

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України**  
**Одеська національна морська академія**

## **МАТЕРІАЛИ**

**науково-методичної конференції**  
**"АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І РАДІОТЕХНІКИ"**  
**14.12. 2011 – 15.12.2011**



**Одеса – 2012**

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України**  
**Одеська національна морська академія**

**МАТЕРІАЛИ**  
науково-методичної конференції  
**"АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І РАДІОТЕХНІКИ"**  
14.12. 2011 – 15.12.2011

**Одеса – 2012**

У матеріалах конференції розміщено тези доповідей, які заслуховувались на пленарних засіданнях науково-методичної конференції "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", що відбулась 14-15 грудня 2011 року в Одеській Національній морській академії. Розглянуто питання сучасного електрообладнання, систем управління та радіотехніці.

Матеріали науково-методичної конференції "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", 14.12.2011 – 15.12.2011. – Одеса: ОНМА, 2011. – 76 с.

Матеріали публікуються згідно з поданими авторами оригіналами, які є відповідальними за їх зміст.

Організатори:  
Факультет електромеханіки та радіоелектроніки  
Одеської національної морської академії

© Одеська національна морська академія, 2011

## ЗМІСТ

<b>ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ.....</b>	<b>5</b>
<i>Луковцев В.С.</i> О значении фундаментальных знаний в подготовке судовых электромехаников.....	5
<i>Ланчуковский В.И.</i> Одесское отделение Института морской техники, науки и технологии (IMarEST) Великобритании.....	8
<i>Кошевой В.М.</i> Вопросы выбора сигналов и методы их обработки в системах связи, радиолокации и радионавигации.....	9
<i>Муха Н.И.</i> О практической подготовке курсантов электромеханической и судомеханической специальностей на тренажерном комплексе "Электромеханика".....	11
<b>СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....</b>	<b>15</b>
<i>Гацуц А.Г.</i> Программирование нечёткого контроллера для реализации функций устройства регулирования температуры охлаждающей жидкости дизельной судовой энергетической установки контейнеровозного судна "Nedlloyd Drake".....	15
<i>Дудко С.А.</i> Математическое моделирование трехфазного коммутируемого конденсаторного блока судовых электроэнергетических установок.....	17
<i>Дранкова А.О., Михайков С.С., Миська А.Р.</i> Нейросетевые алгоритмы прогнозирования технического состояния судовых дизель-генераторов.....	20
<i>Кабанов И.И., Гвоздева И.М.</i> Исследование методик настройки ПИД - регуляторов в судовых системах с запаздыванием.....	23
<i>Муха Н.И., Павленко С.С., Бурлака Д.Н.</i> Управление пусковыми режимами мощных судовых электроприводов.....	25
<i>Сподаренко П.С., Зайцев В.О., Будашко В.В.</i> Модернизация лабораторного стенда для изучения частотного преобразователя со звеном постоянного тока.....	26
<i>Сухолита С.С., Захарченко В.М.</i> Исследование плавного пуска и частотного регулирования асинхронного двигателя подруливающего устройства.....	29
<i>Марцынковский А.В., Васильев В.Н.</i> Исследование энергетической эффективности гребной электрической установки с машиной двойного питания.....	31
<i>Прищепко Д.В., Живица В.И.</i> Системы мониторинга судовых холодильных установок.....	34
<i>Харченко Р.Ю.</i> Компьютерное моделирование системы кондиционирования и вентиляции судна с разными типами регуляторов.....	36
<i>Очеретный А.В., Глазева О.В.</i> Исследование процесса беспроводной передачи энергии с помощью резонансного трансформатора Тесла.....	38

<i>Соколов В.И., Луковцев В.С.</i> Исследование процессов работы судовых синхронных генераторов в асинхронном режиме.....	41
<i>Завадский В.А., Харченко В.Ю.</i> Методы адаптивного регулирования параметров в системах климат-контроля современных судов.....	43
<i>Бриг Н.Н., Петрушин В.С.</i> Замена нерегулируемого асинхронного электропривода центробежного насоса забортной воды на частотно-регулируемый.....	46

## **РАДИОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК.....47**

<i>Зеленіна К.А., Кошовий В.М.</i> Складені сигнали та розрахунок функції кореляції.....	47
<i>Кривопуст А.А., Кошевой В.М.</i> Исследование сигналов с нулевым уровнем боковых лепестков функции автокорреляции.....	49
<i>Лазаренко М.А., Кошевой В.М.</i> Прогнозирование и аналитическое определение максимально применимых частот.....	54
<i>Долженко Д.О., Кошевой В.М.</i> Об одном подходе к выбору сигналов для радиолокационных ответчиков.....	55
<i>Дранчук С.Н., Олейник М.А.</i> Синхронный метод измерения частоты с досчетом в конце периода для частотных датчиков судового оборудования .....	57
<i>Пашенко Е.Л., Кошевой В.М.</i> Исследование свойств взаимной функции неопределенности составных многофазных сигналов.....	59
<i>Папкевич О.А., Кошевой В.М.</i> Синтез бифазных сигналов.....	61
<i>Шшикин А.В., Ляшко А.А.</i> Применение OFDM модуляции для идентификации радиотелефонных передач в морской радиосвязи.....	63
<i>Безверхая А.В., Кошевой В.М.</i> Синтез фильтров, обеспечивающий нулевой уровень боковых лепестков, взаимной корреляционной функции периодических сигналов.....	67
<i>Кушниренко О.В., Кошевой В.М.</i> Синтез частотно-манипулированных сигналов.....	70
<i>Андрющенко Ю.В., Кошевой В.М.</i> Синтез составных многофазных сигналов.....	73

## ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

УДК 656.071.13

### О значении фундаментальных знаний в подготовке судовых электромехаников

Луковцев В.С., к.т.н., доцент  
Одесская национальная морская академия

Сейчас в Украине идет перестройка системы высшего образования, скоро будет принят новый Закон Украины о Высшем образовании, впервые согласованный с международными рамками квалификации. В нем предусматривается подготовка младшего специалиста, бакалавра и магистра, а также доктора философии (кандидат наук) и доктора наук (доктор), уровень специалиста будет ликвидирован. Основным специалистом, работающим в различных отраслях производства будет бакалавр, магистр будет готовиться для научно-педагогической деятельности,

Перестройка коснулась и морского образования. Наша академия участвует в подготовке концепции высшего морского образования, но, к сожалению, следует констатировать факт, что в Украине практически нет своего морского флота, и приходится полностью подстраиваться под международную систему требований к морскому образованию, которые изложены в Международной Конвенции и Кодексе по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты под названием ПДНВ-78/95.

Долгое время Конвенция и Кодекс ПДНВ-78/95 не учитывали важность судового электромеханика для БМС, и с потерей отечественного флота в середине 90-х годов возникла угроза закрытия электромеханического факультета в ОНМА. Но руководство нашей академии нашло мудрое решение и сделало возможным получение выпускниками электромеханической специальности второго рабочего диплома – диплома вахтенного механика. Благодаря этому наш факультет пережил трудные времена, и вот в июне прошлого года в Маниле наконец-то были приняты поправки к Кодексу ПДНВ, которыми судовой электроперсонал был признан конвенционным, и где впервые, были сформулированы требования к судовому электротехническому персоналу на двух уровнях - уровне эксплуатации *electro-technical officer* и вспомогательном уровне обслуживания *electro-technical rating*. К сожалению уровень управления пока не прошел. Наряду с положительными моментами этих событий появились и некоторые проблемы с реализацией этих требований. Предложенная ИМО-модель курса предусматривает минимальную подготовку, которая не соответствует уровню необходимых знаний для ЭМХ. Объем часов специальной подготовки ЭМХ всего 769 час, в то время как мы готовим своих выпускников по программе, где на специальные предметы от-

водится около 6000 часов. Этим воспользовались учебные заведения, которые готовят младших специалистов.

Они заявляют, что раз они выполнили ИМО - модель курса, то их специалист отвечает всем требованиям и имеет право на работу на всех судах без ограничений.

К сожалению, ПДНВ не учитывает многие вещи и мы, понимая, что уровень подготовки младшего специалиста недостаточен, с целью снижения влияния человеческого фактора на безопасность морского судоходства в своих национальных правилах пытались ограничить сферу компетенции младшего специалиста, но встретили мощное противодействие со стороны учебных заведений готовящих младших специалистов.

Поэтому, в ближайшем будущем у нас в свободное плавание уйдут и младший специалист, и бакалавр.

И вам будущим бакалаврам, а также специалистам и магистрам придется конкурировать на флоте с младшими специалистами, и вы должны будете доказать, что вы лучше.

Наши морские специалисты уже один раз завоевали этот рынок благодаря своей фундаментальной подготовке, но сегодня вам уже в новых условиях опять придется доказывать, что на судах нужны специалисты с глубокими теоретическими знаниями, иначе вас выдавят с рынка младшие специалисты, т.к. для судовладельцев они обходятся дешевле. Чем бакалавр отличается от младшего специалиста?

Младший специалист может эксплуатировать только один вид техники, на который его натаскали, с новой техникой ему приходится туго, наш выпускник с нею быстро осваивается, и здесь ему помогает именно его фундаментальная подготовка.

Младший специалист знает статику - сколько можно нагрузить генератор, двигатель, наш выпускник знает динамику, он знает, что произойдет, если на генератор или двигатель накинуть нагрузку, т.о. наш выпускник готов к любой неожиданности, потому что все аварии в основном происходят во время переходных процессов.

Некоторые курсанты старших курсов, после практики заявляют, что на флоте фундаментальная подготовка не нужна и что в академии их учат не тому, что надо на флоте. Зачем нам дают разработку систем, конструирование? Нам нужно знать только ПТЭ без всяких теорий надежности или массового обслуживания. Это неправильная точка зрения.

Опыт показывает, чтобы стать настоящим электромехаником необходимы глубокие теоретические знания, подкрепленные практикой, через разработку и конструирование лучше усваиваются принципы работы изучаемой техники. Поэтому в наших учебных планах широкий профиль электромеханической специальности удачно сочетается с фундаментальностью подготовки.

Опытом многих поколений доказано, что 50% знаний после ВУЗа через 5-6 лет устаревают. Это в основном прикладные знания, не устаревают только

фундаментальная подготовка, то, что именно и называется высшим образованием.

Половина всех знаний - это очень большие потери. Причем не только прямые. Наряду с тем, что целые области знаний становятся не нужными, появляются новые области знаний, о которых специалист в том виде как он выпустился из ВУЗа еще не знает.

Причина - в сегодняшнем ритме времени, такова скорость прогресса.

Как противостоять этому?

Только с помощью старой доброй уже проверенной стратегии подготовки специалиста, которая заключается в следующем – **максимум общих фундаментальных знаний за счет сокращения конкретных знаний**. В советское время нас так и готовили. Сейчас этому следуют Вузы, которые еще к счастью не переняли западную систему (где очень узкая специализация).

В свое время на морском флоте эту стратегию сначала восприняли скептически. Это хорошо было видно, когда на флот пришли первые специалисты с высшим образованием. Когда выпускники ВИМУ начинали свою практическую деятельность к ним были некоторые и даже серьезные претензии: что это за специалист, который не умеет работать руками.

Но отсутствие практических навыков – дело наживное, специалист с фундаментальной подготовкой ко всему подходит по научному и он быстро осваивает то, чего ему полагается делать на рабочем месте. Его преимущества особенно видны, когда приходится менять направление деятельности, с осваивать незнакомую технику, принимать решения в нестандартных ситуациях.

Конкретным вещам можно научить, их можно запомнить, найти в справочнике. Фундаментальные законы и понятия недостаточно выучить и запомнить, их нужно глубоко понять, прочувствовать и переварить.

Овладевая фундаментальными знаниями, специалист поднимается на новую более высокую ступень понимания предмета, потому что он начинает мыслить другими категориями.

Фундаментальные знания – это основательные и глубокие знания, которые получают систематически, системно. Да, на флоте специалист должен решать конкретные задачи, но если специалист не имеет фундаментальной подготовки он сможет решать только типовые задачи, мы же учим вас находить решения в нестандартных ситуациях, в условиях недостатка информации и неопределенности, и вот здесь проявляется умение специалиста с высшим образованием получать с помощью фундаментальных знаний – конкретные знания.

Благодаря фундаментальной подготовке комсостава, влияние человеческого фактора на аварийность судов Минморфлота СССР по многолетним данным была существенно ниже мировой. Если вероятность возникновения аварийной ситуации на судах мирового флота составляла около 20% (т.е. каждое пятое судно в течение года было вовлечено в тот или иной вид ава-

рии), то для Минморфлота СССР эта цифра была на порядок ниже, около 4% (т.е. только каждое двадцать пятое судно).

Сегодня же, к сожалению, идет неуклонный рост аварийности мирового флота, за 10 последних лет аварийность практически удвоилась.

Чтобы получить и закрепить фундаментальные знания нужно заниматься наукой. На наших специальных кафедрах такая работа ведется, работает КНТО, желательно, чтобы как можно больше курсантов в ней принимали участие, потому что только через научные исследования, через лабораторные работы и курсовые проекты вы постигаете фундаментальность своих знаний.

И для специалиста с высшим образованием нет нужды изучать все современные системы, ему достаточно изучить и разработать для практики одну. Ведь главная задача нашего учебного процесса не научить выпускника чистить контакты, а научить учиться, чтобы наши выпускники овладели методом познания, изучили общие принципы построения современных систем, потому что, придя на судно, им придется работать в условиях отсутствия нужной документации, потому что большинство судовых технических разработок – это секреты фирм, которые сообщают только рекламную информацию. Вот тогда нашим выпускникам и пригодятся методы составления граф-схем-алгоритмов, переключательных и передаточных функций, чтобы самим разобраться, как работает то, или иное устройство.

УДК 378:656.61(410)

**Одесское отделение института морской техники,  
науки и технологии (IMarEST) Великобритании**

Ланчуковский В.И., к.т.н., профессор  
Одесская национальная морская академия

Одесское отделение IMarEST, организованное на базе ОНМА в 1998 году, представляет в Украине международную ассоциацию морских инженеров, которая была создана в Лондоне в 1889 г., чтобы всемерно содействовать профессиональному росту и научному развитию специалистов в области морской индустрии.

IMarEST объединяет около 15 000 членов в 50 отделениях более чем 100 стран мира. В Украине членами института являются около 200 судовых механиков, профессоров, преподавателей, студентов и в том числе более 50 курсантов нашей академии, которые получают ежемесячно бюллетень, 8 научно-технических журналов и трудов института, бесплатно пользуются литературой «Английского клуба», участвуют в работе конференций, семинаров и совещаний в Украине, Великобритании и других странах.

7 лучших курсантов академии, членов IMarEST, награждены грантами института в размере 1000 ф.ст., 2 аспиранта получают ежегодные гранты по

2000 ф.ст. За этот период Одесское отделение организовало и профинансировало более 20 научных конференций и семинаров в Одессе, Николаеве и Севастополе.

Для вступления в институт рекомендуемые должны заполнить анкету, и уплатить, членский взнос. Институт имеет 5 категорий членства. ГЭК, Советы факультетов и члены института могут рекомендовать достойных выпускников и курсантов в члены IMarEST по аккредитованным специальностям: судомеханического, автоматики, электромеханического и радиоэлектроники факультетов.

Члены IMarEST имеют право указывать в личных документах и визитных карточках свой уровень членства, что в деловом мире играет важную роль. Они могут получить соответствующие сертификаты, оформленные Штаб-квартирой института в Лондоне за подписью Президента и Одесской национальной академией за подписью Ректора.

Кроме того, при вступлении в IMarEST можно оформить регистрацию в Инженерном Совете Великобритании для последующего получения квалификационных сертификатов выпускников английских университетов и колледжей :

- Chartered Engineer, Scientist, Technologist,
- Incorporated Engineer
- Engineering Technician

Комитет Одесского Отделения IMarEST приглашает курсантов инженерных факультетов академии вступать в члены лондонского института морской техники, науки и технологии.

УДК 621.396.967:629.5.052.3+621.396.932

### **Вопросы выбора сигналов и методы их обработки в системах связи, радиолокации и радионавигации**

Кошевой В. М., д.т.н., профессор  
Одесская национальная морская академия

Бурное развитие радиоэлектроники приводит к появлению все новых и новых радиоэлектронных средств связи и навигации на морском флоте. Если сравнительно недавно появились такие системы, как средства автоматической радиолокационной прокладки (САРП), глобальная морская система связи при бедствии (ГМССБ), спутниковые навигационные системы (ГНСС), то уже сегодня появились такие системы как автоматическая идентификационная система (АИС), электронная картография, системы дальней идентификации (LRIT), системы судового охранного оповещения (SSAS) и др. Кроме этого, совершенствуются отдельные составляющие ГМССБ, в частности спутниковые системы связи, включая запущенные спутники 4-го поко-

ления и соответствующую систему связи INMARSAT BGAN, позволяющая использовать сеть Интернет в режиме реального времени.

Все это приводит к тому, что современные радиоспециалисты морского флота должны быть специалистами широкого профиля и обладать знаниями во всех перечисленных областях.

С учетом того, что очень быстро изменяется элементная база и интерфейсы соответствующих приборов, курсантам-радиоэлектроникам необходимо иметь глубокие фундаментальные знания о принципах построения радиоэлектронных средств, которые изменяются гораздо в меньшей степени, чем элементная база.

Особенность подготовки радиоспециалистов факультета электромеханики и радиоэлектроники ОНМА заключается в том, что они, в отличие от студентов других ВУЗов должны обладать знаниями в области наземных и спутниковых видов связи, радиолокации, радионавигации, а также владеть регламентом радиосвязи. И для того, чтобы владеть этими знаниями, необходимо иметь фундаментальные знания, которые играют важную роль в подготовке.

Появление ГМССБ привело к частичной автоматизации радиосвязи, что повлекло за собой замену функций радиоэлектроника на судне дублированием радиоаппаратуры и береговым обслуживанием. Однако значительный рост различных видов радиоэлектронного оборудования на судне в современных условиях приводит к проблемам в техническом обслуживании, которые не могут быть разрешены только дублированием и береговым обслуживанием. Все чаще и чаще случаются ситуации, когда требуется наладить оборудование в море. В результате многие судовладельцы возвращают радиоспециалистов на суда либо стараются привлечь дополнительные силы для решения задач по обслуживанию радиооборудования. Так Манильские поправки, определяющие новые требования к судовым специалистам, делегируют часть функций по эксплуатации и ремонту радиооборудования электромеханикам.

В связи с этим кафедра морской радиосвязи совместно с радиоспециалистами будет заниматься подготовкой электромехаников. Для обеспечения надлежащего ее уровня кафедрой производится закупка нового оборудования, необходимого для обучения электромехаников вопросам технического обслуживания радиоэлектронного оборудования на мостике.

Возвращаясь к основной теме доклада, связанной с выбором сигналов, следует отметить, что эффективная работа любого радиоэлектронного средства возможна только при соответствующем выборе сигналов, благодаря чему происходит обмен информацией между различными средствами связи, навигации и радиолокации.

В результате основная тематика докладов, представленных магистрами и специалистами, посвящена вопросам выбора сигналов, важное место среди которых занимают непрерывные периодические сигналы, позволяющие уменьшить мощность излучения, повысить экологическую безопасность и

электромагнитную совместимость. При этом возникает задача повышения разрешающей способности за счет выбора закона модуляции сигнала и методов его обработки. В этом направлении рассматриваются также вопросы разработки непрерывных сигналов, обеспечивающих совместную работу радиолокационных станций и существующих радиолокационных ответчиков. Предлагаемые сигналы, в частности бифазные, многофазные, многочастотные, амплитудно-манипулированные, при соответствующей согласованной или рассогласованной обработке обеспечивают эффективную работу средств связи, радиолокации и радионавигации, что очень важно для повышения безопасности мореплавания в современных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. — М.: Радио и связь, 1985. — 384 с.
2. V. M. Koshevyu, D. O. Dolzhenko. The Synthesis of Periodic Sequences with Given Correlation Properties // Proc. of IEEE East–West Design & Test Symposium (EWDTS'11), Sevastopol, Ukraine, September 9–12, 2011. – P. 341 – 344.

УДК 621.3:371.694

### **О практической подготовке курсантов электромеханической и судомеханической специальностей на тренажерном комплексе «Электромеханика»**

Муха Н.И., к.т.н., доцент  
Одесская национальная морская академия

Новая Конвенция ПДНВ с манильскими поправками 2010 года внесла существенные изменения и дополнения в стандарты компетентности для судовых механиков по функции «Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления», а также впервые приняла стандарт компетентности для судовых электромехаников (электротехнических офицеров). Это потребует разработки и освоения новых программ как теоретической, так и практической подготовки.

Согласно принятой новой редакции Конвенции длительность практической подготовки для получения первых рабочих документов судовых механиков и электромехаников должна быть не менее 12 месяцев, из которых не менее 6 месяцев должны быть на судне. В связи с этим усиливается актуальность практической подготовки, которая должна проводиться в одобренных и сертифицированных лабораторных и тренажерных комплексах морских учебных заведений, учебно-тренажерных центров[1].

С целью соответствия подготовки судовых инженеров требованиям Конвенции ПДНВ с манильскими поправками 2010 (разделы А – III/1, А – III/2, А – III/3, А – III/6) на кафедре СЭМ и ЭТ при поддержке мировых производителей электротехнической продукции, таких как Schneider Electric, Mitsubishi Electric, SELCO, отечественной электротехнической компании КСИМЕКС и Одесского морского тренажерного центра создается тренажерный комплекс «Электромеханика», состоящий из тренажера судовой автоматизированной электроэнергетической системы и тренажера микроконтроллерного управления судовыми электромеханическими системами.

Высокий уровень развития микроконтроллерных технологий управления и коммуникационных средств связи позволил перейти от автоматизации отдельных устройств и механизмов к созданию устройств автоматики с программным управлением, обеспечивающих автоматический режим работы как автономно, так и в составе интегрированных систем управления, решающих сложные функциональные задачи контроля и управления[2].

Создание специализированных, реально функционирующих и максимально приближенных к судовой конфигурации тренажеров на основе управляющих микроконтроллеров, позволит решить очень важные проблемы подготовки будущих инженеров современным технологиям управления.

Современный тренажерный комплекс должен содержать реальное судовое электротехническое оборудование и современные средства управления: программируемые микроконтроллеры, внутренние и внешние периферийные устройства, компьютерный интерфейс оператора, локальные объекты управления, например, электроприводы отдельных судовых (производственных) механизмов и ряд дополнительных, не менее важных устройств – измерительных приборов и систем отображения информации на базе компьютеров.

На базе двух дизель-генераторных установок GMS 10PX мощностью 10 кВт фирмы Power Link, микроконтроллерных систем управления C6200, D1000 и M2500 фирмы SELCO, коммутационного и распределительного оборудования фирмы Schneider Electric (включая высоковольтное оборудование) разработан тренажер судовой автоматизированной электроэнергетической системы (рис.1).

На базе программируемых логических контроллеров FX3U и серии Q фирмы Mitsubishi Electric, частотных преобразователей FR – A740, FR – A540, Altivar 71 фирмы Schneider Electric и другого электроприводческого оборудования разработан тренажер «Микроконтроллерное управление судовыми электромеханическими системами» (рис.2).

