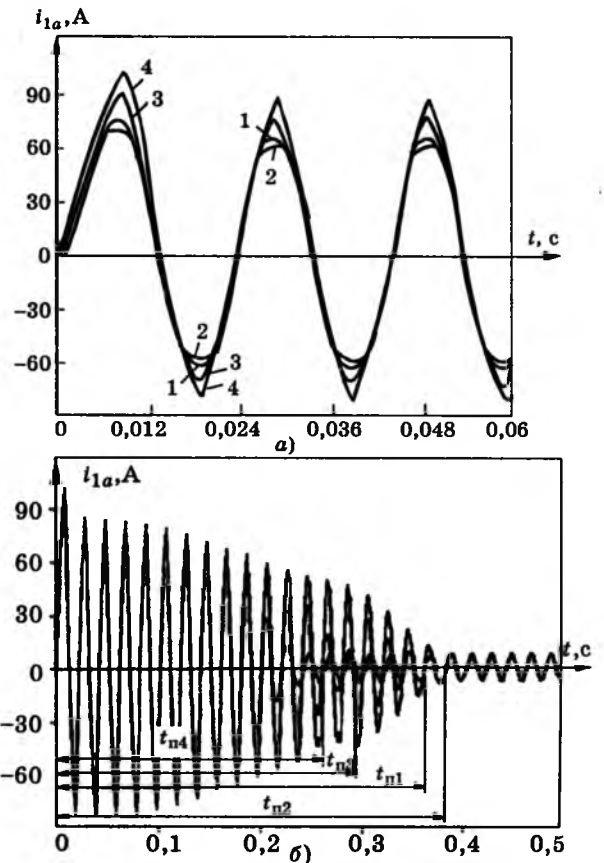


Рис.8. Переходные процессы в токе статора фазы a при различных формах управляющего напряжения

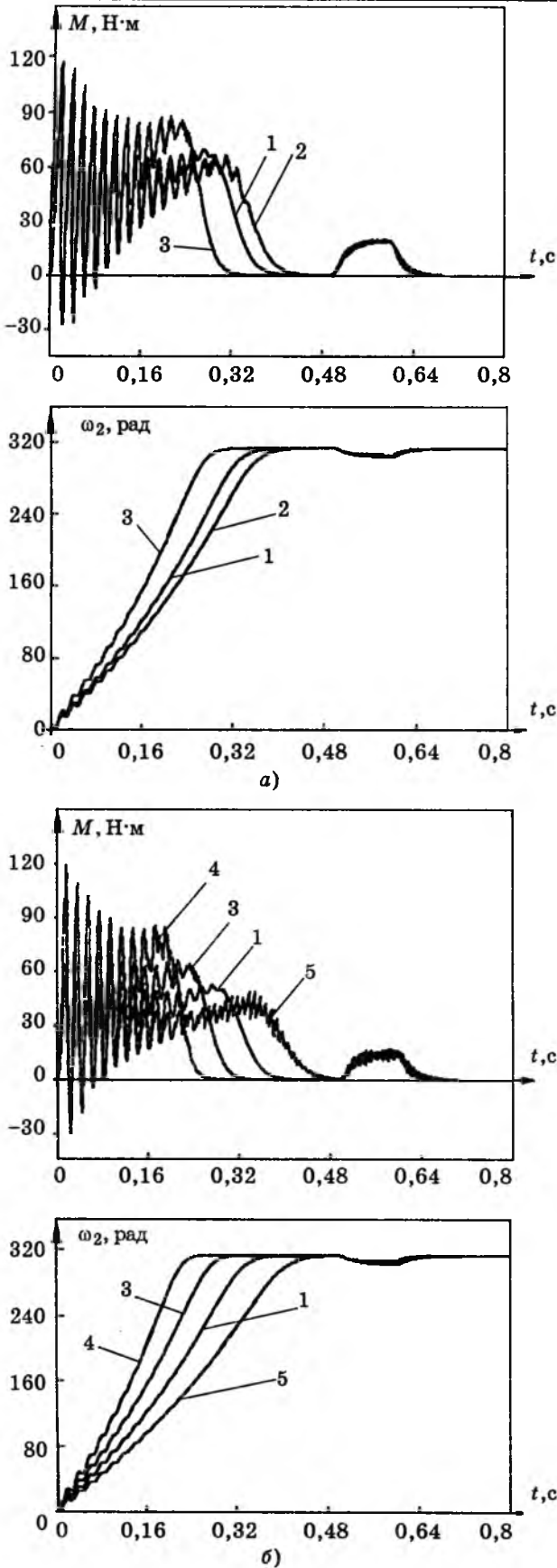


Рис.9. Переходные процессы в АД при различных формах управляющего напряжения. Сравнение эталона 1: а — с шестипульсовой 2 и прямоугольной 3 ШИМ; б — с прямоугольными ШИМ с различными паузами между импульсами (3 — $\pi/3$; 4 — $\pi/6$; 5 — $\pi/2$)

На рис.6 это — сигналы с выхода ПЧ с автономным инвертором напряжения (АИН). На рис.8,9: 1 — синусоидальное напряжение (эталон); 2 — сигнал шестипульсовой широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с шагом $\pi/3$ рад и изменением амплитуды импульса на полупериоде на $\pm U_m/2$; 3, 4, 5 — сигналы прямоугольной ШИМ с паузой между импульсами соответственно $\pi/3$, $\pi/6$ и $\pi/2$ рад.

Наихудшим при пуске АД является сигнал с выхода ПЧ с АИН [4] (рис.6), так как при нем ухудшается форма тока статора и увеличивается колебательность электромагнитного момента M при снижении максимального момента.

Наиболее близким к эталонному по вызываемым им переходным процессам в токах и электромагнитном моменте является сигнал 2 шестипульсовой ШИМ (рис.7,а;8,а;9,а).

Наиболее просто реализуемым и достаточно близким к эталонному является чаще всего используемый в последнее время [5,6] сигнал прямоугольной ШИМ с паузой между импульсами не более $\pi/3$ рад. При уменьшении паузы между импульсами можно увеличить пусковой момент и сократить время разгона двигателя (рис.9,б).

При модуляции управляющего напряжения по треугольному закону (здесь график не приводится) можно получить наиболее гладкую форму тока статора, но из-за существенного фазового сдвига график электромагнитного момента при прямом пуске напоминает листочек орешника, что вызывает затяжку процесса разгона при увеличении колебательности скорости вращения ротора и девятикратное увеличение максимального момента.

Для сравнения целесообразно повторить моделирование АД при треугольном законе модуляции напряжения статора с использованием модели 4 (рис.1), разложив треугольный сигнал на гармонические составляющие. Последняя модель может оказаться более точной.

Для построения графиков разработан пакет программ, функционирующий в среде WINDOWS 95 (экран монитора 800×600 пикселов) и в среде WINDOWS 98 (экран монитора 1024×768 пикселов). Графический пакет позволяет получить на одном рисунке до 42 переходных процессов. Имеется возможность выравнивания графиков по максимуму с целью совмещения на одном рисунке очень маленьких и очень больших величин.

Кроме того, предусмотрены возможности для документирования результатов моделирования:

- вызов из данного пакета программ стандартного графического редактора PBrush;
- сохранение полученного на экране рисунка с графиками в файле с расширением .bmp и вызов на экран содержимого любого файла с расширением .bmp;

— печать рисунка, представленного на экране монитора;

— передача полученного рисунка с графиками через буфер обмена в другие приложения Windows;

— приведение расчетных данных, содержащихся в файле типа file (BINARY) с вещественными числами, к единому масштабу по оси абсцисс с целью совмещения их в диалоговом режиме на одном рисунке;

— изменение цвета любого из построенных графиков;

— наложение по запросу на график мелкой сетки.

Графики, представленные на рис.6—9, рассчитаны и задокументированы с помощью описанного программного обеспечения.

Список литературы

1. Войнова Т.В. Математическая модель для исследования трехфазного асинхронного двигателя с ко-

роткозамкнутым ротором как объекта регулирования и для прямого процессорного управления//Электротехника. 1998. № 6. С.51—61.

2. Войнова Т.В. Программные средства для исследования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором как объекта регулирования//Электротехника. 1998. № 12. С.27—37.

3. Пат. 44 33 551. Германия. Кл. Н 02 Р 7/44, 1996.

4. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе/А.Я.Бернштейн, Ю.М.Гусяцкий, А.В.Кудрявцев, Р.С.Сарбатов. М.: Энергия, 1980.

5. Salo J., Pyrhonen J., Niemela M. A Space Vector Induction Motor Model for the Pspice Circuit//EPE Journal. 1996. Vol.5, № 3/4. P.56—62.

6. Murray A. Motion-Control Chip Sets. DSP and motor-control chips simplify DSP-based AC motor control hardware//Analog Dialogue. 1996. № 30—2. P.3—6.

Войнова Татьяна Васильевна — аспирант научно-производственного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт электромеханики». Окончила в 1973 г. Московский институт инженеров железнодорожного транспорта по специальности «Автоматика и телемеханика в промышленности».

Выбор рациональных режимов охлаждения тяговых двигателей постоянного тока локомотивов

ЛОГИНОВА Е.Ю., канд.техн.наук

МИИТ

Представлены результаты расчета регуляторных характеристик теплового тягового электродвигателя постоянного тока как теплового объекта во всем диапазоне изменения его нагрузки. Показано, что при разработке автоматических систем регулирования температуры тягового электродвигателя в качестве регулируемой величины целесообразно использовать температуру нижней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода. Для повышения технико-экономических показателей систем охлаждения тяговых двигателей представляется возможным оборудовать их регуляторами расхода воздуха по току нагрузки с компенсацией по температуре наружного воздуха.

Значительный резерв экономии энергии и повышения надежности локомотивов — оптимизация теплового состояния тяговых электрических машин, характерной особенностью которых является эксплуатация в широком диапазоне изменения режимов работы и температуры наружного воздуха $t_{н.в.}$.

Так, расход электроэнергии на охлаждение тягового электрооборудования электровозов переменного-постоянного тока в эксплуатации составляет в среднем 16% расхода энергии на тягу [1]. Это обусловлено отсутствием согласования режимов тепловой нагрузки и охлаждения тягового электрооборудования, когда независимо от нагрузки мотор-вентиляторы их систем охлаждения работают непрерывно в режиме номинальной подачи.

На тепловозах традиционно привод вентиляторов охлаждения тягового электрооборудования

осуществляется от энергетической установки (чаще всего это механический привод от вала дизель-генератора). Поэтому с изменением мощности энергетической установки по позициям контроллера изменяется и расход воздуха на охлаждение тяговых электрических машин, оставаясь постоянным в пределах одной позиции. В связи с этим удельные затраты мощности на охлаждение тягового электрооборудования на тепловозах ниже, чем на электровозах. Контроль же за тепловым состоянием обмоток машин отсутствует как на тепловозах, так и на электровозах.

Номинальный расход охлаждающего воздуха через тяговую электрическую машину на локомотивах определяется из условия поддержания допустимого значения превышения средней температуры обмотки якоря для данного класса нагревостойкости изоляции при номинальной мощ-

ности машины и расчетной температуре наружного воздуха $+40^{\circ}\text{C}$ (минимаксного критерия) на часовом режиме работы — для тяговых машин электровозов и продолжительном режиме работы — для тяговых машин тепловозов.

Использование минимаксного подхода для определения номинального расхода охлаждающего воздуха при существующих системах охлаждения тягового электрооборудования на электровозах гарантирует обмотки машин от недопустимых перегревов, тогда как на тепловозах существует опасность перегреть обмотки машин на режимах частичного охлаждения. Неоправданные затраты энергии на охлаждение тягового электрооборудования, снижение его надежности за счет колебания температур делают актуальной задачу создания эффективной и экономичной системы охлаждения, особенно с ростом секционной мощности локомотивов.

Основным показателем всякой системы охлаждения (или регулирования температуры) энергетической установки является энергетический коэффициент экономичности, который применительно к тяговому электрооборудованию рассматривают как отношение затрат мощности на его охлаждение и тягу.

Исследования показали, что при номинальной нагрузке энергетический коэффициент экономичности систем охлаждения тягового электрооборудования на отечественных тепловозах составляет 3-6% в зависимости от мощности энергетической установки [2], на отечественных электровозах 4,5—5%, тогда как на зарубежных электровозах ЧС4, ЧС8, РО-2, РО-3 (Швеция) не превышает 2,5—3% [3]. Если же учесть, что мощность вентиляторов охлаждения электровозов сохраняется неизменной независимо от нагрузки электровоза, коэффициент экономичности его системы охлаждения при частичной нагрузке может достигать 20%.

Проблема регулирования производительности вентиляторов охлаждения тягового электрооборудования не является новой. И в России и за рубежом разработаны и внедрены на локомотивах различные системы автоматического регулирования температуры тягового электрооборудования. Однако, до настоящего времени нет однозначного ответа на вопрос: по какому принципу должна быть построена такая система и какой фактор в ней должен быть принят за регулируемую величину. Объясняется это тем, что опытным путем выявить лимитирующий по нагреву узел крайне неравномерно нагреваемых в эксплуатации обмоток машины довольно сложно, а достоверных методов расчета динамических тепловых процессов в ее обмотках с учетом неравномерности их нагрева создано не было.

В результате, в настоящее время локомотивы оборудуются системами регулирования темпера-

туры тягового электрооборудования, построенными на различных принципах.

Так, для электровозов переменного-постоянного тока была разработана автоматическая система регулирования температуры тягового электродвигателя (ТЭД), производительность вентилятора в которой изменялась в зависимости от сигнала аналоговой модели, имитирующей тепловое состояние обмотки якоря [4].

На итальянском электровозе ВВ342 производительность вентиляторов охлаждения ТЭД регулируется в зависимости от температуры остыва двигателя.

Для серийного использования в системах охлаждения ТЭД тепловозов М62, ТЭ10 и 2ТЭ116, оборудованных центробежными вентиляторами, НИИ тепловозов и путевых машин (ВНИТИ) был разработан блок контроля температуры (БКТД) (рис.1), который обеспечивает изменение расхода воздуха через ТЭД с помощью жалюзи, управляемых разностью между температурой воздуха на выходе электродвигателя и $t_{н.в}$ [5].

Измеритель температуры (ИТ) на основании сравнения значений температур воздуха на выходе двигателей T_1 и T_2 и сигнала коррекции по $t_{н.в}$ (на тепловозах этих серий один центробежный вентилятор устанавливается в системе охлаждения трех электродвигателей) вырабатывает команду на исполнительное устройство (ИУ) привода жалюзи систем охлаждения электродвигателей передней или задней тележки. ИУ включает тяговые магниты $ТМ1$ и $ТМ2$, управляющие поворотом жалюзи.

Источник стабилизированного питания (ИП) этой системы одновременно выполняет функцию фильтра и обеспечивает гальваническую развязку электрических цепей тепловоза с измерительными цепями датчиков температуры $U_{н}$.

Разработанные в последнее время методы теплового расчета ТЭД позволяют определить влияние различных факторов эксплуатации на локальные температуры обмоток и найти значения регулирующего воздействия — расхода охлаждающего воздуха, при которых обеспечивается рациональное тепловое состояние всех узлов машины при минимальных затратах энергии на ее охлаждение во всем диапазоне изменений возмущений — мощности $P_{д}$, тока $I_{д}$ и $t_{н.в}$ [6]. В частности, расчеты изменения локальных темпе-

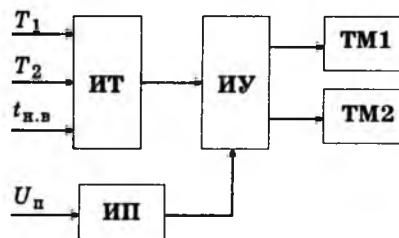


Рис.1. Блок-схема блока контроля температур тяговых двигателей

ратур обмоток ТЭД показали, что температуры сердечников и наконечников полюсов совсем не отражают температуру обмотки якоря, а температура воздуха на выходе электродвигателя даже при постоянном режиме работы очень сильно зависит от расхода воздуха.

Поэтому, с целью определения регуляторных характеристик ТЭД как теплового объекта для электродвигателя ЭД118 ($P_{д.ном} = 305$ кВт, $I_{д.∞} = 720$ А, изоляция класса нагревостойкости F), получившего широкое распространение в энергетических цепях отечественных тепловозов ТЭ10, 2ТЭ116 и др., были рассчитаны рациональные расходы воздуха через электродвигатель во всем диапазоне изменения его нагрузок.

В соответствии с ГОСТ 2582-81 «Машины электрические вращающиеся тяговые» тепловое состояние обмотки якоря, как наиболее нагретого узла тягового электродвигателя, рекомендуется оценивать по средней температуре методом сопротивления. Для обеспечения требуемого ресурса ТЭД 20 тыс.ч превышение средней температуры обмотки якоря над температурой наружного воздуха не должно быть выше 140°C.

Таким образом, исходными данными для расчета регуляторных характеристик ЭД118 как теплового объекта являлось условие поддержания превышения средней температуры обмотки якоря 140°C во всем диапазоне изменений P_d и I_d при $t_{н.в} = 20^\circ\text{C}$.

Для расчета регуляторных характеристик использовалась модель ТЭД как теплового объекта, базирующаяся на методе тепловых эквивалентных и аэродинамическом методе расчета электрических машин, позволяющая определить температуры 36 элементарных узлов двигателя в стационарном тепловом режиме во всем диапазоне изменения I_d , частоты вращения якоря n_d , расхода охлаждающего воздуха $G_{в.з}$ и $t_{н.в}$.

В результате расчета было получено, что зависимости необходимых расходов воздуха через ТЭД при его различной мощности, которая определяется позицией контроллера (п.к.), носят гиперболический характер (рис.2). При этом, не-

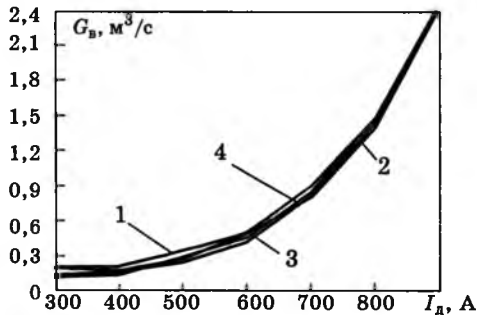


Рис.2. Регуляторные характеристики ЭД118, обеспечивающие поддержание превышения средней температуры обмотки якоря 140°C при различных позициях контроллера:

1 — 15-я п.к. $P_d=305$ кВт; 2 — 11-я п.к. $P_d=180$ кВт; 3 — 9-я п.к. $P_d=130$ кВт; 4 — 7-я п.к. $P_d=85$ кВт

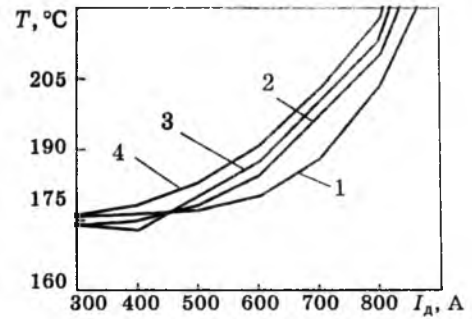


Рис.3. Изменение температуры нижней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода ЭД118 в зависимости от I_d при поддержании превышения средней температуры обмотки якоря 140°C на различных позициях контроллера:

1 — 15-я п.к.; 2 — 11-я п.к.; 3 — 9-я п.к.; 4 — 7-я п.к.

смотря на то, что мощность двигателя на рассматриваемых позициях контроллера изменяется в три с половиной раза, зависимости $G_{в.з}=f(I_d)$ практически совпадают для всего диапазона P_d .

Однако экспериментальные исследования тепловых полей в обмотках ТЭД и динамические расчеты нагревания обмоток ТЭД в эксплуатации показывают, что лимитирующим узлом среди них является лобовая часть нижней полусекции обмотки якоря со стороны привода [6]. Поэтому ресурс двигателя по надежности изоляции обмоток будет определять именно этот узел.

Значения же температур в лобовой части обмотки якоря со стороны привода, соответствующие расходам воздуха регуляторных характеристик рис.2 (рис.3), превышают допустимую по фактору ресурса во всем диапазоне изменения I_d (изоляция класса F имеет ресурс 20 тыс.ч при температуре 155°C). На продолжительном режиме работы ТЭД установившееся значение температуры этого узла обмотки составляет 190°C, что соответствует ресурсу изоляции 2 тыс.ч. С уменьшением позиции температура в лобовой части обмотки якоря со стороны привода увеличивается. Объясняется это тем, что при одном значении I_d и снижении мощности ТЭД частота вращения якоря также уменьшается. Соответственно уменьшается и коэффициент теплоотдачи с поверхностей якоря $\alpha = f_1(Re_\omega, Re_G)$, который определяется как функция от значений критерия Рейнольдса, определенного для вращательной составляющей скорости воздуха на его поверхности Re_ω и расходной составляющей — Re_G .

Кроме того, электрические потери, приходящиеся на единицу поверхности охлаждения, которые и определяют в основном нагрев обмоток, в лобовых частях за счет диагональной укладки обмотки почти в два раза больше, чем в ее пазовой части.

Эти факторы с учетом того, что воздух, охлаждающий ТЭД, нагревается вдоль его аксиальной оси, и вызывают то, что лобовые части со-

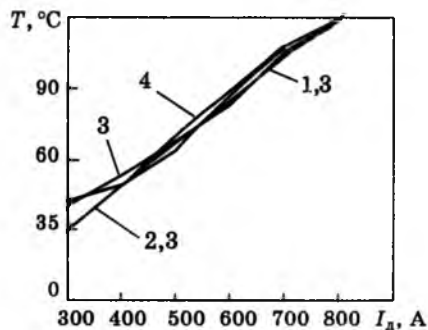


Рис.4. Изменение превышения температуры верхней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода ЭД118 в зависимости от I_d при поддержании превышения средней температуры обмотки якоря 140°C на различных позициях контроллера: 1 — 15-я п.к.; 2 — 11-я п.к.; 3 — 9-я п.к.; 4 — 7-я п.к.

стороны привода имеют более высокие температуры, чем средняя температура обмотки, а с уменьшением позиции контроллера разница между температурой этой части обмотки и ее средней температурой увеличивается.

Фактические значения превышения температуры верхней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода — разница температур этого узла обмотки якоря и охлаждающего его воздуха — изменяются от 30 до 120°C в зависимости от тока нагрузки на всех позициях контроллера, несмотря на то, что превышение средней температуры обмотки якоря поддерживается постоянным 140°C (рис.4).

Температуры наиболее горячих узлов обмоток главных полюсов, рассчитанные для режима полного возбуждения ТЭД и добавочных полюсов, которые расположены в верхних слоях катушки ближе к станине в области межполюсного окна, также зависят от I_d . Кроме того, как и температура лобовых частей обмотки якоря, они несколько меняются по позициям контроллера (рис.5,6).

Все эти факты свидетельствуют о том, что вряд ли при разработке автоматического регулятора температуры ТЭД в качестве регулируемой ве-

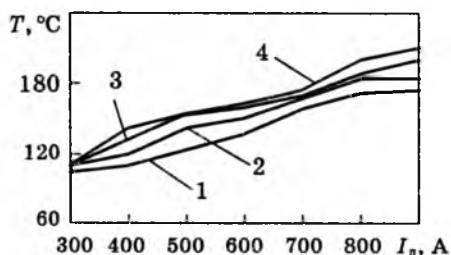


Рис.5. Изменение температуры верхнего слоя катушки главного полюса в области межполюсного окна ЭД118 в зависимости от I_d при поддержании превышения средней температуры обмотки якоря 140°C на различных позициях контроллера: 1 — 15-я п.к.; 2 — 11-я п.к.; 3 — 9-я п.к.; 4 — 7-я п.к.

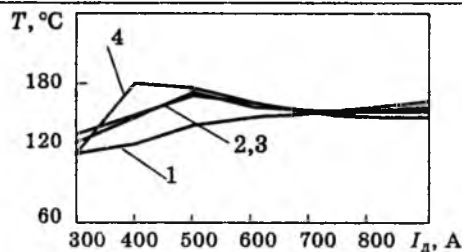


Рис.6. Изменение температуры верхнего слоя катушки добавочного полюса в области межполюсного окна ЭД118 в зависимости от I_d при поддержании превышения средней температуры обмотки якоря 140°C на различных позициях контроллера: 1 — 15-я п.к.; 2 — 11-я п.к.; 3 — 9-я п.к.; 4 — 7-я п.к.

личины целесообразно использовать превышение средней температуры обмотки якоря. Поэтому как альтернатива был рассмотрен вариант регулятора температуры ТЭД, где в качестве регулируемой величины используется температура лимитирующего по нагреву узла — нижней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода.

Очевидно, что технически реализовать такую систему непрерывного регулирования с обратной связью по регулируемой величине довольно сложно. Она требует установки непосредственно в эту часть обмотки маломощного термочувствительного элемента (датчика температуры), позволяющего в условиях переменных магнитных полей довольно точно измерять температуру, одновременно возникает проблема организации скользящего токосъема, т.е. надежность системы регулирования в эксплуатации будет невелика.

Поэтому целесообразным, в данном случае, является выявление функциональных зависимостей между температурами различных узлов обмоток ТЭД и возмущающими и регулирующими воздействиями с целью создания регуляторов расхода воздуха через ТЭД в зависимости от значений возмущений, которые действуют на него как тепловой объект.

В соответствии с типовыми зависимостями ресурса изоляции класса нагревостойкости F от температуры надежная работа изоляции по тепловому фактору в течение 20 тыс. ч обеспечивается при 155°C. Это значение температуры лобовой части обмотки было принято для расчета регуляторных характеристик (рис.7).

Расчет регуляторных характеристик ЭД118 как теплового объекта, где в качестве регулируемой величины используется температура нижней полусекции обмотки якоря со стороны привода, показал, что в такой системе регулирования вентиляторы должны обеспечивать более высокие значения расхода воздуха через ТЭД во всем диапазоне изменения I_d (и даже выше, чем это предусмотрено существующей системой охлаждения ЭД118 на тепловозах). При этом пре-

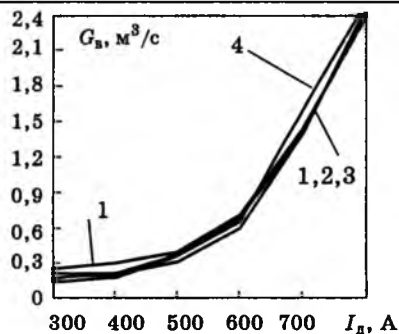


Рис.7. Регуляторные характеристики ЭД118, обеспечивающие поддержание температуры нижней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода 155°C при различных позициях контроллера: 1 — 15-я п.к.; 2 — 11-я п.к.; 3 — 9-я п.к.; 4 — 7-я п.к.

