

**Міністерство освіти і науки України**  
**Одеська національна морська академія**



**Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технології Великобританії  
(IMarEST)**

## **МАТЕРІАЛИ**

**науково-методичної конференції**

**"АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І РАДІОТЕХНІКИ"**

**11.12. 2013 – 12.12. 2013**



**Одеса – 2014**

У матеріалах конференції розміщено тези доповідей, які заслуховувались на пленарних та секційних засіданнях науково-методичної конференції "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", що відбулась 11-12 грудня 2013 року в Одеській національній морській академії. Тематика конференції охоплювала наступні науково-методичні напрямки: електрозбереження в суднової енергетиці, практична та тренажерна підготовка курсантів у відповідності з новою Конвенцією ПДНВ, технічна експлуатація сучасного електрообладнання та систем управління суден, загальні підходи до оптимізації радіоелектронних пристроїв та систем.

Матеріали науково-методичної конференції "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", 11.12.2013 – 12.12.2013. – Одеса: ОНМА, 2014. – 140 с.

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

Організатори:

Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технології  
Великобританії (IMarEST)

Факультет електромеханіки та радіоелектроніки  
Одеської національної морської академії

## ЗМІСТ

<b>ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ.....</b>	<b>8</b>
<i>В.С. Луковцев</i> О проблемах подготовки судовых электромехаников и радиоэлектроников..	8
<i>Н.Й.Муха</i> Методология научных исследований на оборудовании тренажерного комплекса полномасштабной судовой автоматизированной электроэнергетической системы.....	10
<i>С.А.Михайлов</i> Парадоксы IT – образования.....	14
<i>В.М. Кошевой</i> Перспективные направления совершенствования подготовки морских радиоспециалистов.....	19
<b>СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....</b>	<b>22</b>
<i>В.С. Луковцев, Е.Е.Борисенко</i> Повышение надежности пуска и разгона судового главного двигателя.....	22
<i>В.Г.Донской, М.П. Бекчиев</i> Повышение точности функционирования устройств распределения реактивных нагрузок судовых синхронных генераторов.....	25
<i>И.М.Гвоздева, А.А.Волошин</i> Обеспечение бесперебойного питания судовых асинхронных электроприводов.....	27
<i>И.М.Гвоздева, В.В.Демиров</i> Исследование асинхронного режима работы синхронного генератора.....	28
<i>В.С.Луковцев, О.Р.Фомин</i> Повышение быстродействия авторулевого при больших изменениях курса...	30
<i>В.Г. Донской, А.В. Колос</i> Повышение эффективности контроля судовых кабельных трасс.....	32
<i>В.С. Луковцев, С.А. Терельник</i> Повышение эффективности защиты от короткого замыкания.....	33

<i>В.В. Бушер, С.Л. Петухов</i> Исследование работы асинхронных двигателей при аварийном снижении напряжения и частоты судовой сети контейнеровоза вместимостью 1700 контейнеров.....	36
<i>М.В. Миюсов, Г.Ю. Дёмин</i> Алгоритм регулирования частоты вращения главного двигателя электронным регулятором.....	37
<i>П.И.Полищук</i> IGBT-транзисторный преобразователь для электропривода переменного тока с асинхронным электродвигателем.....	39
<i>М.А. Журенко, В.А. Бушиков</i> Сравнительный анализ динамики микропроцессорной АСР давления пара судового вспомогательного котла при использовании ПИ и ПИД-законов регулирования.....	41
<i>М.А. Журенко, И.С. Полежаев</i> Анализ АСР параллельной работы вспомогательного и утилизационного судовых паровых котлов.....	43
<i>В.В.Будашко, Е.А. Юшков</i> Моделирование динамических процессов азимутального децентрализованного пропульсивного комплекса.....	45
<i>В.В.Будашко, I.M.Тарасов</i> Исследование процессов передачи мощности в комбинированном пропульсивном комплексе при разновекторных нагрузках.....	49
<i>В.В.Бушер, А.В.Мельник</i> Система управления микроклиматом с дробными интегрально-пропорциональными регуляторами.....	52
<i>С.Ф.Самонов</i> Совершенствование процесса воздухообеспечения главного двухтактного судового дизеля в экономических режимах.....	56
<i>О.В. Глазева, В.В. Гольинский</i> Лабораторная установка для изучения свойств электростатического поля....	58
<i>А.О. Дранкова, В.В. Бушер, Д.А. Глазев</i> Исследование гармонических составляющих токов и напряжений подруливающего устройства по системе ТПН-АД.....	61

<i>Н.И.Муха, И. А. Урсу</i> Повышение эффективности мощного электропривода насоса в переходных режимах работы.....	67
<i>В.С.Петрушин, С.В. Дариенко</i> Анализ схемных решений гребной электрической установки гидрографического судна.....	69
<i>В.А.Дубовик, А.Л.Тогобицкий</i> Средства защиты судов от нападения пиратов при использовании высоковольтного оборудования.....	73
<i>В.А.Дубовик, С.В. Колосов</i> Системы видеонаблюдения и сигнализации, предупреждающие членов экипажей судов от нападения пиратов.....	75
<i>А.О.Дранкова, С.С. Михайков</i> Анализ технических средств обеспечения электромагнитной совместимости оборудования грузового комплекса химовоза.....	77
<i>В.В. Голынский</i> Методика определения параметров эквивалентной схемы замещения асинхронного двигателя.....	80
<b>РАДИОТЕХНИКА, РАДИОЭЛЕКТРОННИ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК.....</b>	<b>84</b>
<i>В.М. Кошевой, И.Я. Горшняя</i> Разработка цикла лабораторных работ по расчету функции неопределенности дискретных сигналов и фильтров.....	84
<i>В.М. Кошевой, И. А. Жигарева</i> Разработка цикла лабораторных работ по расчету взаимной функции неопределенности дискретных сигналов и фильтров.....	86
<i>В.М.Кошевой, Е.Л.Пашенко</i> Поведение гребней функции неопределенности (ФН) составных многофазных сигналов.....	88
<i>В.М. Кошевой, А.А. Шеринёва</i> Формирование нулевых зон линейной антенной решетки при использовании двух управляющих весовых коэффициентов.....	91

<i>В. М. Кошевой, Н. В. Ступак</i> Выбор сигналов непрерывных РЛС, позволяющих работать с РЛО.....	93
<i>В.М. Кошевой, О. В. Барщук</i> Анализ и синтез БИХ-цифровых фильтров для задач помехозащиты.....	94
<i>В.М. Кошевой, М.О. Райнова</i> Выбор фазовой модуляции радиолокационных сигналов для получения идеальной корреляционной функции.....	96
<i>В.М. Кошевой, Т.А. Дзюбюк</i> Выбор троичных кодовых последовательностей для задач радиолокации и связи.....	98
<i>В.М.Кошевой, А.В. Полищук</i> Оптимизация аperiodических АФМ сигналов.....	100
<i>В.М. Кошевой, А.А.Шаповалова</i> Вопросы обработки сигналов непрерывных РЛС с малым уровнем боковых лепестков и регулируемые потери в отношении сигнал/шум.....	102
<i>В.М. Кошевой, Д.А. Ставертий</i> Улучшение УКВ радиотелефонии в рамках интегрирования системы ЕКНИС/АИС в УКВ/ЦИВ.....	103
<i>В.М. Кошевой, А.А. Григус</i> Выделение полезного сигнала на фоне помехи, представленной моделью белого шума.....	105
<i>С.А.Михайлов, Т.В. Чашурин</i> Разработка и моделирование печатной платы светодиодного дисплея в САПР Altium Designer.....	107
<i>С.А.Михайлов, А.А.Пірязєв</i> Комп'ютерне моделювання трифазного електроприводу суднової РЕА у програмному середовищі Simulink.....	109
<i>С.А.Михайлов, А.А.Шагова</i> Компьютерное моделирование судовой антенны КВ диапазона в программной среде Mmana.....	111
<i>С.А.Михайлов, Н.Н.Фучеджи</i> Синтез цифрового фильтра в программном симуляторе Matlab.....	113

<i>С.А.Михайлов, С.В.Юрченко</i> Компьютерное моделирование судовой антенны УКВ диапазона в программной среде Mmana.....	115
<i>С.А.Михайлов, М.П.Шушман</i> Разработка цифрового блока индикации устройства измерения на микросхемах фирмы Altera.....	117
<i>С.А.Михайлов, В.С.Попова</i> Моделирование судовой антенны T2FD в программной среде Mmana.....	120
<i>С.А.Михайлов, О.В.Михайленко</i> Компьютерное моделирование антенны SCTD в программной среде Mmana.....	122
<i>С.А.Михайлов, Е.В.Соловьева</i> Расчет полосового фильтра в программной среде Filter Solution.....	123
<i>С.А. Михайлов, А.В. Терзи</i> Расчет антенны ПВ диапазона в программной среде Mmana.....	125
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><i>В.А.Бойко</i></span> , <i>С.А.Михайлов, А.М.Драгіч</i> Методологія синтезу джерела опорного сигналу для цифрових засобів суднової РЕА.....	127
<i>В.В.Сергеев, С.Ю. Решевских</i> Методика расчета спектра одиночного прямоугольного радиоимпульса, манипулированного по фазе кодом Баркера.....	129
<i>В.В.Сергеев, В.В. Дерменж</i> Сравнительный анализ энергии и мощности одиночных радиосигналов.....	131
<i>В.А. Завадский, О.И. Дума</i> Разработка программного обеспечения автономного модуля оповещения на удаленном объекте.....	133
<i>В.А. Завадский, Д.А. Захарченко</i> Разработка системы автономного модуля сигнализации на удаленном объекте.....	135
<i>В.М. Кошевой, Л.Н.Сукач</i> Выбор амплитудной модуляции радиолокационных сигналов для получения идеальной корреляционной функции.....	138

## ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

УДК 629.5.064.5

### О ПРОБЛЕМАХ ПОДГОТОВКИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКОВ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКОВ

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

Сегодня от судовых электромехаников требуются: знание компьютеров, компьютерных систем и сетей, умение при отказе части интегрированной системы управления не только сманеврировать резервом, но и обеспечить выполнение необходимой функции через другие системы, управляющие программы и т.п. Для этого нужны фундаментальные знания технологических процессов работы механизмов и их управления.