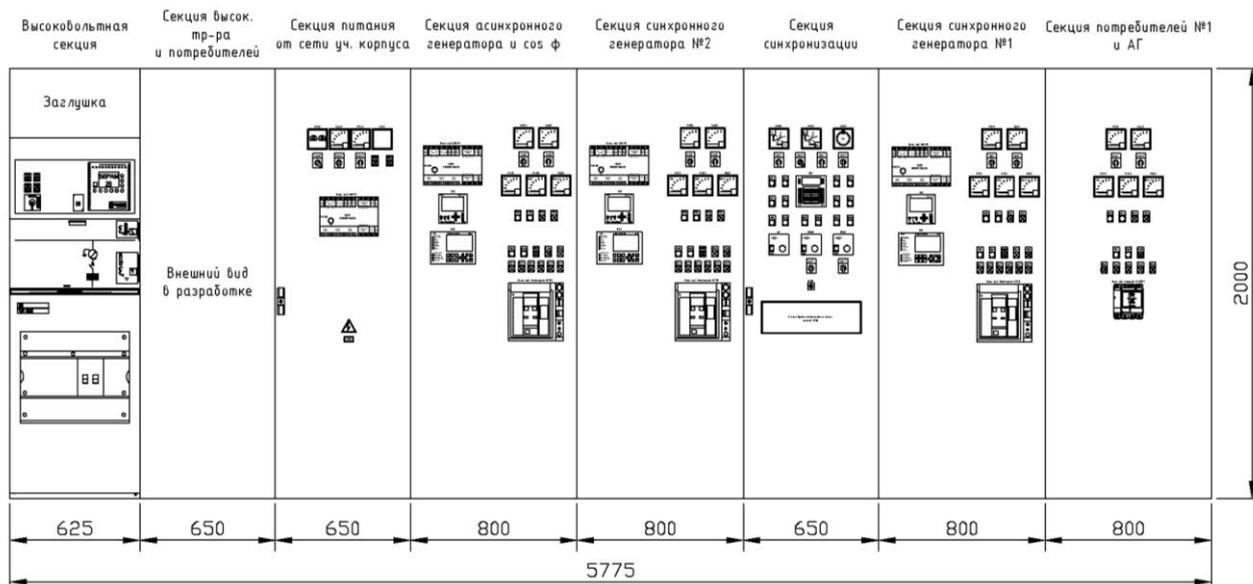


Рис.1 Общий вид ГРЩ

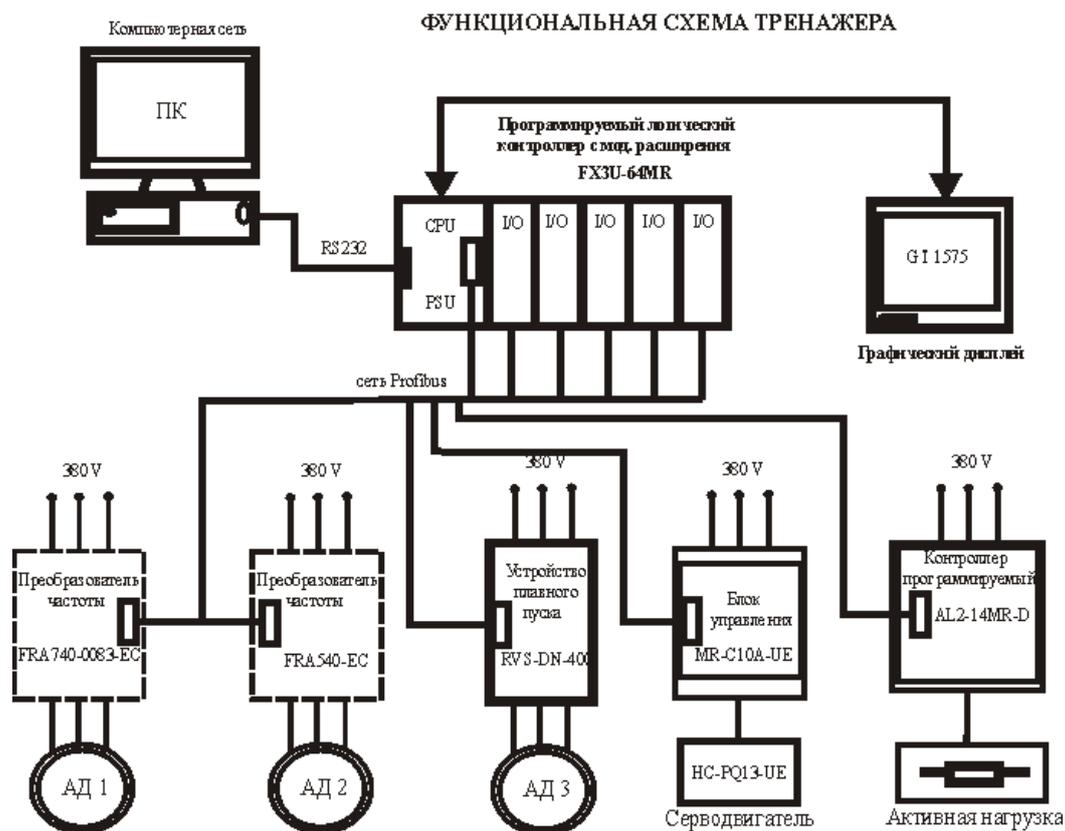


Рис.2. Функциональная схема тренажера микроконтроллерного управление судовыми электромеханическими системами

Оба тренажера предназначены для обучения курсантов и студентов морских учебных заведений, а также подготовки судовых специалистов (механиков и электромехаников) по несению вахты и обслуживанию современ-

ных интегрированных систем автоматического управления. Тренажеры обеспечивают подготовку по мониторингу, контролю и управлению генераторными агрегатами в ручном, автоматизированном и автоматическом режимах работы электростанции, контролю и управлению электромеханическими системами, а также решению задач параметрирования, визуализации и т.п. Кроме комбинаций режимов мониторинга, контроля и управления в тренажерах предусмотрена возможность имитации различных неисправностей, что позволяет сконцентрировать внимание обучаемого на работе системы автоматического управления в аварийных ситуациях и отработать действия вахтенного в условиях поиска, локализации и устранения неисправностей оборудования.

Для дистанционного управления и контроля тренажерами электростанции и микроконтроллерного управления электромеханическими системами используется программное обеспечение M-Vision (SCADA), посредством которого, можно управлять как электростанцией, так и отдельными электромеханическими объектами в автоматизированном или автоматическом режимах работы, проследить за рабочими параметрами объектов управления с любого рабочего места. Компьютеры будут объединены в сеть (15 рабочих мест), что дает возможность передачи управления тренажером в целом, или его локальным объектом любому обучаемому. M-Vision включает в себя следующие возможности:

- Набор динамических мнемосхем и параметров тренажера;
- Список аварий и событий в системе;
- Тенденции - графические зависимости контролируемых параметров от времени;
- Ведение баз данных аварий и параметров объекта в Microsoft access;
- Отчеты о работе объектов управления - формирование запроса в базы данных;
- Контроль подключения устройств к системе управления и мониторинга;
- Вывод информации для удаленного анализа и на печать.

Будущий судовой инженер, изучив реально функционирующее, достаточно сложное оборудование, получает очень мощный аппарат, позволяющий эффективно реализовывать требуемые функции управления, технической эксплуатации и т.п. Весьма важной является возможность решать с помощью тренажерных комплексов задачи не только активного и пассивного мониторинга различного судового оборудования, но и задачи диагностики, параметризации, что очень важно для современного инженера. Это, несомненно, повысит безопасность эксплуатации оборудования, а также позволит оперативно решать конкретные инженерные задачи.

Программа тренажерной подготовки полностью охватывает минимальные компетенции, знания, понимания и профессионализм, указанные в разделе А-III/6 Международной Конвенции STCW 2010 для судовых электромехаников и разделов А-III/1, А-III/2, А-III/3 – для судовых механиков.

Время обучения в подобных специализированных, реально функционирующих и максимально приближенных к судовой конфигурации тренажерных комплексах может быть зачтено в общем 12-ти месячном цензе практической подготовки. Это тем более важно, если иметь в виду, что в судовых условиях не всегда есть возможность имитации всевозможных аварийных ситуаций и режимов.

Указанные тренажеры спроектированы и для решения научно-исследовательских задач по следующим основным научным направлениям:

1. Энергосбережение средствами судового автоматизированного электропривода.
2. Интеллектуальные системы управления судовыми автоматизированными комплексами.
3. Компьютерные технологии управления и мониторинга судовых энергетических установок.
4. Проблемы компенсации реактивной энергии судовой электроэнергетической установки.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. International Convention on standards of training, certification and watchkeeping for seafarers, 1978 (STCW 1978), - London: ИМО, 2011. – 296 p.
2. Муха Н.И., Дранкова А.О., Волошин В.Н., Миська А.Р., Дудко С.А. Тренажер судовой автоматизированной электроэнергетической системы. Авиационно-космическая техника и технология: Научно-технический журнал. – Харьков: ХАИ. – 2011. - № 9(86). – С.207 – 211.

## **СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

УДК 681.518.54

### **Программирование нечёткого контроллера для реализации функций устройства регулирования температуры охлаждающей жидкости дизельной судовой энергетической установки контейнеровозного судна “Nedlloyd Drake”**

Гацуц А.Г., ассистент  
Одесская национальная морская академия

Бортовая система регулирования температуры охлаждающей жидкости судовой дизельной энергетической установки (СДЭУ) контейнеровозного судна “Nedlloyd Drake” осуществляет регулирование контролируемой величины по принципу отклонения. Опыт эксплуатации показал, что системы,

управление в которых организовано по такому принципу, не способны работать эффективно, в связи с большой инерционностью процессов протекающих в системах охлаждения СДЭУ. Как результат, повышенный износ дизельных двигателей в переходных режимах, из-за нарушения их температурного режима. Перспективной, в виду выше сказанного, является задача реализации устройства регулирования температуры охлаждающей жидкости по комбинированному принципу управления [1]. Так как возмущающим параметром в системах охлаждения СДЭУ является количество теплоты, отбираемое металлическими поверхностями двигателя, то сразу стоит отметить, что существует одна основная проблема, связанная с реализацией данного способа управления – это физическая невозможность создания контура по возмущающему параметру.

Для преодоления описанной выше проблемы предлагается применять нечёткий контроллер, который будет осуществлять процесс регулирования температуры охлаждающей жидкости. Выбор нечёткого контроллера объясняется тем, что для введения контура возмущения в процесс управления необходимо возмущающую величину измерять косвенно, а значит, контроллер должен быть «обучен» этому. Для обучения контроллера необходимо создать адекватную математическую модель, которая будет описывать с достаточной точностью контролируемый процесс теплопередачи. Создание такой модели является отдельной сложной задачей [2,3]. Однако наличие базы параметров работы всей системы охлаждения судна “Nedlloyd Drake” даёт возможность осуществить программирование нечёткого контроллера и без применения математической модели. На рис. 1 приведена площадь, представляющая собой объёмное изображение зависимостей выходной величины от входных переменных. Данные зависимости были получены для нечёткого контроллера, обученного на основании упомянутой ранее базы параметров.

Возможность применить контроллер, способный производить косвенные измерения, решит основную проблему, связанную с поддержанием оптимального температурного режима СДЭУ.

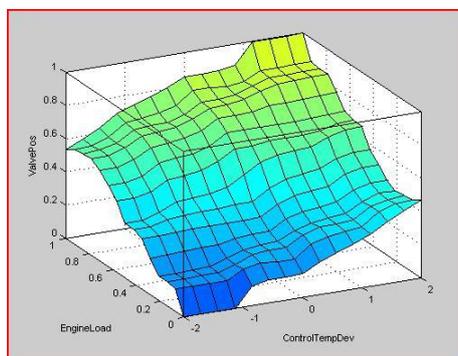


Рис.1. Объёмное представление функций зависимости выходной величины нечёткого контроллера от входных переменных: EngineLoad – входной сигнал «положение топливной рейки СДЭУ» в %; ControlTempDev – входной сигнал «отклонение контролируемой температуры» в %; ValvePos – выходной сигнал «положение перепускного клапана системы охлаждения» в %.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Гацуц А.Г., Дранкова А.О. Повышение эффективности работы судовых энергетических установок путем обеспечения оптимального температурного режима. Научное издание. – Кременчуг: КНУ, 2011. – Вып.1/2011(1). - с.132-133
2. Горб С.И. Моделирование судовых дизельных установок и систем управления. – М.: Транспорт, 1993. – 134 с.
3. Радченко А.П., Бендахман Букхалфа, Буда Рашид. Стохастическая модель теплонапряженности судового дизель-генератора. - Судовые энергетические установки.: Науч.тех.сб. – Одесса, ОГМА, 2000 – Вып№5. – с.94-98;
4. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Влияние методов дефазификации на скорость настройки нечеткой модели // Кибернетика и системный анализ. - 2002. - №5. - С.169-176.

УДК 629.5.064: 621.319.44+519.876.5

### Математическое моделирование трехфазного коммутируемого конденсаторного блока судовых электроэнергетических установок

Дудко С.А., ассистент

Одесская национальная морская академия

Моделирование трехфазного тиристорно-конденсаторного блока, состоящего из нескольких коммутируемых секций, требует отдельного описания связи токов и напряжений в каждой фазе отдельно [1]. Это как минимум в три раза увеличивает количество уравнений модели конденсаторного устройства. Кроме того, должны быть записаны условия отключения и подключения конденсаторов: равенство нулю тока при запираии тиристора и равенство напряжений сети и конденсатора при отпирании. Эквивалентная схема одной фазы четырехразрядного тиристорно-конденсаторного блока приведена на рис. 1.

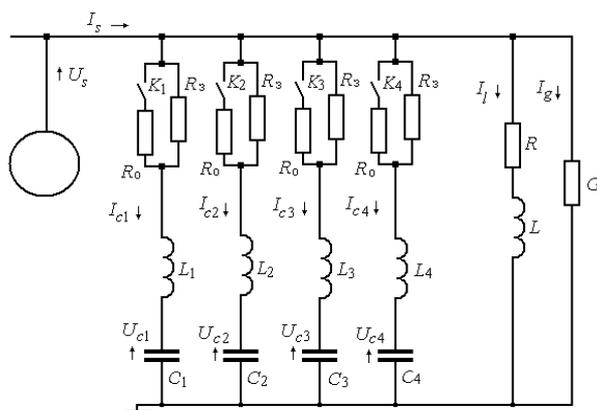


Рис.1. Эквивалентная схема одной фазы четырехразрядного тиристорно-конденсаторного блока

Симметричный тиристорный ключ представим двумя параллельно включенными резисторами с сопротивлением  $R_0$  открытого состояния и  $R_3$  закрытого состояния. При разомкнутом ключе  $K_i$  сопротивление ключа будет равно  $R_3$ , а при замкнутом -  $\frac{R_0 R_3}{R_0 + R_3} \approx R_0$ , т.к.  $R_3 \gg R_0$ . Такое представление тиристорного ключа в математической модели позволяет записать одинаковые уравнения при замкнутом и при разомкнутом состоянии, считая сопротивление ключа равным  $R_k$ . В открытом состоянии  $R_k = R_0$ , в закрытом -  $R_k = R_3$ . Изменением сопротивления ключа  $R_k$  программным способом моделируется коммутация тиристорного ключа. Каждый тиристорный ключ  $K_i$  коммутирует конденсатор  $C_i$  одной из секций через предохранительный дроссель  $L_i$ . Активно-индуктивная нагрузка генератора моделируется последовательным соединением активной проводимости  $G$  и  $RL$  цепи. В математической модели статорные цепи описываются для каждой фазы отдельно.

Уравнения в форме Коши, связывающие напряжения и токи в эквивалентной схеме на рис. 1, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 U_s &= (I_s - I_l - I_{c1} - I_{c2} - I_{c3} - I_{c4}) / G; \\
 \frac{dI_l}{dt} &= (U_s - I_l R) / L; \\
 \frac{dI_{c1}}{dt} &= (U_s - I_{c1} R_{k1} - U_{c1}) / L_1; & \frac{dU_{c1}}{dt} &= I_{c1} / C_1; \\
 \frac{dI_{c2}}{dt} &= (U_s - I_{c2} R_{k2} - U_{c2}) / L_2; & \frac{dU_{c2}}{dt} &= I_{c2} / C_2; \\
 \frac{dI_{c3}}{dt} &= (U_s - I_{c3} R_{k3} - U_{c3}) / L_3; & \frac{dU_{c3}}{dt} &= I_{c3} / C_3; \\
 \frac{dI_{c4}}{dt} &= (U_s - I_{c4} R_{k4} - U_{c4}) / L_4; & \frac{dU_{c4}}{dt} &= I_{c4} / C_4.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Уравнения статорной нагрузки и компенсирующих конденсаторных секций одной фазы генератора описываются системой дифференциальных уравнений девятого порядка. Для трех фаз порядок уравнений составляет 27. Такое количество дополнительных дифференциальных уравнений, описывающих каждую цепь конденсаторов в каждой фазе, существенно увеличивает порядок математической модели электроустановки. Вместе с уравнением дизельного привода, синхронного бесконтактного генератора, регулятора напряжения и частоты вращения и фильтров измеряемых параметров порядок системы составляет 38. Если конденсаторную батарею моделировать без учета включения в каждой фазе, то порядок системы имеет 15 порядок. Уве-

личение порядка системы уравнений существенно увеличивает время расчета переходного процесса.

Учет особенностей работы тиристорных ключей при включении и выключении моделируется при помощи логических функций. Тиристор закрывается при снятии сигнала управления после уменьшения тока до величины, меньшей тока удержания тиристора. Тиристор закрывается при переходе тока коммутируемого конденсатора через ноль. Ток через тиристор вычисляется на каждом шаге интегрирования и момент изменения знака тока может быть определен, когда произведение токов конденсатора на текущем шаге  $I_{ci}(t)$  и на предыдущем шаге расчета  $I_{ci}(t-T_p)$ , т.е.  $I_{ci}(t-T_p) \cdot I_{ci}(t) < 0$ .

Безударное отпирание тиристора, коммутирующего конденсатор возможно, если напряжение на тиристоре будет равно нулю. Если закрытый тиристор моделировать резистором с большим сопротивлением  $R_3$ , то равенство напряжений на аноде и катоде тиристора будет при равенстве нулю тока через резистор  $R_3$ . В момент равенства нулю напряжения на тиристоре ток через резистор  $R_3$  также будет изменять знак. Таким образом, условие изменения состояния коммутирующего тиристора может определяться общим условием  $I_{ci}(t-T_p) \cdot I_{ci}(t) < 0$ .

Логическое условие изменения сопротивления тиристорного ключа  $R_k$  будет иметь вид:

$$\text{If } I_{ci}(t-T_p) \cdot I_{ci}(t) < 0 \text{ and } I_{ci}(t) < 0 \text{ then } R_k = R_0 \text{ or } R_k = R_3.$$

Выбор значения сопротивления ключа  $R_k = R_0$  или  $R_k = R_3$  определяется управляющим устройством.

Условие  $I_{ci}(t) < 0$  позволяет тактировать изменение ёмкости конденсаторов один раз за период генерированного напряжения. Синхронизация управления при моделировании определяется переходом фазного напряжения через ноль:  $\text{If } U_a(t-T_p) \cdot U_a(t) < 0 \text{ and } U_a(t) > 0 \text{ then } C_k = f(\Delta U, P_q)$ .

Расчитанные процессы изменения токов  $I_{ci}(t)$  и напряжений  $U_{ci}(t)$  в каждой секции конденсаторов одной фазы приведены на рис. 2.

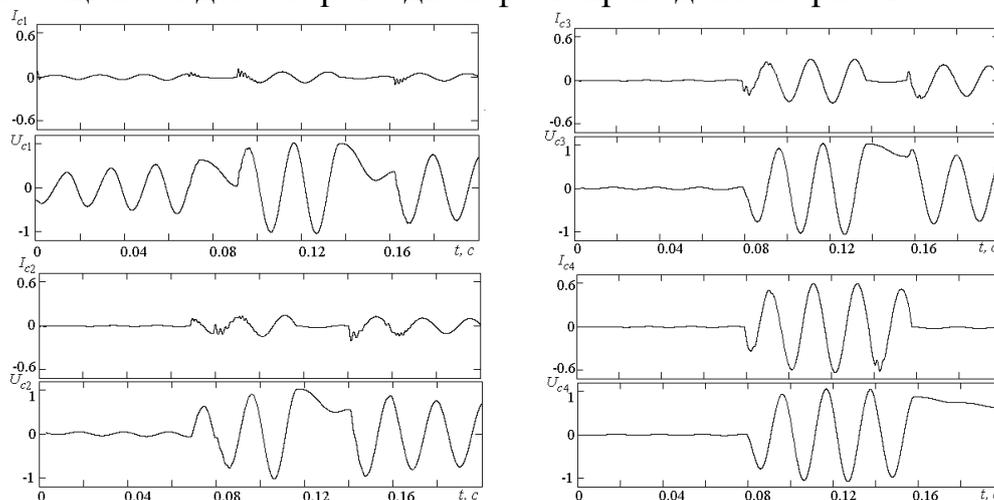


Рис.2. Процессы в одной фазе четырехразрядного конденсаторного блока

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Вишнеvский Л.В., Муха Н.И., Дудко С.А. Управление судовыми конденсаторными установками компенсации реактивной энергии / Л.В. Вишнеvский, Н.И. Муха, С.А. Дудко// Электротехнические и компьютерные системы. Тематический выпуск. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Научно-технический журнал - Київ: Видавництво «Техніка».- 2011. - № 3(79). - С. 330-333.

УДК 681.5.: 629.5.064

### **Нейросетевые алгоритмы прогнозирования технического состояния судовых дизель-генераторов**

Дранкова А.О., к.т.н., доцент

Михайков С.С., магистр

Миська А.Р., аспирант

Одесская национальная морская академия

По оценкам исследователей и разработчиков современных систем контроля и управления сложными объектами, а именно таковыми являются судовые дизель-генераторы (СДГ), число различных методов, приемов и методик прогнозирования технического состояния в настоящее время превысило 150. Однако число базовых методов, повторяющихся в различных вариациях в других методах, не превышает десятка. Специфика исходной информации и объекта прогнозирования требует выбора адекватного метода прогнозирования [1].

В данной работе рассматриваются нейросетевые алгоритмы прогнозирования основных режимных параметров вспомогательных энергетических установок. Процедура прогнозирования режимных параметров является составной частью статистического подхода к изучению рабочих процессов СДГ. В литературных источниках показана принципиальная возможность стохастического моделирования рабочих процессов судовых дизелей в силу стационарности, эргодичности и нормальности закона распределения основных режимных параметров СДГ, измеряемых в эксплуатации [2, 3].

В качестве исследуемых режимных параметров, определяющих техническое состояние дизель-генераторов типа *MAN-B&W Hyundai 6L28/32H* [4], выбраны следующие 16 параметров: температура выхлопных газов в цилиндре; температура на выходе высокотемпературного контура охлаждения пресной водой; температура на входе высокотемпературного контура охлаждения пресной водой; температура тяжелого топлива на входе в форсунку; давление тяжелого топлива на входе в форсунку; температура смазочного масла; давление смазочного масла; температура на выходе из турбокомпрессора; температура на входе турбокомпрессора; ток генератора; напряжение на шинах генератора; активная мощность генератора; реактивная мощность

генератора; частота генератора; коэффициент мощности; часы работы генератора.

Для решения задачи прогнозирования режимных параметров СДГ в рамках данной работы был построен многослойный перцептрон (рис. 1) с прямыми связями и одним скрытым слоем, поддерживающий алгоритм прямого распространения сигнала, и обратного распространения ошибки [5].

Функциями активации нейронов скрытого и выходного слоев выбрана логистическая сигмоидальная функция (logsig).

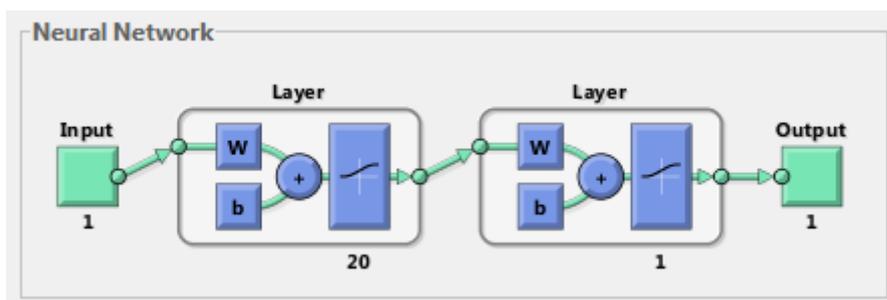


Рис. 1. Архитектура многослойного перцептрона

Обучение перцептрона проводилось при помощи алгоритма градиентного спуска (traingd) и алгоритма Левенберга-Марквардта (trainlm) (рис. 2). Качество обучения оценивалось по критерию средней квадратичной ошибки и по комбинированному критерию качества.