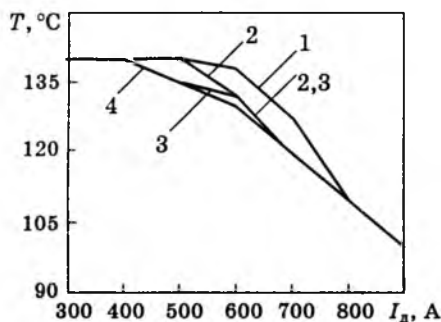


Рис.8. Изменение превышения средней температуры обмотки якоря ЭД118 в зависимости от I_d при поддержании температуры нижней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода 155°C на различных позициях контроллера: 1 — 15-я п.к.; 2 — 11-я п.к.; 3 — 9-я п.к.; 4 — 7-я п.к.

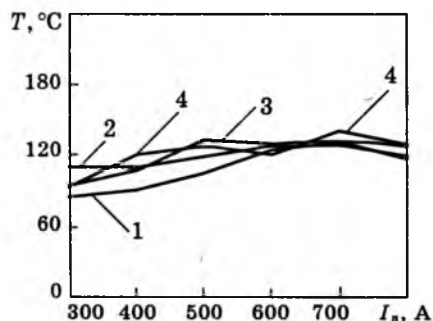


Рис.9. Изменение температуры верхнего слоя катушки главного полюса в области межполюсного окна ЭД118 в зависимости от I_d при поддержании температуры нижней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода 155°C на различных позициях контроллера: 1 — 15-я п.к.; 2 — 11-я п.к.; 3 — 9-я п.к.; 4 — 7-я п.к.

вышения средней температуры обмотки якоря будут иметь более низкие значения, чем допускается ГОСТ 2582-81 (рис.8).

Фактические значения превышения температуры лобовой части обмотки якоря со стороны привода так же изменяются в зависимости от I_d в пределах 50—100°C.

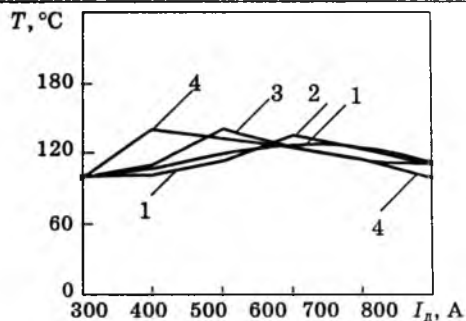


Рис.10. Изменение температуры верхнего слоя катушки добавочного полюса в области межполюсного окна ЭД118 в зависимости от I_d при поддержании температуры нижней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода 155°C на различных позициях контроллера: 1 — 15-я п.к.; 2 — 11-я п.к.; 3 — 9-я п.к.; 4 — 7-я п.к.

Однако обмотки полюсов нагреваются более равномерно: во всем диапазоне изменения P_d и I_d температуры их наиболее горячих узлов изменяются в диапазоне 90—140°C — главного полюса и 105—140°C — добавочного полюса (рис. 9,10).

Расчеты влияния $t_{н.в}$ на температуры элементарных узлов обмоток показывают, что они имеют зависимость, близкую к линейной, определяемую для каждого типа двигателей. В связи с этим в настоящее время на локомотивах получили распространение системы охлаждения тяговых электрических машин с сезонным регулированием расхода охлаждающего воздуха “зима-лето”. В таких системах охлаждения расход воздуха изменяется с помощью направляющего вентилятора или жалюзи.

Выводы

1. При создании автоматической системы регулирования температуры ТЭД тепловозов представляется нецелесообразным в качестве регулируемой величины использовать превышение средней температуры обмотки якоря, так как фактические температуры элементарных узлов обмоток будут колебаться в широких пределах.

2. Понятие “превышение средней температуры обмотки якоря” ТЭД, определяемое в соответствии с ГОСТ 2582-81, не отражает фактических значений превышений температуры обмоток в различных ее частях, поэтому использовать его как показатель качества работы системы регулирования, характеризующий относительные термические деформации обмотки якоря, не рекомендуется.

3. Достаточно простым решением задачи повышения эффективности использования систем охлаждения ТЭД локомотивов при соблюдении условия обеспечения заданного ресурса тяговых машин является оборудование их разомкнутыми системами регулирования производительности расхода воздуха в зависимости от тока на-

грузки ТЭД с компенсацией по температуре наружного воздуха; требуемые значения расхода воздуха в зависимости от тока нагрузки в таких регуляторах должны определяться для каждого типа ТЭД по оптимальному значению температуры нижней полусекции лобовой части обмотки якоря со стороны привода.

Список литературы

1. Хазен М.М., Лорман Л.М. Энергетические характеристики электровозов переменного тока с авторегулированием охлаждения их оборудования // Вестник ВНИИЖТ. 1992. №2. С. 42-46.

2. Кузьмич В.Д. Вспомогательное оборудование тепловозов и потребляемая им мощность // Тр. МИИТ. 1971. Вып. 394. С. 3—16.

3. Иванов В.И., Савельев В.М., Хазен М.М. Повышение экономичности систем охлаждения восьмисосных электровозов переменного тока // Совершенствование процессов теплообмена и аэродинамики электроподвижного состава. Тр. ВНИИЖТ 1979. №617. С. 12—30.

4. Чернохлебов В.Е., Помалюк В.Н., Павленко В.Н. Тепловой контроль тяговых двигателей // Электровозостроение. Новочеркасск, 1983. Т.23. С. 85—92.

5. Ткаченко И.Ф., Шептуцолов В.Д., Козачевич Г.С., Сергеев В.Л. Об уменьшении затрат мощности на охлаждение тяговых электрических машин тепловозов // Совершенствование электрических передач тепловозов. Тр. НИИТИ. Коломна. 1980. №51. С. 161—166.

6. Кузьмич В.Д., Логинова Е.Ю. Математическое моделирование температурного поля обмоток тягового электродвигателя тепловоза // Вестник ВНИИЖТ. 1999. № 2.

ЭЛЕКТРОПРИВОД

Баланс реактивной мощности в системе тиристорный преобразователь напряжения — асинхронный двигатель

БРАСЛАВСКИЙ И.Я., доктор техн.наук, проф., ЗЮЗЕВ А.М., канд.техн.наук, КОСТЫЛЕВ А.В., инж.

Уральский ГТУ

Рассмотрен баланс реактивной мощности в системе тиристорный преобразователь напряжения — асинхронный двигатель (ТПН—АД) в режиме регулирования переменного напряжения. Представлены расчетные и экспериментальные зависимости мощности, потребляемой системой, на основании которых проведены оценки реактивной мощности, приходящейся на долю ТПН. Показано, что основным фактором, определяющим увеличение реактивной мощности системы, является смещение первой гармоники напряжения статора относительно напряжения сети, вносимое ТПН.

В настоящее время для управления асинхронными электродвигателями (АД) широко применяются системы плавного пуска или системы Soft-Start, построенные на основе тиристорного преобразователя напряжения (ТПН). Кроме своей основной задачи — плавного разгона двигателя, они часто реализуют и энергосберегающие функции при работе недогруженного двигателя в зоне номинальной скорости. В этом случае двигатель питается пониженным напряжением, выбираемым таким образом, чтобы обеспечить либо минимум потребляемой активной мощности, либо минимум потерь в двигателе, либо минимум тока статора [1]. При этом снижается и реактивная мощность, потребляемая двигателем. Действительно, энергосберегающий режим требует поддержания определенной скорости, выбираемой из условия оптимизации. В этом случае угол нагрузки двигателя остается неизменным, а актив-

ная (и реактивная) мощность снижаются пропорционально квадрату напряжения.

Вместе с тем известно, что при регулировании напряжения тиристорные преобразователи увеличивают потребление реактивной мощности системы [2]. При этом значение эквивалентного угла нагрузки зависит от глубины регулирования напряжения. Очевидно, указанное явление существует и в системе ТПН—АД, однако его оценка не нашла отражения в научно-технической литературе. Можно предположить, что реактивная мощность системы будет определяться как реактивной мощностью, потребляемой двигателем, так и реактивной мощностью, потребляемой ТПН. В работе исследуется соотношение между реактивной мощностью, потребляемой двигателем, и полной реактивной мощностью системы ТПН—АД.

Все расчеты выполнены в среде MATLAB с использованием метода пространства состояний и быстрого преобразования Фурье.

Расчет баланса мощности в системе ТПН—АД

Расчет баланса мощности проводится в общепринятой для АД системе относительных единиц на основе анализа мгновенных значений токов и напряжений статора, полученных из решения уравнений полной модели системы ТПН—АД, учитывающей дискретность преобразователя [3]. При расчете полагаем сеть бесконечно мощной, двигатель — симметричным, а падение напряжения на тиристорах не учитываем (в реальных системах это значение находится в пределах погрешности измерения). Расчет потребляемой активной мощности системы, которая при указанных допущениях равна мощности двигателя, выполняется по следующей формуле:

$$P_d = k \frac{1}{T} \int_0^T u i dt, \quad (1)$$

где P_d — потребляемая активная мощность двигателя; $k=2$ — коэффициент приведения относительного значения мощности на три фазы; $T=2\pi$ — период напряжения статора; u — мгновенное значение фазного напряжения статора; i — мгновенное значение фазного тока статора.

Введение коэффициента $k=2$ обусловлено выбором системы относительных единиц, в которой за базовое значение напряжения и тока берется их амплитуда.

Далее рассчитаем полную мощность, потребляемую двигателем и системой в целом:

$$S_d = k \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = kUI; \quad (2)$$

$$S_c = k \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_c^2 dt} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = kU_c I, \quad (3)$$

где S_d — потребляемая полная мощность двигателя; S_c — потребляемая полная мощность системы; u_c — мгновенное значение фазного напряжения сети; U — действующее значение фазного напряжения статора; I — действующее значение фазного тока статора; U_c — действующее значение фазного напряжения сети.

Теперь можно рассчитать реактивную мощность, потребляемую двигателем и системой, на основе следующих соотношений:

$$Q_d = \sqrt{S_d^2 - P_d^2}; \quad (4)$$

$$Q_c = \sqrt{S_c^2 - P_c^2}, \quad (5)$$

где Q_d — реактивная мощность двигателя; Q_c — реактивная мощность системы.

Обратим внимание, что мощность, вычисленная по формулам (4), (5), содержит как собственно реактивную мощность по всем гармоникам спектра, так и мощность искажения T (последняя величина, как правило, мала, и в оценочных расчетах ею можно пренебречь).

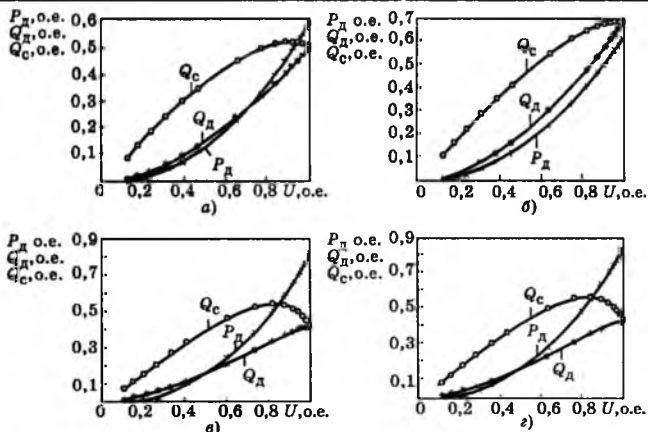


Рис.1. Графики активной и реактивной мощности в системе ТПН—АД:

a — 4A80B4; *б* — МТКФ012-6; *в* — 4A200L6; *г* — 4A315M6

На рис.1 приведены графики реактивной и активной мощности, рассчитанные для разных двигателей. При расчете скорость двигателя принималась неизменной и равной номинальной.

Как и ожидалось, реактивная мощность системы существенно больше реактивной мощности двигателя (рис.1). Более того, при небольшом снижении напряжения потребление реактивной мощности может даже увеличиваться. Для иллюстрации этого явления рассчитаны мощности для двигателя 4A200L6 при разных скоростях (рис.2).

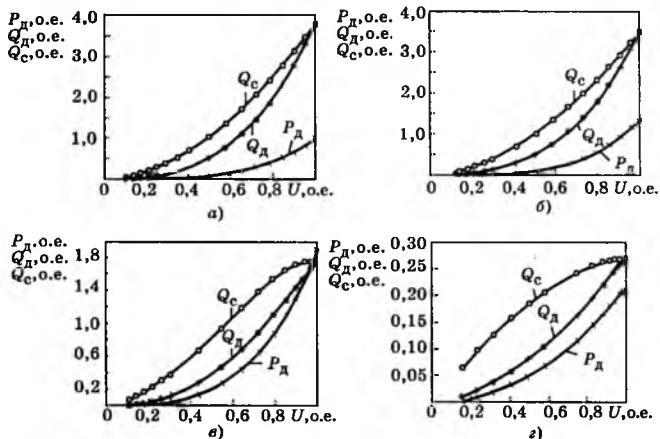


Рис.2. Графики активной и реактивной мощности в системе ТПН—АД для двигателя 4A200L6:

a — $\omega=0$; *б* — $\omega=0,6$; *в* — $\omega=0,914$; *г* — $\omega=0,995$

Эффект смещения первой гармоники напряжения

Чтобы выяснить причины, приводящие к увеличению реактивной мощности системы относительно мощности, потребляемой двигателем, выполним расчет мощностей по первым гармоникам напряжений и токов. Методом гармонического анализа напряжения статора рассчитаны зависимости угла смещения первой гармоники напряжения на статоре относительно напряже-



Рис.3. Зависимость угла смещения от угла открытия тиристорov:
 1 — $\omega=0,979$;
 2 — $\omega=0,995$;
 3 — $\omega=0,6$;
 4 — $\omega=0$

ния сети в функции угла открытия тиристорov при разных скоростях. Результаты расчетов приведены на рис.3.

Как следует из графиков на рис.3, наибольшие смещения первой гармоники имеют место в области номинального скольжения ($\omega=0,979$). Изменение смещения первой гармоники в зависимости от скорости объясняется эффектом изменения угла нагрузки двигателя и соответствующим смещением зоны нечувствительности преобразователя (области, в которой угол открытия тиристорov меньше угла нагрузки двигателя). Поскольку в области номинальной скорости двигатель имеет угол нагрузки, близкий к минимальному, и, следовательно, преобразователь в этой области обладает минимальной зоной нечувствительности, то и смещение первой гармоники при регулировании угла открытия тиристорov наступает раньше. При этом наклон характеристик смещения примерно одинаков во всем диапазоне скоростей. Так как смещение первой гармоники тока относительно первой гармоники напряжения определяется углом нагрузки двигателя, полный угол нагрузки системы будет равен сумме угла нагрузки двигателя и угла смещения первой гармоники напряжения статора.

При известных углах нагрузки системы расчет реактивной мощности можно провести непосредственно по формулам:

$$Q_d = U_1 I_1 \sin(U_1 I_1); \quad (6)$$

$$Q_c = U_c I_1 \sin(U_c I_1), \quad (7)$$

где U_1 — действующее значение первой гармоники фазного напряжения статора; I_1 — действующее значение первой гармоники фазного тока статора.

Результаты расчета реактивной мощности по выражениям (6), (7) приведены на рис.4. Различие графиков на рис.2 и 4 наблюдается в большей степени в области низких скоростей и малых напряжений. Причина этого в том, что в этой области наиболее высок процент высших гармоник по сравнению с первой и поэтому в большей степени проявляется влияние коэффициента искажения.

Как уже отмечалось, угол смещения первой гармоники (а следовательно, и реактивная мощность ТПН) определяется скоростью двигателя через угол нагрузки. Это позволяет объяснить различие графиков как для разных скоростей, так и для разных типов двигателей. Действи-

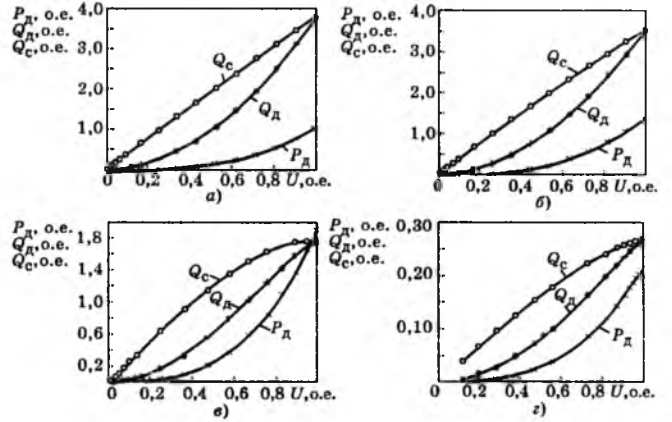


Рис.4. Графики активной и реактивной мощности в системе ТПН—АД для двигателя 4А200L6, рассчитанные по первой гармонике:

а — $\omega=0$; б — $\omega=0,5$; в — $\omega=0,914$; г — $\omega=0,995$

тельно, машины серии 4А имеют минимальный угол нагрузки в области номинальной скорости. При этом с ростом мощности $\cos \phi$ двигателя улучшается и, как следствие, возрастает возможный диапазон изменения угла смещения первой гармоники и реактивной мощности. Машины МТКФ, обладая меньшим $\cos \phi$ по сравнению с серией 4А в зоне номинальной скорости, имеют и меньший диапазон смещения первой гармоники. Кроме того, минимум угла нагрузки для двигателей серии МТКФ всегда находится в зоне скоростей меньше номинальной.

Таким образом, потребление реактивной мощности преобразователем с двигателем МТКФ в рабочей зоне меньше по сравнению с системой на основе машин серии 4А.

Для подтверждения результатов расчета сняты экспериментальные зависимости реактивной мощности двигателя и системы ТПН—АД в функции напряжения на двигателе для машин 4А80В4 и МТКФ012-6. Скорость системы поддерживалась неизменной с точностью, обеспечиваемой системой управления с ПИ-регулятором. Все измерения токов, напряжений и мощности проводились измерительным комплектом К51. Графики экспериментальных зависимостей приведены на рис.5.

Сопоставление экспериментальных данных с расчетными подтверждает общий характер зависимости реактивной мощности системы от фазо-

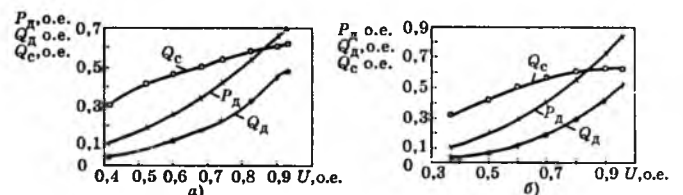


Рис.5. Экспериментальные графики активной и реактивной мощности в системе ТПН—АД:

а — 4А80В4 ($\omega=0,9$); б — МТКФ012-6 ($\omega=0,8$)

Научно-технический журнал «Электротехника»

Основан в 1930 г. Перерегистрирован в Комитете РФ по печати
15 декабря 1994 г. за № 01330.



Учредителями журнала являются:

- Главное управление по развитию электротехнической промышленности Комитета РФ по машиностроению;
- АО «Электровыпрямитель»;
- АООТ «Электрозавод-Холдинг»;
- АО «Электроника»;
- АООТ «ВЭлНИИ»;
- Ассоциация инженеров силовой электроники;
- Ассоциация «Автоматизированный электропривод»;
- Научно-техническая ассоциация «Прогрессэлектро»;
- АОЗТ «Росэлпром».

Совет учредителей журнала:

- Чибиркин Владимир Васильевич, ген.директор ОАО «Электровыпрямитель», доктор электротехники;
- Макаревич Леонид Владимирович, ген.директор ОАО «Холдинговая компания Электрозавод»;
- Мещеряков Виталий Михайлович, ген. директор АООТ НПО «Электроника», доктор электротехники;
- Щербаков Виктор Гаврилович, ген.директор АО «ВЭлНИИ», доктор техн.наук, проф., академик РАЭН и академии транспорта РФ, заслуженный деятель науки РФ;
- Ковалев Феликс Иванович, президент Ассоциации инженеров силовой электроники, доктор техн.наук, проф., академик РАЭН, **председатель совета учредителей**;
- Юньков Михаил Григорьевич, президент Ассоциации «Автоматизированный электропривод», доктор тех.наук, проф., почетный академик РАЭН;
- Подаруев Аркадий Иванович, исполнительный директор НТА «Прогрессэлектро», член-кор. РАЭН;
- Гловацкий Анатолий Васильевич, ген.директор АО «Росэлпром».

Редакционная коллегия журнала «Электротехника»:

- Кочетков Виктор Дмитриевич, **главный редактор**, ген.директор АООТ «Электропривод»; канд.техн.наук., академик РАЭН;
- Белкин Герман Сергеевич, начальник отдела ВЭИ, доктор техн.наук, член-кор.РАЭН;
- Дацковский Лев Ханинович, директор НПЦ 12 АООТ «Электропривод», канд.техн.наук;
- Долкарт Владимир Михайлович, ВНИИЭМ, доктор техн.наук ;
- Копылов Игорь Петрович, МЭИ, доктор техн.наук, проф., почетный академик РАЭН;
- Лурье Александр Иосифович, ВЭИ, ведущий научн. сотрудник, канд.техн.наук;
- Мавлянбеков Юрий Урунбекович, директор по науке НТА «Прогрессэлектро», канд.техн.наук, доктор электротехники;
- Москаленко Владимир Валентинович, зам.декана института электротехники МЭИ, доцент, канд.техн.наук, проф.;
- Никулин Александр Александрович, ВНИИЭТО, канд.техн.наук;
- Розанов Юрий Константинович, зав.кафедрой электрических аппаратов МЭИ, доктор техн.наук, проф., академик РАЭН;
- Слежановский Ольгерд Владиславович, **зам.главного редактора**, доктор техн.наук, проф., почетный академик РАЭН;
- Трубачев Сергей Георгиевич, НПФ «Росламинат», канд.техн.наук;
- Тубис Яков Борисович, ВНИПТИЭМ, канд.техн.наук, член-кор. РАЭН;
- Финкель Эдуард Эммануилович, ВНИИКП, старший научн.сотрудник, доктор техн.наук, член-кор. РАЭН;
- Флоренцев Станислав Николаевич, директор НПЦ «ИСЭ», канд.техн.наук, академик РАЭН;
- Усов Николай Николаевич, ген.директор НПЦ «Сапфир», доктор техн.наук, проф., академик РАЭН.

Редакция журнала

123242, Москва, Зоологическая ул., 11, комн. 213

Факс/телефон: 254-11-52



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1930 Г.

Научно-технический журнал "Электротехника" 70 лет активно способствует развитию электротехнической промышленности.

Публикуя теоретические статьи, освещающие существующие проблемы, и статьи по результатам исследований новых типов электротехнического оборудования, журнал дает возможность специалистам, занятым созданием и применением низковольтной аппаратуры, силовых полупроводниковых приборов, преобразовательных устройств, трансформаторов, высоковольтной техники, электрических машин, электроприводов и систем управления использовать новейшие достижения в своих разработках.

В современных условиях журнал приобретает все большее значение в сохранении старых и налаживании новых научно-технических и практических связей между производителями и потребителями электротехнического оборудования.

Публикуемая на страницах журнала реклама продукции, информация об условиях и сроках ее поставки, выпуск специальных номеров журнала по тематике и материалам (в том числе рекламным) заказчика, помогут Вам найти надежных партнеров как у нас в стране, так и за рубежом.

Журнал "Электротехника" распространяется по подписке — через АРЗИ (г. Москва) по объединенному каталогу Департамента почтовой связи Министерства связи Российской Федерации. Подписной индекс — 71111 (подписка на полугодие).

В редакции можно купить отдельные номера за нынешний и прошлые годы.

Журнал "Электротехника" переводится на английский язык и выходит в США в издательстве "ALLERTON PRESS, INC" в полном объеме. Российское авторское общество (РАО) выплачивает гонорар авторам статей, опубликованных в журнале.

**ПРИГЛАШАЕМ ВАС К АКТИВНОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ.
БУДЕМ РАДЫ ВИДЕТЬ ВАС СРЕДИ АВТОРОВ И
ПОДПИСЧИКОВ ЖУРНАЛА.**

Главный редактор

Кочетков В.Д.

вого сдвига первой гармоники и указывает на необходимость учета данного эффекта при оценке энергетических показателей системы ТПН—АД.

Выводы

1. Проведенные исследования подтверждают, что тиристорный преобразователь напряжения является потребителем реактивной мощности. При этом доля реактивной мощности, приходящаяся на ТПН, достаточно ощутима. Более того, при некоторых напряжениях, меньших номинального, и неизменной скорости реактивная мощность системы может превосходить реактивную мощность при полном напряжении. Основной причиной данного явления следует признать эффект смещения первой гармоники при регулировании напряжения статора. Поскольку гармонический состав напряжения определяется как углом открытия тиристоров, так и скоростью двигателя (через влияние противо-ЭДС), систему ТПН—АД следует анализировать совместно с учетом конкретных параметров двигателя.

2. Эффект смещения первой гармоники безусловно ухудшает свойства системы ТПН—АД. Тем не менее это явление ни в коей степени не исключает использования ТПН как средства энергосбережения. Действительно, эффект от энергосберегающего режима наиболее ощутим при работе двигателя на холостом ходу. При этом (согласно рис.1) существенно снижается потребление как активной, так и реактивной энергии по сравнению с номинальным режимом. Однако необходимо исследование условий оптимизации энергопотребления системы ТПН—АД с учетом баланса реактивной мощности.

3. В каталогах фирм, выпускающих системы Soft-Start, не приводятся сведения о влиянии ТПН на питающую сеть и мероприятиях, направ-

ленных на ограничение этого влияния. В условиях повышения требований по электромагнитной совместимости преобразовательных устройств с сетью необходим строгий анализ экономической эффективности применения энергосберегающих систем ТПН—АД с учетом затрат на фильтрокомпенсирующие устройства, обеспечивающие допустимые параметры качества потребляемой электрической энергии.

Список литературы

1. **Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства.** Кн.2. Энергосбережение в электроприводе/Н.Ф.Ильинский, Ю.В.Рожанковский, А.О.Горнов. М.: Высшая школа, 1989.

2. **Маевский О.А.** Энергетические показатели вентиляльных преобразователей. М.: Энергия, 1978.

3. **Браславский И.Я.** Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. М.: Энергоатомиздат, 1988.

Браславский Исаак Яковлевич — заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Уральского государственного технического университета (УГТУ). Закончил энергетический факультет Уральского политехнического института (ныне УГТУ) в 1958 г. Защитил кандидатскую диссертацию в 1964 г., докторскую диссертацию — в 1986 г. Тема докторской диссертации: «Обобщение теории, разработка и внедрение полупроводниковых асинхронных электроприводов с параметрическим управлением».

Зюев Анатолий Михайлович — доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Уральского государственного технического университета (УГТУ). Закончил электротехнический факультет Уральского политехнического института (ныне УГТУ) в 1970 г., защитил кандидатскую диссертацию в 1974 г.

Костылев Адексей Васильевич — аспирант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Уральского государственного технического университета (УГТУ). Закончил электротехнический факультет Уральского государственного технического университета в 1997 г.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Использование новейших быстродействующих цифровых логических КМОП микросхем на малое напряжение питания

ДОЛКАРТ В.М., доктор техн.наук

НПП ВНИИЭМ

Рассматриваются основные характеристики нового поколения усовершенствованных быстродействующих цифровых логических КМОП микросхем серии AVC фирмы «Texas Instruments», выпущенных в 1998 г. Микросхемы оптимизированы для работы с напряжением питания +2,5В, но могут работать при использовании напряжения питания в диапазоне от +3,6 до +1,2 В. Максимальная задержка распространения сигнала в микросхемах серии AVC при напряжении питания +2,5 В не превышает 2,0 нс в стандартных условиях.