Иногда наши курсанты задают вопросы: «Зачем мы учим высшую математику, теорию автоматического управления, моделирование, когда они на судне не потребуются? «Почему мы изучаем одно, а на судне видим совсем другое?» Но это естественно, на судне курсанты видят то, как оно есть, но в академии они изучают, как оно должно быть. И задача выпускников - сделать в жизни всё как оно должно быть, для этого они и учатся, т.е. теория нужна для изучения правил, а практика для изучения исключений из правил. И эта истина на все времена, и пока каждый выпускник не прочувствует это - он не станет настоящим специалистом.

Задаются курсанты и вопросом: «А зачем нам все запоминать? Есть справочники, учебники в которых все можно посмотреть?» Но в аварийной ситуации, во-первых, некогда будет смотреть справочник. А во-вторых, попробуйте что-нибудь найти даже в спокойной обстановке? Это займет огромное количество времени, которого в аварийной ситуации всегда не хватает.

Без теории, без знания фундаментальных законов физики, химии, электротехники, теоретической механики, материаловедения, ТАУ, не может быть грамотной практики. Только зная физические процессы, какие происходят в объекте, можно найти правильное решение по поиску неисправностей, по оптимальной настройке параметров регулятора и др. И если бы теория действительно была неважна для подготовки специалиста, то судовладельцы брали бы курсантов прямо с первого курса. Прямая выгода - платить можно меньше. Но они предпочитают брать курсантов старших курсов, причем после собеседования именно по теоретическим вопросам.

Сейчас идет реформирование образования, в том числе и морского. Согласно Манильских поправок к Конвенции ПДНВ 2010 года практическая подготовка для ЭМХ увеличивается до одного года, и тут появляются проблемы

**Первая проблема:** как обеспечить увеличенную практику такого количества курсантов при отсутствии своего флота в условиях мирового кризиса?

Многие суда стоят на приколе, судовладельцы на всем экономят, а потому кадетские программы повсеместно сокращаются? Надежда на возможное приобретение ОНМА в качестве учебного судна пассажирского парохода «Каледония».

**Вторая проблема:** Как сохранить фундаментальность подготовки выпускников при обучении бакалавра за те же 4 года, из которых 1 год выделяется на практику.

Эти проблемы усугубляются, еще и сегодняшней ложной посылкой о том, что мы развиваем сферу образовательных услуг, которая ставит образование в положение, когда оно вынуждено приспособливаться к судовладельцам, предлагая свои услуги, чтобы как-то заработать на жизнь.

**Образование – это не услуга. Это системообразующий институт нации и государства. Гражданами государства нас делает образование и воспитание, а не купленные услуги. Вопросы образования – это вопросы национальной безопасности.**

**Третья проблема** – конкуренция на мировом рынке труда. Новые морские стандарты допускают занятие командных должностей даже без теоретического обучения, практикам разрешается сдавать соответствующие квалификационные экзамены, которые позволят им занимать должности морских офицеров. Такие специалисты могут составить конкуренцию выпускникам высших морских заведений, потому что они будут стоить дешевле. Однако опыт советского морского флота показывает, что благодаря занятию командных должностей выпускниками высших морских учебных заведений аварийность на советском флоте была на порядок ниже чем на мировом флоте. Поэтому фундаментальная подготовка – это главный козырь наших выпускников на рынке труда.

**Четвертая проблема.** Почему-то слабым спросом у абитуриентов пользуется радиоспециальность. На нее не поступают в основном те, кто не прошел по конкурсу на СВФ, СМФ, ФА. В результате к нам попадают абитуриенты с невысоким уровнем знаний, которых потом приходится отчислять. В результате, на некоторых курсах от группы в 25-30 чел. остается по 7-11 чел.

Но чтобы не говорили, про радиоспециальность, она очень интересная с хорошими перспективами трудоустройства. Единственный недостаток, что радиоспециалисты в основном устраиваются в береговые организации, на суда попадают единицы. Причина - сокращение почти на всех судах начальников радиостанций и радиооператоров. К сожалению, это результат технического прогресса, который привел к тому, что радиоэлектронные устройства стали очень надежными, а радиосвязь – очень простой.

Но сейчас на судах появилось новое сложное радиотехническое оборудование АИС, ГМССБ, которое требует специального обслуживания, и когда принимались Манильские поправки к ПДНВ в 2010 году некоторые страны-члены ИМО предлагали ввести в конвенцию и судового электроника, но, к сожалению, судовладельческое лобби не позволило это сделать. Поэтому чтобы сделать радиоспециальность более привлекательной, мы сейчас обсуждаем варианты изменения планов подготовки РС путем дополнения их дополнительными знаниями, а именно – IT-технологиями.

## **МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОБОРУДОВАНИИ ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ПОЛНОМАСШТАБНОЙ СУДОВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

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

Тренажерный комплекс полномасштабной судовой автоматизированной электроэнергетической системы (далее САЭЭС) [1] кроме задач практической подготовки и проверки компетентности судовых морских инженеров спроектирован и для обеспечения научной и научно-технической подготовки магистров, аспирантов и докторантов, проведения фундаментальных и прикладных исследований в области эксплуатации и автоматизации морских транспортных средств.

Аналогично судовому тренажерное оборудование, средства автоматизации, а также соответствующее программное обеспечение (ПО) позволяют проведение научно-исследовательских работ (НИР) по мониторингу, контролю и управлению генераторными агрегатами в ручном, автоматизированном и автоматическом режимах работы электростанции современной компоновки; контролю и управлению различными судовыми электромеханическими системами. Имеющееся ПО для параметрирования, визуализации и осциллографирования позволяет получать качественный исследовательский материал для анализа рабочих процессов дизелей, эксплуатационных режимов электроприводов различных судовых механизмов и систем с их типовой нагрузкой, динамических режимов работы электростанции и отработки алгоритмов управления и автоматизации, включая аварийные ситуации. Предусмотрена возможность имитации различных неисправностей, стандартных и нестандартных режимов работы оборудования.

Основные направления НИР, которые могут выполняться на базе оборудования тренажерного комплекса следующие:

1. Повышение эффективности работы судовой электроэнергетической установки путем оптимальной компоновки электростанции с системой динамической компенсации реактивной энергии, решением проблем электромагнитной совместимости силового оборудования и систем управления.

2. Энергосбережение средствами судового автоматизированного электропривода, создание интеллектуальных систем управления судовыми автоматизированными электромеханическими системами и комплексами.

3. Создание интеллектуальных систем контроля, управления и мониторинга судовыми энергетическими установками – главными и вспомогательными, включая отдаленный мониторинг.

Остановимся только на некоторых особенностях технической реализации оборудования тренажера, аппаратных средствах и его ПО.



Пример применения оборудования тренажерного комплекса для решения научно-технических проблем первого направления НИР, связанных с эффективностью использования компенсации реактивной мощности на судне [2,3] приведен ниже. Рассматривались вопросы выбора способа компенсации, измерения значения реактивной мощности, выбора схем включения конденсаторов, управления синхронизацией моментов коммутации конденсаторов, выбора количества коммутируемых секций конденсаторов и соотношения их емкостей, определения закона управления конденсаторной установкой, оптимизации закона управления в зависимости от количества секций конденсаторов.

Кроме этого решалась проблема использования компенсирующих установок в составе вспомогательных дизель-генераторных агрегатов судовой электростанции. При этом учитывался тот факт, что известные средства стабилизации напряжения и распределения энергии судовых генераторов не предусматривают совместную работу с установками компенсации реактивной энергии.

Разработка новых систем автоматической компенсации и распределения энергии в судовых электроэнергетических установках проводится с учетом реально существующего современного оборудования судовых электроэнергетических установок.