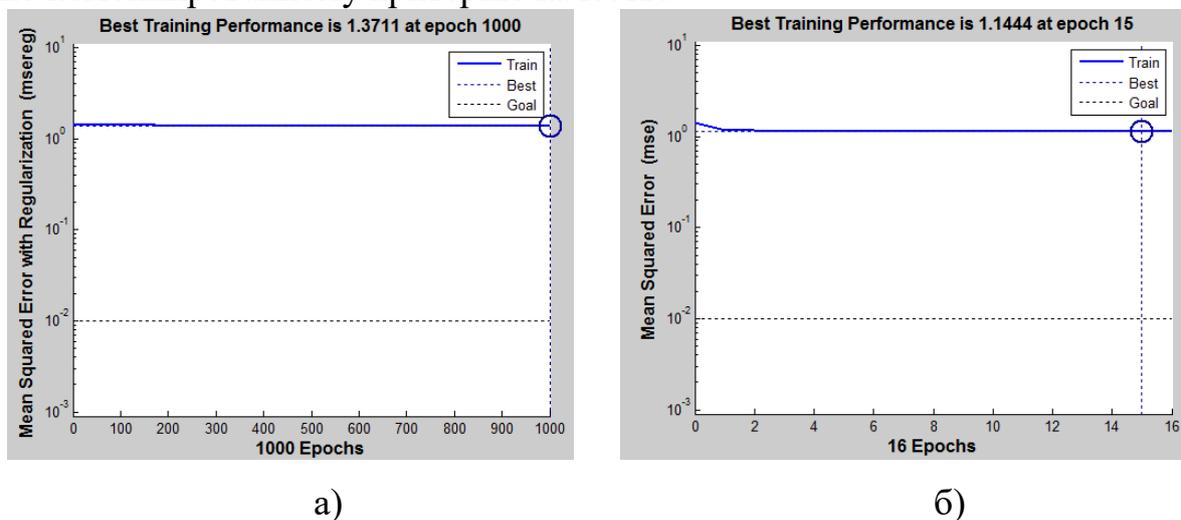


Рис. 2. Графики обучения многослойного перцептрона: а) - обучение по алгоритму градиентного спуска (traingd), б) – обучение по алгоритму Левенберга-Марквардта (trainlm)

Моделирование показало, что оба алгоритма обеспечивают стабильное снижение заданной ошибки прогнозирования, но последний алгоритм является более быстроедействующим.

Количество нейронов скрытого слоя подбиралось экспериментально и зависело от размерности входного вектора и степени нелинейности различных параметров СДГ.

Перед построением прогноза исследуемый режимный параметр аппроксимировался на заданную размерность входного вектора. На рис. 3 показан результат аппроксимации температуры выхлопных газов в цилиндре дизель-генератора.

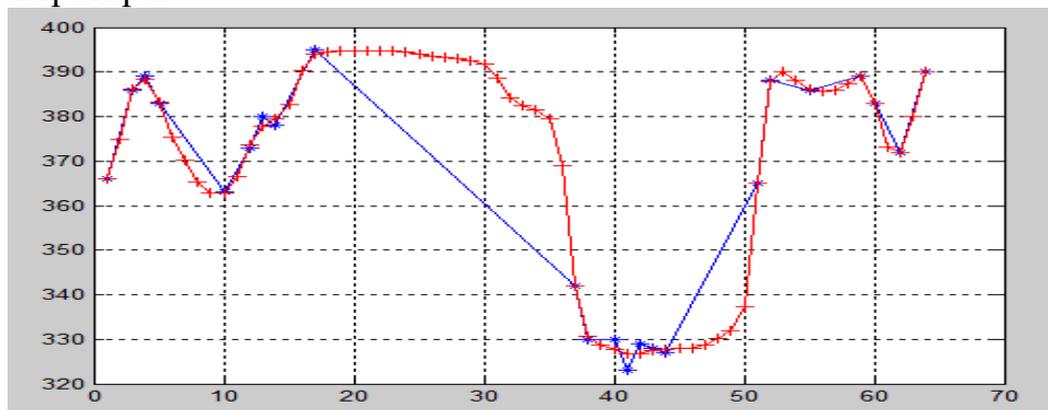


Рис. 3. Результат аппроксимации температуры выхлопных газов

В качестве примера на рис. 4 показан результат прогноза на 20 отсчетов температуры выхлопных газов в том же цилиндре дизель-генератора.

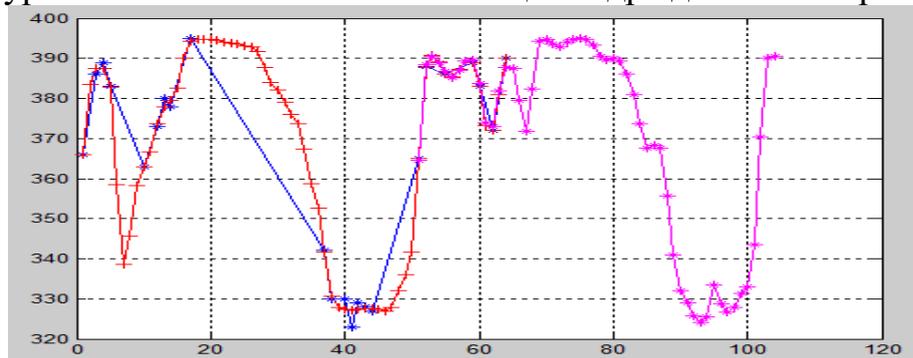


Рис. 4. Нейросетевой прогноз температуры выхлопных газов

Техническая реализация нейросетевого алгоритма прогнозирования режимных параметров СДГ может быть выполнена на специализированном микроконтроллере M2500 ENGINE CONTROLLER фирмы SELCO [6].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем – СПб.: Наука и Техника, 2003. – 384 с.
2. Денисов В.Г. Методы и средства технического диагностирования судовых энергетических установок: Монография. – Одесса: Фенікс, 2008. – 304 с.
3. Статистический метод расчета эталонов в задачах диагностики / Л.Г. Соболев, В.А. Залитис, И.В. Комаров, А.А. Финогенов // Двигателестроение. – 1984. – №4. – С. 27-29.

4. Миська А.Р., Дранкова А.О., Глазева О.В. Диагностика технического состояния судовых дизель-генераторов во время эксплуатации // *Електро-механічні і енергозберігаючі системи: Щоквартальний науково-виробничий журнал*. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 3 / 2011 (15). – С. 144 – 148.
5. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
6. SELCO A/S M2500 Installation manual. Revision: 12-08-2010.

УДК 629.12-843.6

### **Исследование методики настройки ПИД-регуляторов в судовых системах с запаздыванием**

Гвоздева И.М., д.т.н.

Кабанов И.И., магистр

Одесская национальная морская академия

В настоящее время на судах мирового флота наблюдается тенденция вытеснения аналоговых систем управления цифровыми. Объясняется это широкими возможностями по реализации достаточно сложных алгоритмов управления процессами в судовых системах, что, в свою очередь, гарантирует обеспечение требуемой точности, запасов устойчивости и заданных параметров качества. Успешное решение задач автоматического управления в современных судовых системах осуществляется за счет применения в их составе ПИД-регуляторов. После появления дешевых микропроцессоров и аналого-цифровых преобразователей в ПИД-регуляторах используется автоматическая настройка параметров, адаптивные алгоритмы, методы нечеткой логики, генетические алгоритмы и т.д. Усложнились структуры регуляторов: появились регуляторы с двумя степенями свободы, с применением принципов разомкнутого управления в сочетании с обратной связью, со встроеной моделью процесса [1].

Несмотря на большое количество публикаций [1,2], посвященных вопросам применения и настройки ПИД-регуляторов, остается еще много нерешенных проблем, связанных с управлением нелинейными объектами и объектами с транспортной задержкой [3]. Проблемы усложняются тем, что в современных судовых системах динамика процессов часто неизвестна, регулируемые процессы нельзя считать независимыми, измерения сильно зашумлены, нагрузка непостоянна, процессы непрерывны [2,4].

Целью данной работы является изучение применения ПИД-регуляторов при регулировании процессов в судовых объектах с запаздыванием (в том числе в судовом вспомогательном паровом котле), а также сравнительный анализ различных методик настройки ПИД-регуляторов.

Правильный выбор параметров регулятора невозможен без изучения динамики регулируемого процесса [3]. Поэтому в работе значительное внимание уделяется построению передаточной функции судового вспомогательного парового котла по каналу управления на основе оптимальной аппроксимации его экспериментально полученной разгонной характеристики по каналу расход топлива – давление пара на выходе котла (рис.1) [4]. Оптимизация достигается за счет минимизации дисперсии отклонения методом наименьших квадратов.

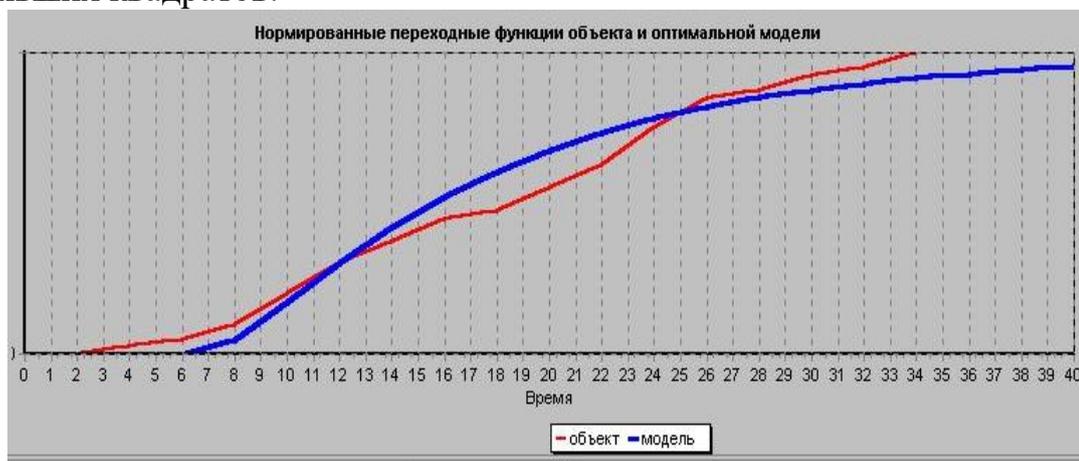


Рис. 1 Нормированная разгонная характеристика по каналу расход топлива – давление пара на выходе судового вспомогательного парового котла

Полученная передаточная функция судового вспомогательного парового котла по каналу управления имеет следующий вид:

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)},$$

где  $k$  – коэффициент усиления,  $T_1, T_2$  – постоянные времени,  $\tau$  – запаздывание.

На основе полученных передаточных функций по каналу управления (расход топлива – давление пара на выходе котла) и по каналу возмущения (расход пара – давление пара на выходе котла) построена структурная модель системы регулирования процессов в рассматриваемом объекте. Компьютерная реализация разработанных моделей осуществлена с помощью программных средств системы MATLAB и ее визуально – ориентированного приложения Simulink. При проведении компьютерного эксперимента выполнен сравнительный анализ методик настройки ПИД-регулятора, входящего в состав системы регулирования.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при поиске надежных методов автоматической настройки ПИД-регуляторов, а также в учебном процессе при проведении лабораторных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Веллер В. Автоматизация судов / В.Веллер. – Л.: Судостроение. – 1975. – С. 181-204.
2. Электронный ресурс. Режим доступа: [www.morehod.ru/forum/.../kak-rabotaet-pid-reguljator-t7911.html](http://www.morehod.ru/forum/.../kak-rabotaet-pid-reguljator-t7911.html).
3. Шифрин М.Ш. Автоматическое регулирование судовых паросиловых установок / М.Ш. Шифрин. – Л.: Судпромгиз. – 1963. – 451 с.
4. Электронный ресурс. Режим доступа: [www.ao-tera.com.ua/list/ru/technology/0/246.html](http://www.ao-tera.com.ua/list/ru/technology/0/246.html).

УДК 629.5.064.5 : 681.511.42

#### Управление пусковыми режимами мощных судовых электроприводов

Муха Н.И., к.т.н., доцент

Павленко С.С., аспирант

Бурлака Д.Н., магистр

Одесская национальная морская академия

**Актуальность работы.** При питании двигателя от сети ограниченной мощности в процессе пуска из-за большого значения пускового тока уменьшается напряжение питания двигателя. Это приводит к уменьшению перегрузочной способности двигателя, что негативно сказывается на эффективности и надежности работы машины. В случае пуска двигателя от сети ограниченной мощности широкое распространение получили устройства пуска на базе конденсаторных компенсаторов реактивной мощности. Однако их применение ограничено из-за невысокой надёжности работы, обусловленной возможностью возникновения резонансных явлений, а также из-за большой стоимости и габаритов, обусловленных использованием неполярных конденсаторов.

В последнее время большое внимание уделяется проблеме энергосбережения. Возрастающая потребность общества в энергии может удовлетворяться как за счет увеличения производства энергии, так и за счет ее рационального использования. Поэтому необходимо создание нового вида пускорегулирующих устройств (ПРУ) с улучшенными технико-экономическими показателями, повышающих энергоэффективность работы двигателя в переходном и установившемся режиме работы за счёт компенсации его реактивной мощности.

В работе рассматриваются пусковые режимы мощных электроприводов в судовой электроэнергетической установке с компенсацией реактивной энергии в переходных процессах. С учетом особенностей судовых электростанций по сравнению с береговыми системами электроснабжения, отражающихся на характере протекания энергетических процессов в них, выполнен

анализ различных способов пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами от судовой электростанции соизмеримой мощности.

Данная работа является развитием исследований по управлению процессами компенсации реактивной энергии в судовых электроэнергетических системах, которые выполняются на кафедре СЭМ и ЭТ [1].

**Цель и задачи работы.** Целью работы является исследование пуско-регулирующего устройства (ПРУ) для асинхронного двигателя с управляемой мощностью, подаваемой на двигатель в процессе пуска от накопителя электроэнергии, с улучшенными технико-экономическими показателями.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие научно-технические задачи:

1. Совершенствование математической модели полной активно-индуктивно-емкостной нагрузки генератора для исследования режимов пуска мощных асинхронных электродвигателей и компенсации реактивной мощности в переходных процессах.
2. Обоснование и выбор регулируемого параметра в системе управления судовой установкой компенсации реактивной энергии.
3. Разработка алгоритмов управления ПРУ для основных способов пуска судовых электроприводов.

**Методы исследований,** применяемые в настоящей работе: методы теории электрических цепей, методы теории автоматического управления, математическое моделирование синхронного генератора, ПРУ и асинхронного двигателя в программном комплексе Matlab.

Разработка и внедрение на судах компенсаторов реактивной энергии сопряжено с решением комплекса научно-технических проблем, связанных с судовыми условиями работы электростанции.

Учет особенностей судовой электроэнергетической установки, отмеченных в [2], для решения задач компенсации реактивной энергии в судовых условиях может быть выполнен путем исследования совместной работы судовой электростанции, ее потребителей и компенсирующего устройства.

Как показали исследования системы управления судовой синхронной электроустановкой с компенсацией реактивной энергии [1,2], радикальным способом улучшения динамических свойств является введение перекрестной связи между регулятором напряжения и компенсатором энергии.

Кроме параметров реактивной энергии для управления величиной компенсирующей ёмкости предлагается дополнительно использовать информацию об отклонении напряжения синхронного генератора. Закон управления величиной компенсирующей ёмкости представим в виде [2]:

$$C_k = k_u (U_n - U_m(t)) + k_q \cdot P_q(t) + \frac{k_q}{T_q} \int_0^t P_q(t) dt. \quad (1)$$

В обычной судовой электростанции компенсация реактивного тока нагрузки осуществляется путем измерения отклонения напряжения и увеличения тока возбуждения синхронного генератора. Добавление в состав судо-

вой электростанции конденсаторного устройства компенсации реактивного тока существенно уменьшает необходимый ток возбуждения судовых генераторов. Конденсаторное компенсирующее устройство и синхронный генератор будут работать параллельно, вырабатывая реактивную энергию, рис.1.

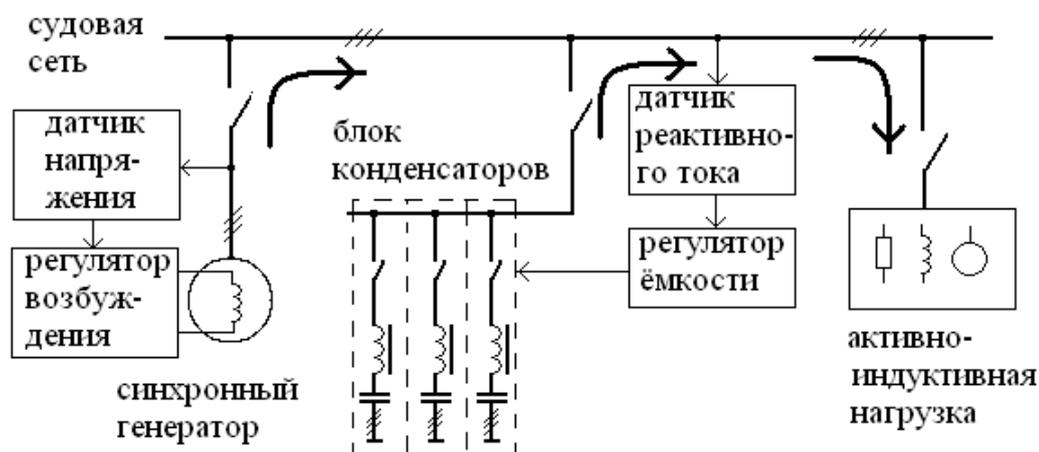


Рис.1. Параллельное генерирование реактивной энергии судовым синхронным генератором и конденсаторным компенсирующим устройством

Таким образом, в судовой электроэнергетической установке оказываются два различных энергетических устройства, предназначенных для одной цели – генерирования реактивной энергии. И, следовательно, поиск законов управления реактивным током в такой электроэнергетической установке, содержащей генераторы и конденсаторный блок, должен производиться с учетом их взаимного влияния и взаимодействия.

Принципиально другим алгоритмом управления УКРМ является закон управления, реализуемый в каждый период переменного тока. Реактивная мощность вычисляется в течение одного периода переменного тока и ее полная компенсация выполняется с частотой сети. Примеры такой УКРМ приведены в [3].

Очевидно, что работа двух регуляторов: возбуждения синхронного генератора и регулятора реактивного тока компенсирующих конденсаторов, - должна быть согласованной. При использовании микропроцессорных систем управления электроэнергетическими установками целесообразно объединить функции управления генератора и устройства компенсации реактивной энергии (УКРМ) в одном управляющем контроллере. Эта необходимость является объективной, т.к. два различных устройства работают параллельно на один объект – судовую нагрузку.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Вишневский Л.В., Муха Н.И., Дудко С.А. Управление судовыми конденсаторными установками компенсации реактивной энергии // Одесский национальный политехнический университет: Электротехнические и

- комп'ютерные системы . Тематический выпуск. Проблемы автоматизованого электропривода. Теорія і практика. Научно-технический журнал - Київ: Видавництво «Техніка».- 2011. - № 3(79). - С. 330-333.
2. Муха Н.И., Дудко С.А. Анализ алгоритмов управления судовыми установками компенсации реактивной энергии / Н.И. Муха, С.А. Дудко// Проблемы энергоресурсосбережения в электротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук: КНУ, 2011. – Вип. 1/2011 (1). – С. 96-97.
  3. Home Cap capacitors for Power Factor Correction // <http://www.epcos.com/pfc>.

УДК 621.314:621.38(075.8)

**Модернизация лабораторного стенда для изучения  
частотного преобразователя со звеном постоянного тока**

Будашко В.В., к.т.н., доцент

Сподаренко П.С., курсант

Зайцев В.О., курсант

Одесская национальная морская академия

Лабораторный стенд предназначен для изучения частотного способа регулирования скорости вращения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АД) [1]. На стенде установлен преобразователь частоты (ПЧ) фирмы «*Altivar*», который осуществляет регулирование частоты и напряжения, подводимого к АД по соответствующему закону. На преобразователе имеется программируемый дисплей, на который можно вывести интересующий параметр и пункты меню, позволяющие производить настройку ПЧ. Возможны три способа управления ПЧ:

- при двухпроводном управлении направления вращения и остановка подаются одним и тем же логическим входом. Учитывается состояние 1 (работа) или 0 (остановка);

- при трехпроводном управлении команды направления вращения и остановки подаются двумя различными логическими входами. *L1* всегда назначено на функцию остановки, получаемую в открытом состоянии (состояние 0). Импульс на входе, управляющем пуском, сохраняется до открытия входа остановки;

- при оптимальном управлении (*Opt*) к ЧП подключается устройство, содержащее задающий потенциометр и дающее доступ к двум дополнительным кнопкам на ПЧ [2]. Кнопка *RUN* управляет включением двигателя, направление вращения определяется параметром *rOt* настроечного меню *Set*. Кнопка *STOP/RESET* управляет остановкой двигателя и сбрасывает возможные неисправности. Первое нажатие на кнопку останавливает двигатель и, если функция динамического торможения сконфигурирована, то повторное нажа-

тие прекращает его. Сигнал задающего потенциометра суммируется с сигналом на входе  $AI1$  [2].

При установке данного устройства некоторые функции имеют настройки, отличные от заводских.

Входы-выходы:

- $tCC = Opt$  не переназначается;
- $LI1 = no$  не переназначается;
- $LI2 = PS2$  переназначается;
- $LI3 = PS4$  переназначается;
- $LI4 = PS8$  переназначается.

Привод:  $Atr = no$ , переназначается только на  $YES$ .

Это устройство устанавливается раз и навсегда, его демонтаж не предусмотрен. Для того, чтобы исследовать все режимы управления в схему был включен переключатель, с помощью которого происходит отключение от схемы устройства оптимального управления, а также переключение между двух- и трех- проводным управлением.

Также в схему лабораторного стенда была интегрирована схема ввода неисправностей [3]. Ввод неисправностей производится нажатием одной из 10 кнопок  $SB1-SB10$ , что приводит к разрыву одной из цепей схемы управления ПЧ, что позволяет более углубленно изучить принцип действия и основные функции, реализуемые данным ПЧ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Будашко В.В. Силовые полупроводниковые приборы и преобразовательная техника: Учебное пособие. - Одесса, ОНМА, 2004. - 151с.
2. Altivar 28 // Преобразователи частоты для асинхронных двигателей: Руководство пользователя. - Германия: *Schneider Electric*. -1999. - 47 с.
3. Будашко В.В. Суднові автоматизовані електроприводи. Методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт: навчальний посібник. - Одеса: ОНМА, 2009. - 120 с.