Сравнительно недавно в моей статье [1] рассматривалась проблема использования новейших цифровых логических КМОП микросхем, а уже в конце 1998 г. ведущий мировой производитель

интегральных цифровых логических микросхем малой и средней степени интеграции фирма «Texas Instruments» (TI) выпустила в продажу новую серию таких микросхем следующего по-

коления, первоначально изготавливаемых по 0,5 мкм КМОП технологии, — серию усовершенствованных очень быстродействующих цифровых логических КМОП микросхем AVC (Advanced Very High Speed CMOS) [2].

Вторым поставщиком этих цифровых логических КМОП микросхем серии AVC стала фирма «Philips», изготавливающая их по 0,35 мкм КМОП технологии [3].

Хотя серия цифровых логических КМОП микросхем серии AVC изначально оптимизирована для работы с напряжением +2,5 В, микросхемы этой серии могут работать с напряжением питания в диапазоне от +3,6 до +1,2 В.

В качестве стандартных, однако, используются 3 уровня питающих напряжений: +3,3, +2,5 и +1,8 В, которые могут совместно использоваться в одном устройстве, позволяя создавать системы со смешанными напряжениями питания.

В [1] отмечалась присущая новейшим цифровым логическим КМОП тенденция развития: снижение уровня напряжения питания и потребляемой мощности при одновременном повышении быстродействия. Появление нового поколения цифровых логических КМОП микросхем серии AVC еще раз подтверждает эту тенденцию. При напряжении питания +2,5 В, на которое оптимизированы микросхемы серии AVC, максимальная задержка распространения сигнала в них не превышает в стандартных условиях измерения 2 нс, позволяя повысить быстродействие шин, реализуемых на этих микросхемах, до частоты, превышающей 133 МГц. Эти превосходные характеристики цифровых логических КМОП микросхем серии AVC достигаются за счет использования как новейшей субмикронной КМОП технологии, так и новейших схемотехнических решений, при этом статический выходной ток возбуждения нагрузки при напряжении питания +2,5 В составляет всего ±8 мА. Быстродействие микросхем серии AVC несколько повышается при увеличении напряжения питания до 3,3 В, максимальная задержка распространения сигнала уменьшается на 0,2 нс. Однако понижение напряжения питания до 1,8 В заметно увеличивает максимальную задержку распространения сигнала до 3,2 нс, т.е. более чем в 1,5 раза (рис.1).

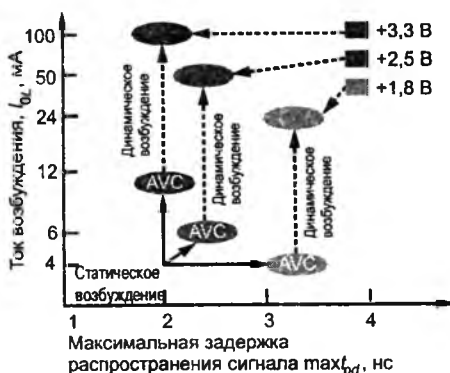


Рис.1. Зависимость выходного и динамического тока возбуждения от максимальной задержки распространения сигнала для микросхем серии AVC при различных напряжениях питания

Основные данные цифровых логических КМОП микросхем серии AVC и рекомендуемые режимы их работы приведены в таб.1. В таб.2 даны статические токи утечки микросхем серии AVC.

Таблица 1
Основные данные микросхем серии AVC и рекомендуемые режимы работы

Номинальное напряжение питания, В	1,8	2,5	3,3
Допустимый разброс напряжения питания, В	1,65—1,95	2,3—2,7	3,0—3,6
Максимальное входное напряжение, В	3,6	3,6	3,6
Минимальное входное «высокое» напряжение («ЛОГ1») U_{1H} , В	1,07	1,7	2,0
Минимальное выходное «высокое» напряжение («ЛОГ1») U_{0H} , В	1,2	1,75	2,3
Пороговое напряжение U_p , В	0,9	1,2	1,5
Максимальное выходное «низкое» напряжение («ЛОГ0») U_{0L} , В	0,45	0,55	0,7
Максимальное входное «низкое» напряжение («ЛОГ0») U_{1L} , В	0,57	0,7	0,8
Максимальный статический «высокий» («ЛОГ1») выходной вытекающий ток I_{0Hmax} , мА	-4	-8	-12
Максимальный статический «низкий» («ЛОГ0») выходной втекающий ток I_{0Lmax} , мА	4	8	12
Максимальный входной ток привязки отрицательного напряжения ($U_{вх} = -0,5$ В), мА	-50	-50	-50
Максимальный выходной ток привязки отрицательного напряжения ($U_{вых} = -0,5$ В), мА	-50	-50	-50
Максимальная задержка распространения сигнала, нс	3,2	1,9	1,7
Типичная задержка распространения сигнала, нс	1,5	1,1	1,0
Максимально допустимая скорость изменения входного сигнала, В/нс	0,2	0,2	0,2

На рис.2 и 3 показаны уровни напряжений переключения сигналов микросхем серии AVC, питающихся от разных напряжений, но работающих совместно (обозначения уровней напряжения приведены в таб.2).

Одновременная совместная работа микросхем серии AVC при различных напряжениях их пи-

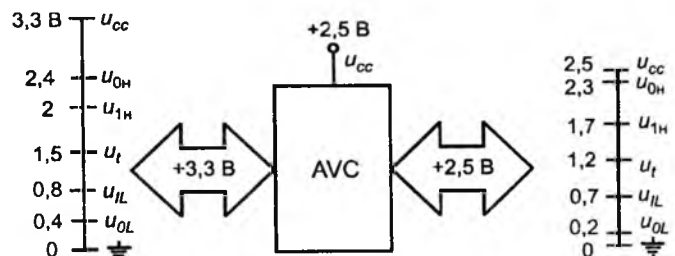


Рис.2. Уровни переключения сигналов, подаваемых от микросхем, питающихся от напряжения +3,3 В, на вход микросхемы, питающейся от напряжения +2,5 В и обратно (двунаправленная передача)

Статические токи утечки микросхем серии AVC

Параметр	Максимальное значение тока, мкА	Условия испытаний		
		U_{cc} , В	U_i , В	Прочие
Входной ток утечки I_i	2,5	1,65—3,6	U_{cc} или "земля"	
Ток утечки входа/выхода при отключенном питании I_{off}	+ -10	0		U_i или $U_0=3,6$ В
Входной ток для общих выводов входа/выхода I_{HZ}/I_{LZ}	12,5	1,65—3,6	U_{cc} или "земля"	
Выходной ток тристабильного отключенного выхода I_{0Z}	5	1,65—2,7	U_{iH} или U_{iL}	$U_0=U_{cc}$ или "земля"
	10	3,0—3,6		
Ток питания ненагруженной микросхемы I_{cc}	20	1,65—2,7	U_{cc} или "земля"	
	40	3,0—3,6		

Примечание: U_{cc} — напряжение питания; U_i — входное напряжение; U_0 — выходное напряжение; U_i — пороговое напряжение; U_{iH} — "высокое" входное напряжение; U_{iL} — "низкое" входное напряжение; U_{0H} — "высокое" выходное напряжение; U_{0L} — "низкое" выходное напряжение.

тания стала возможной потому, что входные и выходные структуры микросхем этого семейства спроектированы таким образом, что в них блокируются цепи обратных токов, протекающих от входных и выходных выводов к выводу источника напряжения U_{cc} .

Это свойство позволяет также отключать напряжения питания на части микросхем, не нагружая при этом дополнительно оставшиеся работающие микросхемы, которые подсоединены к микросхемам с выключенным напряжением питания. Такое частичное отключение питания микросхем позволяет снизить общую потребляемую системой мощность, отключив те части системы, которые в данном режиме не используются.

На рис.2 приведены уровни напряжений переключения сигналов, подаваемых с выходов микросхем, питающихся от напряжения +3,3 В, на входы микросхем, питающихся от напряжения +2,5 В, и уровни напряжений переключения сигналов, подаваемых с выходов микросхем, питающихся от напряжения +2,5 В, на входы микросхем, питающихся от напряжения +2,5 и +3,3 В. Микросхемы серии AVC допускают двунаправленную передачу сигналов между микросхемами, питающимися от напряжения +2,5 и +3,3 В, при этом выходные сигналы микросхем, питаю-

щихся от напряжения питания +2,5 В, даже в худшем случае воспринимаются как нормальные входные сигналы для микросхем, питающихся от напряжения питания +3,3 В, и наоборот. Уровни напряжений переключения сигналов, подаваемых от микросхем серии AVC, питающихся от напряжения питания +3,3 или +2,5 В, на вход микросхем, питающихся от напряжения питания +1,8 В, показаны на рис.3. В этом случае возможен только режим однонаправленной передачи сигналов к микросхемам, питающимся от напряжения питания +1,8 В.

Входы микросхем серии AVC, питающихся от напряжения питания +1,8 В, допускают подачу на вход выходных сигналов от микросхем серии AVC, питающихся от напряжения питания +2,5 и +3,3 В, обеспечивая получение на выходах нормальных выходных сигналов, соответствующих требованиям к сигналам для уровня напряжения питания +1,8 В.

На рис.4 показана упрощенная входная структура микросхем серии AVC, которая имеет стандартный для КМОП микросхем вид, используя на входе инверторный тотемный каскад из РМОП и НМОП транзисторов. В таком тотемном кас-

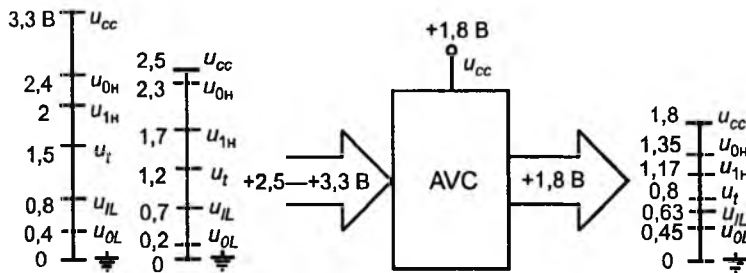


Рис.3. Уровни переключения сигналов, подаваемых от микросхем, питающихся от напряжения +3,3 В или +2,5 В, на вход микросхемы, питающейся от напряжения +1,8 В (однонаправленная передача)

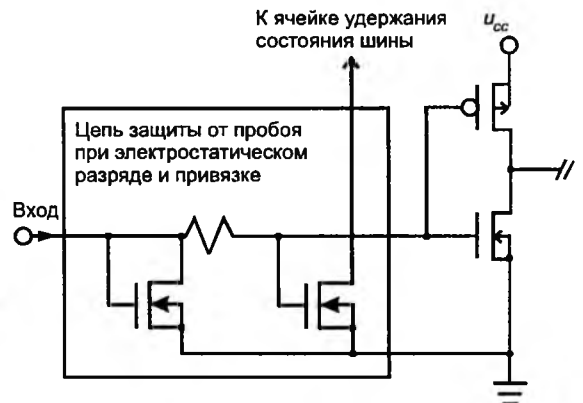


Рис.4. Упрощенная входная структура микросхемы серии AVC

каде, находящемся обычно и на выходе микросхемы, исток NМОП транзистора подсоединен к уровню «земли», а исток PМОП транзистора подсоединен к уровню напряжения питания U_{cc} . Стоки обоих транзисторов соединены между собой, образуя общий выход. Затворы могут быть тоже объединены, но могут и возбуждаться раздельно. В любом случае PМОП и NМОП транзисторы включаются поочередно, поскольку при одновременном включении обоих транзисторов через них может протекать большой сквозной ток от источника питания в «землю», способный даже разрушить тотемный каскад.

Чтобы избежать возникновения большого сквозного тока во входном тотемном каскаде микросхемы серии AVC с объединенными затворами, скорость изменения входного сигнала должна быть выше минимально допустимой скорости, равной 0,2 В/нс.

Во входной структуре микросхемы AVC цепь входного сигнала никак не связана с выводом напряжения питания U_{cc} . Поэтому максимально допустимое входное напряжение для микросхем серии AVC, равное +4,6 В, не зависит от значения используемого напряжения питания и может даже превышать его. Рекомендуемое значение положительного максимального входного напряжения для микросхем серии AVC составляет +3,6 В. Во входной структуре микросхемы серии AVC имеется также цепь защиты входной структуры от пробоя при электростатическом разряде.

Входная емкость микросхемы серии AVC не превышает 5 пФ и зависит от типа входа. Входная структура микросхемы серии AVC обеспечивает привязку входного отрицательного сигнала к уровню напряжения около $-0,5$ В. При этом оговаривается максимально допустимый входной отрицательный ток привязки, который не должен превышать -50 мА.

Как и в ряде других КМОП микросхем, выпускаемых фирмой «Texas Instruments», в микросхемах серии AVC к входной структуре может подключаться ячейка удержания состояния входной шины, не допускающая возникновения на входе «плавающего» напряжения произвольного значения, которое может привести к частичному открытию PМОП и NМОП транзисторов и появлению большого сквозного тока через входной тотемный каскад и, в конце концов, к его разрушению.

Микросхемы, содержащие ячейку удержания состояния входной шины, обозначаются как серия AVCH. Описание действия такой ячейки дано в [1].

На рис.5 показана упрощенная выходная структура КМОП микросхемы серии AVC, использующая совершенно новое схемотехническое решение — динамически управляемый выход мик-

росхемы DCO. Тристабильный выходной каскад КМОП микросхем серии AVC, как и ранее в серии КМОП микросхем серии LVC, использует цепь защиты выходного каскада от чрезмерного обратного тока, компаратор которой переключает подложку выходного PМОП транзистора на выходной вывод, если выходное напряжение превышает напряжение питания микросхемы U_{cc} более чем на 0,6 В. Такое переключение не позволяет включиться в прямом направлении паразитному диоду, образованному между подложкой и истоком выходного PМОП транзистора.

В результате выходной ток тристабильного отключенного выхода микросхемы серии AVC не превышает 10 мкА независимо от напряжения питания и напряжения на выходе в диапазоне от 0 до 3,6 В, в том числе и при отключении напряжения питания микросхемы.

Как уже отмечалось [1], статическая мощность, потребляемая КМОП микросхемами, невелика, а основная потребляемая мощность приходится на динамическую мощность, потребляемую при переключении выходного сигнала на емкостной нагрузке. В стандартных условиях для измерения потребляемой мощности микросхемы серии AVC при напряжении питания +2,5 В и частоте переключения выходного сигнала 100 МГц потребляют ток питания $I_{cc} \sim 5$ мА на каждый выход. Повышение частоты переключения выходного сигнала в два раза, до 200 МГц, в два же раза повышает значение потребляемого тока питания. Однако потребляемая динамическая мощность не только пропорциональна частоте переключения выходного сигнала, но также пропорциональна и квадрату напряжения питания. Поэтому уменьшение напряжения питания с +3,3 В до +2,5 В уменьшает потребляемую динамическую мощность более чем в 1,7 раза.

Именно для снижения потребляемой динамической мощности серия цифровых логических КМОП микросхем AVC и оптимизирована на достижение высокого быстродействия при сниженном напряжении питания +2,5 В, которое рекомендуется для наиболее эффективной работы данной серии микросхем.

Статический выходной ток микросхемы серии AVC способен удерживать устойчивое выходное состояние микросхемы, но не позволяет обеспечить быстрое переключение выходного сигнала из одного устойчивого состояния в другое, особенно при наличии значительной емкостной нагрузки на выходе.

Высокое быстродействие цифровых логических микросхем серии AVC достигается, прежде всего, за счет использования в них новой специальной схемы динамического управляемого выхода DOC (Dynamic Output Control), обеспечивающей получение большого выходного динамического тока возбуждения нагрузки в момент

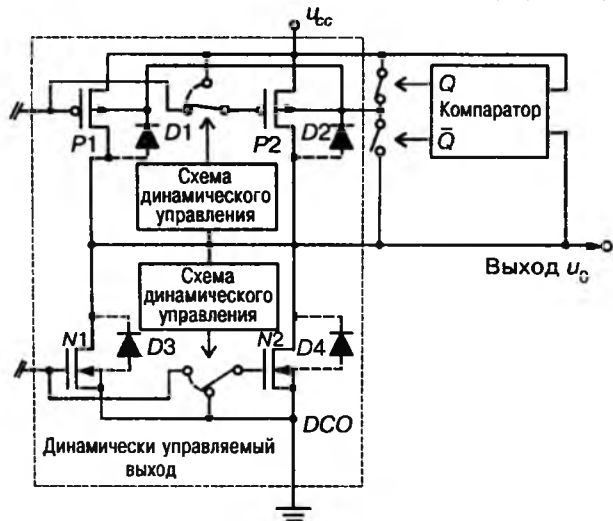


Рис.5. Упрощенная выходная структура, использующая динамически управляемый выход DCO

переключения выходного сигнала из одного состояния в другое (рис.1).

Действие схемы динамически управляемого выхода DCO микросхемы серии AVC можно понять из рис.5. Выходная структура микросхемы серии AVC с динамически управляемым выходом DCO использует постоянно включенные в тотемной конфигурации выходные транзисторы: PMOП транзистор P1 и NMOП транзистор N1. Эти транзисторы обеспечивают формирование статических выходных токов, поддерживающих на выходе микросхемы логические состояния «ЛОГ1», транзистор P1 включен, а транзистор N1 выключен, или «ЛОГ0», включен транзистор N1, а выключен транзистор P1. Включенный транзистор P1 при напряжении питания +2,5 В обеспечивает получение выходного вытекающего из микросхемы статического тока — 8 мА, а включенный транзистор N1 поддерживает входной втекающий в микросхему статический ток +8 мА. Кроме того, в выходной структуре микросхемы серии AVC используются ее два дополнительных транзистора P2 и N2, образующих дополнительную тотемную пару, выход которой включен параллельно выходу основной тотемной пары на транзисторах P1 и N1. Затвор транзистора P2, управляемый с выхода микросхемы схемой динамического управления, в момент начала переключения выхода микросхемы из состояния «ЛОГ0» в состояние «ЛОГ1», подключается к затвору транзистора P1. После этого оба транзистора P1 и P2 включаются совместно, обеспечивая выдачу большого вытекающего из микросхемы отрицательного динамического тока возбуждения нагрузки, постепенно переводя выход микросхемы в состояние «ЛОГ1». После того, как выходное напряжение микросхемы достигнет порогового уровня, около 0,7—0,75 В, схема динамического управления транзистором P2 пере-

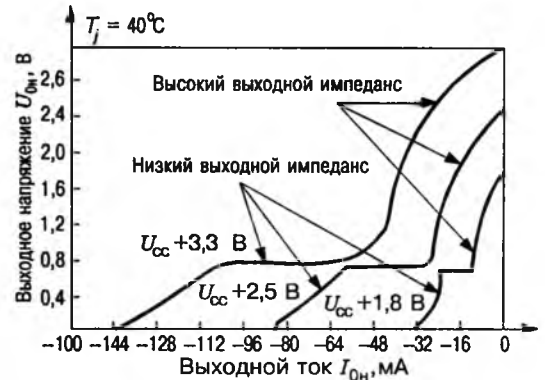


Рис.6. Зависимость «высокого» выходного напряжения («ЛОГ1») от выходного тока

ключает его затвор на напряжение питания U_{cc} , выключая транзистор P2. При этом схема динамического управления транзистором N2 все время поддерживает затвор этого транзистора подключенным к уровню земли, выключая транзистор N2. Получающаяся при этом зависимость «высокого» выходного напряжения («ЛОГ1») от выходного тока показана на рис.6.

Как видно из рис.6, включение транзистора P2 обеспечивает получение большого выходного начального вытекающего динамического тока при переключении из состояния «ЛОГ0» в состояние «ЛОГ1» и, соответственно, низкого начального выходного импеданса микросхемы. После прохождения порогового уровня выходного напряжения и выключения транзистора P2 выходной ток резко уменьшается, а выходной импеданс микросхемы увеличивается, замедляя скорость переключения выходного сигнала и улучшая его форму. Соответственно затвор транзистора N2, управляемый с выхода микросхемы схемой динамического управления, в момент начала переключения выхода микросхемы из состояния «ЛОГ1» в состояние «ЛОГ0» подключается к затвору транзистора N1. Вслед за тем оба транзистора N1 и N2 включаются совместно, обеспечивая прием большого втекающего в микросхему положительного динамического тока возбуждения нагрузки, постепенно переводя выход микросхемы в состояние «ЛОГ0». После того, как выходное напряжение снизится на 0,9—1,1 В, схема динамического управления транзистором N2 переключает его затвор на уровень «земли», выключая транзистор N2. При этом схемой динамического управления транзистором P2 его затвор все время подключен к напряжению питания U_{cc} и транзистор P2 выключен. Зависимость «низкого» выходного напряжения («ЛОГ0») от выходного тока приведена на рис.7, из которого видно, что включение транзистора N2 обеспечивает получение большого выходного начального втекающего динамического положительного тока при переключении из состоя-

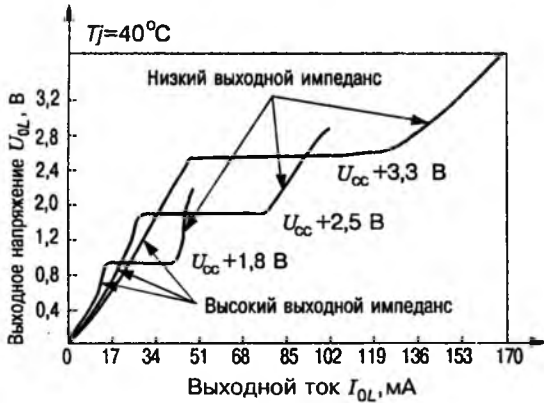


Рис.7. Зависимость «низкого» выходного напряжения («ЛОГ0») от выходного тока

ния «ЛОГ1» в состояние «ЛОГ0» и низкого начального выходного импеданса микросхемы. После выключения транзистора $N2$ выходной ток резко уменьшается и выходной импеданс микросхемы возрастает, замедляя скорость переключения выходного сигнала и улучшая его форму.

Таким образом, во время переключения выходного напряжения микросхемы серии AVC из одного устойчивого состояния в другое происходит изменение выходного импеданса микросхемы из высокого (около 45—50 Ом), который был в установившемся статическом состоянии до начала переключения, в низкий (около 22—25 Ом), который поддерживается в начальной фазе переключения выходного напряжения, и опять в высокий (около 45—50 Ом) в конечной фазе переключения выходного напряжения и в новом установившемся статическом состоянии. Такое динамическое изменение выходного импеданса микросхем серии AVC во время переключения из одного устойчивого состояния в другое обеспечивает быстрое переключение выходного сигнала и уменьшает его колебания в конце периода переключения, которые свойственны обычным быстродействующим КМОП микросхемам со статическим выходным током 24 мА и более.

Увеличение выходного импеданса микросхемы в конце периода переключения сигнала замедляет скорость переключения и демпфирует выходной сигнал на последнем этапе его переключения, обеспечивая получение высококачественного выходного сигнала с отсутствием колебаний выходного напряжения и плавным переходом его в статическое напряжение установившегося состояния.

Фактически микросхема серии AVC в начале периода переключения выходного сигнала ведет себя подобно быстродействующей микросхеме с мощным выходом, обеспечивая большой динамический ток возбуждения выходной нагрузки, а в конце периода переключения выходного сигнала — подобно микросхеме, к выходу которой перед нагрузкой подключен последовательный демпфирующий резистор, улучшающий форму выходного сигнала. Однако в микросхемах се-

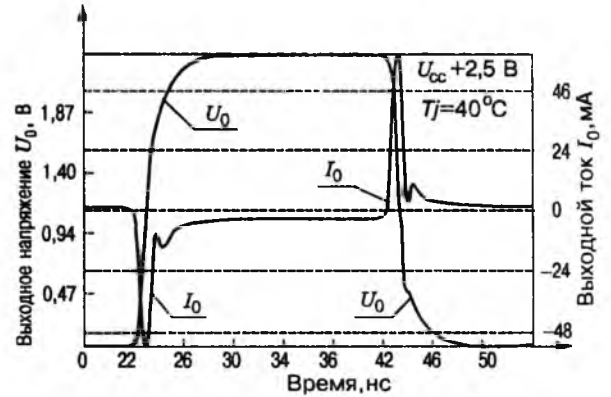


Рис.8. Зависимость выходного тока и выходного напряжения от времени при переключении сигнала на выходе микросхемы серии AVC

рии AVC никакого последовательного выходного демпфирующего резистора нет, что обеспечивает получение большого быстродействия и не вызывает ухудшения уровней статических выходных напряжений за счет падения напряжения на демпфирующем резисторе.

На рис.8 показана зависимость входных тока и напряжения микросхемы серии AVC от времени при переключении сигнала на выходе микросхемы. Как уже отмечалось, в момент переключения выходного сигнала возникает большой импульс втекающего или вытекающего тока, значение которого превышает 50 мА. После установления выходного напряжения в статическое состояние «ЛОГ0» или «ЛОГ1», втекающий или вытекающий статический выходной ток не превышает нескольких миллиампер. На рис.8 видна прекрасная форма выходного сигнала, который не имеет никаких колебаний выходного напряжения.

Наконец, на рис.9 сравниваются выходные напряжения микросхем серии AVC и серии ALVC, которая до появления микросхем серии AVC являлась самой быстродействующей серией цифровых логических КМОП микросхем, выпускаемых фирмой «Texas Instruments». Рис.9 отчетливо показывает как улучшение формы сигнала на выходе микросхемы серии AVC, так и повышение ее быстродействия.

Одновременно с развитием цифровых логических микросхем происходит и развитие методов

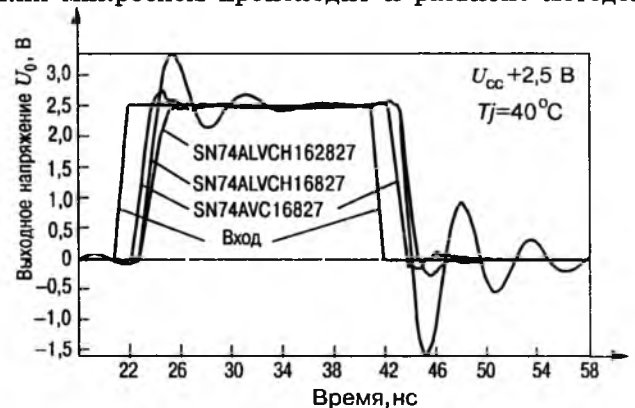


Рис.9. Возбуждение стандартной нагрузки микросхемами серий AVC и ALVC

их корпусирования. Еще в 1994 г. В промышленном лексиконе появился термин «корпус размера кристалла» CSP (Chip-scale Package). При этом периметр такого корпуса, используемого для поверхностного монтажа, обычно превышает не более чем в 1,2 раза периметр самого корпусируемого кристалла, а площадь корпуса — не более чем в 1,5 раза площадь кристалла.