Основные научные задачи, которые могут решаться с использованием оборудования тренажерного комплекса следующие:

- выбор энергетических составляющих объекта исследования и существенных процессов в них с целью разработки математической модели системы для исследования динамических процессов компенсации реактивной энергии;

- исследование современных возможностей, выбор схемных решений и алгоритмов управления блоками конденсаторов компенсирующего устройства для достижения максимально быстрого генерирования необходимого емкостного тока, анализ процессов включения и отключения дискретных блоков конденсаторов с помощью различных тиристорных схем, определение минимальной дискретности по времени для обеспечения процесса коммутации;

- выбор количества трехфазных секций конденсаторов и их емкостей, которые согласуются с параметрами дискретных сигналов управления компенсирующим устройством;

- определение закона управления устройством компенсации реактивной мощностью с учетом особенностей структуры судовой энергетической установки;

- синтез оптимального дискретного закона управления коммутацией трехфазных блоков конденсаторов в зависимости от их количества и величины емкостей.

- анализ технических решений по компенсации реактивной мощности и применения их для осуществления пуска мощного электродвигателя с целью выбора эффективных схем компенсации;

- выбор методов и технических средств исследования судовых установок генерирования и распределения активной и реактивной энергии, разработка математических моделей и компьютерных программ для исследования режима пуска мощного электропривода судового механизма;

- анализ и синтез судовых систем автоматической компенсации реактивной энергии в режиме пуска электродвигателя;
- разработка дискретных законов и оптимизация параметров конденсаторных компенсирующих устройств.

Для решения указанных задач в составе основной электростанции имеются два дизель-генераторных агрегата с синхронными бесщеточными генераторами и современными цифровыми регуляторами напряжения. Валогенераторная установка на базе асинхронного генератора с приводным асинхронным электродвигателем и преобразователем частоты, имитирующего изменение частоты вращения гребного вала в зависимости от погодных и иных условий работы судна. Система регулирования реактивной мощности САЭЭС состоит из контроллера коэффициента мощности серии BR7000 – T12/S485, тиристорных модулей для системы управления блоком конденсаторных батарей типа TSM – LC-I, многофункционального измерительного интерфейса MMI7000-S и конденсаторных блоков различной емкости, например, с весовыми коэффициентами 1-2-4-8 для поддержания заданного коэффициента мощности САЭЭС. Автоматизация САЭЭС в полном объеме обеспечивается контроллерами С6200 фирмы SELCO.

Методы экспериментальных исследований, которые могут быть реализованы в процессе выполнения НИР, например, осциллографирование процессов в судовых электроэнергетических установках на реальном оборудовании в различных режимах эксплуатации, включая режимы пуска мощных электроприводов для создания адекватных компьютерных моделей и программ расчета компенсаторов реактивной мощности в статических и динамических режимах трудно переоценить.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Муха Н.И., Дудко С.А. Анализ алгоритмов управления судовыми установками компенсации реактивной энергии. Проблемы энерго-ресурсосбережения в электротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук: КНУ – Вип. 1/2011(1) . – С. 96-97.
3. Муха Н.И., Павленко С.С. Дискретное управление конденсаторным компенсатором реактивной мощности в пусковых режимах мощных асинхронных двигателей / Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Збірник наукових праць. Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу, Теорія і практика. – Х.; НТУ «ХПІ». – 2013. – № 36 (1009) . – С. 412 – 416.

## ПАРАДОКСЫ ИТ – ОБРАЗОВАНИЯ

С.А.Михайлов, д.т.н., профессор, зав. кафедрой морской электроники  
Одесская национальная морская академия

*«О, сколько нам открытий чудных  
Готовит просвещенья дух!  
И опыт, сын ошибок трудных,  
И гений, парадоксов друг!»*

*А.С.Пушкин*

Ещё почти два века назад великий поэт был озабочен **парадоксами** и **просвещеньем**, т.е. **образованием**. Мне осталось только добавить модную в 21 веке частичку **ИТ**, чтобы получить название моего доклада.

Информационные технологии или, как сейчас принято говорить, используя англоязычную аббревиатуру, (ИТ), повсеместно внедрились в современную жизнь. Количество ИТ-приборов уже давно превысило число жителей планеты. Так, по данным Международного Союза электросвязи (ITU), количество пользователей только мобильной связи в Украине составляет более 150% населения. Кроме сотовой, действуют другие виды радиосвязи, в частности на море, есть персональные компьютеры, управляющие и контролирующие машины и т.д.

Эксперты полагают, что в следующем 2014-м году мировые расходы в сфере информационных технологий вырастут ещё на 3,6 % и достигнут \$3,8 трлн. В долгосрочной перспективе исследователи предсказывают куда более мощный рост отрасли. И дело не столько в увеличении количества существующих связанных с интернетом гаджетов, сколько в распространении информационных технологий на все сферы жизни. По прогнозам властей, Украина может выйти на 6 место в мире по объему ИТ-экспорта. При этом внутренний сегмент ИТ тоже будет расти, но более сдержанно - на 5 - 10 % в год.

Кто же должен конструировать, разрабатывать, производить, эксплуатировать и обслуживать всю эту технику? На наш взгляд – те специалисты, которых мы готовим!

Сегодня никого не нужно убеждать в том, что отрасль информационных технологий является относительно новой и наиболее динамично развивающейся. Как и любое новое дело, развитие ИТ-рынка сопровождается целым рядом парадоксов и внутренних противоречий.

Вот некоторые из них:

- ИТ-специалисты находятся в первой строчке спроса в службах занятости населения на рынке труда не только Украины, но и других государств; существует неудовлетворенный спрос работодателей и, вместе с тем, отсутствие работы у значительной части выпускников высших учебных заведений;

- число бюджетных мест государственного заказа на подготовку IT-специалистов в ВУЗах ежегодно возрастает и, в то же время, эти места не везде заполняются из-за отсутствия конкурса при поступлении на 1 курс;

- высокооплачиваемые контракты квалифицированных IT-специалистов и безуспешные поиски работы по специальности выпускниками; IT-специалисты являются одними из самых высокооплачиваемых (достаточно назвать имена Билла Гейтса и Стива Джобса), их карьера очень стремительна (создателю социальной сети «В контакте» г-ну Дурову сегодня – только 29 лет);

- легальная высокая оплата труда IT-профессионалов и выпускники, работающие не по специальности за меньшую зарплату;

- значительное число квалифицированных IT-специалистов на мировом рынке труда в других странах (США, Европы) и высокий уровень международного спроса на славянских IT-специалистов;

- колоссальное количество пользователей IT-техники на уровне пользователя-потребителя и малое число профессионалов;

- высокая надежность, простота в обращении и «разумность» современных IT-устройств и, соответственно, отсутствие необходимости иметь профессиональную подготовку при их эксплуатации; особенность современных IT-устройств, парадокс, заключается в том, что эти устройства, несмотря на свою внутреннюю сложность, просты в использовании, для их эксплуатации не требуются профессионалы, управлять ими могут люди самых разных специальностей. Этим объясняется, в частности, невостребованность на море нашей специальности «Radioelectronics»: функцию радиосвязи и радионавигации вполне успешно выполняют штатные штурманы-судоводители;

- компьютеризация образования, использование сетевых Интернет-технологий, вебинаров, on-line образование и классические уроки за партой в классе у доски с мелом; Фонд Билла и Мелинды Гейтс финансирует Академию Хана и EdX, известен проект Coursera. При этом выражение «утечка мозгов» изменяет свой смысл: крупные корпорации получают возможность отбирать себе будущих специалистов не после получения ими диплома, а уже на этапе их обучения;

- государства несут немалые расходы, создавая «инкубаторы» по «выращиванию» IT-специалистов, организуя учебно-научно-производственные центры - технопарки («Кремниевая долина» - Silicon Wally в США, «Сколково» в России, «Bionic Hill» в Украине), но разрыв между спросом на IT-профессионалов и предложением всё возрастает.

Так, Bionic Hill - первый украинский инновационный парк, в основу которого заложена концепция «Работай - Учись - Живи - Отдыхай». Проект предусматривает создание условий для высокотехнологичного бизнеса и комфортной жизни. В парке будут работать ведущие украинские и международные компании, ключевыми специализациями которых являются IT, инновационные технологии и энергосбережение. Реализация проекта позволит обеспечить 35 тыс. рабочих мест.

Bionic Hill расположен на месте бывших военных складов в Святошинском районе Киева неподалеку от п.г.т. Коцюбинське. Общая территория парка

составляет 147 га, где планируется построить свыше 900 тыс. кв. м. зданий и сооружений. Инфраструктура проекта включает современные научно-исследовательские и центры бизнеса, лаборатории и наукоемкое производство. Завершение строительства запланировано на 2020 год. Проект реализуется при поддержке Держінвестпроекту, КМДА и Держинформнауки. Он является составляющей национального проекта "Технополис" и отвечает стратегическим приоритетным направлениям инновационной деятельности в Украине, а также Стратегии развития Киева до 2025 года.

Первая очередь украинского технопарка Bionic Hill должна быть сдана в эксплуатацию в 2015 году. Этот проект предусматривает создание 35 тыс. рабочих мест в области коммуникаций, энергообеспечения и высоких технологий, а также строительство жилья для 12 тыс. жителей, школу на 33 класса, 3 детских сада, поликлиническую амбулаторию на 700 посещений в день, университет на 10 тыс. кв. м, общежития для молодежи, школу искусств, заведения общественного питания, магазины, предприятия бытового обслуживания, административный комплекс с шоу-румом, гостиницу на 165 номеров, фитнесцентр, паркинг на 750 авто.