УДК 629.5.061.16-82

### **Исследование плавного пуска и частотного регулирования асинхронного двигателя подруливающего устройства**

Захарченко В.Н., д.т.н., профессор

Сухолита С.С., магистр

Одесская национальная морская академия

Пуск асинхронных двигателей (АД) таких мощных судовых электроприводов как подруливающие устройства (ПУ), оказывает существенное влияние на работу судовой электроэнергетической установки. Электромагнитные процессы при их прямом пуске, характеризуются большими броска-

ми тока и момента. Пуск АДПУ с помощью полупроводникового преобразователя позволяет снизить пусковые потери и сократить время пуска при одновременном ограничении величины пускового тока. За основу при исследовании различных способов пуска АД судовых ПУ принята система дифференциальных уравнений, описывающая работу асинхронного короткозамкнутого двигателя ПУ, записанная в относительных единицах для эквивалентной двухполюсной машины:

$$\begin{aligned}\frac{d\Psi_1}{dt} &= U_1 - r_1(\Psi_1 L_2 - \Psi_2 L_m)/D ; \\ \frac{d\Psi_2}{dt} &= U_2 + j\omega_r \Psi_2 - r_2(\Psi_2 L_1 - \Psi_1 L_m)/D ; \\ \frac{d\omega_r}{dt} &= (L_m i_1 i_2 \sin(i_1 i_2) - M_c)/J ;\end{aligned}$$

где:

$U_1, U_2$  – обобщенные векторы напряжений статора и ротора;

$i_1, i_2$  – обобщенные векторы токов статора и ротора;

$\Psi_1 = i_1 L_1 + i_2 L_m$  – обобщенный вектор потокосцепления обмотки статора;

$\Psi_2 = i_2 L_2 + i_1 L_m$  – обобщенные индуктивности статора, ротора и взаимной индукции;

$D = L_1 L_2 - L_m^2$  – определитель;

$r_1 r_2$  – активные сопротивления обмоток статор и ротора;

$J$  – суммарный момент инерции электродвигателя и механизма;

$\omega_r$  – угловая скорость ротора;

Расчеты динамических режимов ПУ выполнены с помощью программы AMDN, написанной на алгоритмическом языке C++, которая осуществляет численное решение системы дифференциальных уравнений по методу Рунге-Кутты четвертого порядка. При анализе за базисный двигатель был принят асинхронный короткозамкнутый электродвигатель ДК-123-6, 590 кВт, 1130А, 1000 об/мин,  $J_d = 30$  кгм<sup>2</sup>.

В процессе пуска с изменением напряжения последнее меняется таким образом, чтобы обеспечить постоянную величину пускового тока.

Как и любой способ пуска с изменением напряжения, рассматриваемый обладает всеми присущими им недостатками - увеличенными временем пуска, потерями и перегревом обмоток двигателя. Его достоинствами являются ограничение пускового тока, отсутствие резких бросков тока и момента

Частотный пуск осуществляется при изменении частоты и напряжения по линейному закону - от нуля до номинальных значений за время пуска, при этом скорость роста напряжения превышает скорость роста частоты.

Сравнение двух способов пуска произведем, анализируя следующие величины: время пуска ( $t_p$ , с.), пусковой ток ( $I_p$ , о.е.), ударный пусковой ток ( $I_{pmax}$ , о.е.) и энергию потерь, выделяющуюся в обмотках электродвигателя за время пуска ( $Q_p$ , кДж).

Таблица 1 Сравнение двух способов пуска АД

Способы пуска	Тп, сек	Ip, о.е.	Ipmax, о.е.	Qп, кДж
Пуск с изменением напряжения	2,114	2,252	2,523	410
Частотный пуск	0,903	1,015	3,135	40,4

Несмотря на существенные различия в методах реализации, для всех способов пуска с изменением напряжения стратегия пуска в основном остается неизменной: вначале - быстрый подъем напряжения до величины, при которой пусковой ток равен максимально допустимому, затем - период разгона электродвигателя при практически неизменном напряжении и, в конце пуска - подъем напряжения до номинальной величины. Таким образом, пуск с изменением напряжения по существу является пуском при пониженном напряжении, и соответственно при пониженном магнитном потоке и моменте. Так как момент можно считать пропорциональным квадрату напряжения, то снижение напряжения вызывает заметное снижение момента, что, в свою очередь вызывает увеличение времени пуска и рост потерь в обмотках.

Анализ полученных результатов убеждает, что частотный пуск АД, обеспечивает сокращение времени пуска более чем в два раза (0,903 с. вместо 2,114 с.), при одновременном уменьшении более чем в 10 раз потерь энергии, выделяющейся в обмотках электродвигателя за время пуска (с 410 до 40,4 кДж).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев В. Н, Слободниченко Б. И, Динамика асинхронного частотного-управляемого электропривода подруливающего устройства\ \ Электро-машинобудування та електрообладання: Респ. міжвід. науково-техн. Зб. 1998.- Вип. 50. - С.

УДК. 629.5.035.5-52

### **Исследование энергетической эффективности гребной электрической установки с машиной двойного питания**

Васильев В.Н., к.т.н., профессор  
 Марцынковский А.В., магистр  
 Одесская национальная морская академия

В настоящее время наряду с традиционными установками в качестве движительного комплекса судна широкое применение находят гребные электрические установки (ГЭУ), которые по ряду эксплуатационных параметров имеют преимущества по сравнению с установками, имеющими механическую передачу от теплового двигателя к валу винта. Широкое при-

менение ГЭУ наблюдается для судов специального назначения с жесткими эксплуатационными требованиями.

Вопросами изучения проектирования и эксплуатации систем электродвижения уделяется большое внимание. Разработкой и совершенствованием заняты все ведущие страны в области судостроения, такие как: Германия, Англия, США, Финляндия, Канада, Голландия, Франция, Япония, Италия.

При создании судовых систем электродвижения возникает проблема обоснованного выбора типа гребного электродвигателя и типа передачи энергии к движителю, а также алгоритмов управления ими. При этом основным и важнейшим критерием управления электрическими установками является показатель энергетической эффективности.

Повышение энергетической эффективности при управлении гребной электрической установкой ведет к уменьшению габаритов и массы источников электроэнергии, обуславливает удешевление эксплуатации судна и увеличению автономности плавания. К тому же повышение энергетической эффективности приводит к снижению массы и занимаемой площади гребной электрической установки, что дополнительно обеспечивает увеличение используемой грузоподъемности.

В моей магистерской работе рассматривается гребная электрическая установка, включающая в свой состав высокооборотную машину двойного питания. Исследованию машин двойного питания посвящено множество работ таких ученых как: В.Т. Касьянов, В.А. Толвинский, С.М. Гохберг, А.М. Бамдас, Т.П. Губенко, Д.В. Васильев, Н.Н. Шакарян, Г.М. Онищенко, И.Л. Локтев, В.С. Ракита и др. В работах этих ученых разработана общая теория машин двойного питания и обозначены перспективы их применения. Однако при стремительном развитии науки и техники возникла необходимость дальнейшего изучения энергетических свойств и усовершенствования существующих алгоритмов управления.

Целью работы является:

- решение научно-технической задачи повышения энергетической эффективности и улучшение эксплуатационных характеристик ГЭУ на базе применения машин двойного питания (МДП);
- разработка алгоритмов управления ГЭУ с машиной двойного питания по энергетической эффективности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести оценку алгоритмов управления электромеханическими системами по критерию энергоэффективности и показать, что существует управление, обеспечивающее максимальное значение показателей энергетической эффективности;
- выполнить поиск оптимальной электрической машины, позволяющей применить оптимальное управление по критерию энергоэффективности;

- синтезировать алгоритм оптимального управления МДП по критерию энергоэффективности.

Предполагаемая практическая ценность исследования:

- показать, что АД с идентичными параметрами статора и ротора при оптимальных алгоритмах управления обладает лучшей энергоэффективностью по сравнению с другими видами электромеханических преобразователей, и позволяет развить двойную мощность при потерях энергии не превышающих номинальные;
- установить, что использование МДП с идентичными параметрами статора и ротора позволит создать автоматизированную движительную установку с уменьшенными массогабаритными показателями и высоким показателем энергетической эффективности.

Произведя анализ основных показателей энергетической эффективности электромеханических преобразователей ГЭУ определил, что коэффициент энергоэффективности можно определить согласно:

$$k_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{опт}}} = \frac{2 \cdot \sqrt{c} \cdot \gamma}{\gamma^2 + c} \cdot \sin(\beta),$$

где  $\varepsilon = \frac{M}{\Delta P}$  – показатель эффективности,

$\varepsilon_{\text{опт}}$  – его максимальное значение,

$c = \frac{R_1}{R_2}$  – отношение сопротивлений обмоток статора и ротора,

$\gamma = \frac{I_{II}}{I_I}$  – отношение их токов,

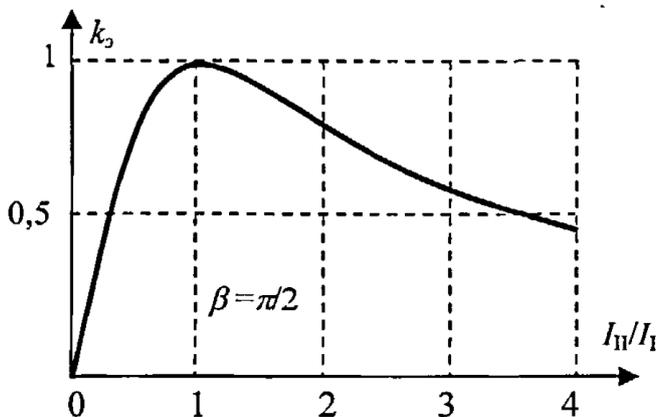
$\beta$  – угол между векторами токов ротора и статора.

Коэффициент энергоэффективности всегда удовлетворяет очевидному неравенству  $k_{\varepsilon} \leq 1$  и имеет максимум  $k_{\varepsilon} = 1$  при  $\gamma = \frac{I_{II}}{I_I} = \sqrt{c}$  и  $\beta = \frac{\pi}{2}$ .

Добиться функционирования асинхронной машины с максимальным показателем энергоэффективности можно, воздействуя на напряжения питания обмотки статора и ротора. При короткозамкнутой обмотке ротора максимально возможное значение показателя снижается примерно в  $\sqrt{2}$  раз.

График зависимости коэффициента эффективности от отношения токов статора и ротора  $\gamma = \frac{I_{II}}{I_I}$  и  $c = 1$

и  $\beta = \frac{\pi}{2}$  приведен ниже.



Из данного рисунка видно, что для работы асинхронного электродвигателя с фазным ротором с максимальной энергетической эффективностью необходимо выполнение следующих условий:  $R_1=R_2$ ,  $L_1=L_2$ ,  $I_I=I_{II}$  и  $\sin(\beta)=1$ . Данные условия могут быть обеспечены конструкцией электрической машины, схемой ее соединения и соответствующими алгоритмами управления.

Данные условия могут быть обеспечены конструкцией электрической машины, схемой ее соединения и соответствующими алгоритмами управления.

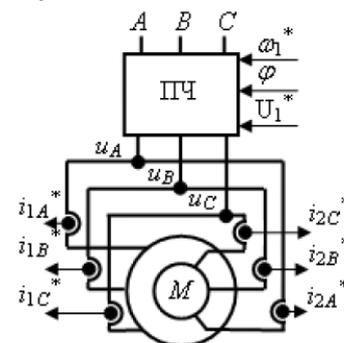
Произведя сравнения различных машин переменного тока по критерию потерь энергии можем сделать вывод, что наибольшим показателем энергоэффективности обладает асинхронный электродвигатель с фазным ротором.

Тип электрической машины	Максимальное значение показателя энергоэффективности
Реактивный электродвигатель	$\mathcal{E}_{max} = \frac{L_m}{R_1} = 13,750$
АД с короткозамкнутым ротором	$\mathcal{E}_{max} = \frac{L_0}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot R_1 \cdot R_2}} = 22,097$
Синхронный электродвигатель	$\mathcal{E}_{max} = \frac{L_0}{2 \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_f}} = 24,392$
АД с фазным ротором двойного питания	$\mathcal{E}_{max} = \frac{L_0}{2 \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2}} = 31,249$

Асинхронный электродвигатель при двойном питании обладает наилучшей энергетической эффективностью, а также позволяет при номинальной частоте питающего напряжения развивать двойную мощность.

Выбранная схема питания обмоток статора и ротора АД МДП от одного преобразователя показано на следующем рисунке:

Учитывая все сказанное ранее необходимо также синтезировать оптимальный алгоритм управления ГЭУ для достижения максимальной энергоэффективности.



#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Пронин М.В., Воронцов А.Г., Калачиков П.Н., Емельянов А.П. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями (моделирование, расчет, применение). – СПб.: Электросила, - 2004. – 252 с.
2. Коломийцев К.В. Энергетические возможности машин двойного питания. Журнал «Электрик» №5/2008.

## Системы мониторинга судовых холодильных установок

Живица В.И., д.т.н., профессор

Прищепко Д.В., магистр

Одесская национальная морская академия

Существенный прогресс в микроэлектронике последних лет создает предпосылки для реализации идей компьютерного мониторинга и диагностики холодильных установок с помощью специализированных микропроцессорных устройств.

Определим требования к таким системам:

- простота и надежность;
- достоверность, оперативность и приемлемая инженерная точность;
- удобство форм и способов представления информации для пользователей разных уровней;
- возможность передачи информации, как традиционными проводными средствами, так и по радиоканалу, а также через Интернет;
- быстрый монтаж, гибкость в использовании для различных схем холодильных установок;
- возможность накопления и проведения анализа информации с целью технической диагностики узлов и аппаратов данной установки;
- протоколируемая запись параметров развития предаварийных и аварийных ситуаций, срочное информирование соответствующих служб с использованием всевозможных коммуникационных каналов.

Создание таких систем направлено на решение проблемы, которую условно можно разделить на две части: холодильную и электротехническую. Последняя часть предполагает знание номинальных и измерение текущих значений электрических параметров, а именно, напряжения, тока, активной и реактивной мощности для используемого в установке электрооборудования и не является сложной задачей. Такой подход учитывает те реальные значения параметров, которые определяют как количество потребленной электроэнергии, так и те, по которым на основе математического моделирования вычисляют мощность на валу компрессора для дальнейшего определения массового расхода хладагента в системе. Что же касается холодильной части, то здесь, на основе определений в соответствии существующими стандартами, нужно расставить датчики и электрически измерить необходимые неэлектрические параметры (температуры и давления), преобразовать их для ввода в компьютер с последующим вычислением необходимых величин, например количество выработанного холода за определенный интервал времени. Полученные (измеренные) как холодильные, так и электротехнические величины должны быть соотнесены, определена их динамика, проведено сравнение с данными завода-изготовителя, с нормативными и теоретическими значениями, а затем сделан обоснованный вывод о «качестве» потре-

ния электроэнергии данной холодильной установкой. Полученные данные должны послужить основой для проведения анализа энергопотребления и последующей технической диагностики, как всей холодильной системы, так и составляющих ее элементов. Такой подход получает все большее распространение в современных холодильных системах и получил название “fault detection and diagnostics” – (FDD).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Живица В. И., Вайнфельд Э. И., «Устройство для оценки энергетической эффективности холодильной установки»/ Матеріали 6-ї міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», Одеса, 2009.
2. Васильев А. И. Измерение холодопроизводительности холодильной установки // Холодильная техника.- 1982. - №11.
3. Браславский И. Я. Вопросы энергоэффективности асинхронного электропривода/ И. Я. Браславский. -М.: Академия, 2003.

УДК 551.46.09

### **Компьютерное моделирование системы кондиционирования и вентиляции судна с разными типами регуляторов**

Харченко Р.Ю., ст. преподаватель  
Одесская национальная морская академия

Целью публикации является анализ и компьютерное моделирование различных вариантов построения систем автоматического регулирования кондиционирования и вентиляции для объекта, действующего в неопределенных условиях [1], т.к. именно таковым является судно.

Основной задачей исследований является выбор оптимальных типов и улучшение регулировочных характеристик регуляторов систем микроклимата для современных судов [2]. Для выбора оптимальных типов регуляторов и их настроек, с помощью программы MathLab (Simulink) [3] смоделируем САР (рис. 1).

Как видно, модель содержит схемы с тремя типами регулирования – П, ПИ и ПИД, учитывает воздействие внешнего возмущения и транспортную задержку. Для удобства исследования принято, что помещение до регулирования принимает температуру внешней среды по каналу возмущения.

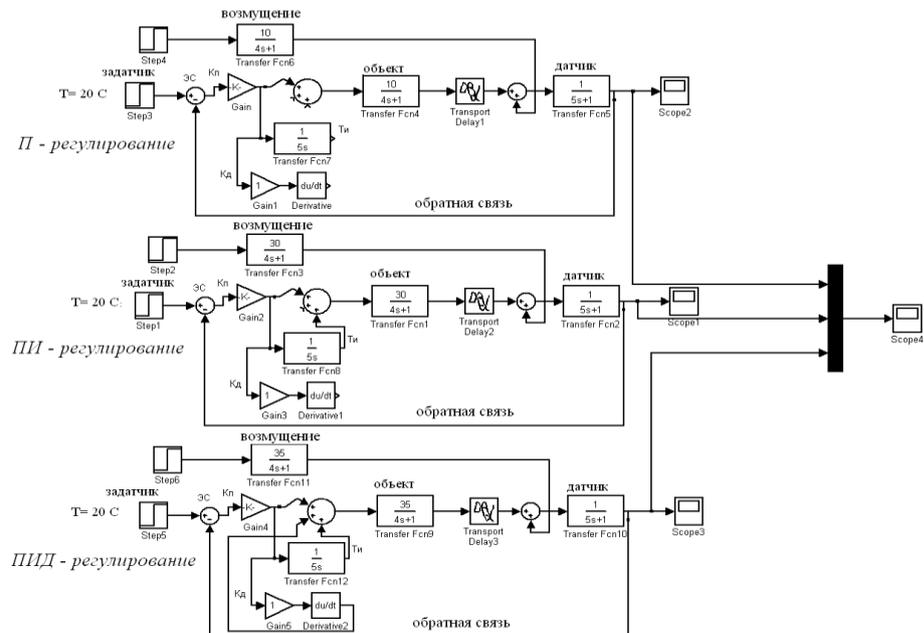


Рис. 1. Компьютерная модель САУ помещения судна с тремя типами регуляторов

Моделирование показало, что при использовании настроек по табличному методу адаптации ПИ и ПИД регулирование продемонстрировало расходящийся процессы при всех температурных режимах, а П-регулятор достиг затухающего процесса с остаточной ошибкой. Анализ широко используемого в адаптивных САУ метода Зиглера-Николса, также продемонстрировал свою неэффективность, показав расходящиеся процессы при всех температурах.

Используя экспертные рекомендации при корректировке настроек  $T_i$  и  $T_d$  получили переходные процессы, представленные на рис. 2.

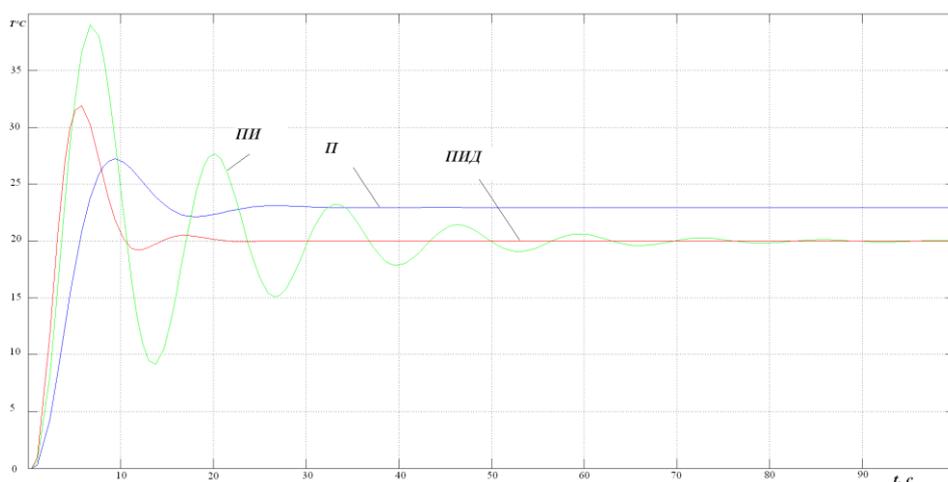


Рис. 2. Переходные процессы САУ с ручной подстройкой регуляторов

Переходные процессы на рис. 2, полученные по табличному методу демонстрируют преимущество П-регулятора, показывающего затухающий процесс, со временем регулирования  $T_p = 13$  с. Подстановка других значений

передаточных функций объекта управления, исходя из влияния внешних возмущений, также указывает на эффективность П-регулятора по сравнению с ПИ и ПИД в процессе регулирования температуры. Однако при экспертной ручной настройке можно добиться улучшения работы этих типов регуляторов (рис. 2), но переходные процессы будут обладать большим  $T_p$  и колебательностью.

Результатами работы можно считать то, что на основе анализа переходных процессов, можно сделать заключение о желательной корректировке типовых и поиске новых, более эффективных методов регулирования, например, с использованием опыта эксперта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. М.: МЭИ, 2008 – 396 с.
2. О совершенствовании автоматического регулирования систем обеспечения микроклимата. // С.О.К. – 2005. – № 5. – с. 112-114.
3. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель.– М.: ДМК-Пресс, 2008.–778 с.

УДК 621.314:621.38

### **Исследование процесса беспроводной передачи энергии с помощью резонансного трансформатора Тесла.**

Глазева О.В., к.т.н., доцент

Очеретный А.В., курсант

Одесская национальная морская академия



Интерес к изобретениям Николы Тесла со временем только возрастает. Это связано с тем, что, с одной стороны, его изобретения не теряют своей актуальности, а с другой стороны, физическая сущность многих из них так и остается загадкой. Особенно интересен трансформатор Тесла, создающий массу впечатляющих и до конца не исследованных эффектов. Прежде всего, следует заметить, что трансформатор Тесла не является трансформатором в обычном понимании. Несмотря на кажущуюся внешнюю простоту устройства, теория его работы, разнообразные физические эффекты, воздействие на вещества, на химические реакции и живые организмы требуют серьезного исследования.

Целью работы было создание своими руками катушки Тесла и проведение всевозможных опытов с ней.

Реализованный трансформатор Теслы состоит из двух катушек — первичной и вторичной, а также обвязки, состоящей из разрядника (прерывателя), конденсатора, тороида и терминала. Вторичная обмотка установлена своим основанием в центр первичной обмотки и возвышается над ней в виде цилиндра, на котором в один слой плотно намотана изолированная тонкая проволока. Схема электрической цепи приведена на рис.1.

Первичная катушка  $L_1$  выполнена плоской (горизонтальной) формы и построена из 9 витков алюминиевой шины 5/10 мм, а вторичная катушка  $L_2$  собрана на ПВХ трубке диаметром 110 мм, медным проводом 0,4 мм, высота намотки составляет 45 см. Таким образом, вторичная обмотка содержит более 1120 витков, а общая длина провода – около 389 метров.

В отличие от других трансформаторов ферромагнитный сердечник отсутствует. Первичная катушка вместе с конденсатором образует колебательный контур, в который включён нелинейный элемент — разрядник (искровой промежуток), вследствие чего в цепи возникают импульсы тока, имеющие огромный спектр гармонических составляющих. Поэтому во вторичной обмотке помимо основной гармоники возбуждается масса более высокочастотных резонансов, что чрезвычайно расширяет диапазон длин волн, генерируемых трансформатором Тесла. Разрядник выполненный из массивных электродов (с радиаторами), что сделано для того, чтобы электроды разрядника не расплавились при протекании больших токов через электрическую дугу между ними.

Вторичная катушка также образует колебательный контур, где роль конденсатора выполняет ёмкостная связь между тороидом, окончательным устройством, витками самой катушки и другими электропроводящими элементами контура с Землей. Оконечное устройство (терминал), предназначенное для получения искровых разрядов большой длины, выполнено в виде заточенного штыря. Проведенный эксперимент показал, что геометрия и взаимное положение частей трансформатора Теслы влияют на его работоспособность.