Для микросхем серии AVC используются в основном тонкие корпуса с малым периметром типа TSSOP (Thin Shrink Small-Outline Package) и TVSOP (Thin Very Small-Outline Package). 20- и 24-выводные корпуса TSSOP имеют толщину 1,2 мм, а выводы располагаются с двух сторон с шагом 0,65 мм. 20- и 24-выводные корпуса TVSOP при такой же толщине имеют с двух сторон выводы, идущие с шагом всего 0,4 мм. 48- и 56-выводные корпуса TSSOP имеют шаг выводов с двух сторон корпуса 0,5 мм, а корпуса TVSOP — шаг выводов 0,4 мм. Толщина этих корпусов также равна 1,2 мм.

32- и 36-битные микросхемы серии AVC используют уже корпуса с контактной матрицей шариковых выводов LFBGA (Low-Profile Fine-Pitch Ball Grid array). Толщина корпуса менее 1,5 мм. Контактное соединение осуществляется с помощью шариковых выводов диаметром 0,55 мм, располагаемых по всему основанию корпуса с шагом 0,8 мм в виде матрицы из 96 (6×16) или 114 (6×19) выводов.

Корпуса LFBGA с контактной матрицей шариковых выводов имеют хорошие электрические характеристики выводов, малое сопротивление и индуктивность, а также малый уровень перекрестных наводок и занимают малую площадь. На печатной плате для установки корпуса с контактной матрицей шариковых выводов LFBGA необходимо изготовить матрицу контактных пятачков диаметром 0,35 мм, к которым подходят печатные проводники шириной 0,15 мм, идущие с зазором 0,15 мм от пятачков. Выводы корпуса LFBGA располагаются в 6 рядов, так что по 2 крайних ряда выводов с обеих сторон могут быть разведены по одному сигнальному слою печатной платы. Центральные ряды пятачков используются для подачи уровней напряжения питания и «земли» с внутренних слоев печатной платы. Корпуса типа TSSOP и особенно TVSOP также требуют перехода к печатному монтажу с использованием печатных проводников шириной 0,15—0,12 мм и соответствующих зазоров между ними.

Корпуса типов TSSOP, TVSOP и LFBGA с большим числом выводов позволяют использовать для подачи на микросхему уровней напряжения питания U_{cc} и «земли» множество выводов, что уменьшает эффективную индуктивность этих цепей, способствуя снижению колебаний, «звона» питания и «земли». При этом важно, чтобы импеданс цепей «земли» и питания также был низким, что обычно достигается использованием для их подачи отдельных печатных слоев.

Появление корпусов для поверхностного монтажа микросхем с матрицей шариковых выво-

дов и корпусов с размером кристалла привело к тому, что плотность традиционного монтажа с корпусированными микросхемами приблизилась к плотности многокристального монтажа с использованием бескорпусных кристаллов. Однако стоимость монтажа при использовании корпусированных новыми способами микросхем остается ниже, чем при использовании бескорпусных кристаллов микросхем. Поэтому использование корпусированных однокристалльных микросхем по-прежнему продолжает пока оставаться основным путем развития производства микросхем.

В заключение можно отметить, что серия цифровых логических КМОП микросхемы AVC быстро расширяется. Фирма «Texas Instruments» планирует уже в ближайшее время довести число типов микросхем, входящих в серию AVC, до 47. В основном, это будут различные регистровые схемы разрядностью в 16 и 18 бит и разрядностью в 32 и 36 бит, образующие семейство микросхем Widebus и Widebus+. Микросхемы серии AVC работают в температурном диапазоне от -40 до 85°C. Планируется также выпуск части микросхем серии AVC в специальном исполнении, работающих в расширенном температурном диапазоне.

Цифровые логические КМОП микросхемы серии AVC, оптимизированные для работы при напряжении питания +2,5 В, потребляя малую мощность, обеспечивают быстрое переключение выходного сигнала при малой задержке его распространения. Выходные сигналы имеют прекрасную форму без колебаний выходного сигнала после переключения. При использовании стандартной емкостной нагрузки 30 пФ максимальная задержка распространения сигнала микросхемы серии AVC при напряжении питания +2,5 В, как уже отмечалось, 1,9 нс. Однако типичная задержка распространения сигнала при этих условиях составляет всего около 1,1 нс. Как у всех КМОП микросхем, задержка распространения сигнала на выводе микросхем серии AVC растет с повышением температуры или при снижении напряжения питания, а также при увеличении емкостной нагрузки на выходе микросхемы. Сейчас микросхемы серии AVC более чем на 40% быстрее любого выпускавшегося ранее семейства цифровых логических КМОП микросхем.

Таким образом, изготовление по новейшей субмикронной КМОП технологии и использование схем динамически управляемого выхода DOC позволило обеспечить новейшим микросхемам серии AVC повышение быстродействия и улучшение формы выходного сигнала при одновременном снижении напряжения питания микросхем и потребляемой ими мощности.

Список литературы

1. Должарт В.М. Использование новейших КМОП микросхем в специализированных управляющих и информационных системах // *Электротехника*. 1998. № 10. С.52—62.
2. Web сайт <http://www.ti.com>
3. Web сайт <http://www.philips.com>

Микроконтроллерное устройство для защиты электрической сети от однофазных замыканий на землю

МАЛАФЕЕВ С.И., канд.техн.наук, МАМАЙ В.С. (ВГУ), МИКРЮКОВ В.И., канд.техн.наук (НИЦ ГП ИГД), СЕРЕБРЕННИКОВ Н.А. (компания «Объединенная энергия»)

В системах электроснабжения промышленных предприятий для защитного отключения при однофазных замыканиях на землю, как правило, используют направленные защиты нулевой последовательности, реагирующие на установившиеся токи и напряжения [1, 2]. Принцип действия таких устройств основан на измерении фазового сдвига между током и напряжением нулевой последовательности. Защита срабатывает, если измеренное значение фазы находится в заданной зоне, определяемой настройкой схемы. Надежная работа такого устройства обеспечивается только при установившихся гармонических напряжениях и токах. Однако при переходных режимах в электрических сетях часто возникают длительные субгармонические колебания с частотами, близкими к частоте сети, например, 33 Гц.

Экспериментально установлено, что для этих колебаний сдвиг фазы между током и напряжением нулевой последовательности находится в зоне срабатывания защиты. Это служит причиной ложных срабатываний защиты.

Устройства для защитного отключения должны отвечать следующим основным требованиям:

- обеспечивать высокую надежность срабатывания при различных условиях работ электрических сетей;
- иметь высокую селективность при широком диапазоне изменения токов и напряжений нулевой последовательности;
- иметь высокие эргономические характеристики и низкую стоимость.

В статье рассматривается разработанное компанией «Объединенная энергия» (Москва) совместно с Владимирским государственным университетом микропроцессорное устройство направленной защиты, удовлетворяющее сформулированным требованиям. Техническая реализация устройства основана на использовании микроконтроллеров семейства PIC16C84X. Высокопроизводительные 8-разрядные контроллеры с RISC-архитектурой обеспечивают в настоящее время самое высокое быстродействие по сравнению с большинством наиболее распространенных контроллеров аналогичного класса [3]. Широкие функциональные возможности, простота программирования, минимальное электропотребление и мощная RISC-архитектура позволяют реализовать сложные алгоритмы релейной защиты и автоматики, удовлетворяющие требованию максимального быстродействия [4].

Функциональная схема устройства показана на рис.1. Она содержит преобразователь 1 токо-

вого сигнала в потенциальный, первый 3 и второй 2 фильтры нижних частот, первый 4 и второй 5 усилители, первый 6 и второй 9 пороговые элементы; четыре релейных элемента 7, 8, 10 и 11, драйвер 12 питания микроконтроллера, блок питания 13, микроконтроллер 14, кварцевый резонатор 16, два исполнительных усилителя 17 и 18, детектор 19, трансформатор питания 20, реле 22 с двумя группами контактов 15 и 21, три элемента индикации 23, 24 и 25. Для тестового контроля устройства используется внешняя цепь, состоящая из кнопки 25, конденсатора 27 и тумблера 28.

Входными сигналами устройства служат выходные сигналы трансформаторов тока и напряжения нулевой последовательности. Преобразователь 1 представляет собой шунт, преобразующий ток нулевой последовательности в пропорциональное напряжение. Фильтры нижних частот 2 и 3 имеют идентичные частотные характеристики и предназначены для подавления высокочастотных составляющих входных сигналов. Прецизионные усилители 4 и 5 служат для усиления выходных сигналов фильтров соответственно 3 и 2. Пороговые элементы 6 и 9 преобразуют переменные напряжения U_4 и U_5 с выходов усилителей 4 и 5 в импульсные последовательности:

$$U_6 = \begin{cases} U_e & \text{при } U_4 > 0; \\ 0 & \text{при } U_4 \leq 0; \end{cases}$$

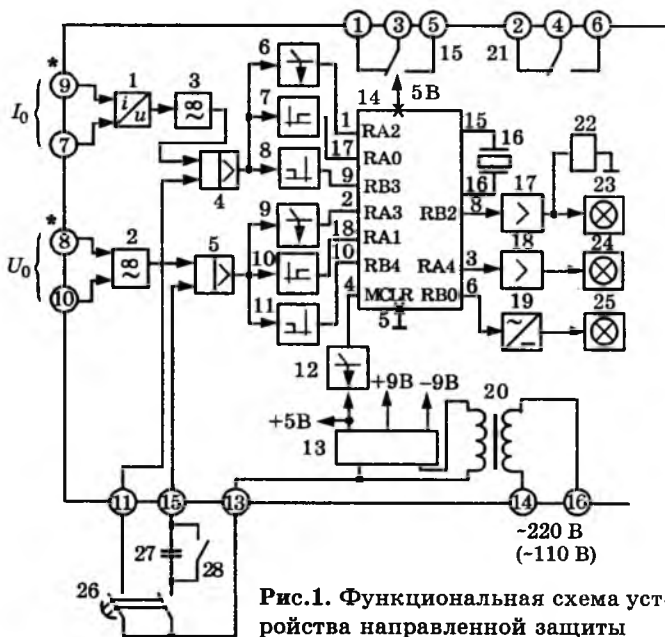


Рис.1. Функциональная схема устройства направленной защиты

$$U_9 = \begin{cases} U_e & \text{при } U_5 > 0; \\ 0 & \text{при } U_5 \leq 0, \end{cases}$$

где U_6 и U_9 — выходные сигналы пороговых элементов соответственно 6 и 9; U_e — напряжение, соответствующее уровню логической единицы.

Релейные элементы 7, 8, 10 и 11 формируют сигналы с уровнями логической единицы в случае превышения абсолютными значениями входных сигналов порогов переключения этих элементов, т.е.

$$U_7 = \begin{cases} U_e & \text{при } U_4 \geq U_T; \\ 0 & \text{при } U_4 < 0; \end{cases}$$

$$U_8 = \begin{cases} U_e & \text{при } U_4 \ll -U_T; \\ 0 & \text{при } U_4 > -U_T; \end{cases}$$

$$U_{10} = \begin{cases} U_e & \text{при } U_5 \geq U_H; \\ 0 & \text{при } U_5 < -U_H; \end{cases}$$

$$U_{11} = \begin{cases} U_e & \text{при } U_5 \leq -U_H; \\ 0 & \text{при } U_5 > -U_H, \end{cases}$$

где U_T , $-U_T$, U_H и $-U_H$ — уровни переключения релейных элементов соответственно 7, 8, 10 и 11.

Таким образом, на выходах релейных элементов 7, 8, 10 и 11 формируются сигналы с уровнями логической единицы в случае превышения мгновенными значениями сигналов, пропорциональных току и напряжению нулевой последовательности, уровней переключения этих релейных элементов.

Микроконтроллер 14 реализует программу обработки данных, поступающих на его входы, по следующему алгоритму:

1. Проверка условия $|U_4| \gg U_T$.
2. Проверка условия $|U_5| \gg U_H$.
3. Проверка условия $(T_T/2) = 10 \text{ мс} \pm \Delta$, где T_T — период выходного сигнала токового канала; 2Δ — допустимое для номинального режима работы сети отклонение периода.
4. Проверка условия $(T_H/2) = 10 \text{ мс} \pm \Delta$, где T_H — период сигнала канала напряжения нулевой последовательности.
5. Проверка условия $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$, где φ — фазовый сдвиг между током и напряжением; φ_1 , φ_2 — граничные значения фазовых углов, соответствующие режиму замыкания на землю.
6. При одновременном выполнении условий 1—5 производится запуск таймера, обеспечивающего выдержку времени $\tau = 30 \text{ мс}$.
7. Проверка выполнения условий 1—5 в течение времени работы таймера и его сброс при нарушении одного из условий или формирование сигнала аварийного отключения по истечении выдержки времени τ .
8. Формирование сигнала о срабатывании защиты и обеспечение индикации об аварийном отключении в течение 10 мин (блинкер).

Сигнал об аварийном отключении («Авария») формируется в виде напряжения с уровнем логической единицы на выводе 8 микроконтроллера,

усиливается по мощности исполнительным усилителем 17 и подается одновременно на реле 22 и индикаторный элемент 23 (красный светодиод). Сигнал о срабатывании защиты («Блинкер») формируется на выводе 3 микроконтроллера, усиливается исполнительным усилителем 18 и индицируется элементом 24 (желтый светодиод) в течение 10 мин.

Контроль рабочего состояния микроконтроллера осуществляется с помощью:

- сторожевого таймера;
- визуального контроля работы внутреннего генератора; для этого сигналы с частотой специального таймера с вывода 6 микроконтроллера преобразуются детектором 19, наличие напряжения на выходе которого отображается с помощью индикаторного элемента 25 (зеленый светодиод «Работа»).

Электропитание устройства осуществляется переменным напряжением 220 В (110 В), 50 Гц. Блок питания 13, подключенный к вторичной обмотке понижающего трансформатора 20, формирует стабилизированные напряжения $\pm 9 \text{ В}$ и $+5 \text{ В}$.

Драйвер 12 питания предназначен для запуска контроллера при достижении напряжением источника заданного уровня ($+4 \text{ В}$).

Внешняя схема тестового контроля предназначена для проверки работоспособности устройства при наладке и эксплуатации. При нажатии кнопки 26 в случае разомкнутого ключа 28 на входы усилителей 4 и 5 подаются напряжения с вторичной обмотки трансформатора 20, амплитуды и фазовый сдвиг которых соответствует аварийному режиму. Срабатывание устройства свидетельствует о его исправности. Нажатие кнопки 26 при включенном тумблере 28 не должно вызывать срабатывания исправного устройства.

В нормальном режиме работы электрической сети (ток и напряжение нулевой последовательности практически равны 0) на выходах релейных элементов 7, 8, 10 и 11 действуют сигналы с уровнями логического 0. В этом случае программа обработки данных в микроконтроллере 14 всегда формирует сигнал, запрещающий срабатывание защиты (сигнал логического 0 на выводе 8 микроконтроллера 14).

При возникновении замыкания на землю происходят возрастание тока и напряжения нулевой последовательности. В этом случае на выходах релейных элементов 7, 8, 10 и 11 формируются импульсы, соответствующие интервалам времени, в течение которых мгновенные значения выходных сигналов усилителей 4 и 5 превышают уровни срабатывания релейных элементов. Программа обработки данных в микроконтроллере, выполняющая проверку наличия импульсов на выводах 4, 9, 10 и 17 микроконтроллера 14, принадлежность угла сдвига фаз между

током и напряжением нулевой последовательности зоне срабатывания защиты, и отклонения периодов тока и напряжения нулевой последовательности от номинального значения, при совпадении всех указанных признаков однофазного замыкания на землю выполняет контроль этого совпадения в течение заданного интервала (30 мс), после чего формирует сигнал защитного отключения в виде напряжения с уровнем логической единицы на выводе 8 микроконтроллера 14. Если в течение интервала выдержки времени нарушается одно из условий, характеризующих однофазное замыкание на землю, происходят сброс таймера и перезапуск программы.

В рассмотренном устройстве использован микроконтроллер PIC16C84 с электрически программируемой памятью. При серийном производстве используются более дешевые контроллеры с однократно программируемой памятью. При разработке и настройке устройства использованы инструментальные средства фирмы «Microchip»: отладочный комплект PICSTART V1 и программируемый симулятор MPSIM. Программирование контроллеров осуществляется с помощью программатора PIC PROG+ фирмы «ФИТОН».

Проверка качества программного обеспечения осуществляется для каждого изделия в процессе его выходного контроля в комплекте с первичными преобразователями тока и напряжения. На рис.2 приведена экспериментальная статическая характеристика зоны срабатывания защиты, полученная совместно с трансформатором тока нулевой последовательности типа ТЗЛМ и датчиком напряжения нулевой последовательности.

Устройство успешно прошло промышленные испытания и опытную эксплуатацию в условиях Лебединского горно-обогатительного комбината.

Разработана конструкторская документация для серийного производства.

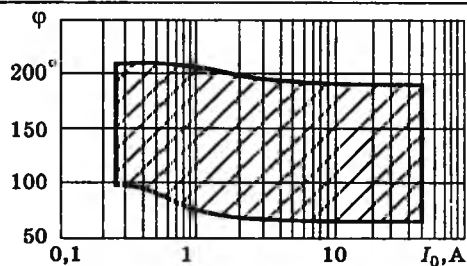


Рис.2. Характеристика срабатывания защитного отключения (заштрихованная область):

φ — фазовый сдвиг между напряжением и током (отстающий ток); I_0 — действующее значение тока нулевой последовательности

Техническая характеристика устройства

Номинальное напряжение защищаемой трехфазной сети, кВ	~6,0
Номинальное напряжение питания, В	~220
	(~100)
Номинальное напряжение нулевой последовательности, В	~100
Порог срабатывания защиты по токовому входу, мА	150
Порог срабатывания защиты по входу напряжения нулевой последовательности, В	5
Диапазон углов срабатывания защиты, град. (отстающий ток)	-70...-180
Время срабатывания защиты, мс, не более	60
Габаритные размеры, мм	164×142×134
Масса, кг, не более	0,75

Список литературы

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М.: Высшая школа, 1991.
2. Блок направленной защиты от однофазных замыканий на землю БНЗ. УХЛ 5.1. Руководство по эксплуатации 0.06.466.0.52 РЭ. Кемерово, 1987.
3. Однокристалльные микроконтроллеры Microchip: PIC16C84X/Пер. с англ. Рига: ORMIX, 1996.
4. Пат. 2122268 РФ. Устройство для направленной защиты электрической сети от замыканий на землю/С.И.Малафеев, В.С.Мамай, В.И.Микрюков, Н.А.Серебренников//Открытия. Изобретения. 1998. № 32.

ЭЛЕКТРОТЕРМИЯ

Статистические и динамические показатели качества работы электротехнических установок (на примере электропечей)

МИНЕЕВ А.Р. («Промэнерго»), РУБЦОВ В.П., доктор техн.наук., проф., акад. РАЭН

Качество работы электротехнических установок (ЭТУ) определяется рядом факторов: ошибочностью или устареванием теоретического обоснования концепции электротехнического превращения материальных потоков в полезную работу и годный продукт сообществами техноценоза [1], невозможностью абсолютного моделиро-

вания, естественными ограничениями по прочности, скорости, мощности, соосности, жесткости, износо-, магнито-, электро, химической и другой устойчивости, в том числе по масштабированию при проектировании, временем старения (эксплуатации), квалификацией персонала, качеством исходного сырья и электроэнергии, в конечном

счете частотой и скоростью обновления как морального, так и физического.

В современных условиях усиливается роль малых предприятий промышленной энергетики (МППЭ) [2] по диагностике, монтажу, наладке, ремонту и модернизации электротехнического оборудования в заводских условиях практически бесплатно или на малозатратных принципах. Практическая реализация предложенных в [3, 5—7] методов и структур требует количественного «банка данных» показателей режимов работы электротехнического заводского оборудования, статистического и динамического поддержания работоспособности действующего, но практически выработавшего свой ресурс (оценка по стране составляет 80%) оборудования.

Достаточно большие возможности диагностики на базе компьютерной техники [3], слабо загруженной по объему и быстродействию из-за применения исторически сложившихся классических идеологий [4], разработки, перекочевавшие по конверсии в обычную производственную практику позволяют продлить работоспособность оборудования.

Решение малозатратными методами [5,6] конкретных технических проблем поддержания качественной работы электрооборудования направлено на обеспечение равномерности, равновероятности и повторяемости, от которых зависят предсказуемость [7] и корректируемость режимов [6].

Вначале рассмотрим статистические параметры асимметрии — как наиболее понятные. Дело в том, что она в электропечных установках с многофазным дуговым разрядом носит перемежающийся характер, где электрический ток хаотическим образом колеблется от $I=0$ до $I=I_{к.з.} = k_{к.з.} I_{н.}$. Случайный характер колебаний тока в дуговых печах [6] приводит к изменению коэффициента несимметрии также случайным образом, определение последнего требует привлечения статистических методов. В условиях эксплуатации ДСП в заводских цехах действующие значения токов фаз I_A, I_B, I_C (модули) определяют по синхронной записи токов на многоканальном самопишущем приборе или с помощью осциллографа. На рис.1 показана обобщенная структурная схема измерений и регистрации действующих значений токов и напряжений, статистических показателей асимметрии и высших гармонических на дуговых электропечах в сталеплавильном цехе. Она же может быть использована и для определения динамических показателей, в частности, динамических вольт-амперных характеристик (ДВАХ) [3,4] и параметров переходных процессов при коммутациях, не рассматриваемых здесь.

При определении статистических параметров асимметрии необходимо учитывать, что в настоящее время все дуговые и руднотермические

электропечи строятся с непроводящей подиной, т.е. их первичные и вторичные цепи (рис.1) являются трехпроводными без нулевого провода. Поэтому, используя комплексный символический метод Чарльза Штейнметца при общепринятом разложении несимметричной системы токов I_A, I_B, I_C на симметричные составляющие прямой, обратной и нулевой последовательности, имеем:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{3} (I_A + a I_B + a^2 I_C); \\ I_2 &= \frac{1}{3} (I_A + a^2 I_B + a I_C), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $a = e^{j120^\circ} = 1/2 + j\sqrt{3}/2$ — фазовый оператор.

Из рис.2 видно, что модули токов в любой момент времени измерения или регистрации по схеме рис.1 образуют замкнутый инвариантный треугольник, в котором

$$\left. \begin{aligned} I_A &= I_A; \\ I_B &= -m - jh; \\ I_C &= -(I_A - m) + jh, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где h — высота треугольника, опущенная на сторону I_A ; $m, (I_A - m)$ — части I_A , на которые их делит высота h .

Из простейших геометрических соотношений

$$\left. \begin{aligned} h^2 + m^2 &= I_B^2; \\ h &= 2F/I_A; \\ m &= \frac{I_A^2 + I_B^2 - I_C^2}{2I_A}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где F — площадь инвариантного треугольника; I_A, I_B, I_C — модули токов, массивы которых набираем из замеров по схеме рис.1.

После подстановки (3) в (2), затем полученных результатов в (1) модули токов прямой и обратной последовательности можно вычислить по формулам

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + 4F\sqrt{3}}; \\ I_2 &= \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 - 4F\sqrt{3}}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Таким образом, алгоритм вычисления статистического коэффициента асимметрии электропечи

$$\alpha_I = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 - 4F\sqrt{3}}{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + 4F\sqrt{3}}}. \quad (5)$$

После набора троек массивов модулей токов I_A, I_B, I_C по алгоритму (5) в наиболее тяжелый с точки зрения асимметрии и колебательности период расплавления проводили статистический анализ несимметричных режимов токов дуговых сталеплавильных печей различной мощности и емкости. С интервалом 5 с набирались массивы по 36 значений модулей токов трех фаз. Фрагмент результатов статистического исследования

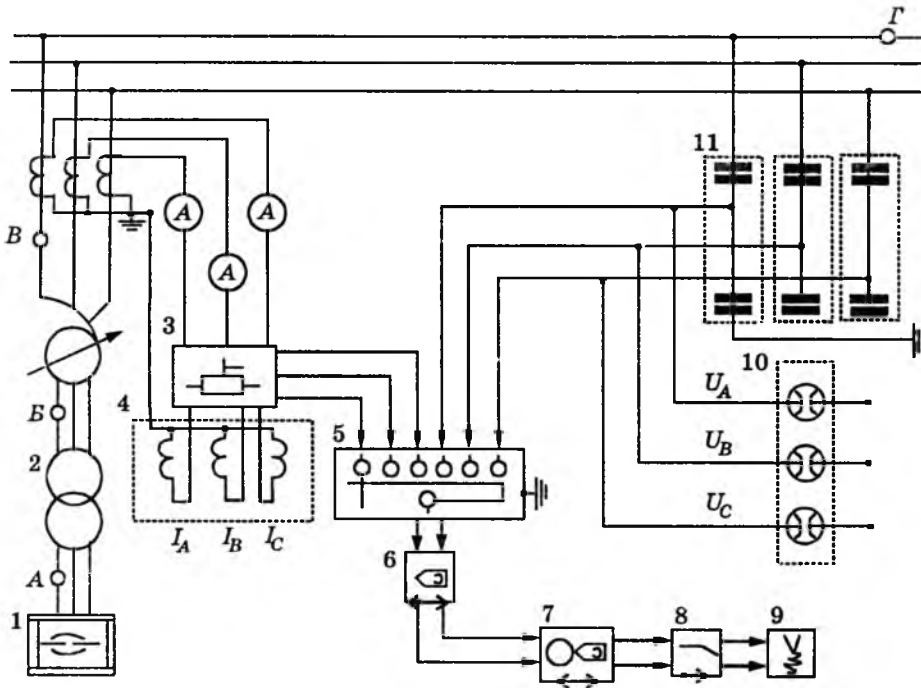


Рис.1. Обобщенная структурная схема экспериментальных измерений статистических и динамических параметров качества электросталеплавильной печи:

1 — дуговая сталеплавильная печь; 2 — печной трансформаторный агрегат, 3 — магазин шунтов и сопротивлений; 4 — система определения токов фаз; 5 — переключатель измерительных каналов на входе записывающего устройства; 6 — регистратор, 7 — согласующий преобразователь; 8 — анализатор, например, гармоник; 9 — распечатка, 10 — система определения фазных напряжений; 11 — емкостные делители напряжения

асимметрии для сталеплавильной электропечи с трансформатором 32 МВ·А представлен в табл.1 для режимов проплавления П1К, П2К, П3К — первых, вторых и третьих колодцев, а также ППШ — после подвалки шихты. Результаты обработки, расположенные в порядке убывания статистических показателей коэффициента асимметрии α_r , показали, что коэффициент асимметрии в период расплавления колеблется от 0 до 100%, средний коэффициент асимметрии лежит в пределах 7—40%.

Усиление колебаний токов приводит к росту

асимметрии. Подобная зависимость наблюдается также между полной несимметрией и несимметрией средних токов. По мере проплавления колодцев и к концу периода расплава вместе со снижением колебательности токов снижались и показатели асимметрии токов.