Первая очередь строительства будет стоить \$100 млн, а весь комплекс - 8 млрд грн.

Bionic University - образовательная инициатива украинского инновационного парка Bionic Hill. Миссия Bionic University – формировать элиту профессионалов для IT-бизнеса в Украине. Университет сможет обеспечить уменьшение оттока талантливых специалистов за границу, содействие перехода от аутсорсинговой к продуктовой модели развития IT-бизнеса, технологическую модернизацию национальной экономики, увеличения ВВП и наполнения государственного бюджета.

С университетом, который в течение 11 месяцев работал в «тестовом режиме», уже сотрудничают 15 ведущих IT-компаний из Украины и других стран мира — от Hewlett Packard до CISCO. Эти компании принимают непосредственное участие в подготовке учебных программ.

Сейчас в университете учатся три категории студентов: студенты IT-специальностей старших курсов, программисты-практики, которые хотят повысить свою квалификацию, а также - выпускники других специальностей, приобретающие базовые практические навыки в сфере IT. Показательно, что почти 90 % выпускников первых трех пробных выпусков Bionic University нашли работу по специальности в Украине.

Обучение в новом IT-университете — абсолютно бесплатное, а отбор студентов проводится на базе тестирования и собеседования.

Партнерами университета уже стали Infopulse, Cisco, HP, Ciklum, Luxoft, Art-Master. Сегодня заведение работает на базе Киево-Могилянской академии, которая является главным образовательным партнером Bionic University. После открытия первой очереди Bionic Hill в 2015 году Университет переедет на территорию инновационного парка в собственное здание.

Итак, IT-парадоксов и противоречий набралось не на одну страницу, они не вмещаются в экран. И, конечно, это далеко не полный их перечень.

Что же делать с этим? Ответ такой: использовать их на пользу нам. Здесь мы переходим ко второй части доклада. Дело в том, что и нас есть свои проблемы, парадоксы и противоречия.

Выпускники нашего факультета электромеханики и радиоэлектроники ОНМА по направлению «Радиотехника» испытывают трудности с трудоустройством после защиты своих дипломов и окончания обучения. На морских судах имеется очень ограниченный спрос на должности «Radioelectronics», эти должности предусмотрены, в основном, на крупных пассажирских лайнерах и занимаются, как правило, представителями страны-судовладельца. Наши выпускники вполне могли бы найти себя, как профессионалов, в области информационных технологий, как в море, так и на берегу, причем не только в Украине.

Существующая в ОНМА специальность «Радиотехнические устройства, системы и комплексы» из направления подготовки «Радиотехника» не предусматривает специализации только на морском транспорте. Это возможно, но совсем не обязательно! Выпускники этой же специальности из других ВУЗов (например, академии связи, политехнического) вполне успешно работают на береговых телекоммуникационных предприятиях, в области информационных технологий.

Направление подготовки «Радиотехника» и специальность «Радиотехнические устройства, системы и комплексы» уже включают в себя разделы для подготовки IT-специалистов, выпускники этой специальности могут быть востребованы береговыми телекоммуникационными, вещательными и IT-организациями.

Существующие в ОНМА учебные планы подготовки бакалавров «Радиотехники» содержат 11 общетехнических и профессионально ориентированных IT-учебных дисциплин, учебные планы подготовки специалистов содержат 7 профессионально ориентированных IT-учебных дисциплин и учебные планы подготовки магистров содержат 6 профессионально ориентированных учебных дисциплин для подготовки IT-специалистов. Вот их перечень:

ПЕРЕЧЕНЬ IT – дисциплин  
учебного плана ОНМА по специальности  
«Радиоэлектронные устройства, системы и комплексы»

Уровень бакалавра:

1. «Электрорадиоматериалы»
2. «Вычислительная техника и программирование»
3. «Основы сетевых информационных технологий»
4. «Компонентная база радиоэлектронной аппаратуры»
5. «Цифровые устройства»
6. «Цифровая обработка сигналов»
7. «Аналоговые электронные устройства»

8. «Основы телевидения и телевизионных систем»
9. «Радиоэлектронные системы»
10. «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры»
11. «Основы компьютерного проектирования радиоэлектронной аппаратуры»

Уровень специалиста:

1. «Моделирование радиоэлектронных устройств»
2. «Защита информации в телекоммуникационных сетях»
3. «Устройства регистрации и хранения параметров судовых технических систем»
4. «Микропроцессоры в судовых системах и комплексах»
5. «Техническая эксплуатация радиоэлектронной аппаратуры»
6. «Электронная аппаратура управления судовыми техническими устройствами»
7. «Системы и сети компьютерной и мобильной связи»

Уровень магистра:

1. «Моделирование технических систем»
2. «Математические методы синтеза цифровых электронных устройств»
3. «Микропроцессоры в судовых системах и комплексах»
4. «Техническая эксплуатация радиоэлектронной аппаратуры»
5. «Электронная аппаратура управления судовыми техническими средствами»
6. «Системы и сети компьютерной и мобильной связи»

Таким образом, для эффективного нашего участия в развитии рынка образовательных услуг в области информационных технологий необходимо выполнить следующее:

- выверить соответствие существующих учебных планов подготовки современным требованиям и непрерывно осуществлять обновление программ;
- поддерживать квалификацию преподавательского персонала, которая должна соответствовать предлагаемым учебным планам и программам;
- модернизировать лабораторную базу;
- иметь современные базы и места практики;
- организовать взаимодействие и сотрудничество с будущими работодателями.

Перечисленные действия не являются революционными, это классические традиционные требования при выполнении образовательных услуг. Но для динамично развивающейся отрасли информационных технологий они особенно актуальны.

Нет необходимости проводить лицензирование и аккредитацию новых IT-специальностей, например, по направлению «Компьютерная инженерия»; подготовка IT-специалистов может быть осуществлена в рамках существующего направления и специальности без существенного изменения учебных планов.

Корректировка учебных планов может заключаться в изменении акцентов приоритетности учебных дисциплин, введения дополнительных и факультативных ИТ-дисциплин по выбору курсантов.

Учебная практика курсантов (радиомонтажная, технологическая, эксплуатационная, преддипломная) может и должна быть организована на телекоммуникационных ИТ-предприятиях.

Рекордные темпы развития информационных технологий — до 40 % в год — нуждаются в обеспечении отрасли высококлассными специалистами. Уже сегодня дефицит ИТ-специалистов, по разным расчетам, составляет от 20 до 30 тыс. человек в год. Даже если темпы роста ИТ-отрасли сохранятся на сегодняшнем уровне, в 2015 году потребность нашего рынка в программистах достигнет 170 тыс. При этом проблема заключается не только в количестве кадров, но и в их качестве. Сейчас каждый четвертый ИТ-выпускник не готов работать по специальности. Известная фраза сегодня особенно актуальна: в ИТ кадры действительно «решают все».

УДК 621.37/39:378.091

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ МОРСКИХ РАДИОСПЕЦИАЛИСТОВ**

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор, зав. кафедрой морской радиосвязи  
Одесская национальная морская академия

Подготовка морских радиоспециалистов проводилась в ОВИМУ с самого начала организации училища в 1944 году, то есть имеет достаточно глубокие исторические корни. Позднее радиофакультет был передан Ленинградскому Высшему инженерному морскому училищу им. адм. Макарова и снова возрожден в Одесской государственной морской академии в 1991 году.

90-е , это канун полномасштабного внедрения новой Глобальной морской системы связи (ГМССБ) ( февраль 1999г), которая объединила в себе несколько систем спутниковой связи, Глобальную систему спутниковой навигации и Подвижную систему связи в ультракоротковолновом диапазоне (УКВ), диапазоне промежуточных волн (ПВ) и коротких волн(КВ)и др. Кроме этого появление Глобальной системы связи ознаменовалось использованием новых цифровых технологий в системах связи, что позволило автоматизировать многие процедуры связи и, в частности, освободило от необходимости несения слуховой вахты и работы на ключе. Появление новых цифровых технологий а также новых систем и сетей связи потребовало существенной переработки программ подготовки судовых и береговых радиоспециалистов, которые наряду с глубокими фундаментальными знаниями принципов работы связного и электрорадионавигационного оборудования, а также умения его практической эксплуатации и ремонта, должны были получить знания и серьезные навыки работы ИТ специали-

ста по администрированию цифровых сетей и систем связи. С этой целью были введены новые дисциплины: цифровая обработка сигналов, системы и сети морской радиосвязи, микропроцессоры в судовых системах и комплексах, теория и методы цифровой связи, системы и сети компьютерной и мобильной связи, организация, планирование и управление радиосвязью, пространственно-временная обработка сигналов в системах связи и навигации, ГМССБ, техническое обслуживание и ремонт оборудования ГМССБ, а также серьезно переработаны традиционные курсы подготовки радиоспециалистов: радиотехнические системы, прием и обработка сигналов, устройства формирования и генерирования сигналов, основы теории передачи информации, устройства СВЧ и антенны, техническая эксплуатация радиоэлектронной аппаратуры, и др.