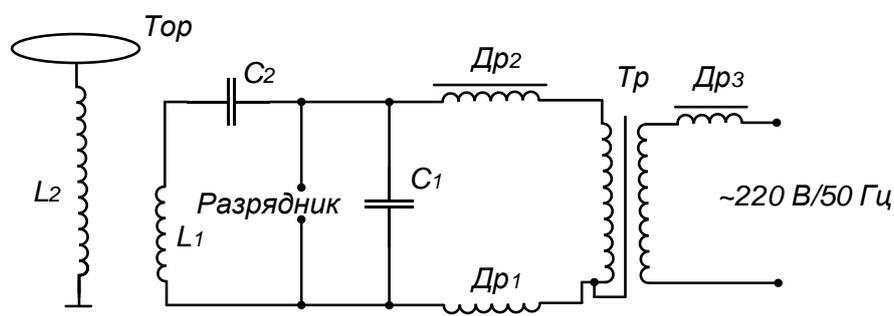


Рис.1

Трансформатор Теслы работает в импульсном режиме. Первая фаза — это заряд конденсатора до напряжения пробоя разрядника. Вторая фаза — генерация высокочастотных колебаний. Заряд конденсатора производится внешним источником высокого напряжения, защищённым дросселями  $Dr_1$  и  $Dr_2$ , выполненными проводом диаметром 0,6 мм на каркасе диаметром

5 см, количеством витков 200 шт, и построенным на базе повышающего низкочастотного трансформатора Тр. Трансформатор Тр выполнен из трех трансформаторов МОТ 2.2 кВ, 700 мА. Так как часть электрической энергии, накопленной в конденсаторе С2 уйдёт на генерацию высокочастотных колебаний, то ёмкость и максимальное напряжение на конденсаторе выбирается максимально возможным. В нашем случае С2 выполнен из 18 шт конденсаторов КВИ 3, 10 кВ, 3300пФ (суммарная емкость 56,4 нФ с учетом разброса емкости конденсаторов). Напряжение заряда ограничено напряжением пробоя разрядника, которое можно регулировать, изменяя расстояние между электродами. После достижения между электродами разрядника напряжения пробоя в нём возникает лавинообразный электрический пробой газа, при этом конденсатор разряжается через разрядник на катушку.

Во вторичной цепи возникают резонансные колебания, что приводит к появлению на терминале высоковольтного высокочастотного напряжения. Во время работы катушка Теслы создаёт красивые эффекты, связанные с образованием газовых разрядов – стримеров. При нанесении разных химических веществ на разрядный терминал наблюдалось изменение цвета разряда. Например, натрий менял обычный окрас искрового разряда на оранжевый, а бром—на зелёный.



После включения устройства на свободном верхнем конце провода вторичной обмотки возникали стримеры длиной до 50см, а из-за искрения в воздухе появлялся запах озона. Работа резонансного трансформатора сопровождается характерным электрическим треском, появление которого связано с превращением стримеров в искровые каналы.

Были проведены эксперименты со светодиодом, соединенным с автономной небольшой катушкой из проволоки, с электролюминесцентными и прочими газоразрядными трубками которые начинали светиться без дополнительных приспособлений в непосредственной близости от включенного устройства.

Работа данной конструкции зафиксирована фото и видео съемкой. Разряд по воздуху – около 50 см , что соответствует напряжению приблизительно 500 000 вольт.

Всегда неизменным элементом блоков питания и разных преобразовательных схем оставался трансформатор. Из объективных законов развития науки и техники следует, что какие бы совершенные конструкции ни были созданы сегодня, они являются лишь ступенью на пути создания еще более мощных и уникальных трансформаторов.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Стребков Д.С., Некрасов А.И. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. – М. ГНУ ВИЭСХ.2008. – 258 с.:ил.
- 2.Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник:Навч.посібник /За ред. Ю.Л.Мазора, Е.А.Мачуського, В.І.Правди.-К.:Вища шк.1999.-838 с.:іл.

УДК 621.313.322

### **Исследования процессов работы судовых синхронных генераторов в асинхронном режиме**

Луковцев В.С., к.т.н., доцент

Соколов В.М., магистр

Одесская национальная морская академия

При построении энергосистем особое внимание уделяется средствам выявления и ликвидации аварийных режимов. Асинхронный режим (АР) является специфическим и одним из самых тяжелых аварийных режимов, т.к. связан с потерей устойчивости параллельной работы электростанции, нарушением электроснабжения и возможным повреждением элементов энергосистемы. Процессы АР и методы его ликвидации во многом зависят от конструкции энергосистемы и синхронных генераторов (СГ), а так же от причины возникновения АР.

Необходимо различать асинхронный ход СГ и его АР. Асинхронный ход может возникнуть из-за нарушения устойчивости (при набросе большой нагрузки, коротком замыкании), при этом возбужденный генератор работает несинхронно с сетью. Фазовый сдвиг между вектором электродвижущей силы (ЭДС) генератора и вектором напряжения сети многократно проходит значения от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , машина начинает работать то в генераторном, то в двигательном режиме, что сопровождается большими уравнительными токами, отклонениями напряжения и большими моментами, действующими на генератор и первичный двигатель. Такой режим недопустим и при его возникновении, если быстрая ресинхронизация невозможна, машина должна быть немедленно отключена от сети.

Установившийся АР может наступить при потере возбуждения из-за неисправности автоматического регулятора напряжения (АРН), неисправности возбудителя, обрыва в цепи ротора, при этом СГ может выдавать активную мощность в сеть, а его возбуждение происходит за счет потребления реактивной мощности из нее.

Для береговых сетей было разработано множество способов выявления АР, а также методов ресинхронизации СГ. Однако АР в судовых энергосистемах имеет ряд особенностей по сравнению с береговой сетью. Важ-

нейшим отличием является соизмеримость мощности одного генераторного агрегата (ГА), с мощностью энергосистемы. Береговые сети обладают большей инерционностью в виду большого количества станций, распределительных устройств и длины линий электропередачи, что влияет на допустимое время АР. Первичные двигатели СГ береговых электростанций – гидравлические и паровые турбины; на судах – преимущественно двигатели внутреннего сгорания (дизели).

Однако, в связи с ростом мощности судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) и установкой на судах мощных СГ с массивными неявнополюсными роторами, можно также добиться устойчивой работы в АР, при этом генераторы могут развивать около 40% активной мощности. Использование АР для оставления в работе генератора при потере возбуждения хотя бы на время, необходимое для перевода на резервное возбуждение, позволяет в большинстве случаев избежать аварийных остановок генераторов и обесточивании.

При возникновении асинхронного хода (потеря динамической устойчивости машины) необходимо в кратчайший промежуток времени выявить этот режим, отличить его от других и ресинхронизировать СГ. Для этого

предлагается измерять угол выбега ротора  $\theta$  и его производную  $\frac{d\theta}{dt}$ . В устойчивом генераторном режиме угол  $\theta$  лежит в пределах от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . В случае выбега ротора за допустимые пределы с целью увеличения синхронизирующей мощности,

$$P_c = \frac{3UE}{x_d} \cos\theta$$

необходимо в промежутке от  $90^\circ$  до  $180^\circ$  (соответственно угловой характеристике СГ), уменьшить момент (угловую скорость) ротора и увеличить напряжение генератора.

Если генератор не втягивается в синхронизм, и ротор начинает проворачиваться относительно поля, он должен быть отключен для предотвращения повреждений.

При оценке допустимости АР, важным является вопрос о возможности дополнительного потребления реактивной мощности, которое имеет место при потере возбуждения. Поэтому для обеспечения надежной работы СЭЭС предлагается установка на морских судах синхронных компенсаторов.

Для выявления АР из-за потери возбуждения и отличия его от других аварийных режимов, предлагается измерять несколько величин: направление реактивного тока на шинах генератора, угол между векторами напряжения и тока, скольжение ротора.

Если переход в АР произошел из-за неисправности АРН, то синхронный генератор необходимо обеспечить источником резервного возбуждения.

Если невозможен быстрый переход на резервное возбуждение (например, при обрыве в цепи ротора), необходимо обеспечить устойчивую работу

в АР. Устойчивый АР можно получить в результате быстрого снижения момента приводного двигателя (ПД), для обеспечения работы при относительно малом скольжении. Для этого возможно применение специальной установки электромагнитного торможения вала синхронной машины.

Устройство автоматики ликвидации асинхронного режима должно выявлять АР режим независимо от причины, вызвавшей его. Но действие защиты должно быть селективным (оно должно различать АР, асинхронный ход и режим синхронных качаний). Защита должна быть чувствительной и быстродействующей, поэтому для реализации средств защиты предлагается использовать не только отклонения измеряемых величин, но и их первые, а то и вторые производные.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Мелешкин Г.А., Меркурьев Г.В. Устойчивость энергосистем. Монография. Книга 1: СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. – 369 с.
2. Наровлянский В.Г. Современные методы и средства предотвращения асинхронного режима электроэнергетической системы. – М.: Энергоатомиздат. 2004. – 360 с.
3. Гоник Я.Е., Иглицкий Е.С. Автоматика ликвидации асинхронного режима. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 112 с.
4. Константинов В.Н. Синхронизация судовых синхронных генераторов. Теория и методы расчета. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1978. – 216 с.

УДК 681.518.5

#### **Методы адаптивного регулирования параметров в системах климат-контроля современных судов**

Завадский В.А., к.т.н., профессор  
Харченко Р.Ю., ст.преподаватель  
Одесская национальная морская академия

Система кондиционирования и вентиляции СКВ судна подвержена воздействию таких возмущений как температура забортной воды, солнечная активность, скорость и температура воздушных потоков, меняющиеся температурные условия внутри помещений и т.д. (рис. 1).

Температура и влажность воздуха внутри помещений судна являются жизненно важными параметрами, от стабилизации значений которых зависит состояние здоровья экипажа и пассажиров [1].

Для поддержания заданных значений температуры в системах климатического контроля СКК на современных судах широко используются системы автоматизированного регулирования (САР). Как правило, в САР применяются типовые регуляторы (П, ПИ, ПИД), настройку которых производят электромеханики, обычно используя классические методы анализа передаточной функции объекта  $W_{об}(s)$  [2]. Однако в силу влияния неконтролируемых факторов, изначально заложенные в математическую модель значения параметров объекта подвергаются изменению, в силу чего система регулирования перестает быть достаточно адекватной объекту (помещению судна).

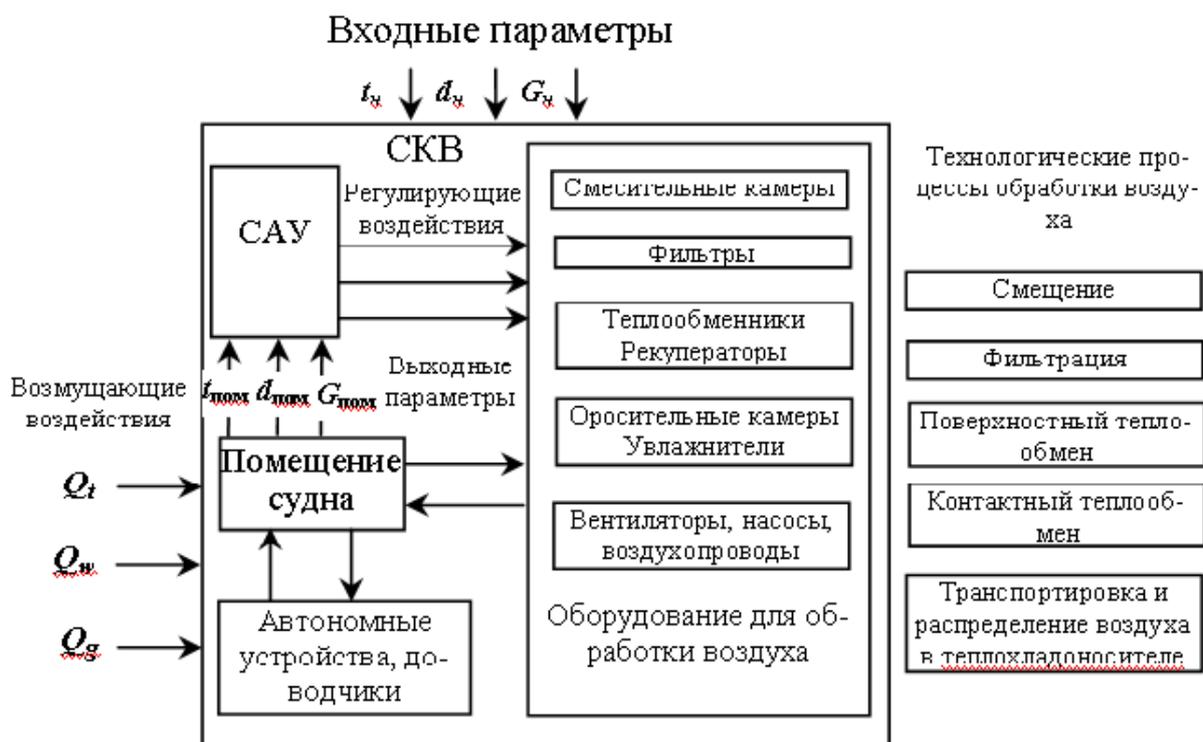


Рис. 1. Обобщенная структурная схема СКВ судна как объекта автоматизации:  $t_n$ ,  $d_n$ ,  $G_n$  – температура, влажность, расход наружного воздуха;  $t_{ном}$ ,  $d_{ном}$ ,  $G_{ном}$  – температура, влажность, расход воздуха в помещении;  $Q_t$ ,  $Q_w$ ,  $Q_g$  – тепловая, влажностная и газовые нагрузки

Это приводит к необходимости частой перенастройки регуляторов вследствие неудовлетворительной работы САР. Основным направлением развития промышленных регуляторов является разработка методов, позволяющих снизить затраты человеческого труда на их установку, настройку и обслуживание. Анализ проблем показал, что в настоящий момент отсутствуют простые, надежные и общепринятые методы автоматической настройки [3]. Процесс перенастройки системы регулирования, в свою очередь, вызывает дополнительные затраты энергии, колебания температурного

режима на судне и т.д. Для компенсации перечисленных факторов предлагается внедрение адаптивных САР.

Авторами предложена адаптивная автоматизированная система регулирования температуры воздуха (ААСР), функциональная схема которой представлена на рис. 2.

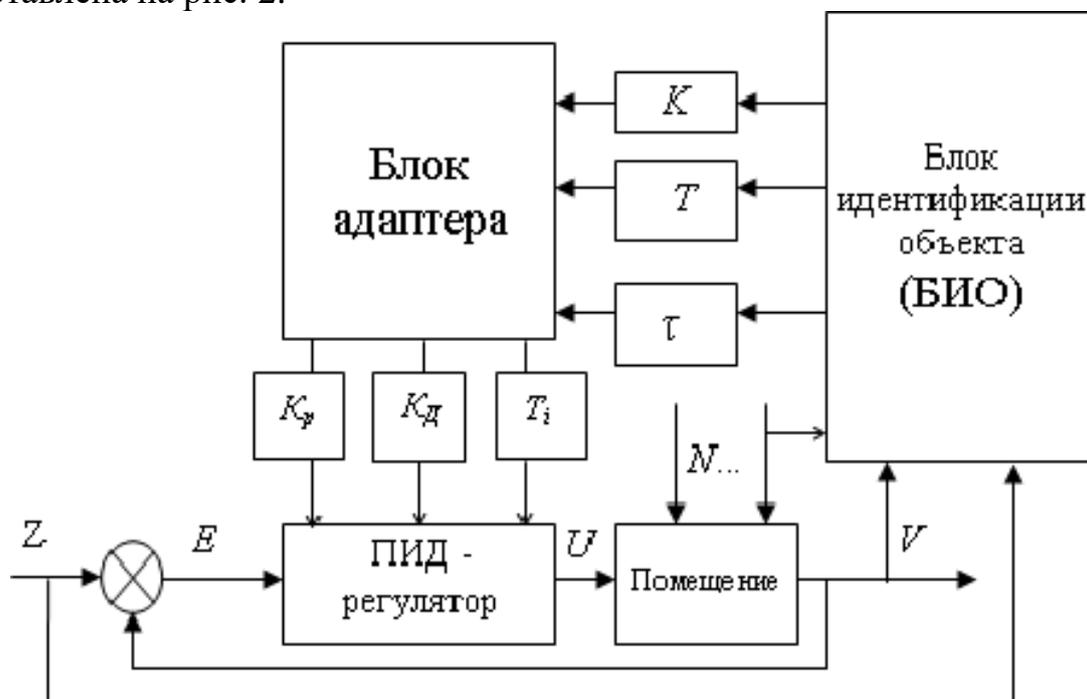


Рис. 21. Структура адаптивного ПИД – регулятора с объектом управления

где  $E$  – ошибка,  $K$  – коэффициент усиления,  $T$  – постоянная времени объекта,  $\tau$  – запаздывание,  $Z$  – задание,  $V$  – выходное значение,  $N$  – возмущение,  $U$  – управляющее воздействие,  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $K_d$  – настройки ПИД – регулятора.

В задачу блока идентификации объекта (БИО) входит наблюдение и оценка значений параметров объекта регулирования. Блок адаптации самостоятельно производит подборку новых настроек регулятора, выбирая его алгоритм (П, ПИ, ПИД) и осуществляет автонастройку. Наличие блока позволяет стабилизировать процесс регулирования без участия оператора и остановки оборудования. Блок идентификации проводит идентификацию объекта, функционирующего в условиях неопределенности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Голиков В.А. Научные основы управления микроклиматом судна. – Одесса: ОГМА, 1999. – 321 с.
2. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. М.: МЭИ, 2008 – 396 с.
3. О совершенствовании автоматического регулирования систем обеспечения микроклимата. // С.О.К. – 2005. – № 5. – с. 112-114.

## **Замена нерегулируемого асинхронного электропривода центробежного насоса заборной воды на частотно регулируемый**

Петрушин В.С., д.т.н., профессор

Бриг Н. Н., магистр

Одесская национальная морская академия

Решение задачи рационального расхода топливно-энергетических ресурсов на судах требует эффективного решения, так как при этом обеспечивается значительный технико-экономический эффект, одновременно с тем экономно расходуются невозобновляемые энергетические ресурсы, уменьшаются объемы выбросов в атмосферу продуктов сгорания, что способствует сохранению чистоты экологической среды на водных коммуникациях, а также экономиться моторесурс генераторных агрегатов судовых электростанций.

Рассматривается замена нерегулируемого электропривода центробежного насоса заборной воды на частотно-регулируемый асинхронный электропривод с целью уменьшения энергопотребления. Задача решается при известном рейсовом графике подачи в зависимости от температуры заборной воды.

С целью подтверждения корректности предлагаемых математических моделей анализа работы АД в частотном электроприводе при различных законах частотного управления, выполнены экспериментальные исследования. В их результате получены семейства рабочих характеристик при двух законах:  $U/f=\text{const}$  и  $U/f^2=\text{const}$ . Сопоставление результатов экспериментальных исследований и теоретических расчётов показывает их близость, что дает основание для использования математических моделей для выполнения основной задачи магистерской работы.

В основной части моделируется работа двигателя привода насоса, питаемого от частотного преобразователя с разными законами частотного управления, на соответствующую нагрузку. Предварительный расчёт показывает что обеспечивается значительная экономия энергии.

### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. В.С. Петрушин. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе. Учебное пособие. - О.: Наука и техника, 2006, 320с.
2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. М.: ИК «Ягроба» - «Биоинформсервис», 1998.
3. В.С.Петрушин, А.М.Якимец. Повышение энергосбережения за счёт применения в частотном электроприводе адаптивных асинхронных двигателей // Электрические и компьютерные системы - №3 - 2011. С - 385-387.

# РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК

УДК 621.396.956

## Складені сигнали та розрахунок функції кореляції

Кошовий В.М., д.т.н., професор

Зеленіна К.А., магістр

Одеська національна морська академія

Складені сигнали мають в своєму складі зовнішню послідовність та внутрішню -  $S_B$  та  $S$ . Загальна послідовність, функцію якої ми будемо розраховувати, визначається перемноженням  $S_B$  та  $S$ .

Наприклад:

$$S_B = 1-1-1 \quad S = 1-1-1$$

$$B_n = 1-1-1-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1$$

Тобто загальна кількість позицій 9.

$$S_B = 1-1 \ 1-1 \ 1 \quad S = 1-1 \ 1-1 \ 1$$

$$B_n = 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1$$

Тобто загальна кількість позицій 25.

Таким чином використання складених сигналів допомагає спростити зберігання цифрових кодів в пам'яті пристрою. Наприклад, якщо потрібно зберігати код, який має 625 позицій, можна представити його як пару кодів по 25 позицій.

Розглянемо для прикладу перший варіант, коли  $S_B = 1-1-1$ ,  $S = 1-1-1$  і відповідно  $B_n = 1-1-1-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1$ .

Сигнали:  $S_0=1$ ;  $S_1=-1$ ;  $S_2=-1$ ;  $S_4=-1$ ;  $S_5=1$ ;  $S_6=1$ ;  $S_7=-1$ ;  $S_8=1$ ;  $S_8=1$ . Вісові коефіцієнти:  $W_0=1$ ;  $W_1=-1$ ;  $W_2=-1$ ;  $W_4=-1$ ;  $W_5=1$ ;  $W_6=1$ ;  $W_7=-1$ ;  $W_8=1$ ;  $W_9=-1$ .

Якщо  $l=0$ , то формула прийме вигляд:

$$\chi_{sw}(kTo) = \sum_{k=1-N}^{N-1} \left( \sum_{n=0}^{N-1} W_n^* S_{(n+k) \bmod N} e^0 \right) \chi(\tau - kTo)$$

$k=0$

$$W_0 S_0 + W_1 S_1 e^0 + W_2 S_2 e^0 + W_3 S_3 e^0 + W_4 S_4 e^0 + W_5 S_5 e^0 + W_6 S_6 e^0 + W_7 S_7 e^0 + W_8 S_8 e^0 = 1 + e^0 + e^0 + e^0 + e^0 + e^0 + e^0 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 9$$

$k=1$

$$W_0 S_1 + W_1 S_2 e^0 + W_2 S_3 e^0 + W_3 S_4 e^0 + W_4 S_5 e^0 + W_5 S_6 e^0 + W_6 S_7 e^0 + W_7 S_8 e^0 + W_8 S_0 e^0 = -1 + e^0 + e^0 - e^0 + e^0 - e^0 - e^0 + e^0 + e^0 = 1$$

$k=2$

$$W_0 S_2 + W_1 S_3 e^0 + W_2 S_4 e^0 + W_3 S_5 e^0 + W_4 S_6 e^0 + W_5 S_7 e^0 + W_6 S_8 e^0 + W_7 S_0 e^0 + W_8 S_1 e^0 = -1 + e^0 - e^0 - e^0 - e^0 + e^0 - e^0 + e^0 - e^0 = -3$$

$k=3$

$$W_0S_3 + W_1S_4e^0 + W_2S_5e^0 + W_3S_6e^0 + W_4S_7e^0 + W_5S_8e^0 + W_6S_0e^0 + W_7S_1e^0 + W_8S_2e^0 = -1 - e^0 - e^0 + e^0 + e^0 + e^0 - e^0 - e^0 - e^0 = -3$$

k=4

$$W_0S_4 + W_1S_5e^0 + W_2S_6e^0 + W_3S_7e^0 + W_4S_8e^0 + W_5S_0e^0 + W_6S_1e^0 + W_7S_2e^0 + W_8S_4e^0 = 1 - e^0 + e^0 - e^0 + e^0 + e^0 + e^0 - e^0 - e^0 = 1$$

k=5

$$W_0S_5 + W_1S_6e^0 + W_2S_7e^0 + W_3S_8e^0 + W_4S_0e^0 + W_5S_1e^0 + W_6S_2e^0 + W_7S_3e^0 + W_8S_4e^0 = 1 + e^0 - e^0 - e^0 + e^0 - e^0 + e^0 - e^0 + e^0 = 1$$

k=6

$$W_0S_6 + W_1S_7e^0 + W_2S_8e^0 + W_3S_0e^0 + W_4S_1e^0 + W_5S_2e^0 + W_6S_3e^0 + W_7S_4e^0 + W_8S_5e^0 = -1 - e^0 - e^0 - e^0 - e^0 - e^0 + e^0 + e^0 + e^0 = -3$$

k=7

$$W_0S_7 + W_1S_8e^0 + W_2S_0e^0 + W_3S_1e^0 + W_4S_2e^0 + W_5S_3e^0 + W_6S_4e^0 + W_7S_5e^0 + W_8S_6e^0 = 1 - e^0 - e^0 + e^0 - e^0 - e^0 - e^0 + e^0 - e^0 = -3$$

k=8

$$W_0S_8 + W_1S_0e^0 + W_2S_1e^0 + W_3S_2e^0 + W_4S_3e^0 + W_5S_4e^0 + W_6S_5e^0 + W_7S_6e^0 + W_8S_7e^0 = 1 - e^0 + e^0 + e^0 - e^0 + e^0 - e^0 - e^0 + e^0 = 1$$

Програма для графічного представлення функції невизначеності в

Matlab має вигляд:

```
s=[1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 1];
s;
h=fliplr(s);
h;
ss=[s s s s s s s s];
ss;
figure(1);
plot(ss);title('signal');zoom хon;grid on;
axis([0, length(ss),-10,10]);
y=filter(h,1,ss);
figure(2);
stem(y);title('output');zoom хon;grid on;
%axis([0, length(ss),-10,10]);
```

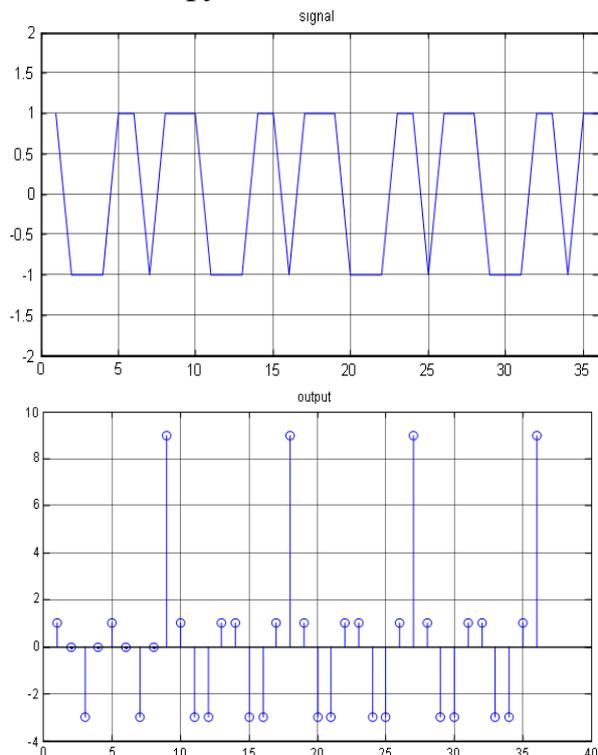
Отримуємо графіки:

Таким чином на основі даного прикладу можна сказати, що використання

складених сигналів спростовує процес зберігання великих кодів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. М., изд-во "Советское радио", 1970, 376 стр., т. 12000 экз.