Наибольшие значения статистических показателей асимметрии $\bar{\alpha}_r$ приходится на начало проплавления первых колодцев и на начальный период после подвалки шихты. При значительном увеличении средних токов наблюдается уменьшение колебаний токов и несимметрия снижа-

Таблица 1

Номер плавки	Режим	$I_A/I_n, \%$	$I_B/I_n, \%$	$I_C/I_n, \%$	С.к.о. $\sigma_{I_A}, \%$	С.к.о. $\sigma_{I_B}, \%$	С.к.о. $\sigma_{I_C}, \%$	$\alpha_r, \%$	Размах значений $\alpha_r, \%$	$\bar{\alpha}_r, \%$	С.к.о. $\sigma_{\alpha_r}, \%$
42	П1К	114,1	101,4	131,8	40,5	18,6	29,1	15,6	2,5—100	38,7	34,0
60	ППШ	114,1	110,0	108,6	37,7	35,5	37,7	3,0	2,9—100	29,2	8,5
50	П1К	114,6	99,1	104,1	43,6	40,0	44,1	8,7	4,4—50,7	23,2	11,2
42	ППШ	108,5	99,7	102,0	36,7	33,9	29,3	5,2	3,1—68,1	21,7	12,7
42	П3К	126,0	123,0	122,0	30,6	42,2	37,5	1,4	1,9—72,6	18,8	15,8
60	П2К	130,5	131,4	135,0	34,5	12,3	20,0	2,2	4,4—78,4	18,7	12,5
50	ППШ	106,4	108,6	106,4	34,5	28,6	29,5	1,4	36—44,4	17,6	8,1
60	ППШ	145,0	150,0	142,0	25,0	16,4	20,9	3,2	0,4—59,2	17,0	13,1
64	П1К	101,8	100,9	105,0	25,0	29,1	32,3	2,5	0,5—51,2	13,7	10,8
60	П1К	103,6	91,4	94,5	17,7	28,2	20,5	7,8	0—38,5	13,0	7,1
50	ППШ	124,5	123,6	126,4	15,5	20,0	17,3	1,0	2,1—60,2	12,5	16,5
63	ППШ	141,8	140,9	131,1	18,2	13,6	13,2	5,0	3,8—18,1	12,2	3,8
60	П2К	150,9	144,1	133,2	20,5	15,5	14,5	7,2	0,4—25,2	11,9	6,4
63	П3К	140,0	145,5	131,8	19,1	19,1	20,0	5,7	2,3—29,3	11,7	9,0
64	П1К	120,9	121,4	120,9	19,1	20,5	17,7	0,1	0—31,2	11,5	8,5
42	П2К	124,0	120,0	128,0	27,8	15,9	21,8	3,6	2,3—33,0	11,2	6,5
50	П3К	139,5	142,7	132,7	23,2	19,5	18,6	4,2	1,5—26,0	10,3	5,5
42	ППШ	101,0	105,0	109,0	15,9	15,9	12,3	4,2	0—26,4	10,2	5,0
50	ППШ	150,5	157,3	151,8	13,6	15,8	14,1	2,8	0—18,0	7,6	3,6

Примечание: С.к.о. — среднеквадратичное отклонение.

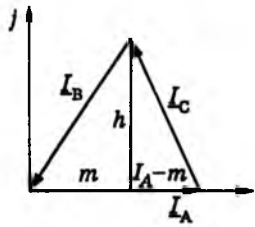


Рис.2. Векторная диаграмма токов трехфазной электропечи

ется. Закон вероятностного распределения значения α отличен от нормального. Среднее значение $\bar{\alpha}$ практически во всех сериях статистических исследований смещено влево от центра отсчета.

Практическое значение определения статистических показателей асимметрии

электроэнергетических установок обусловлено в первую очередь необходимостью решения задач филтросимметрирования и компенсации реактивной мощности [5]. Кроме того, полученная информация позволяет эксплуатационному персоналу в производственных условиях, например, электросталеплавильных цехов и заводов, предупредить возможные случаи нарушения регламентируемой асимметрии в сети, питающей дуговые печи, выявить качество ведения технологического процесса в печах, степень изношенности оборудования фаз, имеющих неравные условия по геометрии в пространстве, по гравитационным или загрузочно-выпускным условиям, степень недопуска за счет «перекосов». Затем, проведя сравнительные технико-экономические оценки случаев, когда несимметрия была минимальная, с учетом сопутствующих этим случаям условий работы электроэнергетической установки (качество подготовки и загрузки шихты, квалификационные действия обслуживающего персонала, идентичность отладки регуляторов различных фаз, или их сознательная, компенсирующая асимметрию, разбалансировка, качество наращивания или замены электродов фаз и затяжки их электрододержателей, качество питающего напряжения в сети по зонам суток и годовым и т.п.), принять необходимые меры к ведению плавки по $\bar{\alpha} = \min$ и, таким образом, добиться снижения расхода электроэнергии, времени плавки, износа электроэнергетического оборудования (как основного, так и комплектующих).

Легко увидеть, что в полученном алгоритме (5), площадь инвариантного треугольника F в числителе входит с минусом, а в знаменателе — с плюсом. Это наводит на мысль вести технологический процесс плавки при максимизации упомянутой площади F для симметрирования режима. Технически это несложно реализовать на базе структурной схемы на рис.3. По действующим значениям токов фаз в элементе 4 (рис.3,а) с помощью блоков суммирования, масштабирования, вычитания, умножения и извлечения квадратного корня (рис.3,б) формируем электрический сигнал, пропорциональный площади треугольника

$$F = \sqrt{(p - I_A)(p - I_B)(p - I_C)},$$

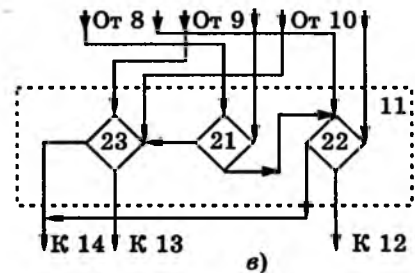
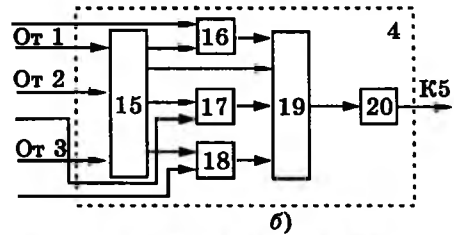
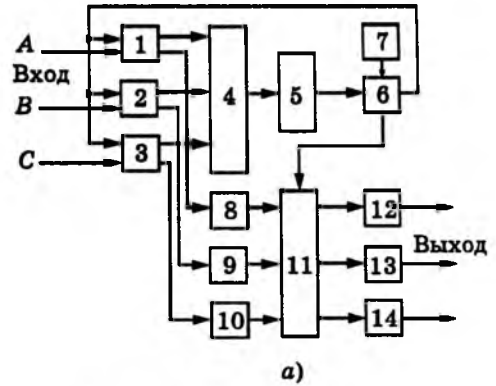


Рис.3. Структурная схема симметрирования фазных токов дуговой электросталеплавильной печи

где $p = (I_A + I_B + I_C) / 2$ формируется в блоке 15 (рис.3,б).

После операции усреднения сравниваем \bar{F} с заданием 7, соответствующим площади треугольника, образованного действующими значениями токов фаз при их полной симметрии.

Когда рассогласование превышает пороговое значение, вступает в работу элемент 11 (рис.3,а) определения фазы, среднее действующее значение тока которой минимально. За счет простейших операций последовательного сравнения в блоках рис.3,в средних действующих значений $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$ определяем фазу для корректировки напряжения регулятора или изменения емкостного плеча филтросимметрирующего устройства [5,6] электроэнергетической установки, т.е. фазы в которой среднее за заданный интервал времени $\bar{I} = \min$.

При определении показателей статистической асимметрии токовой нагрузки ферросплавных печей мощностью 20 МВ·А шаг дискретизации (квантования) выбирался $\Delta t_k = 5$ мин, а выявление законов распределения показало, что теоретически наиболее точно колебания α , могут быть описаны гамма-распределением. Для участков с установившимся режимом возможно также ис-

пользование логарифмически нормального распределения. Фрагмент результатов заводских обследований представлен в табл.2.

Таблица 2

Объект обследования	Статистические показатели асимметрии, %				
	$\alpha_{I_{min}}$	$\alpha_{I_{max}}$	α_I	$\bar{\alpha}_I$	σ_α
Ферросплавная печь мощностью 20 МВ·А	0	34,5	1,9	5,3	6,3
Узел питания трех ферросплавных печей по 20 МВ·А	0	26,0	1,5	6,1	4,1

При установившихся ферросплавных процессах коэффициент несимметрии токовой нагрузки отдельных печей находился в диапазоне 0—10%. Наиболее мощные и затяжные режимы асимметрии соответствуют периодам выпуска расплава и перепуска электродов. Так, при выпуске расплава фаза околорезачного электрода теряет до 60—70% нагрузки при одновременном повышении на 10—20% нагрузки на двух других фазах. Поочередный перепуск электродов в течение 10—15 мин производится до трех раз в сутки, и в это время на перепускаемом электроде нагрузка возрастает до 120—130% установленного значения.

Кроме методов малозатратного симметрирования [5], в частности, перераспределением фаз электродов, следует отметить, что в настоящее время, в связи с причинами, указанными вначале, следует, в первую очередь, применять практически беззатратные организационные мероприятия. Наибольший эффект обеспечивают внедрение и жесткое соблюдение графиков выпуска расплавов, перепуска электродов с учетом особенностей схемы питания электропечей в цехе. Указанные графики исключают одновременный выпуск расплавов и перепуск электродов одинаковых фаз печей, подключенных к одному питающему силовому трансформатору.

Нелинейность ДВАХ [3,4] дуговых сталеплавильных и руднотермических электропечей вызывает искажение формы кривой тока и генерацию высших гармонических. Наряду с дугой электропечной контур содержит другой существенно нелинейный элемент — трансформаторный агрегат, состоящий для печей малой емкости из печного и токоограничивающего агрегатов, а для мощных — из регулируемого автотрансформатора и печного трансформатора. В номинальном режиме работы сталь сердечников трансформаторов, реакторов и автотрансформаторов не насыщена (намагничивающий ток составляет 0,5—3% $I_{ном}$). В режимах эксплуатационных КЗ при включениях и отключениях трансформаторных агрегатов наличие стальных сердечников оказывает существенное влияние на кривую тока в контуре. В моменты коммутаций печного трансформато-

ра генерируются также колебания, вызванные нелинейностью ВАХ аппаратной дуги и повторными ее зажиганиями.

Источниками высших гармонических токов и напряжений при работе электропечей являются также выпрямительные агрегаты вакуумных дуговых печей, статические преобразователи частоты индукционных печей, тиристорные блоки со встречно-параллельным включением вентилей для регулирования мощностей печей сопротивления. Знание количественного состава высших гармонических необходимо для поддержания качества работы электротехнических установок, исходя из ряда соображений. Первое из них — энергосбережение, так как происходит относительное увеличение активных и реактивных потерь для несинусоидального тока по сравнению со случаем, когда используется только первая гармоника (без высших):

$$\frac{\Delta W_{a.нс}}{\Delta W_a} = 1 + \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{I_3}{I_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2;$$

$$\frac{\Delta W_{p.нс}}{\Delta W_p} = 1 + \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{I_3}{I_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2,$$

где индексы при токах — номера гармоник.

В задачах филтросимметрирования и компенсации [5] реактивной мощности как поперечным, так и продольным способом, кроме расчета резонансных токов, необходимо учитывать загрузку конденсаторов токами высших гармоник и влияние этих токов на старение изоляции, в том числе конденсаторов.

Высшие гармоники приводят к затруднениям при работе компьютеризированных электроприводов [6], так как измерительные органы электронной аппаратуры и линии передачи реагируют на амплитудные значения тока и напряжения, которые наиболее сильно искажаются упомянутыми высшими гармониками.

Знание количественного состава высших гармонических необходимо также для повышения качества работы трехфазных электротехнических установок, в частности вращающихся машин. Возникновение в них магнитных полей, вызывающих дополнительные потери, и появление отрицательного вращающего момента ведут к дополнительному нагреву обмоток, ускорению старения изоляции и таким образом к снижению срока качественной службы электротехнического оборудования. В табл.3 приведен фрагмент исследования состава высших гармонических для случаев работы электросталеплавильной печи ДСП-200 мощностью 60 МВ·А. Анализ подобных полученных массивов для всего ряда мощностей и емкостей проводился по ходу плавки в характерные периоды как технологические, так и по электрическому режиму. Начало расплавления характерно глубокими колебаниями тока и, как

Период плавки, номер ступени/В, время, ч-мин	$K_{н.сmax}$	U_{ϕ} , кВ I_n , кА	Отношения максимального и минимального значений напряжения и тока к значению основной гармоники, %, для гармоник																	
			2	3	4	5	6	7	9	11	13									
Печь отключена,	3,64	$U_{\phi}=20,1$	0,7	0,5	2,2	2,0	0,4	0,2	1,5	1,3	0,3	0,1	0,7	0,5	0,2	0,1	1,5	1,4	0,7	0,6
начало расплава	5,67	$U_{\phi}=19,6$	1,0	0,7	4,1	3,8	0,6	0,4	3,3	0,0	0,4	0,3	0,6	0,4	0,3	0,2	2,0	1,6	0,6	0,4
5/600, 0-5	6,13	$I_n=43,5$	1,3	0,9	3,8	0,9	0,6	0,3	3,4	2,4	0,4	0,2	2,2	1,8	0,9	0,7	0,6	0,4	0,4	0,2
Пролав 1-х колод-	6,23	$U_{\phi}=19,5$	0,9	0,6	4,2	3,5	0,6	0,4	3,4	2,9	0,4	0,3	1,4	1,1	0,5	0,3	1,8	1,2	0,4	0,3
цев, 1/690, 0-30	9,00	$I_n=46,3$	3,2	1,8	6,8	5,2	1,1	0,8	3,6	2,8	0,7	0,3	2,5	1,9	0,9	0,5	1,0	0,8	0,5	0,3
Пролав 2-х колод-	7,61	$U_{\phi}=19,5$	1,2	0,9	5,3	4,8	1,0	0,7	4,5	3,4	0,6	0,4	1,9	1,3	0,6	0,4	1,8	1,4	0,4	0,3
цев, 1/690, 0-55	12,32	$I_n=44,0$	5,2	3,9	10	5,6	1,8	1,0	4,6	3,2	1,2	0,8	2,9	2,1	1,5	1,1	1,1	0,7	0,6	0,2
Пролав 3-х колод-	10,60	$U_{\phi}=19,7$	1,8	1,2	8,3	5,4	1,4	0,8	5,6	3,9	1,1	0,7	2,3	1,5	0,8	0,5	2,1	1,1	0,5	0,3
цев, 1/690, 1-30	13,90	$I_n=50,0$	4,2	2,8	11	6,2	1,5	0,9	4,1	3,4	0,9	0,7	2,9	2,2	1,1	0,8	1,1	0,7	0,4	0,2
Конец расплавления,	7,50	$U_{\phi}=19,9$	1,7	1,0	5,9	5,0	0,7	0,6	3,6	3,0	0,4	0,2	1,3	0,9	0,7	0,5	1,7	1,3	0,5	0,3
6/577, 2-20	8,25	$I_n=46,7$	2,1	1,5	4,9	2,1	0,5	0,3	4,6	3,9	0,3	0,2	2,6	1,9	0,6	0,4	0,9	0,6	0,4	0,2
Окисление,	7,00	$U_{\phi}=20,0$	1,2	0,8	5,0	4,6	0,5	0,3	3,7	2,9	0,4	0,2	1,3	0,9	0,5	0,3	1,7	1,3	0,5	0,3
10/487, 3-00	6,71	$I_n=44,5$	2,1	1,7	3,6	2,4	0,5	0,3	3,8	3,2	0,3	0,2	2,4	1,9	1,0	0,6	0,9	0,6	0,5	0,3
Рафинирование,	4,82	$U_{\phi}=20,0$	1,0	0,7	4,0	3,6	0,3	0,2	2,0	1,5	0,2	0,1	0,6	0,4	0,2	0,1	1,9	1,5	0,6	0,4
20/250, 5-00	6,34	$I_n=22,6$	3,4	1,7	3,1	2,2	0,9	0,5	4,2	2,8	1,3	0,7	1,6	1,3	0,6	0,4	0,7	0,4	0,3	0,2

было показано выше, асимметрией нагрузки фаз. При непрогретой шихте дуга горит неустойчиво, длина ее все время меняется. В этот момент содержание третьей гармоники преобладает над содержанием других гармонических тока и напряжения, велики также нулевая и вторая гармоники.

По мере проплавления колодцев в шихте и появления жидкого металла дуги становятся короче, следовательно, горение их стабильно, 5-я и 7-я гармоники достигают своего максимального значения, а нулевая гармоника в напряжении фазы — 15% основной. Конец расплавления на малых печах и конец проплавления первых, вторых и третьих колодцев на большегрузных электропечах отличается крайне нестационарным режимом. В этот период наблюдаются частые обвалы шихты, что приводит к шунтированию печных электродуг и, следовательно, к асимметрии по фазам. Недобор мощности отдельными фазами ввиду невозможности своевременного перепуска электродов приводит к резкой асимметрии нагрузки и увеличению третьей и кратной 3 гармоник.

Наличие нулевой и четной гармоник в напряжении обуславливается различной электроэмиссионной способностью графитизированного электрода и металла, различными условиями охлаждения катодного пятна на электроде и металле. Если катодом является электрод, то напряжения зажигания и горения, очевидно, ниже, чем когда катодом является металл.

В периоды окисления и рафинирования металла короткая электродуга горит стабильно и достаточно устойчиво. Содержание высших гармоник в напряжении и токе уменьшается и достигает своего минимального значения в конце плавки. Резкое уменьшение третьей гармоники свидетельствует о равенстве фазных нагрузок и определяется в основном асимметрией токопро-

вода короткой сети. В этот период искажения напряжения не превышают 2%. Уровень более высоких гармоник, чем 13-я, был так мал, что становился соизмерим с уровнем погрешности метода последовательного анализа, и поэтому исследования были до 13-й гармоники. Например, 15-я гармоника составлял около 0,07%, т.е. в фазном напряжении на шинах 35 кВ это 14,1 В.

Погрешность по амплитуде при получении количественных показателей была 2,8%, а по частоте — 11%. Последнюю можно уменьшить за счет разрешающей способности фильтра анализатора гармоник (рис.1). Коэффициенты несинусоидальности по ходу плавки, как можно увидеть из табл.3, носят не постоянный, а колеблющийся характер; их статистические показатели в соответствии с выражениями

$$K_{нсI} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{13} I_v^2}}{I_1}; \quad K_{нсU} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{13} U_v^2}}{U_1}$$

для всего ряда электропечей (ДСП) представлены в табл.4

В табл.5 приведены данные при работе на различных заводах дуговых сталеплавильных печей всего ряда емкостей и мощностей. Здесь U_v, I_v — напряжение и ток v-й гармоники; $S_{ном} \cos \phi_{ном}$ — номинальные мощность и коэффициент мощности электропечной установки; S_k — мощность КЗ в точке подключения печи к питающей сети, от абсолютного значения которой, очевидно, зависят показатели качества работы электротехнической установки.

Схемой рис.1 можно воспользоваться также для определения динамических показателей качества при работе электропечных установок в заводских цехах. Наряду с чисто практическим интересом [3,5,6] определение и анализ показателей ДВАХ [4] имеют значение в выявлении физической сущности процессов, происходящих

Таблица 4

Электропечь	Период плавки	Средний за период $K_{ис}, \%$		Максимальный за период $K_{ис}, \%$	
		Ток	Напряжение	Ток	Напряжение
ДСП-5 сеть 6 кВ	Начало	5,57	4,38	8,06	6,29
	Середина	6,62	5,5	10,39	7,1
	Рафинирование	5,0	2,87	6,81	3,78
ДСП-20 сеть 35 кВ	Начало	10,22	4,17	12,55	6,14
	Середина	16,46	5,84	20,5	8,0
	Рафинирование	12,21	3,0	13,6	4,43
ДСП-40 сеть 35 кВ	Начало	10,35	2,0	24,0	6,48
	Середина	3,12	1,91	19,52	4,57
	Рафинирование	3,79	1,48	10,36	4,0
ДСП-100 сеть 35 кВ	Начало	6,82	3,6	20,3	8,5
	Середина	4,7	2,46	13,3	5,32
	Рафинирование	3,6	2,24	9,26	3,9
ДСП-200 сеть 35 кВ	Начало	4,22	2,0	21,40	6,15
	Середина	3,55	2,6	10,26	7,93
	Рафинирование	2,6	1,3	10,29	4,44

ной форме (рис.4,з).

Всего было отснято несколько сотен ДВАХ для различных ДСП по мощности и емкости на разных заводах по выплавке электростали. При определении количественных показателей изменения степени нелинейности ДВАХ обчитывались степень изменения длин L (периметров) ДВАХ, являющихся общей весовой характеристикой состава высших гармонических тока и напряжения, изменения площадей F ДВАХ, характеризующих мгновенное потребление и изменение в динамике потребления реактивной мощности [4,5] в каждый электрический период, а также оценки постоянной составляющей $|\Delta u|$ напряжения на дугах, которые определялись несимметрией ДВАХ. Наличие постоянной составляющей объясняется разной эмиссионной способностью металла и электрода в различные полупериоды питающего напряжения. Количественно она характеризуется разностью u_{max} и $u_{обр}$.

в зоне горения электродуги, где весьма затруднительно провести натурный эксперимент [7] из-за сверхвысоких температур и реакционности.

Для определения динамических параметров ДВАХ фотографировались через определенные отрезки времени в ходе плавки — в периоды начала расплавления, после поворотов ванны, после подвалки шихты, при появлении жидкого металла, в периоды окисления и рафинирования одновременно для всех трех фаз: A, B, C . Согласно измерениям сопротивление подоины электропечи ДСП-100 нелинейно менялось в процессе плавки в пределах 100—4 Ом, поэтому применение электронных осциллографов с $R_{вх} \geq 1$ МОм практически исключило влияние указанного фактора на точность экспериментальных исследований.

На рис.4 в качестве примера приведены основные типичные виды ДВАХ. Упрощенный математический анализ показывает, что в начальный период (рис.4,а) эти кривые описываются формулой колебательного звена [6], середина периода расплавления (рис.4,б) — нечетным полиномом пятой степени $u = a_1 i - a_3 i^3 + a_5 i^5$, конец периода расплавления (рис.4,в) и когда электрическая дуга горит в жидкой ванне — овалами Кассини с «талией» [8], для случаев, близких к КЗ, ДВАХ принимают вид, близкий к эллипсоид-

Пример для 3-х фаз изменения количественных показателей анализа одной серии из 105 ДВАХ по ходу цикла одной плавки в ДСП приведен в табл.6. Основные соображения из анализа динамических показателей качества дуговой электропечи: увеличение степени стабильности работы сопровождается снижением периметров ДВАХ, причем к концу каждого интервала плавки она принимала вполне определенное значение. Можно также использовать такой комплексный показатель, как отношение площади ДВАХ к ее периметру F/L .

В конце периода расплавления ДВАХ приобретает форму овалов Кассини с «талией». При этом длина периметра имеет вполне определенное значение — меньше длины периметра ДВАХ, имеющей выраженные пики зажигания для открытой дуги, но больше длины периметра ДВАХ, имеющей форму эллипса, что соответствует состоянию перед КЗ (рис.4,б,в,з). Используя это соображение, предложена структура корректировки управления электроплавкой и алгоритм, позволяющий избежать обгорания футеровки при ведении процессов с заглубленной электродугой при существенном энергосберегающем эффекте, применяя принцип, аналогичный [8]. Очевидным достоинством контроля параметров ДВАХ является постоянная пофазная наглядность динами-

Таблица 5

Электропечь	$S_{ном},$ МВ·А	$\cos \phi_{ном}$	$S_k, \text{ МВ·А}$	$I_v/I_{ном}$ (вверху) и $U_v/U_{ном}$ (внизу), %, для гармоник v												
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
ДСП-5	2,8	0,748	87,3	3,60	4,40	1,40	2,50	0,70	1,10	0,60	0,80	0,40	0,50	0,30	0,40	
				2,08	3,80	1,61	3,60	1,21	2,22	1,38	2,08	1,16	1,59	1,08	1,50	
ДСП-20	9	0,860	270	7,20	12,3	5,40	5,70	1,70	1,10	0,80	0,90	0,50	0,40	0,30	0,40	
				5,90	15,1	8,80	11,7	4,16	3,14	2,60	3,30	2,04	1,08	1,47	2,12	
ДСП-100	32	0,720	761	5,70	6,70	1,40	1,5	0,60	0,70	0,30	0,50	0,20	0,30	0,20	0,10	
				5,04	8,90	2,47	3,31	1,59	2,16	1,06	1,98	0,88	1,46	1,06	0,57	
ДСП-200	60	0,700	2513	2,40	3,20	1,00	0,60	0,70	0,50	0,20	0,20	0,10	0,10	0,07	0,06	
				2,94	5,90	2,45	1,84	2,58	2,14	0,98	1,10	0,61	0,68	0,52	0,47	

Таблица 6

Фото-кадр ДВАХ	Период плавления	Время, ч—мин	u_{max} , В, фазы			i_{max} , кА, фазы			F/F_{max} , %, фазы			L/L_{max} , %, фазы			$u_{обр}$, В, фазы			$ \Delta u $, В, фазы		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	Начало расплавления	0—1	181	345	362	42	52,5	39,4	51	89	38	30	80	90	190	274	362	9	29	0
2		0—3	284	234	196	58,5	54,6	40,6	60	48	35	100	87	58	324	221	220	40	13	76
3		0—4,5	334	323	176	52,8	47	53,5	47	52	30	62	100	67	250	208	201	84	15	25
4		0—6	431	230	87	23	48	59	26	35	38	41	48	34	416	177	103	15	53	16
5		0—8	426	234	98	22,2	35,3	44	50	44	34	33	54	62	423	243	260	3	9	162
6		0—17	245	217	225	46,8	52,5	57	83	31	30	29	31	42	250	137	225	5	20	0
7		0—18	201	283	250	49,1	53,6	51	73	85	39	24	40	44	230	186	289	29	97	49
8		0—20	226	178	200	45,6	48	50	44	74	37	22	17	36	226	137	200	0	41	0
9		0—23	181	208	172	51,5	48,2	52,2	64	90	28	22	21	36	221	186	186	40	22	14
10		0—27	196	190	186	55	56,5	64	83	96	25	22	20	44	196	159	220	0	31	34
11		0—29	230	219	176	56	42,2	55,6	66	98	56	24	21	39	226	199	196	4	20	20
12	Обвалы шихты	0—43	328	194	191	44,4	51,4	62,6	91	75	94	25	21	39	334	150	147	6	44	44
13		0—48	264	159	147	58,5	49	66	100	77	95	26	18	38	245	163	147	19	4	0
14		0—50	201	243	127	57,3	46	57	90	76	81	24	22	36	250	190	191	49	53	64
15		0—52	226	159	275	48	50,4	50	74	100	100	24	18	48	166	155	334	40	4	59
16*		0—54	172	226	211	55	40	48,7	79	73	56	21	19	47	176	204	221	4	22	10
17	После подвалки шихты	2—20	333	234	108	38,6	36,3	46,4	44	41	40	64	38	31	314	238	137	19	4	29
18		2—22	280	221	240	25,8	32	36	26	30	19	27	48	100	284	190	230	4	31	10
19		2—24	245	159	226	35	41,8	44	37	43	43	25	27	72	237	155	275	8	4	49
20		2—26	196	248	162	42	34,3	34,8	51	35	31	21	19	32	196	248	176	0	0	14
21		2—28	226	208	187	36,2	39,6	40,6	56	40	44	21	21	37	226	195	206	0	13	19
22		2—30	216	244	192	31,6	30	29	29	34	33	19	27	31	226	190	231	10	54	39
23		2—32	308	164	172	32,8	38,6	45,2	45	27	45	24	30	32	328	137	186	20	27	14
24		2—34	167	190	166	43,4	46	43	39	60	45	19	18	33	206	168	211	39	22	45
25		2—36	260	186	157	32,8	33,2	39,4	38	45	36	24	16	30	294	164	206	34	22	49
26		2—37	274	177	206	29,3	38,5	43	36	40	47	21	19	33	294	177	230	20	0	24
27		2—39	206	230	230	31,6	33,2	29	24	42	35	19	17	38	228	199	270	22	31	40
28		2—48	206	177	181	43,3	45	44	47	52	50	21	17	33	220	159	220	14	82	39
29		3—02	225	168	142	36,2	37,5	45,7	52	40	40	19	15	29	240	155	171	15	13	29
30	Продувка кислородом	3—15	147	159	166	46,8	50,3	46,4	58	63	45	16	16	33	147	146	196	0	13	30
31		3—27	220	168	157	35	40,6	44	50	53	40	18	15	29	225	141	181	5	27	24
32		3—30	181	204	181	45,5	47	46,5	64	70	63	18	18	32	166	178	211	15	26	30
33		3—32	225	199	167	43,3	45	47,5	34	60	56	29	18	33	264	173	196	39	26	29
34		3—33	334	163	181	35	40,6	44	53	69	65	35	16	34	214	155	235	20	8	54
35		3—36	354	199	334	12,9	17,7	12,7	22	28	37	26	14	39	373	171	353	19	28	19

* Между 0 ч — 54 мин и 2 ч — 20 мин подвалка шихты и перепуск электродов (технологическая пауза).