Такая перестройка учебных планов была связана с необходимостью обеспечения возможности эффективного использования выпускников специальности на флоте в условиях полномасштабного функционирования ГМССБ. Не менее важным для решения поставленных задач было формирование необходимой лабораторной базы, состоящей из реального оборудования в виде действующих консолей с аппаратурой ГМССБ, а также имитационных компьютерных тренажеров ГМССБ. При всесторонней поддержке тогдашнего руководства академии были в 1994г., впервые в Украине для учебных целей, приобретены полномасштабная консоль действующего оборудования ГМССБ и в 1996г. организован Учебно-тренажерный центр ГМССБ(УТЦ ГМССБ), привлечены инвестиции сторонних организаций, на которые был приобретен тренажер ГМССБ. Такой тренажер был необходим не только для подготовки курсантов радиотехнических специальностей, но и для подготовки курсантов судоводительских специальностей. Силами преподавателей кафедры Морской радиосвязи в рамках УТЦ ГМССБ были заработаны средства, позволившие не только компенсировать затраты на покупку тренажера, но и приобрести новый тренажер ГМССБ, а также еще одну консоль реального оборудования ГМССБ. После начала функционирования ГМССБ в 1999г., постоянно шло ее эволюционное развитие. Совершенствовались как процедуры связи, так и отдельные составляющие оборудования. Был разработан и внедрен новый ЦИВ контроллер с шестистрочным интерфейсом, частично аналоговый Инмарсат А был заменен полностью цифровым Инмарсатом В. Параллельно с этим появляются новые средства электронной и радиоэлектронной навигации на мостике и средств связи, обеспечения секьюрити функций. Это, прежде всего, Автоматическая идентификационная система (АИС) для задач ближней идентификации и, в частности, предупреждения возможности столкновения судов. АИС представляет собой полностью автоматическую цифровую систему связи в УКВ диапазоне, выполненную на основе технологии TDMA. Система электронной картографии ЭКНИС, интегрированной с АИС, система передачи секьюрити информации SSAS, система дальней идентификации LRIT для осуществления мониторинга судов в глобальном масштабе. Перечисленные выше изменения в ГМССБ, а также введение новых средств навигации, связи и отображения информации на мостике потребовало не только введения новых лекционных курсов, но и соответствующей модернизации существующих тренажеров и введения новых тре-

нажеров. Были введены новые курсы лекций: автоматическая идентификационная система связи; контрольно-корректирующие станции и их оборудование; РТ обеспечение системы управления движением судов; радиотехнические средства обеспечения безопасности и охраны судна; а также доработаны и переработаны соответствующие разделы существующих курсов лекций. Были приобретены два комплекта АИС и два комплекта электронных карт на основе которых был создан тренажер АИС.

При всесторонней поддержке руководства академии и спонсорской поддержке компании V.Ships был приобретен и передан кафедре Морской радиосвязи тренажер ГМССБ компании Транзас последнего поколения.

Проведенный анализ показывает мощные тенденции в использовании новейших цифровых технологий в судовых и береговых системах связи и навигации и необходимости постоянного отслеживания этих тенденций при формировании соответствующих лекционных курсов и модернизации лабораторного оборудования. Вместе с тем, указанная выше тенденция появления все новых радиоэлектронных средств на мостике привела к появлению новых тенденций при формировании командного состава экипажей судов. Так, введение ГМССБ в свое время ,в виду соответствующего упрощения процедур связи, привело к появлению в главе IV СОЛАС правила по выбору метода технического обслуживания радиооборудования, состоящего из трех пунктов: 1)Техническое обслуживание на борту судна, предполагающего наличие радиоэлектроника на борту судна (с конвенционным дипломом Радиоэлектроника первого или второго класса); 2)дублирование оборудования; 3) обслуживание на берегу, предполагающее обслуживание на береговом сервисном центре; причем давалась возможность выбора любых двух из трех (кроме пассажирских судов для которых выбор пункта 1) было обязательным ). Судовладельцы в свое время воспользовались этим правилом, выбрав пункты 2),3), и с многих судов были сняты радиоспециалисты. Однако опыт эксплуатации ГМССБ за истекший период показал ,что выбор пунктов 2),3) имеет существенные изъяны. Во первых в случае необходимости и в отсутствие радиоспециалиста не всегда удавалось подключить дублирующее оборудование, кроме этого возникающие неисправности в устройствах не предполагающих дублирование в дали от берега зачастую приводили к недопустимо большим срокам устранения неисправностей, и, наконец отсутствие на борту судна специалиста ,позволяющего адекватно оценить возникшую неисправность, приводило к многократному увеличению стоимости ремонта, которую выставляли сервисные центры, по отношению к истинной стоимости ремонта. Сказанное усугубляется появлением большого количества нового радиоэлектронного оборудования на мостике, о котором говорилось выше. Свидетельством осознания этого факта мировой морской ответственностью стало введение дополнительных обязанностей по обслуживанию радиосвязного и навигационного оборудованию на мостике судна для электромехаников в соответствии с Манильскими поправками 2010. Конечно это не решает всех проблем ,но является шагом в правильном направлении. Следующим логичным шагом должно стать возвращение радиоспециалистов на большинство судов.

# СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 621.431.74(045)

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПУСКА И РАЗГОНА ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА СУДАХ

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент

Е.Е. Борисенков, курсант

Одесская национальная морская академия

Одним из наиболее ответственных процессов, происходящих в судовых главных двигателях, является его пуск и разгон до минимально устойчивых оборотов. Интерес исследования обусловлен важностью повышения надежности этого процесса с целью обеспечения безопасности судоходства.

Известно, что пусковые и минимально устойчивые обороты зависят не только от конструктивных особенностей двигателя, но и от технического состояния главного двигателя и условий внешней среды [1]. Исследования, приведенные в работе [3], показали, что для надежного пуска необходима достаточное количество воздуха, топливоподача должна подаваться в районе верхней мертвой точки (ВМТ), в реальных же двигателях топливные клапана открываются на  $20 - 25^\circ$  после прохода ВМТ. В этой связи отмечено, что значительное запаздывание впрыска топлива происходит, главным образом, вследствие ряда причин, которые во время пуска устранить невозможно.

Благодаря системе прогнозирующего управления, возможно, рассчитать оптимальное количество давления пускового воздуха, подаваемое цилиндры главного двигателя для запуска и при возникновении проблем описанных в [1] возможно заблаговременно увеличить давление.

Для решения этой задачи были разработаны модели прогнозирования, которые при использовании четырех начальных точек кривой пуска, могут в ускоренном времени определять поведение кривой на дальнейших участках графика, и при необходимости могут увеличить количество воздуха и топлива подаваемого в цилиндры дизеля для обеспечения требуемых оборотов.

С целью получения эталонной кривой был снят экспериментальный график (см. рис. 1) удачного пуска главного двигателя Mitsui V&W 10K90MC, находящегося в хорошем техническом состоянии.

Обработка графика проводилась методом наименьших квадратов (МНК), с помощью которого произведено очистка кривой пуска и разгона от шумов. Для определения доверительных интервалов, благодаря которым возможно сравнения действующих значений и эталонной кривой, был использован МНК, а для прогнозирования поведения кривой был использован метод разностных уравнений (МРУ).

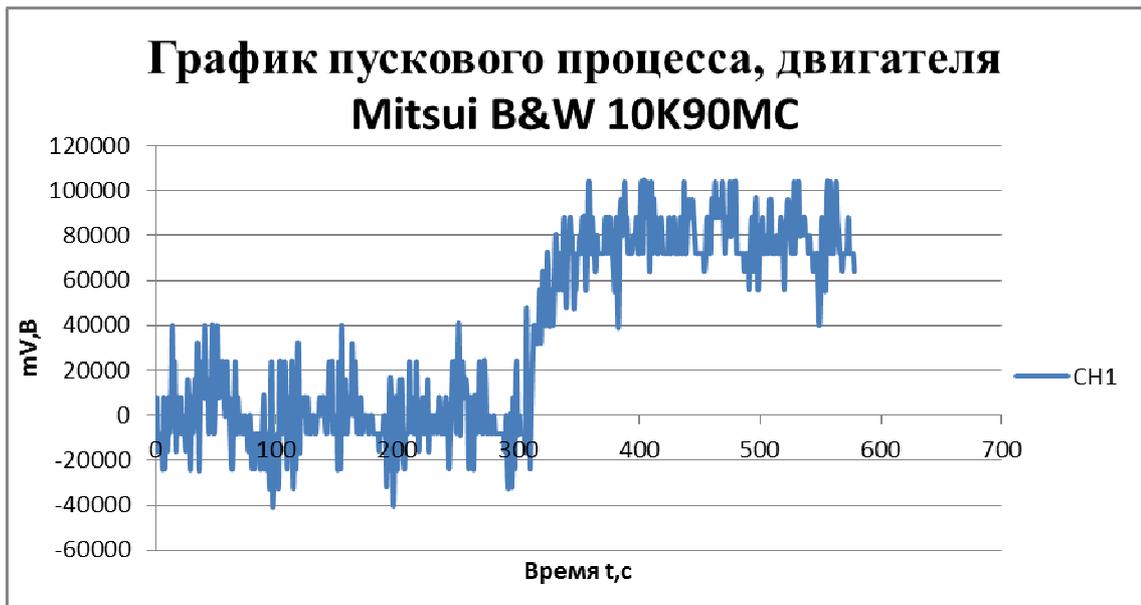


Рисунок 1- График пуска главного двигателя

Произведя аппроксимацию МНК зашумленного сигнала на (см. рис. 1) получаем кривую пуска ГД, вышедшего на минимально устойчивые обороты, которую можно сравнивать с реальной кривой ГД, не вышедшего на необходимые обороты. Далее в результате сравнения определяем расхождения между прогнозируемой и эталонной кривой.