2. Свердлик М.Б. Оптимальные дискретные сигналы. М., «Сов. Радио», 1975, 200с.

УДК 621.396.946

**Исследование сигналов с нулевым уровнем боковых лепестков функции автокорреляции**

Кошевой В.М., д.т.н., профессор

Кривопуст А.А., магистр

Одесская национальная морская академия

В радиолокации следует использовать передатчик малой мощности, который обеспечивает работу на длительное время, чем использование мощного передатчика, работающего в импульсном режиме. Поэтому нужно переходить к устройствам, которые работают на малой мощности, но постоянно, чем к устройствам, которые имеют большую мощность, но работают в импульсном режиме. Это связано с тем, что в импульсном режиме большая мощность оказывает негативное воздействие на состояние здоровья человека. Поэтому, если брать ту же энергию передатчика, но растянуть ее на большой интервал времени, то энергия будет та же самая, но передатчик излучает на малом уровне мощности и таким образом не оказывает вредного воздействия на человека.

Для определения периодичности и статистических характеристик процесса вводят понятие автокорреляции и функции автокорреляции.

Корреляция и автокорреляция являются одним из «китов» цифровой обработки сигналов наравне со сверткой и преобразованием Фурье.

Корреляция применяется в радарных и гидроакустических установках для дальнометрии и пеленгации (местопределении), в которых сравниваются переданные и отраженные сигналы и по задержке определяются расстояние и местоположение, при детектировании сигналов в шуме, для синхронизации принимаемых данных (нахождении и детектировании начала посылки).

Автокорреляционная функция – это симметрично-зеркальная функция.

Функция автокорреляции применяется для оценки периодичности процессов, для выбора кодовых последовательностей для систем с шумоподобными сигналами (ШПС, примером может служить оценка уникальных кодов Баркера).

Последовательность Баркера – кодовая последовательность, состоящая из символов  $a_i = \pm 1$ , где  $i=0..N$  и характеризующаяся автокорреляционной функцией вида:

$$r(n) = \begin{cases} 1, & \text{для } n = 0 \\ 0, & \text{для } n = 2 \cdot l + 1 \\ \pm 1/N, & \text{для } n = 2 \cdot l \end{cases} \quad (1)$$

где  $l = 0, 1, 2, \dots, (N-1)/2$

Амплитуда боковых лепестков автокорреляционной функции последовательности Баркера не превышает  $1/N$  по модулю, знак в последней строке (1) зависит от величины  $N$ .

Известные кодовые последовательности Баркера:

$N$	Последовательности	$R_{2l}$
3	+1 +1 -1	-1/3
4	+1 +1 -1 +1	+1/4
5	+1 +1 +1 -1 +1	+1/5
7	+1 +1 +1 -1 -1 +1 -1	-1/7
11	+1 +1 +1 -1 -1 -1 +1 -1 -1 +1 -1	-1/11
13	+1 +1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1	1/13

Для некоторых  $N$  существуют две последовательности. Например, для  $N=3$  –  $\{+1, -1, 1\}$  и  $\{+1, +1, -1\}$ , для  $N=4$  –  $\{+1, +1, +1, -1\}$  и  $\{+1, +1, -1, +1\}$ . Кодовые последовательности, обладающие свойствами (1) для  $N > 13$  не найдены.

11-разрядный код Баркера применяется в протоколе беспроводных сетей Wi-Fi IEEE 802.11. При этом логическая единица передается прямой последовательностью, а ноль - инверсной.

Для исследования выбираем сигнал, у которого боковые лепестки равны нулю.

Общая формула для функции автокорреляции имеет следующий вид:

$$R_k = \sum_{n=0}^{N-1-k} S_n * S_{[n+k] \bmod N} \quad (2)$$

Для вычисления одного элемента функции автокорреляции с индексом  $k$  находят сумму произведений отчетов процесса и отчетов его сдвинутой на  $k$  отчетов копии.

Пусть имеется процесс с периодическим повторением четырех разрядной последовательности Баркера:

$$S_0 = 1; \quad S_1 = -1; \quad S_2 = -1; \quad S_3 = -1.$$

Построим график зависимости функции автокорреляции при различных значениях  $k$ , где  $k$ -это значение и отсчет функции автокорреляции ( $k=0\dots3$ ).

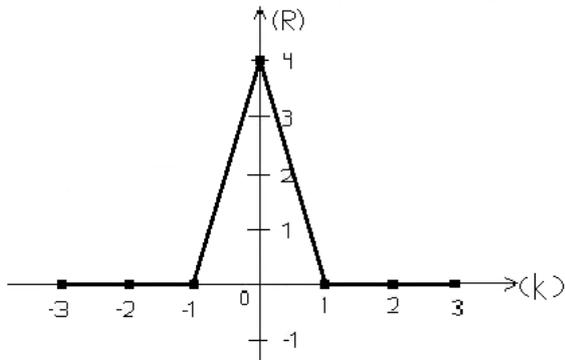


Рис.1 График зависимости функции автокорреляции от различных значений  $k$  ( $k=0\dots3$ )

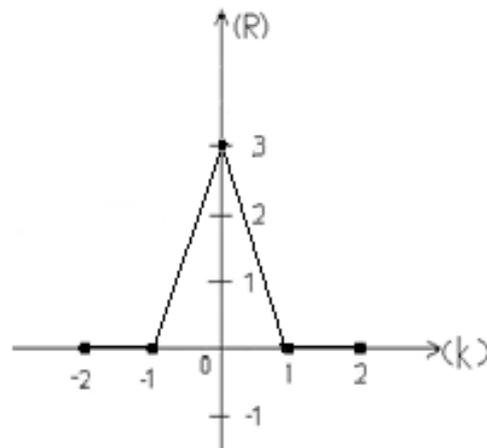


Рис. 2 График зависимости функции автокорреляции от различных значений  $k$  ( $k=0\dots2$ )

Для комплексных чисел функция автокорреляции имеет следующий вид:

$$R_k = \sum_{n=0}^{N-1-k} S_n^* S_{[n+k] \bmod N} \quad (3)$$

Пусть имеется процесс с периодическим повторением трех разрядной последовательности :

$$S_0 = 1; \quad S_1 = e^{\frac{i2\pi}{3}}; \quad S_2 = e^{\frac{i4\pi}{3}}.$$

Построим график зависимости функции автокорреляции при различных значениях  $k$ , где  $k$ -это значение и отсчет функции автокорреляции,  $k = 0\dots2$  (Рис. 2).

Пусть имеется процесс с периодическим повторением двенадцати разрядной последовательности :

	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$	$S_{10}$	$S_{11}$
$N=4$	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
$N=3$	1	$e^{\frac{i2\pi}{3}}$	$e^{\frac{i4\pi}{3}}$	1	$e^{\frac{i2\pi}{3}}$	$e^{\frac{i4\pi}{3}}$	1	$e^{\frac{i2\pi}{3}}$	$e^{\frac{i4\pi}{3}}$	1	$e^{\frac{i2\pi}{3}}$	$e^{\frac{i4\pi}{3}}$
$N=12$	1	$-e^{\frac{i2\pi}{3}}$	$-e^{\frac{i4\pi}{3}}$	-1	$e^{\frac{i2\pi}{3}}$	$-e^{\frac{i4\pi}{3}}$	-1	$-e^{\frac{i2\pi}{3}}$	$e^{\frac{i4\pi}{3}}$	-1	$-e^{\frac{i2\pi}{3}}$	$-e^{\frac{i4\pi}{3}}$

Построим график зависимости функции автокорреляции при различных значениях  $k$ , где  $k$ -это значение и отсчет функции автокорреляции ( $k = 0\dots11$ ) (рис. 3)

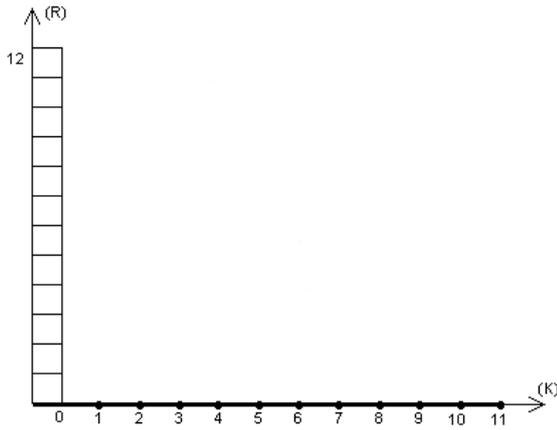


Рис. 3 График зависимости функции автокорреляции от различных значений k (k = 0...11)

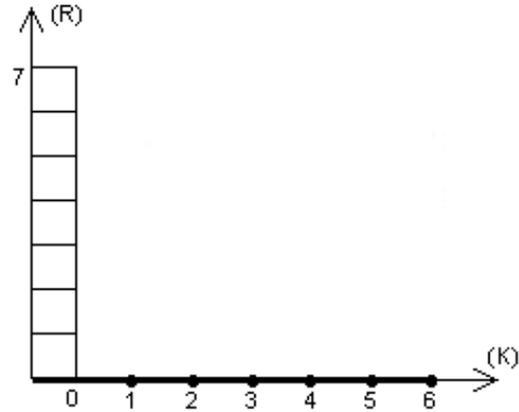


Рис. 4 График зависимости функции автокорреляции от различных значений k (k = 0...6)

Пусть имеется процесс с периодическим повторением семи разрядной последовательности :

$$\cos \varphi = \frac{1 - N}{1 + N} = -\frac{6}{8} = -\frac{3}{4}$$

$$N = 7$$

$$\varphi = \arccos\left(-\frac{3}{4}\right) = 138,6^\circ$$

	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$
N=7	$e^{i138,6}$	$e^{i138,6}$	$e^{i138,6}$	1	1	$e^{i138,6}$	1

Построим график зависимости функции автокорреляции при различных значениях k, где k-это значение и отсчет функции автокорреляции (k = 0...6) (рис.4)

Пусть имеется процесс с периодическим повторением двадцати одной разрядной последовательности :

	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$
N = 3	1	$e^{i120^\circ}$	$e^{i120^\circ}$	1	$e^{i120^\circ}$	$e^{i120^\circ}$	1
N = 7	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i138,6^\circ}$	1	1	$e^{i138,6^\circ}$	1
N= 21	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i120^\circ+i138,6^\circ}$	$e^{i120^\circ+i138,6^\circ}$	1	$e^{i120^\circ}$	$e^{i120^\circ+i138,6^\circ}$	1

	$S_7$	$S_8$	$S_9$	$S_{10}$	$S_{11}$	$S_{12}$	$S_{13}$
N = 3	$e^{i120^\circ}$	$e^{i120^\circ}$	1	$e^{i120^\circ}$	$e^{i120^\circ}$	1	$e^{i120^\circ}$
N = 7	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i138,6^\circ}$	1	1	$e^{i138,6^\circ}$	1
N= 21	$e^{i120^\circ+i138,6^\circ}$	$e^{i120^\circ+i138,6^\circ}$	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i120^\circ}$	$e^{i120^\circ}$	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i120^\circ}$

	$S_{14}$	$S_{15}$	$S_{16}$	$S_{17}$	$S_{18}$	$S_{19}$	$S_{20}$
$N = 3$	$e^{i120^\circ}$	1	$e^{i120^\circ}$	$e^{i120^\circ}$	1	$e^{i120^\circ}$	$e^{i120^\circ}$
$N = 7$	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i138,6^\circ}$	1	1	$e^{i138,6^\circ}$	1
$N = 21$	$e^{i120^\circ+i138,6^\circ}$	$e^{i138,6^\circ}$	$e^{i120^\circ+i138,6^\circ}$	$e^{i120^\circ}$	1	$e^{i120^\circ+i138,6^\circ}$	$e^{i120^\circ}$

Построим график зависимости функции автокорреляции при различных значениях  $k$ , где  $k$ -это значение и отсчет функции автокорреляции ( $k = 0 \dots 20$ ) (рис.5)

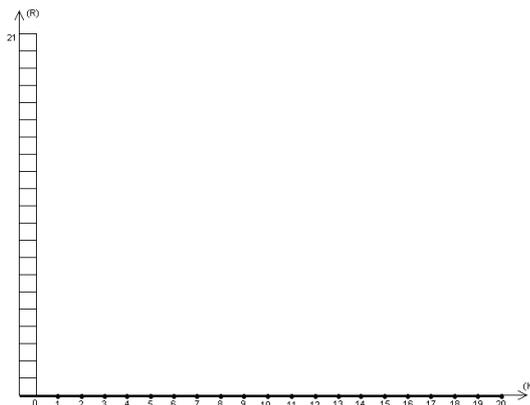


Рис. 5 График зависимости функции автокорреляции от различных значений  $k$  ( $k = 0 \dots 20$ )

Для согласованной обработки выбирается та форма сигнала, при которой обеспечивается подавление боковых лепестков. На выходе фильтра получаем сигнал с нулевыми боковыми лепестками. Согласованный фильтр должен выдавать на выходе сигнал, совпадающий по форме с корреляционной функцией входного сигнала.

Радиолокационная станция излучает большую мощность импульсов. Задача данной работы состоит в том, чтобы составить новые сигналы, которые имели бы малые амплитуды.

Поскольку импульсы оказывают вредное воздействие на человека и требуют более дорогостоящего оборудования на большую мощность, то требуется уменьшить мощность и таким образом обеспечить безопасность работающих.

Мы работаем с малой мощностью, которая разменивается по времени, но с той же энергией. При этом используем более сложные сигналы для генерирования, которые не дают потерь по шумам.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Кошевой В.М., Свердлик М.Б. О возможностях полного подавления боковых лепестков взаимной функции неопределенности в заданной области. Том XIX, М. – 1979

2. Кошевой В.М. Некоторые предельные соотношения для взаимной функции неопределенности финитных сигналов. Том XXVI, М. – 1981
3. Варакин Л. Е. "Системы связи с шумоподобными сигналами": Москва : "Радио и связь" – 1985
4. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. М.: радио и Связь, 1983. 320 с.

УДК 621.396.91

### **Прогнозирование и аналитическое определение максимально применимых частот**

Кошевой В.М., д.т.н., профессор  
Лазаренко М.А., магистр  
Одесская национальная морская академия

Максимально применимые частоты (МПЧ) ионосферных радиотрасс являются важными характеристиками состояния ионосферы для различных групп пользователей, потому что МПЧ может служить индикатором космической погоды в исследуемом регионе, и его значения также важны для организации эффективной работы декаметровых радиотехнических систем дальней радиосвязи и загоризонтной радиолокации.

В работе представлены методы долгосрочного и краткосрочного прогнозирования МПЧ. Приведены результаты исследований и сделаны по ним выводы о том, в зависимости от чего изменяются значения МПЧ. Так как краткосрочный метод более точен, то уклон будет на нём. Будет рассмотрен алгоритм автоматического краткосрочного прогнозирования МПЧ и оценка точности прогноза.

Также будет представлен аналитический расчёт и приведены графики, показывающие, что он даёт приемлемые результаты.

Метод наклонного зондирования даёт точные значения, но в связи с большими растратами на оборудование его можно заменять аналитическим расчётом, который даёт приемлемые результаты.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Иванов В.А., Лыонг Вьет Лок, Насыров А.М., Рябова Н.В. Исследование регулярной и случайной составляющих суточного хода максимально наблюдаемых частот среднеширотных радиолиний протяженностью 2–6 Мм
2. Иванов В.А., Лыонг Вьет Лок, Насыров А.М., Рябова Н.В. Моделирование влияния ионосферных возмущений на дальнейе распространение декаметровых радиоволн.
3. Лукашкин В.М., Егорова А.В. Численный краткосрочный прогноз максимальных частот КВ диапазона на высокоширотных трассах.

## Об одном подходе к выбору сигналов для радиолокационных ответчиков

Кошевой В.М., д.т.н., профессор  
Долженко Д.О., аспирант

Одесская национальная морская академия

Среди оборудования спасательных средств важное место занимает радиолокационный ответчик (РЛО). При попадании сигнала от судовой радиолокационной станции (РЛС) на его приемное устройство, он излучает серию импульсов, благодаря чему происходит обнаружение терпящих бедствие в море.

Современные РЛО работают в импульсном режиме и ввиду отсутствия в них фильтра сжатия не обеспечивают выполнение своих функций при работе с непрерывными РЛС нового поколения.

Возникает задача поиска таких сигналов, которые бы позволили совместно работать уже существующим РЛО и новым РЛС с непрерывными равномерными сигналами. Данные сигналы, с одной стороны, должны обладать теми же характеристиками обнаружения целей, что и равномерные сигналы, используемые в обычных режимах станции, а с другой стороны, должны обеспечить работу с существующим парком РЛО, которые предназначены только для работы с импульсными сигналами. Поэтому в рамках непрерывных сигналов имеет смысл рассматривать квазиимпульсный режим работы, при котором сигналы, оставаясь непрерывными, имеют такую структуру, когда один импульс в достаточной степени превосходит все остальные. Такие сигналы удобно искать в классе непрерывных сигналов, один период которых выражается в виде  $\vec{s} = [a \ b \ \dots \ b]$ , где  $a$  и  $b$  - произвольные комплексные числа.

Основные соотношения, необходимые для синтеза таких сигналов, получены в [1]. Выражение для сигнала, обеспечивающего нулевой уровень боковых лепестков, имеет следующий вид:

$$a_1 = -\frac{N-2}{\sqrt{N}}, \quad (1)$$

$$b_1 = \frac{2}{\sqrt{N}}. \quad (2)$$

Для обеспечения квазиимпульсного режима работы определим значе-  
ние отношения  $\frac{|a_1|}{|b_1|}$ :

$$\frac{|a_1|}{|b_1|} = \frac{N-2}{2}. \quad (3)$$

Для однозначного определения дальности до цели при стандартных режимах работы РЛС требуется сигнал порядка тысячи импульсов, но при таких значениях  $N$  отношение (3) принимает большие значения. Такой сигнал по форме будет приближаться к импульсному и требует больших мощностей при его излучении.

Для того чтобы избежать больших значений отношения  $\frac{|a_1|}{|b_1|}$  необходимо использовать сигналы с короткими периодами, например, при  $N = 20, 40$ , тогда исходя из (3) отношение  $\frac{|a_1|}{|b_1|}$  принимает значения 9, 19.

Использование непрерывных зондирующих сигналов позволяет добиться значительной экономии мощности излучения, однако в данном режиме возникает проблема неоднозначности измерения дальности до цели. Этот недостаток можно устранить путем излучения двух сигналов некратных периодов и применения схемы совпадения отраженных сигналов.

Схема совпадения отраженных сигналов может быть реализована в следующем виде. Ячейки памяти регистра сдвига сначала заполняют элементами дальности, полученными от посылки сигнала с одним периодом, затем то же самое осуществляют при зондировании пространства сигналом с другим (некратным) периодом. Далее полученные данные одновременно пропускают через логический элемент «и» и выводят на дисплей результаты совпадения.

Описанная схема работы устройства устраненя неоднозначности по дальности

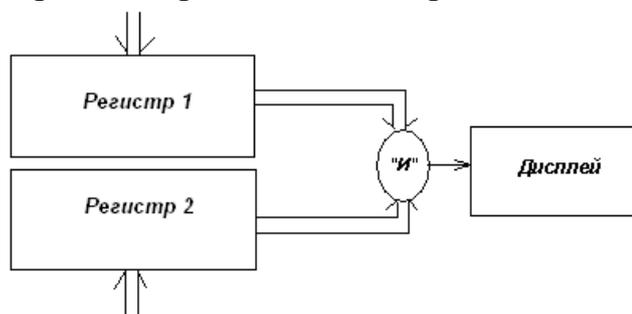


Рис. 1. Схема работы устройства устранения неоднозначности по дальности

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. V. M. Koshevyu, D. O. Dolzhenko. The Synthesis of Periodic Sequences with Given Correlation Properties // Proc. of IEEE East–West Design & Test Symposium (EWDTS'11), Sevastopol, Ukraine, September 9–12, 2011. – P. 341 – 344.
2. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. / А. Оппенгейм, Р. Шафер. - М.: Техносфера, 2006. - 856 с.

## Синхронный метод измерения частоты с досчетом в конце периода для частотных датчиков судового оборудования

Дранчук С.Н., к.т.н., доцент

Олейник М.А., курсант

Одесская национальная морская академия

В состав любой автоматической системы входит измерительный датчик, который превращает необходимую физическую величину (силу, деформацию, ускорение, температуру, обороты двигателя, и тому подобное) в аналоговый электрический сигнал, пропорциональный физической величине, действующий на датчик. Аналоговый сигнал из выхода измерительного датчика для последующей обработки в микроконтроллере должен быть переведен в цифровую форму. Существует несколько вариантов такого преобразования сигнала:

- с использованием АЦП, с последующей передачей данных по какому либо интерфейсу;
- с передачей частотного сигнала и последующим измерением частоты.

Последний метод обладает рядом преимуществ: высокой помехозащищенностью, возможностью совмещения каналов передачи данных и каналов питания, что позволяет использовать только два провода для подключения преобразователя «напряжение – частота», возможностью интегрирования нежелательных колебаний измерительной системы и т.п.

Для измерения частоты в этом случае обычно используется метод прямого счета, либо метод измерения периода [1]. Основным недостатком метода прямого счета является большое время измерения для достижения малой погрешности измерения при низких измеряемых частотах. Основным недостатком метода измерения периода является низкая точность при измерении высоких частот [2].