ки изменения реактивной мощности, веса выших гармонических и постоянной составляющей в напряжении электродуги.

Из рис.4 и табл.6 также вытекает разработка метода, структуры и алгоритма для снижения

числа КЗ, степени науглероживания металлической ванны при минимизации числа перегибов кривой от рис.4,а до рис.4,в при недопущении условий рис.4,г, как в [8]. Не обсуждая других возможностей использования полученных динамических показателей качества работы электродуговых установок, отметим только, что современная компьютерная техника получает на базе ДВАХ возможности полноценной загрузки.

Дальнейшее повышение точности ведения процессов с электродугой на базе использования динамических показателей качества работы электротехнических установок возможно при переходе от дискретных фотоосциллографирований ДВАХ, как в примере на рис.4 и в табл.6, к непрерывной записи фактических ДВАХ и ее показателей, развернутых во времени в соответствии с рис.5. В настоящее время из-за мощного развития техники программирования и компьютерной графика [9] получение таких непрерывных записей типа винтовых поверхностей реально, а наглядность в виде полезной модели, например,

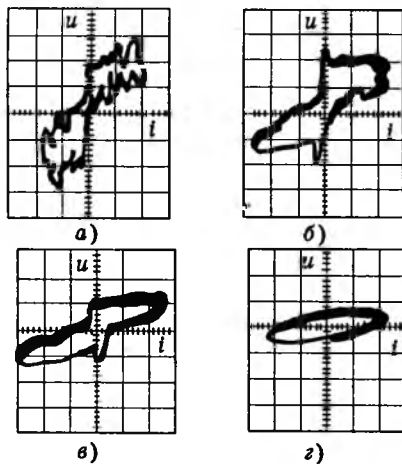


Рис.4. Примеры фотоосциллографирования ДВАХ



Рис.5. Трехмерная структура ДВАХ для различных периодов функционирования электродуги

для представления реактивной мощности электротехнической установки, очевидна (в виде площади пространственной фигуры ДВАХ). Тем более, что этот вопрос до сих пор остается дискуссионным, в том числе и в журнале «Электротехника» [10].

В заключение кратко изложим еще один метод контроля динамических параметров ДВАХ, реализация которого как алгоритмически, так и аппаратно достаточно проста и заключается в свертывании двухпараметрального сигнала $u(t)[i(t)]$ пространственного свойства (рис.5) в однолинейный, что позволяет снять погрешности распределенных параметров C и L , как минимум, двухпроводной линии связи электротехнического объекта и средств контроля при передаче полной информации о ДВАХ для компьютера в АСУ ЭТУ, в том числе по современным телекоммуникационным средствам связи.

Для реализации предложенного метода опорный сигнал равномерного свойства промоделируем по амплитуде пропорционально измеряемым колебаниям $u(t)$, а полученный в результате этой процедуры электрический сигнал, например, по напряжению $Res_a = u(t)$ промоделируем по фазе пропорционально измеряемым колебаниям тока во времени $i(t)$. Свойства полученного «замеса» становятся желаемыми $Res_{a,\phi} = u(t)[i(t)]$, а сама информация о ДВАХ свернута в однолинейный динамический сигнал, полностью отражающий изменения ее динамических показателей (рис.6).

Достаточно близкий к изложенному и экономичный метод «свертывания» объемной записи рис.5 в плоскостной однолинейный параметр рис.6 поясним на структурной схеме рис.7. Здесь сигналы напряжения и тока электродуги u_d и i_d нормируем в усилителе 1 с коэффициентом усиления $k_u = 1/u_a$ и с коэффициентом $k_i = 1/i_a$ в усилителе 2 относительно амплитудных значе-

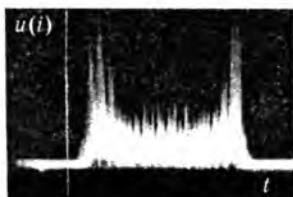


Рис.6. Свернутая картина ДВАХ при амплитудно-частотной модуляции пропорционально напряжению и току электродуги

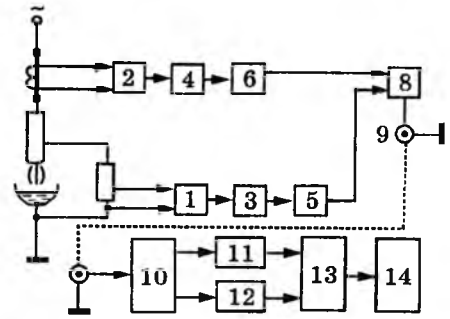


Рис.7. Структурная схема свертывания объемной ДВАХ по рис.5 для однопроводной канализации динамических показателей ДСП в компьютеризированную систему управления электроприводом

ний напряжения u_a и тока i_a , как это было при анализе результатов экспериментальных измерений ДВАХ в табл.6. Функциональные преобразователи 3 и 4 в каждый момент времени генерируют электрические сигналы, пропорциональные, например, для простоты понимания, $10^{u_{отн}^{(t)}}$ и соответственно $10^{i_{отн}^{(t)}}$, где $u_{отн} = u_d/u_a$ и $i_{отн} = i_d/i_a$ — отмасштабированные в 1 и 2 характеристики тока и напряжения дуги. Передатчики 5 и 6 содержат частотные преобразователи. Преобразователь 5 формирует частотный сигнал в диапазоне $f_1 = 1 \div 10$ кГц, а его настройка осуществляется, например, согласно табл.7.

Таблица 7

$u' = 10^{u_{отн}^{(t)}}$, В	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_1 , кГц	1	1,9	2,8	3,7	4,6	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1	10

С выхода преобразователя 5 (рис.7) сигнал $A \sin \omega_1 t$, где $\omega_1 = 2\pi f_1$, с амплитудой $A = 0,25$ В поступает на первый вход в амплитудный модулятор 8. Преобразователь 6 формирует частотный сигнал в диапазоне $f_2 = 50 \div 500$ кГц, а его настройка осуществляется, например, согласно табл.8.

Таблица 8

$u'' = 10^{i_{отн}^{(t)}}$, В	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_2 , кГц	50	95	140	185	230	275	320	365	410	955	500

С выхода преобразователя 6 сигнал, пропорциональный $\sin \omega_2 t$, где $\omega_2 = 2\pi f_2$, с амплитудой 1,25 В поступает на второй вход амплитудного модулятора 8 (рис.7), с которого результирующий сигнал, например, по напряжению вида

$$u^* = (0,25 \sin \omega_1 t + 1) \sin \omega_2 t$$

передается по аксиальному кабелю 9 на детектор 10, разделяющий сигналы частот f_1 и f_2 . Формирователи 11 и 12 обеспечивают информацией о показателях ДВАХ снабженную компьютером 13 автоматизированную систему управления 14 ДСП [6].

Статистические и динамические параметры электропечных установок исследовались на ДСП и РТП Волгоградского металлургического завода «Красный Октябрь», КМК и «Электросталь»

в процессе решения практических задач совершенствования режимов для повышения качества работы рассмотренных электротехнических установок [3—7].

Список литературы

1. Кудрин Б.И., Барышников О.П., Фуфаев В.В. Определение периодичности и объемов технического обслуживания и ремонта электрических машин специализированными предприятиями // Промышленная энергетика. 1993. № 3. С.19—21.
2. Минеев Р.В., Игнатова Ю.И. Вопросы лицензирования и организации деятельности малых предприятий промышленной энергетики // Промышленная энергетика. 1998. № 4. С.8—12.
3. Минеев А.Р. Разработка методов и структур технических средств ускоренных испытаний электротехнического оборудования // Электротехника. 1995. № 12. С.29—33.
4. Минеев А.Р. Динамические вольт-амперные характеристики потребителей // Электричество. 1994. № 3. С.36—40.
5. Минеев А.Р. Малозатратные методы и структуры филтросимметрирования и компенсации реактивности (на примере электрических печей) // Электротехника. 1997. № 4. С.56—62.

6. Минеев А.Р. Энергосберегающая статистическая и динамическая оптимизация параметров и структур компьютеризированных электроприводов (на примере электрических печей) // Электротехника. 1998. № 10. С.15—22.

7. Минеев А.Р. Разработка методов и структур прогнозирования режима работы электротермических установок // Электротехника. 1997. № 10. С.54—57.

8. Пат. 1771087 РФ. Устройство для электрических ускоренных испытаний установок резистивного нагрева переменным током / А.Р. Минеев // Открытия. Изобретения. 1992. № 39.

9. Блинов С.В., Вицинский С.А., Дивин В.Д. и др. Многоканальная система лазерной компьютерной графики // Электротехника. 1995. № 12. С.50—53.

10. Заев Н.Е. Генезис энергии индуктивности // Электротехника. 1997. № 10. С.34—36.



МИНЕЕВ Александр Робертович — аспирант МЭИ. Окончил МЭИ в 1992 г. Работал в Государственном испытательном центре, заем в «Промэнерго».

НАУЧНАЯ ГИПОТЕЗА

Электромагнитный момент планеты — климат, приливы и океанская зыбь¹

КОПЫЛОВ И.П., доктор техн. наук, проф.

МЭИ

Показано, что такие глобальные события, как изменение климата, приливы и отливы и океанская зыбь связаны с электромагнитным моментом электрической машины планеты.

С каждым годом, особенно среди электротехников, геоэлектромеханика находит все больше сторонников [1—5]. В данной работе сделана попытка связать с электромеханикой планеты такие, казалось бы далекие друг от друга, события, как глобальное изменение климата, приливы и отливы и океанскую зыбь.

Электромеханика планеты уже достаточно подробно описана [2]. Электромеханическая система планеты (рис.1) состоит из МГД-генератора и униполярного двигателя, имеющих смещенные обмотки, объединенные общим магнитным полем [2,4,5]. Ближайшим аналогом электрической машины планеты является гиродин со сферическим ротором, у которого статор выполнен из трех сегментов, смещенных на угол 120°, а ротор — шар из электропроводящего ма-

териала, покоящийся относительно статора на магнитных подшипниках [2]. Отличия состоят в том, что униполярный двигатель планеты, статором которого является твердое ядро и литосфера, имеет внешний ротор — жидкую магму, перемещающуюся в замкнутом объеме, ограниченном твердым ядром и литосферой. Электрическая машина — планета Земля — шестимерная электрическая машина, в которой статор и ротор могут перемещаться друг относительно друга в трехмерном пространстве.

Как и в обычных электрических машинах, в электрической машине планеты электромагнитный момент M_e создается всеми токами, протекающими в контурах статора и ротора машины. Токи электромеханической системы планеты имеют постоянную и переменную составляющие. Переменная составляющая в постоянных токах Земли (рис.1), создающих ее магнитное поле

¹ Печатается в порядке обсуждения.

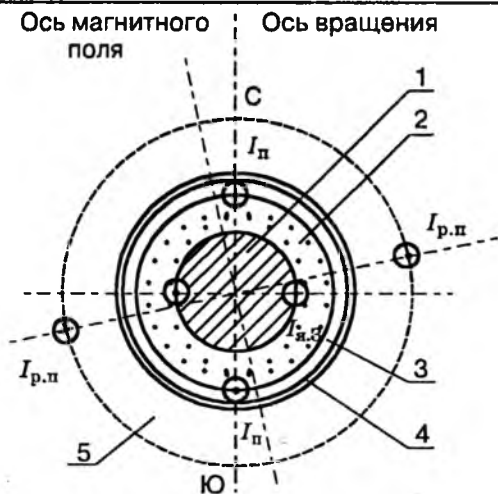


Рис.1. Электромеханическая система планеты (МГД-генератор—униполярный двигатель):

1 — твердое ядро; 2 — жидкая магма; 3 — твердая магма; 4 — кора Земли; 5 — атмосфера

($I_{я.з}$ — токи ядра Земли, $I_{р.п}$ — токи радиационных поясов, $I_п$ — поперечные токи), появляется благодаря изменению моментов инерции планеты по трем осям, что обусловлено, в основном, влиянием Луны.

Вокруг Земли Луна движется по эллиптической орбите, плоскость которой не совпадает с плоскостью вращения Земли вокруг Солнца. Масса Луны в 80 раз меньше массы Земли, а среднее расстояние от Луны до Земли всего 384 тыс. км. Достаточно большая масса, изменение расстояния при вращении Луны вокруг Земли и различие в наклоне плоскостей вращения приводят к заметному изменению момента инерции системы Земля — Луна, что и является одной из причин, вызывающих изменение и появление периодической составляющей в токах Земли. Время

обращения Луны вокруг Земли 27,5 сут, что дает цикличность токов 14 и 28 сут, а M_s , изменяющийся с двойной частотой, имеет цикл 14 сут, а полупериод — 7 сут [2].

На форму токов влияет также Юпитер, масса которого в 318 раз больше Земли и он одна из ближайших к нам планет Солнечной системы. Влияют на характер изменения M_s Солнца и другие планеты, которые в кривой момента создают высшие гармоники.

На рис.2 показано экспериментальное изменение мгновенной скорости вращения планеты в 1998 г. Хотя недельные колебания составляют небольшую величину средней частоты вращения Земли, равной 465 м/с, они связаны с изменением энергии в сотни миллиардов киловатт-часов.

Возникновение переменной составляющей токов при гармоническом изменении момента следует из уравнений движения

$$M_s \pm \frac{d(\omega_r J_r)}{dt} = M_c, \quad (1)$$

где ω_r — частота вращения Земли вокруг своей оси; J_r — момент инерции планеты; M_c — момент сопротивления.

Если в (1) считать, что $\omega_r = \text{const}$, а для Земли это вполне справедливо, то

$$M_s + \omega_r \frac{dJ_r}{dt} = M_c. \quad (2)$$

При этих условиях в токах, произведения которых определяют M_s , появляются переменные составляющие, обусловленные изменением центра масс системы Земля—Луна. Влияние нескольких факторов на скорость и момент инерции создает в токах, формирующих M_s Земли, бесконечные спектры гармоник, имеющих токи с частотой выше и ниже основной.

Неравномерность вращения Земли

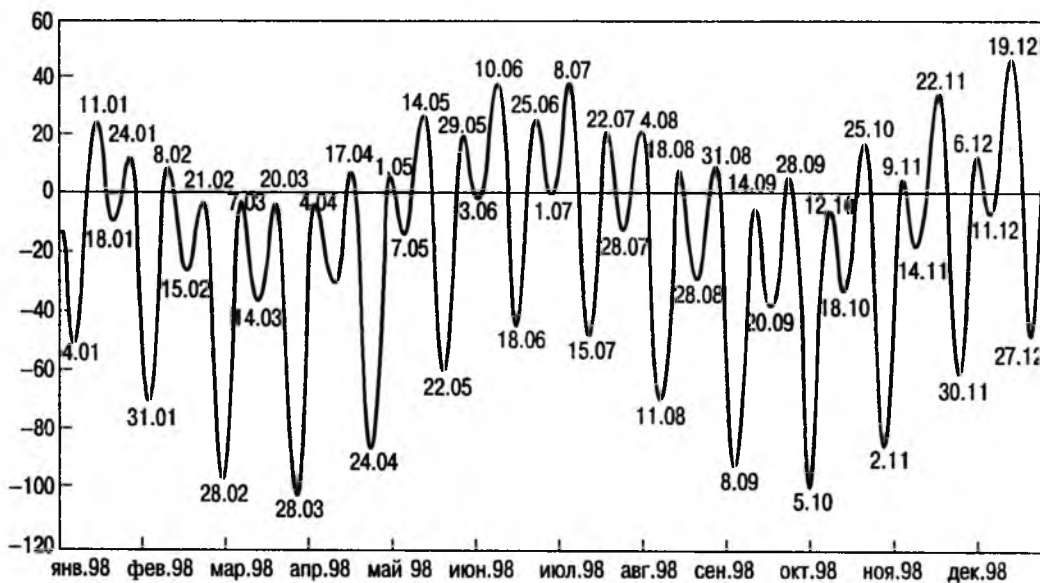


Рис.2. Изменение мгновенной скорости вращения

На рис.1 в плоскости yz , совпадающей с плоскостью поперечного тока, представлены токи $I_{я,з}$, $I_{р,п}$, $I_{п}$, формирующие магнитное поле Земли. В этом случае только ток радиационных поясов имеет продольную и поперечную составляющие. В сферической трехмерной машине планеты магнитное поле Земли, формируемое токами $I_{я,з}$, $I_{п}$ и $I_{р,п}$ изменяется, если его изображать в различных плоскостях, перпендикулярных к плоскости $xу$, поэтому и поперечный ток, в общем случае, имеет продольную и поперечные составляющие.

Рассматривая вращающий момент Земли в плоскости $xу$ и пренебрегая вибрационными и деформационными моментами, можно считать, что вращающий момент равен электромагнитному моменту. Тогда электромагнитный момент планеты [2]:

$$M_{\omega} = M_{\omega 0} + M_{\omega 1} + M_{\omega 2} + M_{\omega 3} + \dots + M_{\omega m}, \quad (3)$$

где $M_{\omega 0}$ — момент постоянных токов; $M_{\omega 1}$ — момент от первой гармоники переменных токов; $M_{\omega 2}$ — момент от второй гармоники; $M_{\omega 3}$ — момент третьей гармоники; $M_{\omega m}$ — момент от m -й гармоники.

Уравнение электромагнитного момента (3) можно представить как

$$M_{\omega} = M_{\omega 0} + M_{\omega,п}, \quad (4)$$

где $M_{\omega 0}$ — постоянная составляющая момента; $M_{\omega,п}$ — переменная составляющая момента.

Вращающий момент в основном создается $M_{\omega 0}$, а $M_{\omega,п}$ составляют всего несколько процентов от M_{ω} . Но эти проценты связаны с изменением огромных энергий, которые влияют на мгновенную скорость вращения Земли и на все глобальные энергетические процессы на планете.

Динамические процессы в электрической машине планеты являются источником энергии тайфунов, циклонов, антициклонов, землетрясений и других глобальных явлений. Об этом свидетельствуют трех- и шести-, семидневные и более продолжительные циклы в жизни нашей планеты, совпадающие с изменениями токов, электромагнитных моментов и скорости вращения Земли вокруг своей оси [4].

Вращающий момент Земли вокруг своей оси создается токами ядра Земли, и электрохимическое преобразование энергии в МГД-двигателе происходит в зоне наибольшей концентрации энергии магнитного поля — в зоне на границе твердого железного ядра и жидкой части ядра и магмы [2]. В униполярном двигателе планеты развиваются огромные электромагнитные силы и моменты, которые, как и в обычных электрических машинах, приложены к железным участкам ядра.

Рабочая зона электрической машины планеты имеет выступы (зубцы), к которым приложен момент, а в пазах (углублениях ядра) замы-

каются токи, при этом токи воспринимают большую часть усилий, а ядро выдерживает усилия 10^7 — 10^9 Н.

Исходя из этих предположений, рабочая поперечная зона твердого ядра должна состоять из трех зон: гладкой экваториальной зоны (1), бугристой (пазовой) зоны в средней части (2) и гладких полярных зон (3) в северном и южном полушариях ядра (рис.3, а). Токи ядра Земли $I_{я,з}$ состоят из нескольких параллельных ветвей и протекают в углублениях (пазах) железного ядра (рис.3, а, б). Токи двигателей северного и южного полушарий равны $I_{я,з}/2$ (рис.3, а).

На рис.3, б показан участок двигателя южного полушария. Вектор индукции направлен от ротора к выступам твердого ядра, а сила F , действуя на жидкую магму, перемещает ее по направлению к южному полюсу.

Струи жидкого ротора подходят к ядру в экваториальной, гладкой зоне и, ускоряясь в пазовой части, от полярных областей ядра по спиралевидным траекториям удаляются к внутренней части твердой магмы и коры Земли. Огромные усилия, перемещающие магму в северном и южном полушариях, направлены встречно и пытаются деформировать ядро, сжимая его в экваториальной зоне.

Возникновение вращающего момента можно объяснить скосом пазов (смещением выступов

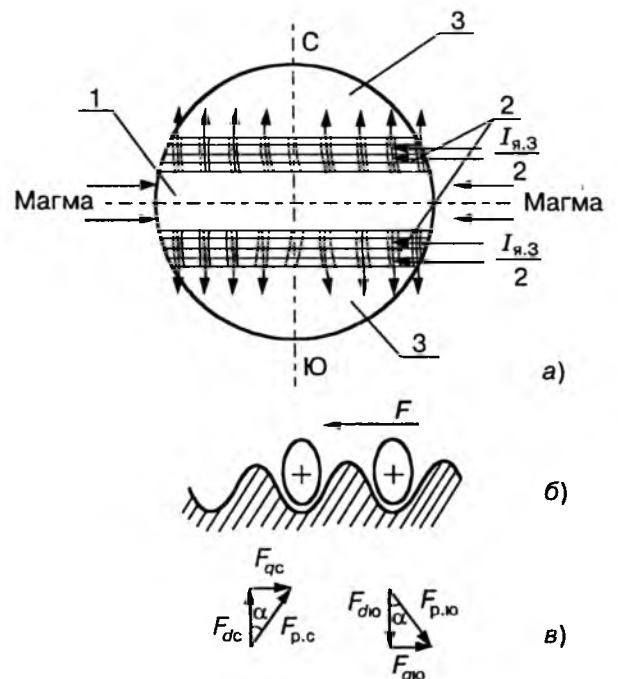


Рис.3. Строение униполярного двигателя планеты: а — движение магмы, направление токов, расположение двигателей северного и южного полушарий на поверхности твердого ядра; б — расположение токов в углублениях ядра, направление силы, действующей на ядро; в — расположение сил, действующих на магму (ротор) и ядро и литосферу (статор)

друг относительно друга) (рис.3,а,в). Результирующие силы $F_{p,c}$ и $F_{p,y}$ в северном и южном полушариях состоят из продольных $F_{d,c}$ и $F_{d,y}$ и поперечных $F_{q,c}$ и $F_{q,y}$ составляющих (рис.3,в). Продольные составляющие $F_{d,c} = F_{p,c} \cos \alpha$ и $F_{d,y} = F_{p,y} \cos \alpha$ перемещают магму, а поперечные, равные $F_{q,c} = F_{p,c} \sin \alpha$ и $F_{q,y} = F_{p,y} \sin \alpha$, создают вращающий момент. Продольные составляющие направлены встречно, а поперечные $F_{q,c} \approx F_{q,y}$ совпадают по направлению, причем $F_{d,c} \approx F_{d,y} \gg \gg F_{q,c} \approx F_{q,y}$. Угол α — небольшой и равен нескольким градусам [4].

На рис.4 на плоском изображении Земли показано расположение поперечного тока I_{II} и двигателей северного и южного полушарий. Исходя из равенства объемов трех зон в пространстве между твердым ядром и литосферой, оба двигателя занимают, соответственно, положение на поверхности твердого ядра и Земли между 20 и 50° северной и южной широты. На поверхности Земли это наиболее активные энергетические зоны, где происходят наибольшие деформации за счет электромагнитного момента и связанные с этим другие глобальные энергетические события.

Поперечный ток определяет смещение оси магнитного поля Земли относительно оси вращения, расположение активных энергетических областей планеты в местах, находящихся на ближайших расстояниях от двигателей северного и южного полушарий, а также положение теплых (Т) и холодных (Х) зон планеты (рис.4). В теплых зонах горячая магма поднимается к литосфере и выносит тепло к поверхности, а остывшая магма опускается в холодных зонах [2].

Глобальные энергетические процессы на Земле связаны с динамическими процессами в электромеханической системе планеты. Во многом они определяются поперечным током — током поперечной реакции якоря униполярного двигателя планеты — непосредственно связанным с электромагнитным моментом Земли.

Приливы и отливы играют важную роль в жизни многих прибрежных стран. Доля энергии и приливных волн в энергетическом балансе многих регионов планеты в будущем будет возрастать. Поэтому объяснение происхождения энергии приливных волн и прогнозирование высоты приливов на будущее является актуальной проблемой.

С позиций геоэлектромеханики наличие двух приливных волн объясняется тем, что деформации поверхности океана определяются электромагнитным моментом, который имеет два максимума и высшие гармонические.

Униполярный двигатель планеты состоит из двух машин северного и южного полушарий. Поэтому максимальные приливные волны наблюдаются в средних широтах, а на экваторе они составляют всего несколько сантиметров. На рис.4 в кружочках показаны максимальные значения приливных волн.