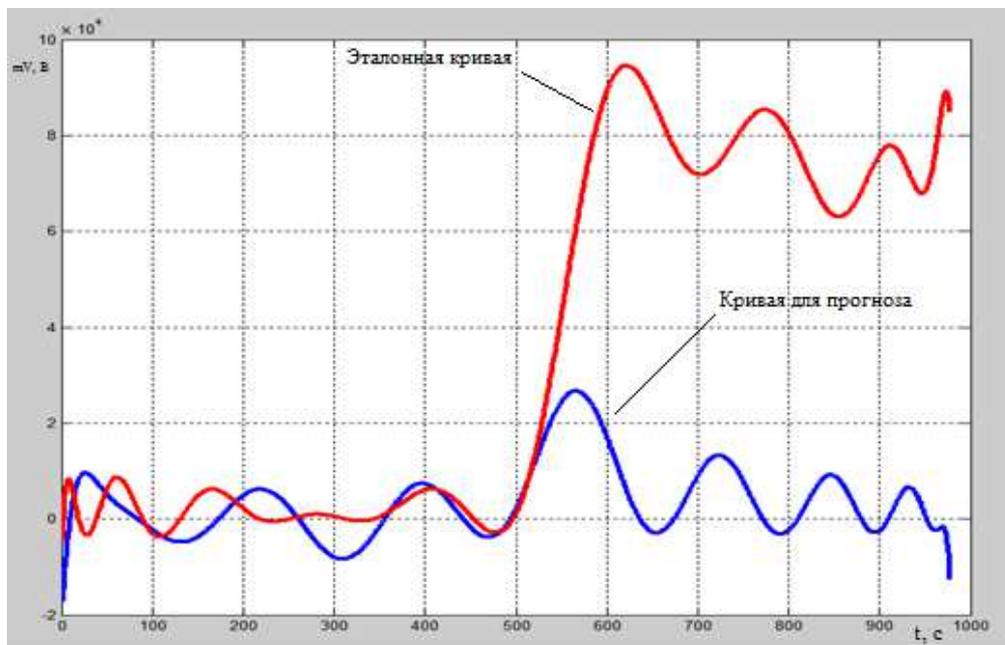


Рисунок 2 - Сравнение аппроксимированных кривых

Сравнение двух кривых (см. рис. 2) показывает, что на начальном временном отрезке длительностью 50 секунд, пусковые кривые имеют один и тот же характер, их различие наблюдается только в дальнейшие промежутки времени. Для того что бы предсказать поведение кривой на два три шага вперед был применен метод интерполяции с использованием разностных уравнений, а

также применяя данные коэффициентов разностных уравнений, была построена математическая модель пуска двигателя.

$$y_i = A_1 y_{i-1} + A_2 y_{i-2} + A_3 y_{i-3} + Bx_i; \quad (1)$$

Определение коэффициентов  $A_1, A_2, A_3, B$  позволяет создать зависимости, в которых можно с определенной точностью спрогнозировать о достижении двигателя необходимых оборотов. Точность зависит от количества точек доступных во время пуска.

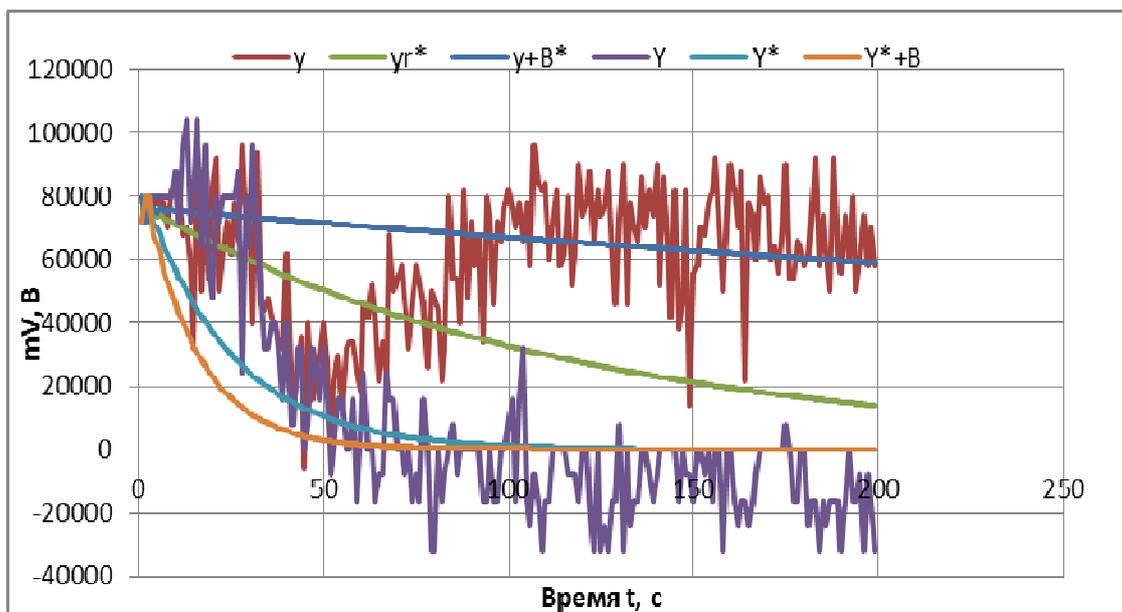


Рисунок 3 - Результаты интерполяции

Используя результаты интерполяции, выведенные на (см. рис. 3) был проведен анализ кривых  $yг^*$ ,  $y+B^*$ ,  $Y^*$ ,  $Y^*+B$ , где  $y$ -график пуска не достигшего номинальных оборотов,  $yг^*$ - интерполированная кривая графика  $y$ ,  $y+B^*$  - интерполированная кривая  $y$  учетом коэффициента «В»,  $Y$ -график пуска достигшего номинальных оборотов,  $Y^*$ - интерполированная кривая графика  $Y$ ,  $Y^*+B$  - интерполированная кривая  $Y$  с учетом коэффициента «В». Было установлено, что прогнозирование зашумленного сигнала приведенного на (рис.1) возможно только при отклонении от эталонной зависимости на 14,7%

Моделирование процесса сравнения двух кривых подтвердили возможность использовать методы прогнозирования управления для повышения надежности пуска главного двигателя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания / В.А. Ваншейдт / издательство «Судостроение» Ленинград 1977 391 с.
2. Ерыганов А.В. Повышение надежности пуска главного судового дизеля диссертация к.т.н./ А.В. Ерыганов / Одесса ОНМА, 2010, 217 с.
3. Небеснов В.И. Динамика судовых комплексов /В.И. Небеснов / издательство «Судостроение» Ленинград 1967 295 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКТИВНЫХ НАГРУЗОК СУДОВЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ**

В.Г.Донской, к.т.н., доцент

М.П.Бекчив, курсант

Одесская национальная морская академия

Объектом данных исследований являются устройства для распределения реактивных токов между параллельно работающими СГ. Предмет исследований - способы распределения реактивных токов; анализ и синтез УТС с ТТ и ДИПТ; аналоговая и цифровая фильтрация напряжений СГ, ТТ и ДИПТ, искажённых высшими гармониками.

Целью работы является разработка таких способов и устройств распределения реактивных токов между синхронными генераторами, которые путём замены входящих в эти устройства трансформаторов тока на дифференцирующие индукционные преобразователи тока обеспечивают повышение точности и снижение массогабаритных показателей этих устройств.

При совместной работе синхронных генераторов (СГ) их реактивные токи должны распределяться пропорционально номинальным мощностям, а при одинаковых номинальных мощностях - поровну. В судовых электроэнергетических системах (СЭЭС) распределение реактивных токов осуществляется, чаще всего, с помощью устройств токовой стабилизации (УТС).

Предложен новый способ функционирования УТС, сущность которого заключается в следующем. Один из работающих в параллель источников, ведущий, поддерживает напряжение на общих шинах неизменным, не зависящим от нагрузки. Ко входу регулятора напряжения (РН) ведомого источника подводится сигнал, являющийся суммой трех составляющих, пропорциональных следующим величинам: напряжению источника, реактивному току этого источника и реактивному току ведущего источника.

В работе изложены научно обоснованные технические разработки, имеющие существенное значение для совершенствования судовых электроэнергетических систем.