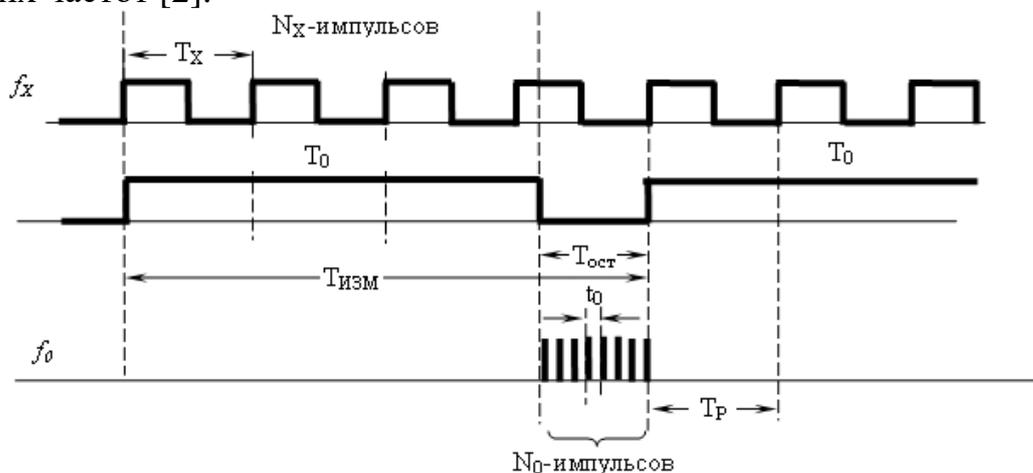


Рис.1 К пояснению синхронного метода измерения частоты с досчетом дробной части целого переменного числа периодов

Авторами предлагается для измерения частоты использовать синхронный метод с досчетом дробной части целого переменного числа периодов за фиксированный интервал времени. Суть этого метода заключается в следующем (рис.1). По первому фронту импульса измеряемой частоты запускается отсчет времени  $T_0$  и начинается подсчет числа периодов измеряемой частоты  $N_X$ . По окончании времени  $T_0$ , подсчет числа периодов прекращается, и начинается подсчет периодов тактовой частоты  $N_0$ . Подсчет этих импульсов прекращается по следующему первому фронту импульса измеряемой частоты. На этом заканчивается один цикл измерения. Значение измеряемой частоты определяется как:

$$f_X = \frac{N_X + 1}{T_0 + t_0 \cdot N_0}. \quad (1)$$

Суммарная относительная погрешность этого метода будет достигать максимального значения при  $T_{OCT} = T_X$  и будет равна:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_d + \delta_C = \frac{3}{f_0 \cdot T_0 \cdot \left(\frac{T_{OCT}}{T_0} + 1\right)} \approx \frac{3}{f_0 \cdot T_0 \cdot \left(\frac{T_X}{T_0} + 1\right)}. \quad (2)$$

Проведенные экспериментальные исследования данного метода измерения на основе AVR микроконтроллера показали, что для диапазона измеряемой частоты от 1 до 20 кГц при интервале времени от 10 мс относительная погрешность измерения частоты не превышает 0,01 %, и практически не зависит от значения частоты. Изменением интервала времени  $T_0$  можно регулировать степень демпфирования нежелательных колебаний измерительной системы.

Предложенный алгоритм работы устройства для измерения частоты данным методом позволяет проводить измерения частоты непрерывно, совмещая процесс измерения с обработкой полученных данных.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ратхор Т.С. Цифровые измерения. Методы и схемотехника. – М.: Техносфера, 2004. – 376 с.
2. Касаткин А.С. Автоматическая обработка сигналов частотных датчиков. – М.: Энергия, 1966. – 120 с.

## Исследование свойств взаимной функции неопределенности составных многофазных сигналов

Кошевой В.М., д.т.н., профессор

Пашенко Е.Л., магистр

Одесская национальная морская академия

В общем случае составные многофазные сигналы представляют собой две последовательности дискретно-кодированных импульсов, одна из которых внешняя, является модулирующей по отношению к другой - базовой. Закон изменения всей последовательности состоит из закона изменения внешней и закона изменения внутренней последовательностей. На рис. 1 приведена базовая последовательность, состоящая из трех импульсов, каждый из которых обладает своей собственной фазой. Каждая такая базовая последовательность изменяется по закону изменения модулирующей внешней последовательности, при этом изменяя свою фазу на значение фаз  $\varphi_1^B$  для первых трех импульсов, на  $\varphi_2^B$  для вторых трех импульсов и так далее.

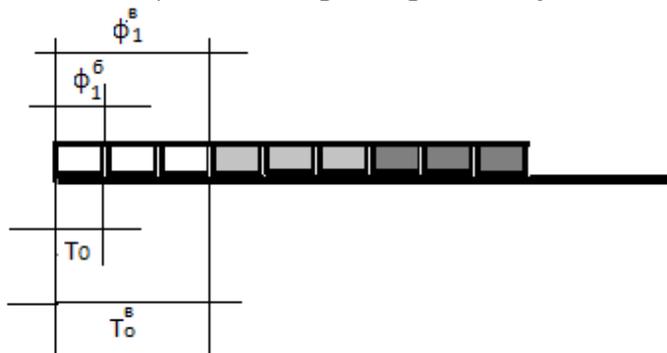


Рис.1 Комплексная огибающая произвольного составного сигнала

Комплексная огибающая состоит из  $N_6$  импульсов длительностью  $T_0$ . Данная последовательность будет повторяться  $N_B$  раз, то есть длительность составного сигнала будет равна  $T_c = T_0 N_6 N_B$ , где  $N_6, N_B$  - количество импульсов базовой и внешней последовательностей;  $T_0, T_0^B$  - длительность импульсов базовой и внешней последовательностей;  $T_c$  - длительность составного сигнала;  $\varphi_1^B, \varphi_1^B$  - фаза импульсов базовой и внешней последовательности. Комплексная огибающая составного дискретно - кодированного сигнала может быть записана в виде:

$$S(t) = \sum_{n_1=1}^{N_B} \sum_{n_0=1}^{N_6} S_{n_0}^B p[t - (n_0(n_1 - 1)N_6)T_0] S_{n_1}^B \quad (1)$$

где  $S_{n_0}^B, S_{n_1}^B$  - комплексные амплитуды базовой и внешней последовательностей.

Функции неопределенности базовой и внешней последовательностей имеет гребнеобразную структуру. Уравнения линий, определяющий поведе-

ние гребней функции неопределенности базовой и внешней последовательности, имеют вид

$$\frac{y}{N} = \alpha'x + l + \frac{m}{N_{\text{б}} - |x|}, m, l = 0, \pm 1, \pm 2 \dots; \quad (2)$$

$$\frac{y}{N} = \frac{\beta'x}{N_{\text{б}}^2} + \frac{l}{N_{\text{б}}} + \frac{m_1}{N_{\text{б}}N_{\text{в}} - |x|}, m_1, l_1 = 0, \pm 1, \pm 2 \dots; \quad (3)$$

где  $\alpha' = \alpha T_0^2$ ;  $\beta' = \beta(T_0 N_{\text{б}})^2$ ;  $\alpha, \beta$  – параметры, определяющие заданное направление гребней функции неопределенности базовой и внешней последовательности соответственно, они не зафиксированы, меняя их, тем самым мы можем менять структуру выходного сигнала;  $x = T/T_0$ ;  $y = fNT_0$ ;  $N = N_{\text{б}}N_{\text{в}}$ . Выражение для кода фазовой модуляции составного сигнала в этом случае можно записать

$$\varphi_n = \frac{\pi}{4} \left\{ \alpha' \left( 2 \left( n - E \left[ \frac{n-1}{N_{\text{б}}} \right] N_{\text{б}} \right) - (N_{\text{б}} + 1) \right)^2 + \beta' \left( 2 \left( E \left[ \frac{n-1}{N_{\text{б}}} \right] + 1 \right) - (N_{\text{б}} + 1) \right)^2 \right\} \quad (4)$$

Параболическое изменение фаз дает в результате гребнеобразную форму базовой и внешней последовательностей. Для такого распределения фаз функция неопределенности будет состоять из произведения гребней. Схематическое представление произведения гребней базовой и внешней последовательностей представлено на рис.2.

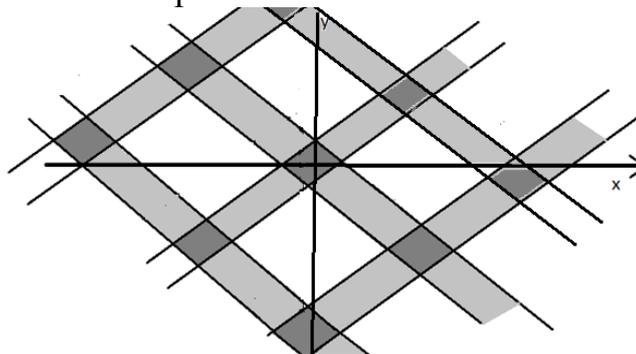


Рис.2 Произведение базовой и внешней последовательностей

Полосы-гребни, идущие параллельно в одном направлении - это базовая последовательность, а идущие в противоположном направлении – внешняя. Нашей задачей являлось добиться пиков, а вокруг них – некоторой свободной области. Следовательно, при перемножении гребней в пространстве будут наблюдаться пики, на рисунке они выделены темно-серым цветом. По мере удаления от центра плоскости неопределенности отдельные пики исчезают, их амплитуда становится соизмеримой с уровнем боковых лепестков. Области, выделенные серым цветом, имеют низкое значение функции неопределенности, так как являются результатом произведения гребней на малое значение.

Следует отметить, что было рассмотрено поведение взаимной функции неопределенности в общем случае. При отсутствии доплеровского сдвига частот, то есть  $y=0$  в сечении видно, что явно выражен пик в центре координат.

натной сетки, а по обе стороны от него наблюдаем малый уровень боковых лепестков. Следовательно, можно сделать вывод, что сигнал хорош при отсутствии доплеровского сдвига частот, то есть при отсутствии движения.

Полученные результаты исследования успешно применяются в радиолокации, для отдельного обнаружения близко расположенных целей, которые разделяются по времени задержки и частоте.

Преимуществом применения составных многофазных сигналов является то, что необходимо знать только количество импульсов базовой  $N_6$  и внешней  $N_B$  последовательностей, параметры  $\alpha'$  и  $\beta'$ , а также закон изменения фаз, а не всё количество  $N_6 * N_B$  позиций. Это существенно экономит память вычислительной машины.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. – М.: «Сов. радио», 1978, 304 с.

УДК 621.396.969.3

### **Синтез бифазных сигналов**

Кошевой В.М., д.т.н., профессор

Папкевич О.А., магистр

Одесская национальная морская академия

Практические возможности генерирования сложных сигналов, по существу, ограничены двумя основными случаями. Используются либо частотно-модулированные импульсы, либо фазоманипулированные сигналы.

Фазоманипулированными (ФМн) называются сигналы, которые представляют последовательность импульсов одинаковой формы с многократными скачками фазы несущей и которые следуют друг за другом с определённым интервалом  $\tau_0$ . Импульсы могут отличаться амплитудами и начальными фазами.

Скачкообразные изменения фазы возможно осуществить на любую величину в пределах от нуля до  $2\pi$ . Однако наибольшее распространение находят главным образом такие сигналы, у которых каждый скачок равен  $\pi$ . Т.е. фазы таких сигналов могут принимать только два значения: 0 или  $\pi$ . И именно эти сигналы и называются бифазными сигналами.

Широкое практическое применение бифазных сигналов объясняется, во-первых, тем, что два одинаковых импульса, сдвинутые по фазе на  $\pi$ , взаимно компенсируют друг друга, в результате чего получаются малые остатки автокорреляционной функции, и, во-вторых, тем, что сигналы такого рода сравнительно просто формировать (коммутируя «полярность» в нужные моменты времени).

Наиболее часто используются прямоугольные единичные импульсы

$$u_0(t) = 1 \text{ при } 0 \leq t \leq \tau_0,$$

длительность которых равна интервалу  $\tau_0$  между импульсами сигнала (интервалу задержки) и принимает значение 1 в моменты времени от 0 до  $\tau_0$ .

Решение задачи синтеза в целом значительно зависит от выбора исходного сигнала. Как уже было сказано, наибольший практический интерес представляют равномерные фазоманипулированные сигналы с импульсами одинаковой длительности и со значениями фазы 0 или  $\pi$ .

Синтез бифазных сигналов проводится методом рекуррентных вычислений.

Схема вычисления сигнала имеет вид:

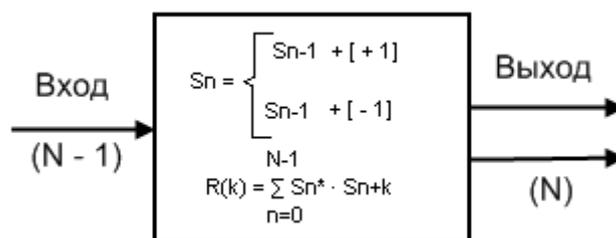


Рис.1

Принцип такого синтеза заключается в следующем: на вход схемы вычисления подаётся позиция сигнала  $(N - 1)$ . На выходе получается несколько сигналов, отличающихся между собой значениями элементов последовательности, представляющей этот сигнал. Эти элементы равны 1 при значениях фазы сигнала 0 или равны -1 при значениях фазы  $\pi$ . Постоянным остаётся только значение первого элемента последовательности, который равен 1. Например, для двухпозиционного сигнала (при  $N = 2$ ) на выходе получаются две последовательности:  $(1;1)$  и  $(1;-1)$ .

Число сигналов, которое мы получаем на выходе данной схемы вычисления, определяется выражением  $2^{N-1}$ .

Поэтому для 3-хпозиционного сигнала (при  $N = 3$ ) на выходе будет 4 последовательности сигналов, для 4-хпозиционного ( $N=4$ ) – 8 последовательностей и т.д.

В данной схеме производится расчет функций корреляции для каждого выходного сигнала и выбирается тот сигнал, корреляционная функция которого лучше.

Синтез бифазных сигналов характерен для радиолокационных систем, предназначенных для наблюдения за различными целями, когда требуется высокая разрешающая способность системы.

Еще одно практическое применение фазоманипулированных сигналов - это возможность создания систем передачи информации с высокой помехоустойчивостью.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Вакман Д.Е. «Сложные сигналы и принцип неопределённости в радио -

- локации» - 1965г.
2. Варакин Л.Е. «Теория сложных сигналов», М. – 1970г.
  3. Варакин Л.Е. «Теория систем сигналов», М. – 1978г.

УДК 621.396.932+629.5.056.6

## **Применение OFDM модуляции для идентификации радиотелефонных передач в морской радиосвязи**

Шишкин А.В., к.т.н., доцент

Ляшко А.А., магистр

Одесская национальная морская академия

*Аннотация* — Предложено использование OFDM модуляции в алгоритмах встраивания данных идентификации в звуковой сигнал в УКВ радиотелефонии морской радиосвязи. Проведены испытания при передаче сигнала в реальном УКВ радиоканале при off-line обработке сигналограмм в системе Матлаб. В стандартной полосе частот (300...3000) Гц получены скорости передачи встроенных данных 4 бита/с для простого алгоритма и 40 бит/с для алгоритма обработки с использованием информации о звуковом сигнале-носителе в передатчике. Разработанный метод предназначен для реализации автоматической идентификации радиотелефонных передач морских судов без замены стандартной аппаратуры радиосвязи, выделения дополнительных частотно-временных ресурсов и изменения принятых процедур радиообмена.

### **1. Введение**

Для идентификации передающего судна в морской радиосвязи в соответствии с Регламентом Радиосвязи в настоящее время используют голосовую передачу позывного сигнала (или цифрового идентификатора). Однако в силу разных причин такая голосовая передача опознавателей может отсутствовать, передана с задержкой или воспринята с ошибками. Задержка достоверной идентификации или ее отсутствие по каким-либо мотивам вообще очевидным образом сказывается на безопасности мореплавания. Только голосовая идентификация не защищает от ведения несанкционированных передач, особенно на 16-м УКВ канале бедствия.

Техническая реализация передачи цифровых данных одновременно и в той же частотной полосе речевого сигнала позволяет реализовать автоматическую идентификацию радиотелефонных передач, не зависимо от того называет себя или нет оператор передающего судна; цифровые данные могут быть автоматически переданы в электронную картографическую навигационную систему (ЭКНИС) для отображения передающего судна и привязки его к текущей навигационной обстановке. В данной работе передача данных идентификации основана на скрытном (стеганографическом) встраивании данных с использованием технологии цифровых водяных знаков

## 2. Передача ЦВЗ в радиоканале

Для стеганографической передачи информации сигнал ЦВЗ  $w(t)$  суммируется со звуковым сигналом-носителем  $x(t)$  и далее передается в общем канале, подвергаясь стандартным операциям обработки приемо-передающего тракта и воздействию шумов  $\xi(t)$  в сквозном канале от микрофона до низкочастотного выхода усилителя приемника. Сигнал на входе приемника для выделения ЦВЗ равен:  $x(t) = w(t) + x(t) + \xi(t)$ .

В приемнике сигнал ЦВЗ должен быть выделен на фоне двух шумовых составляющих: сигнала-носителя  $x(t)$  и аддитивного шума канала  $\xi(t)$ . Предполагается, что используется тот же самый частотно-временной ресурс канала, предоставляемый УКВ радиотелефонным каналом. Мультиплексирование цифровой информации в речевой сигнал возможно за счет незначительных искажений сигнала-носителя. Встраивание данных непосредственно в речевой сигнал не должно быть ощутимо на слух, чтобы не мешать ведению переговоров, поэтому мощность искажений  $\sigma_w^2$  должна быть значительно меньше мощности сигнала-носителя:  $\sigma_w^2 \ll \sigma_x^2$ . Кроме того, практическая применимость способа требует сохранения стандартного судового радиооборудования.

Установлено, что в реальном УКВ радиоканале одной из критичных для ЦВЗ помех являются межсимвольные искажения (МСИ), вызванные неравномерностью амплитудно-частотной (АЧХ) и нелинейностью фазочастотной (ФЧХ) характеристик сквозного тракта радиоканала.

Для эффективной передачи ЦВЗ на фоне звукового сигнала предложено использовать OFDM модуляцию (Orthogonal frequency-division multiplexing -ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием). Технологии на основе OFDM широко применяются в широкополосных системах беспроводной передачи данных, стандартах цифрового телевидения и радиовещания как метод борьбы с частотно-селективными искажениями вследствие многолучевого распространения сигнала. В нашем случае источником частотно-селективных искажений (или МСИ) являются электронные низкочастотные цепи приемника и передатчика.

При OFDM осуществляется распределение символов одного «быстрого» последовательного потока данных на множество «медленных» параллельных потоков, передаваемых на ортогональных поднесущих. Каждый «медленный» поток передается в своей узкой полосе частот  $\Delta F$  с независимой обработкой в каждом канале. В пределах полосы  $\Delta F$  АЧХ постоянна, а ФЧХ линейна и поэтому влияние МСИ устраняется. Суммарная же скорость передачи по всем узкополосным каналам равна скорости в исходном последовательном канале.

Сущность предложенного метода иллюстрируется рис. 1.

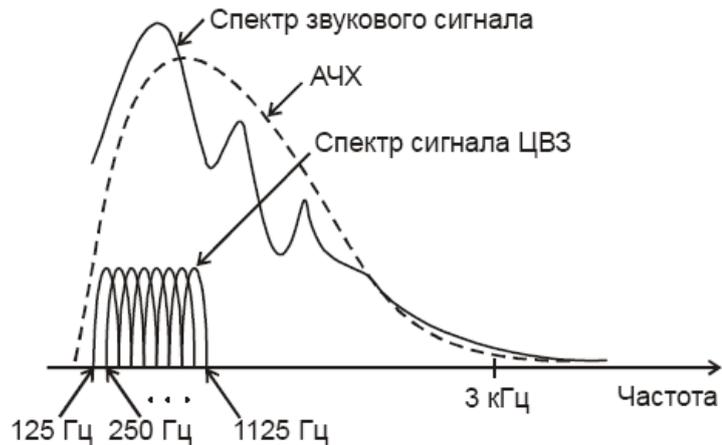


Рис.1. Передача ЦВЗ в звуковом тракте.

Разработаны два алгоритма встраивания ЦВЗ: 1) без учета влияния сигнала-носителя  $x(t)$  и 2) с учетом влияния  $x(t)$ . В первом случае для ЦВЗ роль шума практически играет сигнал-носитель  $x(t)$ , поскольку  $\sigma_x \gg \sigma_\xi$ , а во втором -  $\sigma_\xi$ , так как носитель известен в передатчике и как показано в [3], его влияние на  $w(t)$  теоретически может быть полностью устранено. Для формирования ЦВЗ используется квантование  $Q(\tilde{x}, m)$  скалярного произведения  $\hat{x} = (x, u)$  носителя на псевдослучайную последовательность  $u = \{-1, 1\}$  длиной  $L$  символов с учетом встраиваемого бита данных  $m$  [4]:

$$\frac{1}{L}[Q(\tilde{x}, m) - \tilde{x}]u. \quad (1)$$

Показано, что увеличение отношения сигнал-шум (по напряжению) для алгоритма (1) составляет  $\sqrt{L}$ .

### 3. Результаты испытаний

Устройство [5] с реализацией разработанных алгоритмы встраивания ЦВЗ с использованием OFDM были испытаны в реальном УКВ радиоканале при offline обработке сигналограмм в математическом пакете Матлаб. Числовые параметры эксперимента таковы: частота дискретизации  $F_s = 8$  кГц; размерность БПФ  $N = 64$ ; ширина полосы частот одного канала  $\Delta F = 125$  Гц; скорость передачи в полосе 300÷3000 Гц: 4 бита/с (40 бит/с для алгоритма с учетом информации о передаваемом сигнале-носителе); отношение звуковой сигнал – ЦВЗ: 20 дБ.

На рис. 2 представлена сигналограмма на выходе согласованного фильтра приемника. Все встроенные данные достоверно восстановлены.

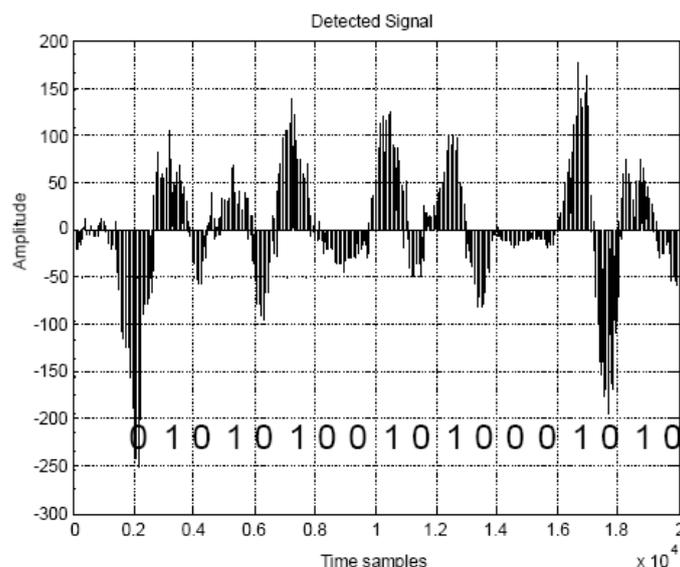


Рис.2. Сигнал на выходе согласованного фильтра.

#### 4. Заключение

В алгоритмах передачи данных на фоне речевого сигнала аналоговой УКВ радиотелефонии предложено использовать OFDM модуляцию для аналоговых каналов радиосвязи. Автоматическая идентификация радиотелефонных передач осуществляется без выделения дополнительных частотно-временных ресурсов. Метод не требует изменений существующей стандартной радиоаппаратуры и эксплуатационных процедур радиосвязи. Замене подлежит только телефонная гарнитура и дополнительно подключается мини-дисплей для цифровой индикации данных идентификации.

На данный момент ведется работа над алгоритмом синхронизации, а также созданием опытного образца, который будет осуществлять работу алгоритма системы в режиме реального времени.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Cox I. J., et al. Digital watermarking and steganography. Second Edition. Morgan Kaufmann Publishers, 2008. 594 p.
2. Шишкин А. В. Передача цифровой информации в аналоговых УКВ радиотелефонных каналах морской и воздушной подвижных служб радиосвязи // 20-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2010): материалы конф. (Севастополь, 13—17 сент. 2010 г.). Севастополь: Вебер, 2010. Т. 1. С. 345—346.
3. Gel'fand S. I., Pinsker M. S. Coding for channel with random parameters // Problems of Control and Information Theory. 1980. Vol. 9 (1). P. 19—31.
4. Шишкин А. В., Кошевой В. М. Устойчивая к атакам масштабирования стеганографическая передача информации с исключением мешающего влияния сигнала-носителя: // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2007. № 6. С. 3-15.
5. Шишкин А. В. Патент 92735 (Украина). Устройство для автоматической идентификации радиотелефонных передач. Оpubл. в Б. И., 2010. № 23.