Наличие в мировом океане, кроме основных двух приливных волн, еще четырех малых объясняется вторыми гармониками в кривой M_z Земли. В южном полушарии вторые гармоники прослеживаются довольно четко, а в северном полушарии, где нет таких водных просторов, высшие гармоники M_z могут фиксироваться по тек-

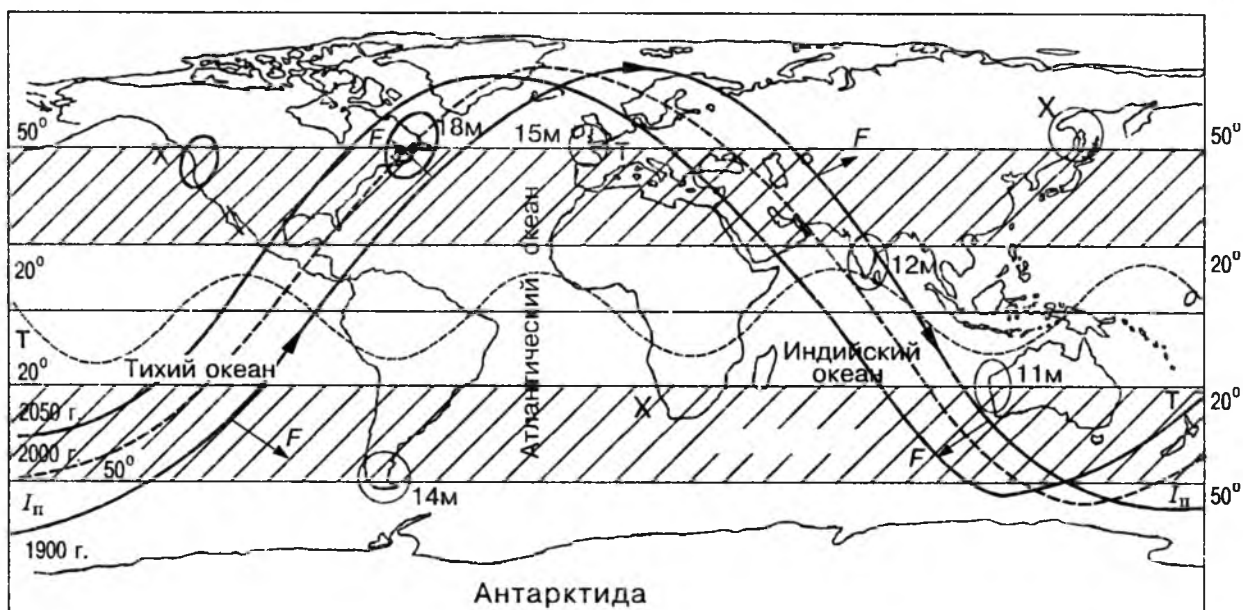


Рис.4. Положение поперечного тока в 1900—2050 гг.

тоническим деформациям материковых плит.

У древних и современных мореплавателей вызывают страх штормы и огромные волны в южном полушарии в «ревуших сороковых широтах», где в недрах Земли, на поверхности твердого ядра как раз и располагается униполярный двигатель южного полушария (рис.4).

Океанская зыбь является одной из загадок океана, когда при полном безветрии в средних широтах в течение многих суток господствуют многометровые волны со строгим периодом и высотой волны. Это — так называемая мертвая зыбь, изматывающая и бывалых моряков и раскачивающая хорошо закрепленные грузы. Объясняется она тектоническими колебаниями земной коры. Причиной появления морской зыби можно, с большим основанием, считать электромагнитный момент электрической машины планеты, высшие гармоники которого вызывают появление резонансных гармоник высоких частот на поверхности планеты.

Электромагнитный момент планеты имеет бесконечный спектр гармоник, и глобальные резонансные явления можно связать с гармониками, имеющими высшие порядки, с периодом в минуту и десятки минут. К таким событиям можно отнести появление в умеренных широтах морской зыби с длинными низкими волнами, что можно объяснить влиянием высших гармоник в кривой электромагнитного момента. Возможно эти деформации водной поверхности удастся отнести к зубцовым гармоникам M_3 , которые связаны с наличием бугристой поверхности в рабочей зоне ядра Земли.

Прогнозирование глобального изменения климата имеет важное значение, и геоэлектромеханика дает лучшую модель для прогноза изменения климата на ближайшее и отдаленное будущее.

Прошло более четверти века с тех пор, как конференция ООН в Стокгольме обратила внимание на деградацию окружающей среды. На второй конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. в центре внимания оказалась проблема климата и особое значение было придано необходимости сокращения выбросов в атмосферу газов. Глобальное потепление объяснялось парниковым эффектом, что подтвердили состоявшиеся после 1992 г. три конференции государств-участников конвенции по климату.

Но уже на конференции в 1997 г. в Киото (Япония) было отмечено, что в материалах межправительственной группы экспертов по проблеме изменения климата (МГЭИК) численные оценки антропогенного вклада в изменение климата отсутствуют.

Специальная сессия Генеральной ассамблеи ООН в июне 1997 г. отметила, что прогресс в реализации путей устойчивого развития оста-

ся недостаточным. Несмотря на создание более 100 национальных органов по проблематике устойчивого развития, достижение содержательного международного соглашения по осуществлению «Повестки дня на XXI век» остается под вопросом. Еще в худшем состоянии находится разработка «Хартии Земли», работа над которой началась еще в Рио-де-Жанейро.

Неудачи большинства конференций во многом определяются недостаточным уровнем научного обоснования глобальных проблем и, в первую очередь, глобального потепления на планете.

С позиций гипотезы об электромагнитной Вселенной планета Земля с ее биосферой рассматривается как подсистема в открытой самоорганизующей, взаимосвязанной системе Галактика—Солнце—Земля—Биосфера—Человек, которая существует под влиянием внешних космических воздействий [1]. При этом жизнедеятельность планеты неразрывно связана также с взаимным влиянием Космоса, биосферы и недр Земли. Прогнозировать события в биосфере можно лишь с учетом влияния общекосмических процессов, эволюции всей Вселенной, а ритмика природных явлений соответствует циклам электромагнитной Вселенной [1].

Изменения частоты вращения Земли определяют глобальные энергетические события. Так как кинетическая энергия планеты равна $6 \cdot 10^{22}$ кВт·ч, даже при ничтожном ее изменении, происходит выделение и поглощение энергии, достаточной для образования тайфунов, циклонов, антициклонов, землетрясений и других менее мощных глобальных энергетических событий [1,2]. При торможении Земля отдает в Космос избыток энергии, а при ускорении — получает энергию из Космоса. Недельный обмен энергией между Землей и Космосом измеряется десятками миллиардов киловатт-часов [2]. На рис.2 четко прослеживаются двухнедельные погодные циклы, определяемые электромагнитным моментом.

На Земле происходят глобальные события, значительно превосходящие по мощности энергию, выделяющуюся при недельном цикле за счет изменения мгновенной частоты вращения Земли вокруг своей оси. Следует иметь в виду, что на вращение Земли идет всего несколько процентов мощности униполярного двигателя, так как в основном энергия расходуется на перемещение магмы.

До сих пор последним поколениям жителей планеты не приходилось близко сталкиваться с галактическими циклами, считая, что они есть, но нас они минуют. Самый короткий галактический полуцикл имеет продолжительность 13000 лет. В середине цикла даже десятку поколений людей условия жизни на Земле покажутся неизменными. Но наступило время переходного процесса и влияния глобальных циклов

на эволюцию не только нашей планеты, но и всей Солнечной системы.

Наша планета вместе с Солнечной системой движется в Галактике по витковой спирали. При этом малые галактические циклы составляют 26000 лет, а большие 200—210 млн. лет [1,2]. Через каждые сто миллионов лет наступает половина большого галактического цикла, связанного с глобальными событиями на планете. В это время происходят переполюсовка магнитного поля Земли, изменение положения оси вращения, что сопровождается глобальными похолоданиями и другими катаклизмами. Малые галактические циклы также связаны с глобальными изменениями климата и другими катастрофическими событиями, но они проходят без изменения полярности магнитного поля. Малые циклы фиксируются по отложениям в коре Земли и подтверждаются исследованиями ученых различных научных специальностей, занимающихся изучением нашей планеты. Границы этих циклов четко фиксируются повышением уровня океана и глобальным изменением климата. С этим связано явление Всемирного потопа. В том, что Всемирный потоп был, у современной науки нет сомнений. Это событие осталось в памяти народов и отмечено в Библии и в древних сказаниях и мифах. Последний потоп был в II тысячелетии до нашей эры. Если прибавить 2000 лет нашей эры, то сейчас — настало самое время для нового глобального переходного электромеханического процесса.

Движение Солнечной системы по малому витку спирали в Галактике связано с изменением положения поперечного тока. Это изменение происходит неравномерно, и глобальный переходный процесс можно разделить на три стадии [1,2].

В первой стадии, длительностью 300—500 лет, поперечный ток изменяет свое направление. При этом уменьшается электромагнитный момент униполярного двигателя, Земля тормозится, что приводит к значительному выделению тепла. Во второй стадии (холодный период) Земля снова ускоряется. В третьей стадии скорость Земли близка к установившемуся режиму.

В первой стадии переходного процесса, в котором Земля находится вот уже почти сто лет, повышение средней температуры на Земле вызывает таяние ледников и повышение уровня океана. Первая — теплая стадия переходного процесса самая короткая и самая активная. В этот период происходят сравнительно быстрое торможение планеты и выделение огромного количества тепла, что является причиной глобального потепления [1,2]. По разным данным уровень океана может подняться на 30 м. Следует иметь в виду, что часть поверхности материков находится ниже уровня океана и в этих местах вода может подниматься на несколько десятков метров.

При изменении поперечного тока на противоположное направление теплые и холодные зоны поверхности планеты поменяются местами. Теплые слои магмы в Северном полушарии будут подниматься в Сибири, а остывшие опускаться в Европе и Атлантике. Полюс холода в Северном полушарии переместился в район Вологды. Сибирь и Дальний Восток будут иметь теплый благодатный климат. Вечная мерзлота в Сибири отступит на Север, а на месте лесотундры через сотни лет образуются черноземы.

В Южном полушарии холодная зона переместится в район Австралии. Теплая зона, где горячая магма будет выносить к поверхности, переместится в район Индийского океана и Южной Африки.

Великие океанические течения изменят направление, что еще более резко скажется на глобальном изменении климата и местном дополнительном повышении уровня океана. Изменение направления Гольфстрима принесет в Европу холодные воды Северного Ледовитого океана, что сделает климат этой части планеты более холодным. Холодное течение Куросиво, изменив направление, станет теплым, обогреет восточную часть Дальнего Востока и будет способствовать теплоте благодатному климату в Восточной Сибири.

Наиболее трагически изменения климата повлияют на жизнь северо-западной части Европы. Глубокое похолодание приведет к образованию ледника в Скандинавии, границы которого к концу холодного цикла будут проходить по Средне-русской возвышенности и будут определяться климатическими условиями второго этапа переходного процесса. Но это будет не так скоро — в 30—40 веках. Повышение уровня океана, грунтовых вод и изменение циркуляции атмосферы приведет ко Вселенскому переселению большей части населения планеты [1,2].

Через 13 тыс. лет в 150—154 веках нашей эры переходной процесс повторится снова. С 160 века теплые и холодные зоны займут снова то же положение, что и было к началу XX века (рис.4).

Прогнозирование изменения климата на ближайшие 50 лет на базе электромеханической модели планеты основывается на двух главных факторах: выделении тепла за счет торможения планеты и смещении на запад поперечного тока, разделяющего теплые и холодные зоны.

Для отдельных обширных районов планеты оба фактора действуют согласно и приводят к заметному потеплению. В части районов планеты за счет торможения происходит потепление, а за счет наступления холодной зоны происходит похолодание. Преобладание повышения и понижения средней температуры в отдельных регионах требует для более точных прогнозов

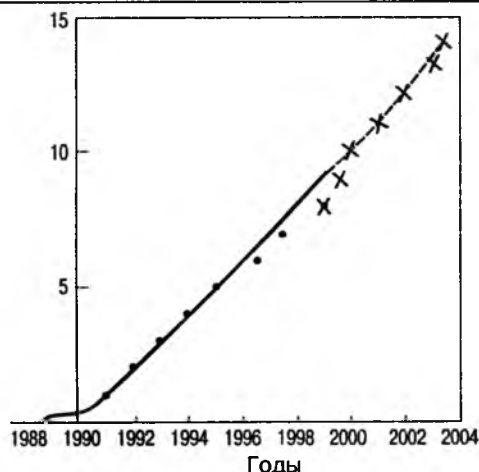


Рис.5. Торможение планеты в 1988—2004 гг.

индивидуального рассмотрения и сбора статистических данных.

Основная причина глобального потепления в первой стадии переходного процесса — уменьшение электромагнитного момента, что приводит к снижению частоты вращения Земли вокруг своей оси. Снижение частоты вращения вызывает уменьшение кинетической энергии планеты и выделение большого количества тепла. Кинетическая энергия Земли огромна и равна 6×10^{28} кВт·ч. Торможение Земли всего на 1 с в год дает тепловой энергии 10^{14} кВт·ч, что на порядок больше, чем ее выделяется при промышленной деятельности человека [1,2].

До сих пор официально глобальное потепление объяснялось парниковым эффектом. Нет сомнений, что промышленная дельность влияет на климат планеты, но основной причиной потепления является торможение планеты, связанное с первой стадией галактического переходного процесса.

На рис.5 представлено торможение Земли по данным Международной службы вращения Земли (IERS). Земля вышла на линейный участок торможения в конце 80-х годов. С 1990 г. каждый год Земля тормозится примерно на 1 с. Об этом официально объявляется средствами массовой информации и сутки увеличиваются на 1с в ночь на 1 июля или в новогоднюю ночь. Последняя поправка была введена в 3 ч ночи 1 января 1999 г. На рис.5 точками показаны даты официальных поправок, а крестиками — прогнозируемые поправки.

Кинетическая энергия, выделяющаяся в результате торможения планеты, концентрируется в магме, что приводит к увеличению ее подвижности и объема. Это является основной причиной активизации вулканической деятельности и выделения метана и других легких фракций в атмосферу. По мнению автора, причиной почти ежеквартальных взрывов метана в шахтах яв-

ляется увеличение выбросов метана из недр планеты, что также связано с глобальным электро-механическим процессом [1,2].

Вторым важным фактором, определяющим изменение климата на ближайшие 50 лет и на весь 13-летний полуцикл, является смещение на запад поперечного тока (рис.4).

Солнечная система, двигаясь по малой спирали в Галактике, переходит из одного полувитка малой спирали в другой, изменяя положение плоскости Солнечной системы по отношению к источнику энергии Галактики. Смена положения Солнечной системы в Галактике приводит к смещению поперечного тока на запад, с изменением направления поперечного тока примерно через 500 лет в конце первой стадии переходного процесса [1,2].

Если считать, что первая стадия переходного процесса длится 500 лет, а изменение магнитного поля началось около 100 лет назад, то за это время поперечный ток сместился на запад при условии, что I_n смещается равномерно на $25\text{—}30^\circ$. Считая, что вначале этот процесс шел медленнее, можно принять за первые 100 лет смещение поперечного тока всего на 20° (на рис.4 положение поперечного тока на 2000 г. показано пунктиром).

Смещение поперечного тока привело соответственно к смещению активных энергетических зон планеты: в западном полушарии из района Карибского моря в восточные области Тихого океана — в район восточного побережья Мексики, Перу и Чили, а в восточном полушарии — в район Индонезии.

Это событие изменило движение тайфунов и циркуляцию океанических вод и атмосферы. Изменение циркуляции атмосферы вызвало изменение погоды, а затем приведет и к изменению климата в обширных районах планеты. Мы уже привыкли к сообщениям средств массовой информации о небывалых наводнениях, засухах, лесных пожарах, проливных дождях и других катастрофических событиях. С каждым годом изменения погоды и климата будут все более заметными. Хотя общее потепление благоприятно сказывается на урожайности зерновых и овощных культур, но жестокие засухи и небывалые наводнения лишают урожая целые страны.

Уменьшение энергии Гольфстрима и появление теплого течения Эль-Нино в Юго-восточной части Тихого океана — следствия изменения положения поперечного тока (рис.4). Теплое течение Эль-Нино изменило жизнь целых стран Южной Америки. Мурманский незамерзающий порт впервые в 1998 г. на несколько дней покрылся льдом. Зима 1999 г. на севере Европы была на редкость холодной.

Потепление в восточной Сибири привело к значительному смещению на север границы веч-

ной мерзлоты. Это вызвало повышение уровня грунтовых вод, подтопление и высокий уровень паводковых вод на северных реках при выпадении осадков в пределах нормы.

Грунтовые воды первыми реагируют на повышение уровня океана. Оползни и подтопления во многих ранее засушливых районах планеты связаны с таянием ледников и льдов Антарктиды и Арктики.

К середине XXI века, т.е. через 150 лет после начала переходного процесса, плоскость поперечного тока сместится по экватору на 40—45° и будет на плоском изображении планеты занимать положение, показанное на рис.4. Если в начале переходного процесса круговой поперечный ток проходил через экватор на уровне 80° западной и 100° восточной долготы, то к 2000 г. он сместится на 100° западной и 80° восточной долготы. К 2050 г. поперечный ток будет пересекать экватор на уровне 120—130° западной долготы в Тихом океане и на уровне 50—60° восточной долготы в Индийском океане.

К концу XXI века холодная зона сместится в северо-западную часть европейской части России, а граница холодной и теплой зоны будет проходить восточнее Москвы и Воронежа. Теплая зона захватит большую часть северной Америки и Канады. В южном полушарии Новая Зеландия будет в холодной зоне, а граница теплой и холодной зоны пройдет в районе юго-восточной части Австралии. Значительное смещение теплых и холодных зон в середине XXI века приведет к значительным изменениям климата в огромных регионах планеты. Существенное изменение циркуляции океанических вод и атмосферы приведет к изменению условий жизни целых народов.

В Сибири и особенно на Камчатке и в Приморье средние температуры будут повышаться,

но весь этот район еще будет находиться в холодной зоне. В южном полушарии похолодание коснется южной Америки, Австралии и Новой Зеландии.

Касаясь более точного прогноза изменения климата для России и других стран, необходимо оценить действие двух противоположных факторов: общего потепления на планете и смещения холодной зоны на 40—50° на запад. К сожалению, электромеханической моделью изменения климата Земли занимаются лишь отдельные ученые, поэтому прогноз может иметь лишь качественные результаты. Однако модель, используемая в данной работе, является наиболее научно-обоснованной, подтверждается многочисленными фактами повседневной жизни и дает более достоверные результаты по сравнению с другими моделями.

Вся жизнь каждого человека и всей земной цивилизации связана с нашей планетой, магнитным полем и токами ее электрической машины. Земля — небольшая часть Солнечной системы, Галактики и Вселенной. Все в окружающем нас мире взаимосвязано и подчиняется великим законам Вселенной.

Список литературы

1. Копылов И.П. Электромагнитная Вселенная. М.: Изд-во МЭИ, 1999.
2. Копылов И.П. Электромеханика планеты Земля. М.: Изд-во МЭИ, 1997.
3. Копылов И.П. Электромеханический преобразователь — звезда Солнце//Электротехника. 1996. № 6.
4. Копылов И.П. Связь энергетических глобальных событий на Земле с электрoмагнитным моментом планеты//Электротехника. 1997. № 7.
5. Копылов И.П., Гандилян С.В., Гандилян В.В. Некоторые вопросы обобщенного физико-математического моделирования электромеханических преобразователей энергии//Электротехника 1998. № 9.

**Вниманию руководителей
предприятий, объединений, НИИ и КБ, вузов**

Редакция журнала "Электротехника"

предлагает услуги

по подготовке и выпуску на договорных условиях специальных (тематических) номеров журнала "Электротехника" по тематике и материалам (в том числе и рекламным) заказчика.

Справки по телефону: 254-11-52

ВЭЛК-99

С 28 июня по 3 июля 1999 г. в Москве проходил Всероссийский электротехнический конгресс с международным участием (ВЭЛК-99) под девизом: «На рубеже веков: итоги и перспективы». Одновременно с этим в выставочном комплексе на Красной Пресне (ЗАО «Экспоцентр») была организована международная специализированная выставка «ВЭЛК-Электро-99».

Организаторами конгресса и выставки были: Правительство Российской Федерации, Правительство Москвы, Российская Академия Наук (РАН), Академия электротехнических наук Российской Федерации (АЭН РФ), Международная академия электротехнических наук (МАЭН) и ЗАО «Экспоцентр» при участии МЭК, ЮНЕСКО и ЮНИДО.

Открытие ВЭЛК-99 состоялось 28 июня 1999 г. в здании Мэрии Москвы (Новый Арбат, 36). Открывая конгресс, президент АЭН РФ, председатель Программного комитета ВЭЛК-99 В.Г.Герасимов сказал, что подобные международные конгрессы проводятся уже более 100 лет. Первый такой конгресс состоялся в 1881 г. в Париже. До 1914 г. международные электротехнические конгрессы проводились довольно часто: в Германии, США, Франции, Италии и Швейцарии. После первой мировой войны таких конгрессов было только два: в 1932 г. в Париже и в 1977 г. в Москве. Последний конгресс ВЭЛК-77 прошел с большим успехом.

С приветствиями в адрес участников конгресса выступили: от РАН академик-секретарь О.Н.Фаворский, от ЮНЕСКО — заместитель генерального директора Г.З.Юшквявичюс. Были оглашены приветственные телеграммы мэра Москвы Ю.М.Лужкова, генерального секретаря МЭК А.Амита, заместителя генерального директора ЮНИДО Д.И.Пискунова, президента МАЭН В.А.Альтова, председателя Госстандарта РФ Г.П.Воронина, первого заместителя руководителя ФСТР России В.Г.Маковеева, первого заместителя министра по атомной энергии В.Н.Михайлова, руководителей региональных и зарубежных отделений АЭН РФ и МАЭН, научно-отраслевых отделений АЭН РФ, а также других электротехнических организаций и предприятий.

Затем было заслушано 10 пленарных докладов.

В докладе почетного президента РАО «ЕЭС России» члена-корреспондента РАН А.Ф.Дьякова «Электроэнергетика России на рубеже XXI века» были изложены стратегические задачи электроэнергетики России, пути их решения, идеи единой энергетической Европы и основные положения Энергетической Хартии и договора к ней.

Доклад генерального директора АО «Мосэнерго» Н.И.Серебряникова был посвящен стратегии вхождения в XXI век Мосэнерго — крупнейшей энергетической компании России.

В докладе заместителя министра РФ по атомной энергии, академика РАН В.Н.Михайлова «Атомная энергетика России в XXI веке» были рассмотрены состояние и вероятные перспективы развития атомной энергетики России в структуре мировых энергетических проблем следующего столетия.

В докладе заместителя генерального директора ЮНЕСКО Г.З.Юшквявичюса были освещены интересные этические и правовые вопросы развития новых информационных и коммуникационных технологий.

Доклад академика РАН К.С.Демирчяна и профессора МЭИ Б.А.Ивоботенко «Адаптивные электродинамические системы как основа технологий XXI века» был посвящен проблемам безлюдных производств, придания им свойств самонастройки, а также разработанной агрегируемой адаптивной электродинамической системе.

В докладе директора НИИЭлектромаш, академика РАН И.А.Глебова проанализировано современное состояние электромашиностроения, сформулированы задачи и намечены пути его дальнейшего развития.

Доклад председателя Госстандарта России Г.П.Воронина был посвящен проблемам стандартизации в электротехнике и, в частности, важной роли Государственных стандартов для решения вопросов обеспечения электромагнитной совместимости технических средств.

В докладе заместителя генерального конструктора РКК «Энергия» О.И.Бабкова и члена-корреспондента РАН, главного консультанта РКК «Энергия» Б.Н.Чертока «Основные проблемы космической электроэнергетики» были рассмотрены основные научно-технические проблемы, решенные ракетно-космической и электротехнической промышленностью за 40 с лишним лет практической отечественной космонавтики.

Доклад директора НИИЭлектромаш, академика РАН И.А.Глебова, директора ИСФТТ РНЦ «Курчатовский институт» Н.А.Черноплекова, президента МАЭН В.А.Альтова был посвящен проблемам использования сверхпроводимости в электротехнике и электроэнергетике.

В докладе начальника Управления энергетики ОАО «Газпром» Г.Р.Шварца были рассмотрены актуальные проблемы и перспективы развития электроэнергетики ОАО «Газпром».

29 июня 1999 г. состоялось открытие международной специализированной выставки новей-

ших достижений в области электротехники «ВЭЛК-Электро-99», на которой, были представлены разработки более 300 фирм из 16 стран-участниц. Выставку открыл заместитель министра экономики РФ С.Г.Митин, с приветствиями в адрес участников выставки выступили: от Выставочного комитета ЗАО «Экспоцентр» — генеральный директор А.Н.Денисов, от Академии электротехнических наук РФ и Международной академии электротехнических наук — В.А.Альтов, от «Интерэлектро» — заведующий Секретариатом — А.А.Прохаев, от ОАО «Стандартэлектро» — председатель Наблюдательного совета Ю.М.Богомолов. В экспозиции российского раздела выставки были отражены основные направления развития электротехнической отрасли: электродвигатели и электротехнические машины малой мощности; трансформаторостроение и высоковольтная коммутационная аппаратура; изоляционные материалы; преобразовательная техника; электротермия, высокочастотные технологии и сварка; светотехника, низковольтная аппаратура, источники тока. С большой коллективной экспозицией на международной выставке «ВЭЛК-Электро-99» выступил Интерэлектро, на стенде которого было представлено более 110 фирм и предприятий разных форм собственности.

С 30 июня по 3 июля 1999 г. проходили заседания 10 секций Всероссийского электротехнического конгресса, на которые было представлено более 650 докладов из 25 стран.

Заседания секции «Производство, передача и распределение электроэнергии» проходили 30 июня и 1 июля в здании Президиума РАН. Руководителем секции был почетный президент РАО «ЕЭС России», член-корреспондент РАН, академик-секретарь АЭН РФ А.Ф.Дьяков. На эту секцию было представлено 74 доклада. Наибольший интерес вызвали доклады академика РАН Е.П.Велихова и др.: «Компактная электростанция большой мощности с МГД-генератором на неравновесной плазме» и «Импульсная МГД-установка «Сахалин» электрической мощностью 500 МВт на твердом пороховом топливе», а также доклад академика РАН Я.Б.Данилевича «Локальные источники энергии» и др.

Доклады по тематике этой секции обсуждались также на открытой научно-практической конференции «Оценка технического состояния электрооборудования энергосистем и определение перспектив надежной работы ЕЭС России», которая проходила в рамках ВЭЛК-99 с 22 по 24 июня 1999 г. В программу этой конференции было включено 39 секционных и 17 стендовых докладов. Наиболее важными и интересными были доклады А.Ф.Дьякова, академиков РАН И.А. Глебова, Я.Б. Данилевича и др.

В заседаниях секции «Производство и распределение электроэнергии» и работе открытой научно-практической конференции участвовало более 200 человек.