На основании анализа существующих способов и устройств распределения реактивных мощностей и обзора измерительных преобразователей тока установлены преимущества устройств распределения реактивной мощности (УРРМ), выполненных на основании РН с трёхфазным входом, и недостатки, обусловленные использованием ТТ в УРРМ: эти устройства громоздки и имеют большую массу по сравнению с РН; в трёхфазные УРРМ необходимо вводить трансформаторы, включённые по схеме звезда-треугольник, для обеспечения нужных фазовых соотношений между напряжениями СГ и ТТ.

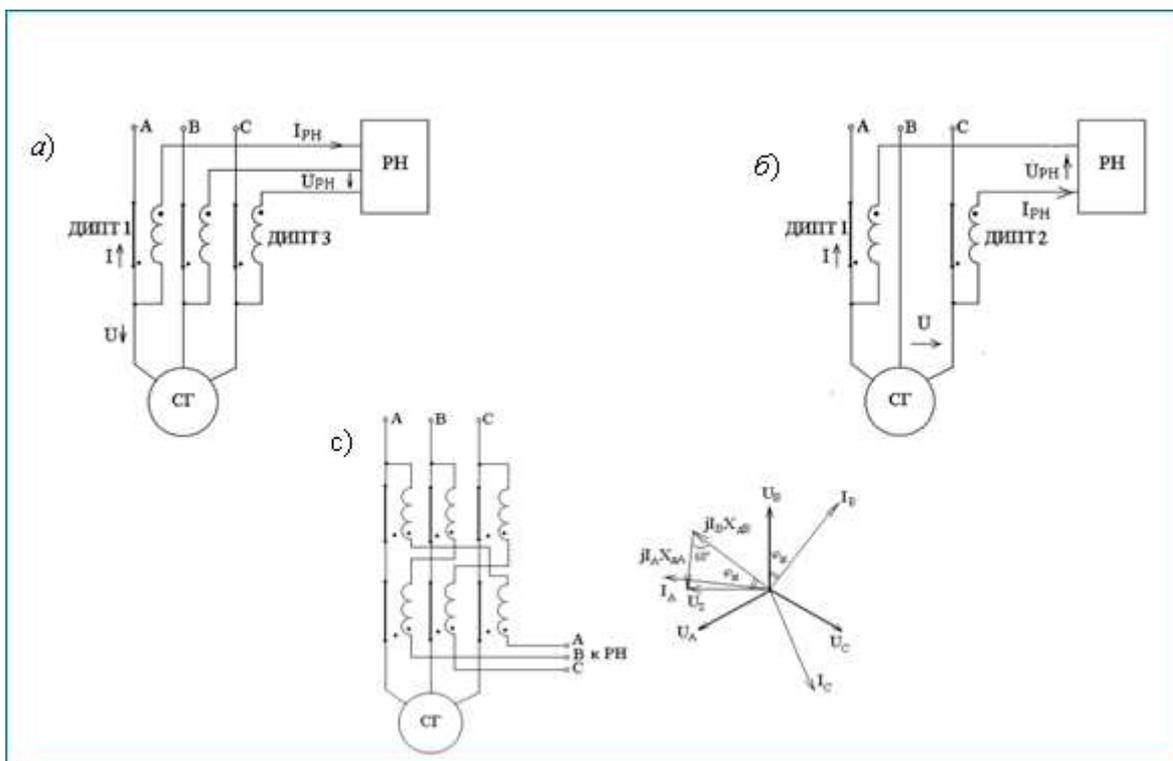


Рисунок 1 – Схемы трехфазных устройств токовой стабилизации  
 а) схема с тремя ДИПТ, б) схема с двумя ДИПТ, в) схема с повышенной  
 точностью измерения

Разработку новых систем автоматического регулирования напряжения и реактивной мощности ЭС, как судовых, так и береговых, следует проводить с применением УРРМ СГ, выполненных на основе ДИПТ, с учётом предлагаемых рекомендаций по выбору наиболее целесообразных вариантов схемных реализаций УТС. УРРМ судовых ЭС должны работать по методу ведущего генератора. Эти рекомендации приведут к повышению точности поддержания напряжения и равномерного распределения реактивных токов СГ, а также к многократному снижению массы УРРМ.

УТС, обеспечивающие астатическое регулирование напряжения при номинальном коэффициенте мощности нагрузки, не имеют заметных преимуществ по точности распределения реактивных токов перед традиционными УТС, которые создают астатические внешние характеристики при чисто активной нагрузке.

Выбор параметров ДИПТ следует производить по предлагаемым методикам, добиваясь минимизации их массы и обеспечивая практическую нечувствительность напряжения СГ к допустимым отклонениям частоты.

Для улучшения равномерности распределения токов СГ, нагруженных на вентильные преобразователи соизмеримой мощности, целесообразно модернизировать существующие УТС, включив на вход РН фильтр, подавляющий высшие гармоники и обладающий рекомендованными в настоящей работе параметрами.

Предложенные выражения и аппроксимации бесконечных последовательностей импульсов, а также передаточных функций фильтров, подавляющих высшие гармоники, можно рекомендовать для использования в различных теоретических и экспериментальных исследованиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Токарев Б. Ф. Электрические машины. Учеб. пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1990.-624 с.
2. Яковлев Г. С., Маникин А. И. Судовые электрические машины. - Л.: Судостроение, 1980. - 62 с.
3. Никифоровский Н. Н., Норневский Б. И. Судовые электрические станции. М.: Транспорт, 1974.- 432 с.
4. Яковлев Г. С. Судовые электроэнергетические системы. Л.: Судостроение, 1987.-272с.
5. Лейкин В. С., Михайлов В. А. Автоматизированные электроэнергетические системы промысловых судов. - М.: Агропромиздат. 1987.- 327 с.

УДК 621.313.33-047.37

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИ ПОВТОРНОМ ВКЛЮЧЕНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

И.М. Гвоздева, д.т.н., профессор

А. А. Волошин, курсант

Одесская национальная морская академия

Особенностью судовых электростанций (СЭС), которые относятся к классу автономных энергосистем, является динамичность и напряженность протекающих в них процессов. Ввиду изменяющейся нагрузки возникают перепады напряжения, которые, в некоторых случаях, могут привести к аварийным ситуациям, и к отключению энергоснабжения автоматикой СЭС. В таком случае ответственные потребители могут полностью остаться без энергоснабжения, что, в свою очередь, может привести к негативным последствиям, например, к потере маневренности судна [1]. Поэтому для повышения надежности и эффективности функционирования судовых энергосистем полагается целесообразным применение самозапуска электродвигателей приводов ответственных механизмов при краткосрочном восстановлении сети и отключении электродвигателей, входящих в состав электроприводов менее ответственных потребителей.

Современный автоматизированный электропривод представляет собой сложную электромеханическую систему. Основным элементом судовых электроприводов являются асинхронные двигатели (АД), а их надежность и энергетические показатели характеризуют электропривод в целом.

В работах [1-4] рассматриваются процессы самозапуска асинхронных двигателей от момента нарушения электроснабжения до восстановления нор-

мальной работы ответственных механизмов, а также приводятся примеры расчетов режимов самозапуска асинхронных двигателей. Тем не менее, вопросам экспериментальных исследований процессов повторного пуска АД и компьютерного моделирования таких режимов для определения оптимальных условий самозапуска в литературе уделено недостаточно внимания.

Целью настоящей работы является исследование режимов самозапуска АД приводов ответственных судовых механизмов на основе проведения экспериментальных исследований и компьютерного моделирования.

Экспериментальные исследования динамических режимов при повторном запуске АД проведены на лабораторном стенде кафедры автоматизации судовых электроэнергетических установок ОНМА с использованием трехфазного короткозамкнутого АД типа А02-32-4 на специализированном стенде. В результате проведенной серии экспериментов подтверждено, что при снижении скорости вращения двигателя после отключения его от сети происходит изменение частоты и фазы напряжения, индуктируемого двигателем [3].

Экспериментальные исследования позволили создать имитационную модель, с помощью которой исследуется влияние сдвига фаз между напряжением питания и напряжением, индуктируемым двигателем при повторном включении, на амплитуду токов, возникающих при повторном пуске АД.

Результаты проведенных экспериментальных исследований в сопоставлении с компьютерным моделированием позволяют оценить время безопасного повторного пуска судовых АД приводов ответственных механизмов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А.А. Электрическая часть станции и подстанции./ Васильев А.А.и др. – М. : Энергия, 2010. – 566 с.
2. Васильев Д.В. Примеры и задачи по расчету судовых автоматизированных систем./ Васильев Д.В. и др. Л. : Судостроение, 1973. – 296 с.
3. Мещанинов П.А. Автоматизация судовых электроэнергетических систем. – Л. : Судостроение, 1970. – 368 с.
4. Голоднов Ю.М. Самозапуск электродвигателей. М. : Энергоатомиздат, 1985. – 133 с.

УДК 621.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

И.М. Гвоздева, д.т.н., профессор

В.В. Демиров, курсант

Одесская национальная морская академия

Основным источником электроэнергии в судовой электростанции являются синхронные генераторы(СГ). Обеспечение надежности работы и динами-

ческой устойчивости синхронных генераторов в аварийных режимах, в частности при переходе генератора в асинхронный режим, является одной из наиболее актуальных задач при эксплуатации современных судовых электроэнергетических станций и систем.