**Синтез фильтров, обеспечивающий нулевой уровень боковых лепестков, взаимной корреляционной функции периодических сигналов**

Кошевой В.М., д.т.н., профессор

Безверхая А.В., магистр

Одесская национальная морская академия

Энергетическое влияние электромагнитного излучения может быть различной степени и силы. От неощутимого человеком (что наблюдается наиболее часто) до теплового ощущения при излучении высокой мощности. Сверхмощные электромагнитные влияния могут выводить из строя приборы и электроаппаратуру. Судовая РЛС имеет импульсы 100-200 Вт. Эти импульсы плохо влияют на экипаж. Требуют установки дорогостоящего оборудования, расчета времени пребывания экипажа в районе действия судовой РЛС, использования специальных средств защиты. Уменьшая мощность, можно уменьшить вредное влияние излучения на организм человека. Уменьшается влияние на другие приборы связи при уменьшении мощности.

Корреляционная функция  $R_{sw}$ :

$$R_{sw}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n^* S_{[n+k]}$$

Для этой заданной корреляционной функции необходимо найти весовые коэффициенты  $w_n^*$ . Коэффициент  $k$  изменяется:

$$k = -(N-1)..(N-1)$$

Таким образом, необходимо найти весовые коэффициенты с помощью дискретного преобразования Фурье, проделав действие над обеими частями выражения.

$$\sum_{n=0}^{N-1} w_n e^{\frac{i2\pi ln}{N}} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} R_{sw}(k) e^{\frac{-i2\pi lk}{N}}}{\sum_{n=0}^{N-1} S_n e^{\frac{-i2\pi ln}{N}}}$$

Особый интерес представляет частный случай, когда выходной сигнал имеет пик, а боковые лепестки равны нулю. Выходя из этого:

$$\sum_{n=0}^{N-1} R_{sw}(k) e^{\frac{-i2\pi lk}{N}} \rightarrow R_{sw}(0)$$

Тогда весовые коэффициенты дискретного фильтра будут равны:

$$w_n = \sum_{l=0}^{N-1} \left( \frac{R_{sw}(0)}{\sum_{n=0}^{N-1} S_n e^{\frac{-i2\pi ln}{N}}} \right) e^{\frac{i2\pi ln}{N}}$$

Весовой обработкой сигнала происходит подавление боковых лепестков, но сам сигнал остается с мощностью меньшей, чем у импульсного сигнала.

Для примера сделаем преобразование для сигнала: 1 -1 -1

$$S_0 = -1; \quad S_1 = -1; \quad S_2 = 1;$$

Далее необходимо сделать дискретно преобразование Фурье.

Общее выражение дискретного преобразования Фурье имеет следующий вид:

$$S(l) = \sum_{n=0}^{N-1} S_n * e^{\frac{j2\pi * l * n}{N}}, \text{ где}$$

$$l = -(N-1) \dots 0 \dots (N-1);$$

$$e^{\frac{j2\pi * l * n}{N}} = \cos \frac{2\pi l n}{N} + j \sin \frac{2\pi l n}{N}.$$

Проведем вычисление для дискретного преобразования Фурье, когда частотный спектр (l) равен 0.

$$\underline{l=0}$$

$$n=0 \quad e^0 = 1; n=1 \quad e^0 = 1; n=2 \quad e^0 = 1$$

$$S(0) = S_0 * e^{\frac{j2\pi * 0 * 0}{3}} + S_1 * e^{\frac{j2\pi * 0 * 1}{3}} + S_2 * e^{\frac{j2\pi * 0 * 2}{3}}$$

Проведем вычисление для дискретного преобразования Фурье, когда частотный спектр (l) равен 1.

$$\underline{l=1}$$

$$n=0 \quad e^0 = 1$$

$$n=1 \quad e^{\frac{j2\pi * 1 * 1}{3}} = -0.5 + 0.86j$$

$$n=2 \quad e^{\frac{j2\pi * 1 * 2}{3}} = -0.5 - 0.866j$$

$$S(0) = (-1)*1 + (-1)*(-0.5 + 0.86j) + 1(-0.5 - 0.86j) = -1 - 1.732j$$

Проведем вычисление для дискретного преобразования Фурье, когда частотный спектр (l) равен 2.

$$\underline{l=2}$$

$$n=0 \quad e^0 = 1$$

$$n=1 \quad e^{\frac{j2\pi * 2 * 1}{3}} = -0.5 - 0.86j$$

$$n=2 \quad e^{\frac{j2\pi * 2 * 2}{3}} = -0.5 + 0.866j$$

$$S(0) = (-1)*1 + (-1)*(-0.5 - 0.86j) + 1(-0.5 + 0.86j) = -1 + 1.732j$$

Обратное преобразование Фурье даст w(1), w(2), w(3)

$$W(0) = \frac{R_{SW}}{S(0)} = -R_{SW}(0)$$

$$W(1) = \frac{R_{SW}}{S(1)} = \frac{R_{SW}(0)(0-1+1.732j)}{(-1-1.732j)(-1+1.732j)} = \frac{R_{SW}(0)(-1+1.732j)}{4}$$

$$W(2) = \frac{R_{SW}}{S(1)} = \frac{R_{SW}(0)(0-1-1.732j)}{(-1+1.732j)(-1-1.732j)} = \frac{R_{SW}(0)(-1-1.732j)}{4}$$

Тогда весовые коэффициенты фильтра:

$$\underline{n=0}$$

$$l=0 \quad e^0 = 1; l=1 \quad e^0 = 1; l=1 \quad e^0 = 1; l=2 \quad e^0 = 1$$

$$w_0 = (-1)R_{sw}(0) + \frac{R_{sw}(0)(-1 + 1.732j)}{4} * 1 + \frac{R_{sw}(0)(-1 - 1.732j)}{4} * 1 = R_{sw}(0)\left(-\frac{3}{2}\right)$$

$$\underline{n=1}$$

$$l=0 \quad e^0 = 1$$

$$l=1 \quad e^{\frac{j2\pi*1*1}{3}} = -0.5 + 0.866j$$

$$l=2 \quad e^{\frac{j2\pi*1*2}{3}} = -0.5 - 0.866j$$

$$w_1 = (-1)R_{sw}(0) + \frac{R_{sw}(0)(-1 + 1.732j)(-0.5 + 0.866j)}{4} + \frac{R_{sw}(0)(-1 - 1.732j)(-0.5 - 0.866j)}{4} = R_{sw}(0)\left(-\frac{3}{2}\right)$$

$$\underline{n=2}$$

$$l=0 \quad e^0 = 1$$

$$l=1 \quad e^{\frac{j2\pi*2*1}{3}} = -0.5 - 0.866j$$

$$l=2 \quad e^{\frac{j2\pi*2*2}{3}} = -0.5 + 0.866j$$

$$w_2 = (-1)R_{sw}(0) + \frac{R_{sw}(0)(-1 + 1.732j)(-0.5 - 0.866j)}{4} + \frac{R_{sw}(0)(-1 - 1.732j)(-0.5 + 0.866j)}{4} =$$

$$0$$

Проведем расчет для проверки:

$$R_{sw} = \sum_{n=0}^{N-1} w_n S_{[n+k]}$$

$$R_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n S_n = w_0 S_0 + w_1 S_1 + w_2 S_2$$

$$R_1 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n S_{n+1} = w_0 S_1 + w_1 S_2 + w_2 S_0$$

$$R_2 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n S_{n+2} = w_0 S_2 + w_1 S_0 + w_2 S_1$$

$$R_0 = R_{sw}(0)\left(-\frac{3}{2}\right)(-1) + R_{sw}(0)\left(-\frac{3}{2}\right)(-1) + 0 = 3R_{sw}(0)$$

$$R_1 = R_{sw}(0)\left(-\frac{3}{2}\right)(-1) + R_{sw}(0)\left(-\frac{3}{2}\right) + 0 = 0$$

$$R_2 = R_{sw}(0)\left(-\frac{3}{2}\right) + R_{sw}(0)\left(-\frac{3}{2}\right)(-1) + 0 = 0$$

Таким образом, после расчета был получен выходной сигнал, имеющий пиковый лепесток и нулевые боковые лепестки.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Варакин Л.Е. Сложные сигналы - М.: Радио и связь, 1985.- 383 с.

2. Ипатов В.П. Синтез дискретных сигналов - М.: Радио и связь, 1992. 152 с.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов - Пб, Питер, 2002. — 608 с.

УДК 621.396.969.3

### Синтез частотно-манипулированных сигналов

Кошевой В.М., д.т.н., профессор

Кушниренко О.В., магистр

Одесская национальная морская академия

В данной работе будут рассмотрены сигналы типа импульсная последовательность с частотной манипуляцией от импульса к импульсу. Эти сигналы представляют большой интерес для задач радиолокации, в которой важную роль играет разрешающая способность по дальности и скорости. Поэтому будут свойства функции неопределенности (ф.н.) и взаимной функции неопределенности (в.ф.н.) составных частотно-манипулированных последовательностей, которые позволяют реализовать не только высокую разрешающую способность по скорости и дальности, но и низкий уровень боковых лепестков в окрестности центрального пика.

Комплексная огибающая сигнала и импульсного отклика фильтра в классе частотно-манипулированных последовательностей в общем случае имеет соответственно вид:

$$S(t) = \sum_{n=1}^N S_n(t)p(t - nT_n), \quad (1)$$

$$W(t) = \sum_{n=1}^N W_n(t)p(t - nT_n), \quad (2)$$

где  $S_n(t) = S_n e^{i2\pi\Delta f_n t}$ ;  $W_n(t) = W_n e^{i2\pi\Delta f_n t}$ ;  $S_n, W_n$  – комплексные амплитуды;  $\Delta f_n$  – код частотной манипуляции;

$$p(t - nT_n) = \begin{cases} 1 & \text{при } (n-1)T_n \leq t \leq (n-1)T_n + T_0, \\ 0 & \text{при других } t; \end{cases}$$

$T_0$  – длительность элементарного импульса;  $T_n$  – период повторения импульса.

Часто сигналы типа (1) используются в режиме, когда  $T_n \geq T_0$  (например, когда нужно обеспечить высокое разрешение по скорости при сохранении однозначности по дальности).

В этих случаях практический интерес представляет область в.ф.н.  $\chi_{sw}(\tau, f)$ , расположенная в центральной полосе. Общий вид в.ф.н. имеет вид:

$$\chi_{sw}(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} W_n(t) S_n(t - \tau) \cdot e^{i2\pi f t} dt \quad (3)$$

Но данное выражение необходимо нормировать, т.к. в данном случае важна лишь форма сигнала. Максимум нормированной функции (сигнал на выходе фильтра) не превышает единицу. Норма сигнала и фильтра для в.ф.н. имеет вид:

$$\iint_{-\infty}^{+\infty} |\chi_{sw}(\tau, f)|^2 dt d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_n(t)|^2 \int_{-\infty}^{+\infty} |S_n(t)|^2 dt \quad (4)$$

Аналитическая запись в.ф.н. (нормированная) в центральной полосе для сигнала (1) и фильтра (2) имеет вид:

$$\chi_{sw}(\tau, f) = \frac{1}{\left(\sum_{n=1}^N |S_n|^2 \sum_{n=1}^N |W_n|^2\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot \sum_{n=1}^N S_n W_n \cdot e^{i2\pi(\Delta f_n \tau + n f T_n)}, \quad (5)$$

Введем нормированные величины  $\frac{\tau}{T_0} = x$ ,  $f T_n = y$ ,  $\Delta f_n T_0 = c_n$  и можно переписать выражение (5):

$$\chi_{sw}(y, x) = \frac{1}{\left(\sum_{n=1}^N |S_n|^2 \sum_{n=1}^N |W_n|^2\right)^{\frac{1}{2}}} \sum_{n=1}^N S_n W_n \cdot e^{i2\pi(c_n x + n y)} \quad (6)$$

У в.ф.н. есть свойство для составных частотных последовательностей, у которых некоторая базовая последовательность повторяется через каждые  $N_1$  позиций (рис.1) по закону внешней последовательности.

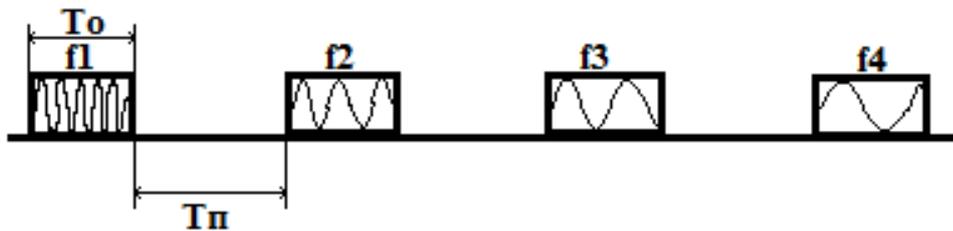


Рис.1 Базовая последовательность составной частотной последовательности

В центральной полосе модуль в.ф.н. всей последовательности представим в виде произведения модулей в.ф.н. базовой и внешней:

$$|\chi_{sw}(y, x)| = |\chi_{sw}^B(y, x)| \cdot |\chi_{sw}^E(x, N, y)|, \quad (7)$$

где  $|\chi_{sw}^B(y, x)| = \frac{1}{\left(\sum_{n=1}^{N_1} |S_n|^2 \sum_{n=1}^{N_1} |W_n|^2\right)^{\frac{1}{2}}} \left| \sum_{n=1}^{N_1} S_n W_n \cdot e^{i2\pi(c_n x + n y)} \right|$  - в.ф.н. базовой последовательности;

$$|\chi_{sw}^E(x, N, y)| = \frac{1}{\left(\sum_{k=1}^K |S'_k|^2 \sum_{k=1}^K |W'_k|^2\right)^{\frac{1}{2}}} \left| \sum_{k=1}^K S'_k W'_k \cdot e^{i2\pi(c'_k x + N_1 y)} \right|$$
 - в.ф.н. внешней

последовательности, где  $c'_k = \Delta f'_k T_0$ .

Составные частотные последовательности, построенные на базе линейных частотных последовательностей, имеют частотные коды базовой и внешней последовательностей, которые могут быть записаны в виде

$$c_n = a n, \quad c'_k = a_1 k, \quad (8)$$

где  $a$  и  $a_1$  — параметры соответствующих линейных зависимостей, код частотной манипуляции, последовательности такого вида изображены на рис.2.

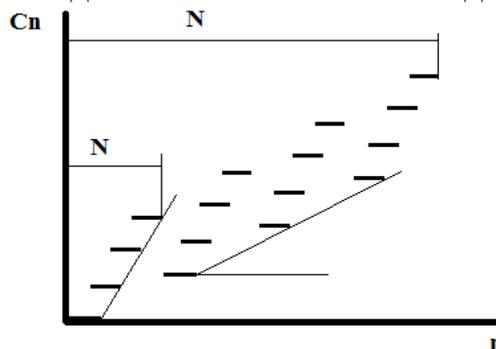


Рис.2 Код последовательности с частотной манипуляцией

Модули в.ф.н. базовой и внешней последовательностей имеют вид параллельных гребней. Топографическое сечение, характеризующее конфигурацию и положение ближайших относительно главного пика наибольших боковых пиков, изображено на рис.3.

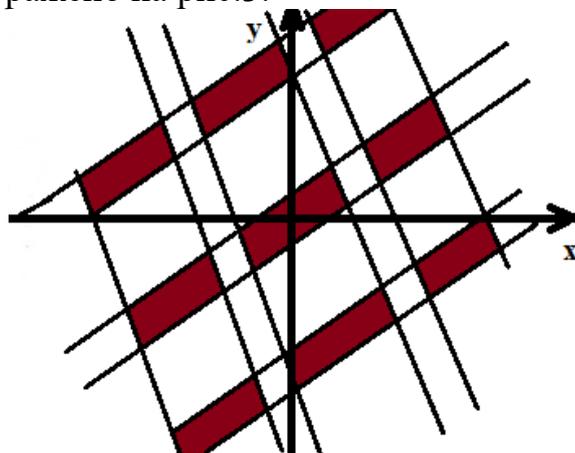


Рис. 3 Сечение гребней на нулевом уровне

Свойства взаимной функции неопределенности (в.ф.н.) составных частотно-манипулированных последовательностей позволяют реализовать не только высокую разрешающую способность по дальности и скорости, но и низкий уровень боковых лепестков в окрестности центрального пика в.ф.н., что очень важно для задач разрешения сигналов от близко расположенных целей.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Варакин Л.Е., Теория сложных сигналов, М – 1970.
2. Гонтаренко В.П. Кошевой В.М., Исследование свойств взаимной функции неопределенности импульсных последовательностей с частотной манипуляцией, №6.

УДК 621.396

### **Синтез составных многофазных сигналов**

Кошевой В.М., д.т.н., профессор

Андрющенко Ю. В., магистр

Одесская национальная морская академия

В настоящий момент в радиолокации стоит задача разделения сигналов. Она возникла в связи с необходимостью идентификации объектов, находящихся на небольшом расстоянии друг от друга, а также движущихся с большой скоростью, например, быстро идущие катера.

Данную задачу можно решить путем использования многофазных сигналов с широким спектром. Но для такого типа сигналов необходимо очень большое количество значений фаз, например, 400, что в значительной мере затрудняет работу машины, так как все эти значения должны храниться в памяти.

Поэтому идут по пути использования составных сигналов, у которых некоторый базовый сигнал повторяется с законом модуляции, определяемым внешней последовательностью. Это позволяет не только облегчить решение задач анализа и синтеза таких сигналов, но и упростить построение фильтров их обработки. В этом случае число значений фаз, которые необходимо хранить в памяти компьютера сокращается до 40, 20 из которых соответствуют базовой последовательности и 20 – внешней.

Но имеется возможность еще в значительной мере упростить работу компьютера и уменьшить количество значений, хранящихся в памяти до двух. Для этого можно использовать квадратичную функциональную зависимость для базовой и для внешней последовательности:

$$s_{n_0}^B = \exp \left\{ \frac{\pi \alpha T_0^2}{4N_B^2} (2n_0 - (N_B + 1))^2 \right\}$$

$$s_{n_1}^B = \exp \left\{ \frac{\pi \beta (N_B T_0)^2}{4N_B^2} (2n_1 - (N_B + 1))^2 \right\}$$

Таким образом, в памяти компьютера необходимо хранить законы изменения комплексных амплитуд для базовой и внешней последовательностей, а также значения параметров  $\alpha$  и  $\beta$ .

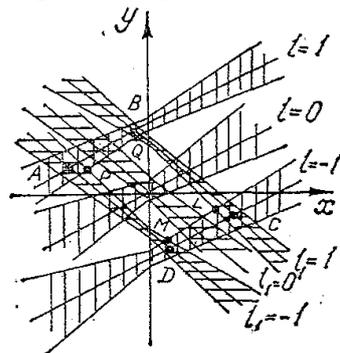


Рис. 1 Общий вид топографического сечения функции неопределенности

Изменяя значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  в функциональных зависимостях, мы получим общий вид топографического сечения функции неопределенности, представленный на рис. 1. Поведение гребней базовой и внешней последовательностей обозначено штриховыми областями. Двойная штриховка соответствует пресечению гребней базовой и внешней последовательностей. В этих областях будут образовываться пики. В остальных же обла-

стях функция неопределенности будет характеризоваться малым уровнем боковых лепестков.

А если подобрать такие значения  $\alpha$  и  $\beta$ , при которых базовая и внешняя последовательности будут перпендикулярными, то сечение будет выглядеть так, как на рис. 2.

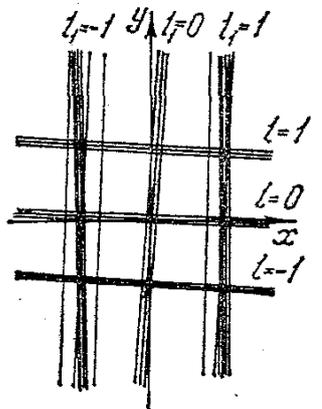


Рис. 2 Топографическое сечение функции неопределенности при нормированных значениях  $\alpha$  и  $\beta$

В этом случае  $\alpha$  и  $\beta$  принимают нормированные значения, которые равны:

$$\alpha' = -1/N_B \quad \beta' = N_B^2/N^2 \quad N_B = N_B \quad (N = N_B^2)$$

Фаза всего сигнала при значениях  $\alpha'$  и  $\beta'$  записывается следующим выражением:

$$\varphi_n = -\frac{\pi}{4N_B} \left[ 2 \left( n - E \left[ \frac{n-1}{N_B} \right] N_B \right) - (N_B + 1) \right]^2 + \frac{\pi}{4N_B^2} \left[ 2 \left( E \left[ \frac{n-1}{N_B} \right] + 1 \right) + (N_B + 1) \right]^2$$

$$n = \overline{1, N}$$

При произведении базовой и внешней последовательностей мы получим модуль функции неопределенности, который представлен на рис. 3

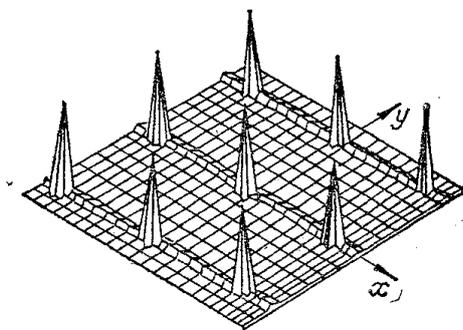


Рис. 3 Модуль функции неопределенности

Таким образом, мы видим, что, сокращая количество значений, которые необходимо хранить в памяти, мы не только ускоряем и упрощаем работу

компьютера, но также имеем возможность получить сигнал достаточно высокого качества, при котором отношение площади пика к свободной области является максимальным, что видно из рис. 3

Можно сделать вывод, что использование составных многофазных сигналов в современной радиолокации в значительной степени упрощает задачу разделения целей как по частоте, так и по времени, а это является одним из главных требований обеспечения безопасности мореплавания.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Варакин Л. Е. Теория систем сигналов.—М.: Сов. радио, 1978.—303 с. 2. Кук. Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы: Теория и применение.— М.: Сов. радио.— 1971.
3. Кошевой В. М., Кононов А. А. Синтез оптимальных одноканальных дискретных сигналов и фильтров//Радиоэлектроника.-1984,-№ 8.-С.62-65. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Кошевой В. М. Оптимальные свойства СЛЧП//ВИМИ.-1978.-№ 7,-С. 47.5. Гонтаренко В. П., Кошевой В. М. Исследование свойств взаимной функции неопределенности импульсных последовательностей с частотной манипуляцией // Радиотехника и электроника.- 1977.-Т. 22.-№ 6,-С.1187-1194.
6. Urcowitz H., Geisler J. D., Ricciardi N. The effect of weighting upon signal fo noise ratio in pulse bursts // IEEE Trans.: AES-9.-1973.-4.- P, 73-77.
7. Кошевой В. М., Гонтаренко В. П., Лавриненко В. П. Об одном методе построения . неадаптивной системы, использующей принцип когерентной обработки // Репорт, ВИМИ.- М.: 1975.- № 15.- С. 35.

Наукове видання

Матеріали  
науково-методичної конференції  
"Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки"  
14.12.2011 – 15.12.2011

Редагування   Луковцев В.С.  
Верстка       Глазева О.В.

Підписано до друку 26.01.2012. Формат 60×84/16.  
Обл.-вид. арк. 20,8. Наклад 300. Зам. № И12-02-28.

ОНМА, центр „Видавінформ”  
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003  
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8  
тел./факс: (0482) 34-14-12  
publish@ma.odessa.ua