Заседания секции «Промышленные электротехнические системы и их элементы» проходили 30 июня, 1 и 2 июля 1999 г. в Московском энергетическом институте. В программу этой секции было включено 43 секционных и 58 стендовых докладов. В рамках работы этой секции был также проведен научно-практической семинар «Микроконтроллеры фирмы «MOTOROLA» в электроприводе», на котором было заслушано 5 докладов. Работа секции вызвала большой интерес у специалистов электромехаников и электроприводчиков. В ее заседаниях приняло участие свыше 100 человек из Москвы, Киева, Баку, С.-Петербурга, Новосибирска, Новочеркасска, Оренбурга, Перми, Чебоксар, Челябинска и других городов. Наряду с Россией, докладчики представляли Германию, Чехию, Судан, Украину и Азербайджан.

В работе секции приняли участие представители 12 высших учебных заведений, 11 научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций и промышленных предприятий. Руководителем секции был директор ВНИИэлектропривод, действительный член АЭН РФ В.Д.Кочетков.

В представленных на конференции докладах нашли отражение такие актуальные для промышленных электротехнических систем проблемы, как теория и практика разработки систем управления электротехническими системами на основе интеллектуальных методов управления и микропроцессорных средств реализации, проблемы создания современных электродвигателей для регулируемых электроприводов и нетрадиционной энергетики, производство и применение средств и систем электропривода; были доложены результаты исследования и разработки ряда уникальных электроприводов производственных механизмов.

Заседания секции «Электротехнология» проводились 30 июня и 1 июля 1999 г. в ОАО «ВНИИЭТО». В программу работы этой секции было включено 65 докладов, в том числе 49 секционных и 16 стендовых. В работе секции участвовали 60 специалистов, представляющих 27 НИИ, вузов и производственных организаций России, США, Болгарии, Польши и Эстонии.

Руководителем секции был генеральный директор ОАО «ВНИИЭТО» А.Н.Попов. Наиболее интересными и значимыми докладами следует признать доклады действительного члена АЭН РФ А.Н.Попова, профессоров МЭИ А.Б.Кувалдина, В.П.Рубцова, А.М.Кручинина и А.Савицки (Г.Ченстохов, Польша), А.П.Мотыля (г.Таллинн, Эстония), Т.С.Тодорова (г.Габрово, Болгария) и др.

Работа секции «Электротехнические системы транспорта и авиакосмической техники» проходила 1 и 2 июня 1999 г. в туркомплесе г. Суздаль Владимирской области. Руководителем секции был первый вице-президент АЭН РФ Б.И.Петленко. В составе секции работало 5 подсекций:

— «Электротехнические системы городского электротранспорта и метро» (14 докладов);

— «Электротехнические системы железнодорожного и промышленного транспорта» (49 докладов);

— «Суздадь информационно-управляющие и электроэнергетические системы» (45 докладов);

— «Автомобильная электротехника и электроника» (65 докладов);

— «Авиакосмическая электротехника» (40 докладов).

В работе секции приняло участие более 100 человек.

Секция ВЭЛК-99 «Диагностика и безопасность в электротехнике и электроэнергетике» работала совместно с 15-й Российской научно-технической конференцией «Неразрушающий контроль и диагностика» в Российской академии государственной службы при Президенте РФ. Руководителем секции был президент АЭН РФ В.Г.Герасимов. В программу секции было включено 80 докладов.

Наиболее интересными докладами следует признать доклады П.А.Бутырина, М.Е.Алпатова (МЭИ, ОАО «Электропривод», Москва) «Непрерывная диагностика и идентификация дефектов трансформаторов», Н.Р.Кузелева (ВНИИТФА, Москва) «Радионуклидная компьютерная томография изделий атомной, авиационной и космической техники», Дж.А.Томсона (Великобритания) «Практический опыт использования новых технологий при неразрушающем контроле ядерных силовых установок».

В работе секции приняло участие около 100 специалистов и ученых из Москвы, С.-Петербурга, Орла, Челябинска, а также с Украины, из Великобритании, Германии и Дании.

Секция «Электрофизические и сверхпроводящие устройства» работала 30 июня и 1 июля 1999 г. в РИЦ «Курчатовский институт». Руководителем секции был директор ИСФТТ РИЦ «Курчатовский институт» Н.А.Черноплеков. На заседаниях секции доложено 33 доклада и представлено 20 стендовых докладов. Наибольший интерес вызвали доклады первого вице-президента РАН, академика Г.А.Месяца с содокладчиками и вице-президента РАН, академика В.Е.Фортова.

В работе секции приняло участие около 130 специалистов из России, США, Венгрии и Китая.

Работа секции «Проблемы телекоммуникации: технология виртуальной реальности» проходила 30 июня и 1 июля 1999 г. в Координационном центре Межпарламентской комиссии по вычислительной технике. В программу этой секции было включено 19 докладов. Руководителем секции был действительный член АЭН РФ, профессор Д.И.Шапиро.

Во время заседаний секции проводились компьютерные демонстрации реальных программных продуктов. Основная тенденция развития телекоммуникационных и виртуальных технологий

состоит в расширении телекоммуникационных сетей, доведении их до конкретных пользователей как в бизнесе и производстве, так и в медицине, образовании и быту. При этом необходимо развивать новые средства телекоммуникации.

В подавляющем большинстве докладов обсуждались различные аспекты виртуальных технологий.

Работа секции «Электротехника и электроника в медицине» проходила 30 июня 1999 г. в МНПО «Экран». В программу секции было включено 15 докладов. Руководителем ее был генеральный директор МНПО «Экран», президент Российской медико-технической академии, член президиума АЭН РФ Б.И.Леонов.

Заседания секции «Развитие мировой системы электротехнического образования» проходили в Московском энергетическом институте 30 июня и 1 июля 1999 г. Руководители секции: проректор МЭИ, профессор В.В.Галактионов, профессор МЭИ В.Ф.Взятыхшев.

В составе этой секции работало 3 подсекции:

— «Опыт и методики инженерного образования в области энергетики, электротехники и электроники»;

— «Содержание инженерного образования и дискуссионные проблемы»;

— «Перспективы и концепции развития инженерного образования».

В программу работы секции было включено 50 докладов. Кроме заседаний подсекций в рамках работы секции был организован круглый стол «Дискуссия по перспективам развития инженерного образования (концепции, направления, философия)», на котором были обсуждены: социально-экономические и социально-технологические проблемы, национальные и транснациональные аспекты инженерного электротехнического образования в России и в других странах на рубеже веков. В заседаниях подсекции и круглого стола приняло участие 42 человека.

Работа секции «Стандартизация, сертификация и метрология в электротехнике» проходила в центре испытаний и сертификаций «Ростест» 30 июня 1999 г. В программу секции было включено 16 докладов. Руководителем секции был генеральный директор «Ростест-Москва», действительный член МАЭН Б.С.Мигачев. В рамках работы секции был проведен круглый стол по важнейшим проблемам стандартизации и сертификации электротехнической продукции.

В работе конгресса и связанных с ним мероприятий приняли участие около 1000 делегатов. Было принято решение об обращении к руководству страны с просьбой по оказанию государственной поддержки электротехнической науки и всей электротехнической отрасли в целом.

Герасимов В.Г. — председатель программного комитета ВЭЛК-99, президент АЭН РФ

8-я Международная выставка «Технология кабельного производства»: анализ перспектив развития

В сентябре 1999 г. в Москве в ОАО «ВНИИ кабельной промышленности» (ВНИИКП) состоялась международная выставка «Технология кабельного производства», которая проводилась 8-й раз и давно зарекомендовала себя как традиционный смотр достижений в области технологии производства кабелей и проводов. В выставке приняли участие 43 фирмы из 14 стран, в том числе из США, Англии, Германии, Франции, Италии, Швейцарии и т.д. Среди участников выставки были такие всемирно известные фирмы, как «Du Pont», «Borealis», «Nextrom», «Corning Inc.», «Alcatel Fibres Optiques» и многие другие. Одновременно с выставкой проводился технический симпозиум, на котором специалисты заслушали ряд докладов на актуальные темы кабельной техники.

Среди многообразия материалов, технологического оборудования, измерительной техники следует выделить те, которые относятся к важнейшим зонам перспективного развития кабельной промышленности.

Среди таких зон во время выставки внимание акцентировалось на следующих:

1) производство пожаробезопасных кабельных изделий, не содержащих галогенов и с пониженным газо-, дымовыделением;

2) производство силовых кабелей среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена;

3) производство волоконно-оптических кабелей.

Как известно, в мировой практике интенсивно развивается производство кабелей и проводов, не только не распространяющих горение, но и не выделяющих при горении токсичные хлористые соединения.

Такие кабельные изделия применяются в промышленных и гражданских объектах, характеризующихся скоплением большого количества людей или наличием дорогостоящей электронной аппаратуры управления, например, на атомных станциях (АЭС), кораблях, стадионах и т.п.

Как известно, выделение галогенов при пожаре приводит к поражению людей и выходу из строя аппаратуры, приборов и т.д. Обычно для создания безгалогенных полиолефиновых композиций используются такие наполнители, как CaCO_3 (содержание 20--40%), $\text{Al}(\text{OH})_3$ (50--60%), $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (50--65%).

Фирма «Borealis» (Дания) экспонировала на выставке новую технологию производства материалов такого типа — Casico. При использовании компаундов, изготовленных по этой технологии, эффект нераспространения горения при отсутствии галогенов достигается за счет комбинации сравнительно небольших количеств мела (CaCO_3) и сополимера этилена, содержащего кислород, с малыми добавками фракции силиконового эластомера.

Фирма «Padanaplast» (Италия) представила широкий ассортимент термопластичных и силаносшиваемых композиций пониженной горючести серии COGEGUM, не содержащих галогенов. Предлагаются композиции для изоляции, оболочки и заполнителя с кислородным индексом от 26 до 54.

На выставке были представлены также базгалогенные композиции пониженной горючести, производимые фирмой «Condor Compounds» (Германия).

При использовании новых материалов перед производителями кабелей встает вопрос, как обеспечить требуемые параметры кабеля по пожаробезопасности и приемлемую перерабатываемость (технологичность) этих параметров. Дело в том, что безгалогенные компо-

зиции, как правило, выполняются на основе полиолефинов с высокой теплотой сгорания с различными антипиренами. Как показали предварительные исследования ВНИИКП, не все антипирены обеспечивают требуемые свойства готовых кабельных изделий (особенно требование нераспространения горения по категории А стандарта МЭК 332-3), хотя показатель композиции — кислородный индекс находится в пределах 32% и выше. Это объясняется очевидно другим механизмом горения кабелей при применении безгалогенных композиций по сравнению с применяемыми в отечественной практике поливинилхлоридными композициями пониженной горючести.

Кроме того, безгалогенные композиции имеют достаточно высокий процент наполнителей. Поэтому в ряде случаев возникают серьезные проблемы при их экструзии на существующем оборудовании кабельных заводов.

Кроме кабелей, не распространяющих горение, требуются также огнестойкие кабели, которые в условиях пожара и высоких температур должны в течение определенного времени сохранять работоспособность. В этом случае в конструкции кабеля должна быть предусмотрена обмотка нагревостойкими лентами. Такие ленты на стеклослюдяной основе были представлены фирмой «Элинар» (Россия).

Слюдя со стеклотканью склеивается с помощью силиконовой смолы, что обеспечивает достаточную электрическую прочность изоляции. В случае пожара при высоких температурах стеклоткань разрушается, однако образующийся в этих условиях неорганический полимер на основе звеньев SiO удерживает слюдяной барьер, что и позволяет эксплуатировать кабель до момента ликвидации пожара.

Производство новых пожаробезопасных кабелей начинается в странах СНГ, прежде всего в России, и будет организовано и расширено в первую очередь в интересах Министерства атомной промышленности, в системе которого модернизируются и строятся АЭС.

В области силовых кабелей среднего напряжения (10—35 кВ) проходит процесс замены пропитанной бумажной изоляции на изоляцию из сшитого полиэтилена. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена обладают целым рядом преимуществ перед традиционными силовыми кабелями, особенно в области прокладки, монтажа и эксплуатации. Переход на производство кабелей такого типа в кабельной промышленности достаточно сложен, так как требует приобретения дорогостоящего оборудования. На выставке были представлены линии непрерывной вулканизации для наложения изоляции из сшитого полиэтилена такими известными фирмами как «Nextrom» (Швейцария), «Paul Trocster» (Германия), «Rosendahl Frisch» (Австрия), «Samp De Angeli» (Италия).

Однако для стран бывшего СССР наибольший интерес представляет организация производства кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ, которая может быть осуществлена путем использования оборудования, уже имеющегося на кабельных заводах. В этом случае вместо традиционного сшиваемого полиэтилена используется так называемый силанольносшиваемый полиэтилен, перерабатываемый на обычных или модернизированных экструзионных линиях.

Силанольносшиваемые композиции полиэтилена были представлены на прошедшей выставке большинством фирм, специализирующихся на производстве полимерных композиций — «Borealis», «Padanaplast»,

«Wilson» (Швеция), «Sivento Chemie» (Германия). Последняя фирма входит в группу «Degussa-Huls» (Германия).

Все фирмы предлагают материалы, изготавливаемые как по технологии Sioplas (предварительно изготавливаемые композиции, перерабатываемые на традиционном кабельном экструзионном оборудовании), так и по технологии Moposil, при котором силаны вводятся непосредственно в компаунд в экструдере (этот метод требует модернизации существующего или использования нового специализированного оборудования). Интересно, что фирма «Padanaplast» предложила силаносшиваемые композиции не только на основе полиолефинов, но и на основе этиленпропиленового каучука.

Ряд заводов Ассоциации «Электрокабель» планирует развитие силовых кабелей среднего напряжения (в основном на напряжение 10 кВ) на базе силаносшиваемой технологии. Этот тип изоляции для кабелей среднего напряжения в мировой практике является сравнительно новым и пока еще недостаточно изученным. Предстоит исследовать такие характеристики изоляции как трингостойкость и ее зависимость от температуры, термоокислительная стабильность, в том числе во влажной среде, особенности макро- и микроструктуры и их влияние на электрическую прочность, совместимость электропроводящих экранов и изоляции и другие вопросы, влияющие на эксплуатационные характеристики кабелей. Особое внимание должно быть уделено технологии переработки этих материалов в кабельном производстве.

Следует отметить, что практический интерес для кабельных заводов представляет технология Drysilane (в отечественной практике — драйсил), позволяющая использовать полиэтиленовые композиции, изготавливаемые в России и Белоруссии, в комбинации с импортными, а в будущем и с отечественными сухими концентратами силанов.

Расчетная стоимость изоляции на базе технологии Drysilane составляет 1500—1600 дол/т по сравнению с технологией Sioplas, где материал стоит около 2300 дол/т. Однако технология Drysilane требует некоторого доукомплектования экструзионного оборудования и освоения процесса экструзии до получения стабильных показателей по качеству.

В течение 1991—1998 гг. кабельная промышленность России и других стран СНГ непрерывно снижала объемы производства, что было обусловлено кризисом, охватившим постсоветское пространство после распада СССР. Однако по ряду типов кабельной продукции наблюдался рост выпуска, в частности, среди этих групп выделяются волоконно-оптические кабели. Кабельные заводы России за 9 месяцев 1999 г. увеличили объем производства этих кабелей по сравнению с соответствующим периодом 1998 г. вдвое. Поэтому понятен интерес к материалам и технологическому оборудованию, используемым для производства волоконно-оптических кабелей.

Оптические волокна представляли две всемирно известные фирмы — «Corning Inc.» (США) и «Alcatel Fibres Optiques» (Франция). Обе фирмы широко известны в СНГ и поставляют оптические волокна одномодовые и многомодовые с широким спектром характеристик и областей применения. Примечательным на состоявшейся выставке в экспозициях этих фирм было то, что они представили оптические волокна с ненулевой смещенной дисперсией, создание которых является революционным шагом в развитии оптической техники связи. Объем передаваемой информации по таким волокнам практически неограничен. Скорость передачи информации — до 1,6 Тбит/с и выше.

Фирма «DSM Desoteeh» (Голландия) поставляет фирмам «Corning Inc.» и «Alcatel Fibres Optiques» покрытия на основе эпоксиакрилатов для оптического волокна, а также окрашивающие покрытия («чернила»). На выставке в Москве фирма показала всю гамму этих покрытий, отверждаемых с помощью ультрафиолетового отверждения, рассчитанных для наложения на волокно при скоростях вытяжки 600 м/мин и выше.

Гидрофобные компаунды и герметики были представлены на стендах фирм «Fuller» (Германия), «British Petroleum Amoco» (Франция), «WITCO» (Голландия). Все эти фирмы предлагают материалы для заполнения кабелей связи, в том числе волоконно-оптических. Фирма «Lantog» (Голландия), представленная на стенде коммерческой фирмы «Bang & Bonsomer» (Финляндия), выпускает водоблокирующие и водонабухающие пленки и нити для использования в силовых кабелях и кабелях связи, включая волоконно-оптические кабели. С точки зрения применения этих материалов отечественная практика пока весьма ограничена, но в будущем подобные водоблокирующие и водонабухающие пленки и нити, а также порошки могут найти свое место и в производстве кабельной продукции на территории СНГ.

Фирма «Degussa-Huls» (Германия) представила гамму полибутилентерефталатов (ПБТ), используемых для изготовления трубок волоконно-оптических кабелей, в которых размещаются оптические волокна. Материалы фирмы успешно используются в отечественной практике. Интерес представляет также опыт по использованию материалов фирмы для ленточных волоконно-оптических кабелей, которые пока в отечественной практике не нашли применения.

Интерес представил также материал на основе полиамидов, предлагаемый фирмой для оболочек волоконно-оптических кабелей, стойких к действию грызунов. Для улучшения адгезии между внутренней полиэтиленовой оболочкой кабелей и полиамидным покрытием фирма «Degussa-Huls» рекомендует использовать несколько модифицированный материал, который должен накладываться одновременно с полиэтиленовой оболочкой на сдвоенном прессе.

В 1998 г. в России было пущено в эксплуатацию четыре новых завода по производству волоконно-оптических кабелей. Эти заводы были оснащены технологическим оборудованием фирм «Nextrom» и «Swisscab» (Швейцария).

Естественно, что обе эти фирмы представляли на выставке это оборудование, а также целую гамму усовершенствованных кабельных машин для производства других типов кабелей.

Кроме того, на выставке оборудование для производства волоконно-оптических кабелей представили также «Samp de Angeli», «Rosendahl Frisch», «С.М.Сабале» (Испания), MALI (Австрия) — в части оборудования для бронирования кабелей. Комплекс оборудования, представленного всеми этими фирмами, включает в себя экструзионные линии для наложения трубки на оптическое волокно, крутильное оборудование для производства кабелей, в том числе с использованием метода знакопеременной (SZ) скрутки; оборудование для наложения шланга; устройства для заполнения внутри- и межтрубного пространства гидрофобными заполнителями. Предлагаемая постановка оборудования комплектная, включая измерительную технику. Большой интерес вызвал также узел SZ-скрутки с многорозеточным накопителем, предназначенный для скрутки оптических модулей, представленный ВНИИКП.

Естественно, что на выставке достаточно полно были

представлены и другие направления развития кабельной техники. Среди этих направлений можно выделить производство компьютерных кабелей, к которому в России проявляется повышенный интерес. Поэтому не случайно фирмы «Nextrom», «Swisscab», «Samp de Angeli», «Gander» (Германия), «Rosendahl & Frisch», «S.M.Caballe» предлагали комплексную поставку экструзионного и крутильного оборудования для производства компьютерных кабелей 5, 6 и 7 категорий с парной и четверочной скруткой, в экране и без экрана.

Еще одна зона кабельной техники — производство эмалированных проводов.

На выставке оборудование для производства таких проводов было представлено ведущими в этой области фирмами МАГ (Австрия) и «Sicme» (Италия). Это эмальагрегаты различных конструкций, оснащенные системой каталитического сжигания отходящих газов, встро-

енными волочильными установками, устройствами для автоматической смены катушек. Эмальагрегаты обеспечивают производство проводов с $vD=100$, где v — скорость движения провода, м/мин, D — диаметр эмалируемой проволоки, мм. Обе фирмы поставили задачу создания оборудования для эмалирования проволоки при значениях vD до 200—250.

В целом анализ экспонированных на выставке материалов для производства кабелей и проводов и кабельного технологического оборудования показывает, что кабельное производство в мире непрерывно развивается, хотя это развитие носит не революционный, а эволюционный характер. Передовые технологии, продемонстрированные ведущими фирмами, успешно реализуются на отечественных кабельных заводах.

**И.Б.Пешков, доктор техн.наук, проф.,
генеральный директор ВНИИКТ**

Татьяна Анатольевна Глазенко

26 сентября 1999 г. на 75 году жизни скончалась Татьяна Анатольевна ГЛАЗЕНКО — заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор, действительный член электротехнической Академии России.

Татьяна Анатольевна в 1948 г. с отличием закончила энергетический факультет Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта и начала работать в институте механизации и электрификации сельского хозяйства на кафедре общей и теоретической электротехники. После прохождения одногодичной аспирантуры в декабре 1953 г. защитила диссертацию и получили степень кандидата технических наук.

В 1957 г. Т.А.Глазенко была принята по конкурсу на должность доцента кафедры электрических машин в Ленинградский институт точной механики и оптики, в котором она в 1966 г. защитила докторскую диссертацию на тему: «Исследование полупроводниковых преобразователей с явно выраженным звеном постоянного тока в системах электропривода» и более 25 лет возглавляла кафедру.

Татьяна Анатольевна отличалась исключительной работоспособностью и трудолюбием, она являлась видным, творчески активным ученым, автором более 200 опубликованных научных работ, в том числе таких как монографии: «Импульсные полупроводниковые усилители в электроприводах», «Полупроводниковые преобразователи в электроприводах постоянного



тока», «Полупроводниковые преобразователи частоты в электроприводах», которые стали классическими трудами, не потерявшими актуальности и способствующими развитию силовой полупроводниковой техники.

Профессор Т.А.Глазенко являлась членом научно-методических Советов по электротехнике и по теоретическим основам электротехники и инженерной электрофизике Минвуза СССР, членом бюро секции электропривода и промышленной автоматики ЛДНТП, активным участником и организатором многих общесоюзных и региональных научных конференций и семинаров.

Ею была создана научно-педагогическая школа в области полупроводниковой преобразовательной техники, через аспирантуру и соискательство Т.А.Глазенко было подготовлено 29 кандидатов и 5 докторов технических наук, она регулярно выступала в качестве официального оппонента по диссертационным работам, являлась рецензентом многих книг и статей и членом редколлегии сборника «Силовая преобразовательная техника».

Редактор отдела О.В. Кунавина
Научный редактор Л.А. Романова
Литературный редактор А.М. Мескина

В 1978 г. Т.А.Глазенко был организован первый в СССР Специализированный Совет по присуждению кандидатских ученых степеней по специальности 05.09.12 «Электрические и полупроводниковые преобразователи».

В 1980 г. Т.А.Глазенко возглавила комплексную межвузовскую целевую программу работ «Оптимум» по решению научно-технической проблемы «Разработать новые элементы и схемы структуры силовых полупроводниковых преобразователей систем электропривода повышенной точности, быстрой действия, расширенного диапазона регулирования и создать системы их автоматизированного расчета и проектирования», которая была утверждена Приказом Минвуза СССР и по которой работали ученые более 40 вузов страны и более 50 отраслевых организаций.

Профессору Т.А.Глазенко за успехи в деле подготовки инженерных кадров и в научной работе многократно объявлялась благодарность Минвузом СССР, она награждена орденом «Знак Почета», знаком «За отличные успехи в работе» Высшей школы, многочисленными медалями. Медали «За оборону Ленинграда» она была удостоена за работу в госпитале блокадного города.

Память о крупном ученом, труженице, чутком товарище и друге, надежном лучшим человеческими качествами, навсегда сохранится в наших сердцах.

**Многочисленные сотрудники
и друзья.**

Сдано в набор 08.11.99. Подписано в печать 10.12.99. Формат 60×88 1/8

Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Печ. л. 8. Заказ 52

Цена свободная. Тираж 1000 экз. Зарегистрирован Комитетом РФ по печати, регистрационный №01330.

Макет выполнен и отпечатан в АООТ «Электропривод»
107078, Москва, ул. Садовая Спасская, 1/2, к. 3


16-19.05/2000
 Выставка проводится
 фирма "Совенкон"


ЛЕНС-ЭКСПО

Телефоны, факс:
 296-0134,
 296-0016
 296-0845

На выставке будут
 представлены:
Светильники промышленные и бытовые
Светильники люминесцентные
Пускорегулирующая аппаратура
Специализированные осветительные
устройства внутреннего и наружного
применения (прожекторы,
уличное освещение, медсветильники и т.д.)
Источники света
Электроустановочные изделия (розетки,
выключатели и т.д.)
Световой дизайн помещений
Световая реклама

ТРЕТЬЯ
 СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
 ВЫСТАВКА

СВЕТ
И СВЕТОТЕХНИКА
2000

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС ЛЕНС-ЭКСПО

В рамках выставки планируется
 проведение семинаров и круглых столов
 с привлечением ведущих специалистов,
 презентации фирм
 и специализированных изданий

В 2000 г. журнал "Электротехника"

выпустит следующие тематические номера:

- К 70-летию кафедры автоматизированного электропривода Московского энергетического института
- Силовая электроника
- Электрические аппараты
- Автоматизированный электропривод
- Электрические машины

Внимание!

На журнал "Электротехника" еще не поздно подписаться в редакции или в любом почтовом отделении по объединенному каталогу Департамента почтовой связи РФ (Зеленый) – Индекс 7111.

Подписавшись в редакции, Вы избежите высоких почтовых расходов.

Стоимость одного номера – 70 руб. (для Москвы)

75 руб. – для подписчиков РФ.

В редакции можно купить журналы за предыдущие годы со значительной скидкой.

ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ "МИНСКЭКСПО"



4-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ '2000
ЭЛЕКТРО '2000

28 - 31

марта 2000г.

Автоматизация. Информатика

- Технические средства, системы автоматического контроля и управления
- Контрольно-измерительная техника
- Программные средства
- Компьютерная техника и информационные технологии
- Средства связи и телекоммуникации

Электроника. Электротехника

- Элементная база, технологии, материалы и оборудование
- Оптическое, лазерное и радиоэлектронное оборудование
- Электротехническое оборудование общепромышленного применения
- Кабели, провода, электрокерамические изделия, осветительные системы и приборы
- Энерго- и ресурсосберегающие технологии и оборудование
- Оборудование для производства и испытания электрических машин и аппаратов, изоляционных, проводниковых, магнитных материалов
- Материалы для производства электротехнических и радиоэлектронных изделий
- Электросварочное и электротермическое оборудование

- Услуги. Материалы и принадлежности
- Научно-техническая литература

ОРГАНИЗАТОРЫ

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ "МИНСКЭКСПО"

Пр-кт Машерова, 14,
220035 г. Минск



Тел: (017) 226 91 93
Факс: (017) 226 91 92

<http://www.minskexpo.com.by> E-mail: minskexpo@brm.minsk.by