В практике эксплуатации синхронных генераторов бывают случаи, когда отдельные машины выпадают из синхронизма и их роторы начинают вращаться относительно поля якоря (статора) асинхронно, с некоторым скольжением  $s$ . Это случается вследствие перегрузки машин, значительного падения напряжения в сети и потери возбуждения в результате каких-либо неисправностей в системе возбуждения или ошибочного срабатывания автомата гашения поля. При переходе генератора в асинхронный режим по мере снижения магнитного потока, генератор начинает потреблять реактивную мощность из сети.

Так как выпадение синхронных машин из синхронизма при авариях в энергосистемах происходит довольно часто, то выявление особенностей асинхронного режима и выяснение рациональных способов восстановления нормальных режимов работы СГ имеют существенное практическое значение.

Исследованию асинхронного режима синхронного генератора уделено значительное внимание в известных литературных источниках [1–6]. Тем не менее, задача выявления асинхронного режима работы и способа восстановления нормального режима работы еще не является решенной в полной мере. Таким образом, тема работы, направленная на исследование асинхронного режима в судовой электроэнергетической станции (СЭЭС) является актуальной.

В асинхронном режиме СГ в обмотке ротора наводится напряжение. Если обмотка изолирована или включена на систему выпрямителей возбуждения, то при больших скольжениях подведенное напряжение может достичь опасного для обмотки ротора и выпрямителей значения. Поэтому асинхронный режим очень опасен для генераторов [4]. В работах [1,2] рассмотрены особенности эксплуатации судовых электроэнергетических систем, в том числе автоматизированных, и их элементов. В книге [3] описан асинхронный режим в энергосистеме, его характеристики, причины возникновения, способы выявления. Работы [6,7] посвящены построению компьютерных моделей, позволяющих исследовать переходные процессы в судовых электроэнергетических системах с параллельно работающими генераторами. В источнике [5] приведено противоаварийное управление в энергосистемах и борьба с последствиями перехода СГ в асинхронный режим работы.

Целью настоящей работы является исследование асинхронного режима работы синхронного генератора HYUNDAI мощностью 1350кВт контейнеровоза вместимостью 3400 контейнеров на основе математического и компьютерного моделирования параллельной работы генераторов с использованием современных программных средств.

При исследовании планируется проведение эксперимента в лабораторных условиях кафедры электрооборудования и автоматики судов ОНМА, а так же создание модели, которая в итоге позволит промоделировать асинхронный режим работы синхронного генератора, который является неблагоприятным для

СЭЭС и выявить способы, которые помогут свести до минимума возможность появления такого режима, при эксплуатации СГ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев С.Г. Судовые электроэнергетические системы. – М.: Транспорт, 1988. – 223 с.
2. Эксплуатация электроэнергетических систем морских судов: Справочник / О.П. Хайдуков, А.Н. Дмитриев, Г.Н. Запорожцев. – М.: Транспорт, 1988. – 223 с.
3. Мелешкин Г.А., Меркурьев Г.В. Устойчивость энергосистем. Книга 1. – СПб, 2006. – 289с.
4. Эксплуатация генераторов и синхронных компенсаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.motor-remont.ru/books....](http://www.motor-remont.ru/books....)
5. Савалов С.А., Семенов В.А. Противоаварийное управление в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1988, 416 с.
6. Толстов А.А., Лещенко В.В., Логвиненко Е.С. Параллельная работа синхронных генераторов с возможностью регулирования коэффициента мощности // Судовые энергетические установки. – Одесса, 2008. – Вып.22. – С. 54–66.
7. Геллер Б.Л., Сулименко Н.В. Моделирование параллельной работы судовых синхронных генераторов в пакете VisSim // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2010. – № 18. – С. 160–166.

УДК 629.5.061.16

### **ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АВТОРУЛЕВОГО ПРИ БОЛЬШИХ ОТКЛОНЕНИЯХ КУРСА**

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент

О.Р. Фомин, курсант

Одесская национальная морская академия

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами: современные задачи судовождения, сформулированные в ряде научных работ, создание новых двухскоростных рулевых комплексов требуют пересмотра существующих законов управления и введения в системы автоматического управления курсом судна (САУ КС) новых режимов, обеспечивающих необходимое быстродействие.

Анализ последних достижений и публикаций в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы: в работе [1] рассмотрен способ повышения быстродействия системы автоматического управления движением судна (САУ КС), основанным на применении метода оптимизации по быстродействию с использованием теоремы Фельдбаума об  $n$ -интервалах. В результате были определены выражения для определения моментов переключения релейного сигнала управления рулевой машиной. Однако, результаты, полученные в работе [1] требуют уточнения для повышения эффективности, а именно повышение скорости выхода судна на курс, и уменьшения перерегулирования.

### Формулирование целей (постановка задачи.)

Задачей является, определение параметров сигнала управления обеспечивающего выполнение перехода судна на заданный курс за минимальное время.

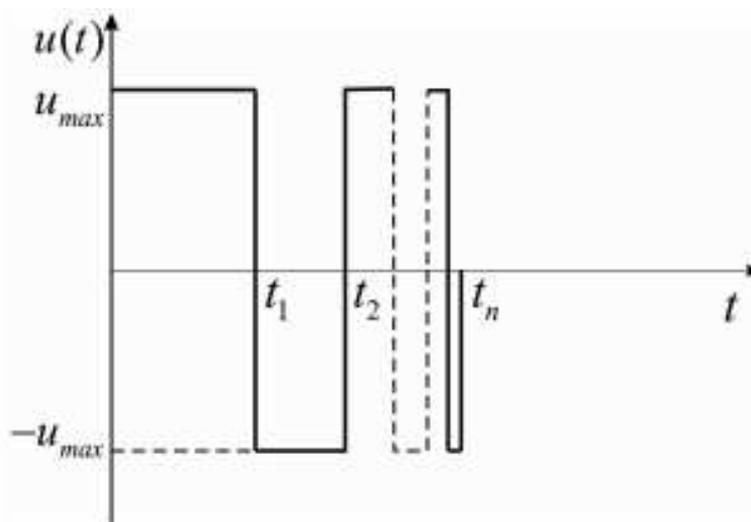


Рисунок 1 – Форма сигнала оптимального управления

### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н. Захарченко, В.С. Луковцев, В.А. Шевченко. Повышение быстродействия системы управления судном при больших отклонениях курса. Судовождение вып.16. ОНМА 2009.
2. Суевалов Л.Ф. Справочник по расчетам судовых автоматических систем. -Л.: Судостроение, 1977. 376с.
3. Вагущенко Л.Л., Стафеев А.М., Цымбал Н.Н. Автоматизация судовождения.- ОГМА, Одесса, 1994. -355 с.
4. Виткалов Я.Л. Исследование проблем синтеза нейросетевого контроллера в задаче управления курсом судна: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук/ Виткалов Ярослав Леонидович.— Владивосток, 2006.—25 с.
5. Системы автоматического управления движением судна по курсу. Березин С.Я., Тетюев Б.А. Л., «Судостроение», 1974. 264с.
6. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М., Физматгиз, 1963.
7. Олейников В.А. и др. Основы оптимального и экстремального управления. М., «Высшая школа», 1969.
8. Справочник по высшей математике/ М. Я. Выгодский. — М.: АСТ: Астрель, 2006. — 991с.
9. Демидович Б. П., Марон И. А., Шувалова Э. З. Численные методы анализа. – М.: Наука. Физматгиз, 1962.
10. А.И. Бояринов. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Химия, 1969. – 566 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ТРАСС**

В.Г. Донской, к.т.н., доцент

А.В. Колос, курсант

Одесская национальная морская академия

В современном мире с развитием технологий и прогресса, все больше увеличивается количество электрических машин и установок. Надежная и бесперебойная работа является одним из важных параметров СЭЭС. Для обеспечения такой работы необходимо осуществлять контроль параметров этих систем, таких как напряжения на элементах системы, токи в определенных ветвях системы, сопротивление изоляции, емкость относительно земли, как всей системы, так и отдельных ее элементов.

Одним из наиболее важных параметров СЭЭС с точки зрения обеспечения надежной и бесперебойной работы, является сопротивление изоляции. От сопротивления изоляции в наибольшей мере зависит пожаро- и электробезопасность. Поэтому при эксплуатации СЭЭС необходим непрерывный контроль сопротивления изоляции.

Контроль сопротивления изоляции кабельных трасс отыгрывает немаловажное значение, поскольку кабели являются основными проводниками напряжения от источника к потребителю, поэтому проблема непрерывного контроля является весьма актуальной. Зная падение сопротивления изоляции можно предотвратить выход из строя не только кабеля, а и питающегося от него потребителя, который может привести к серьезной аварии. Короткие замыкания также могут быть предвидены и предотвращены путем уменьшения нагрузки на этот кабель либо отключение его и переход на резерв до момента его ремонта либо замены. К сожалению мы не можем отремонтировать либо заменить любой вышедший из строя кабель, но уменьшая нагрузку можем дотянуть до ближайшего порта, где ремонт может быть осуществлен.

Поставленные задачи:

- повысить контроль сопротивления изоляции путем применения методов контроля и установки приборов непрерывного контроля сопротивления изоляции по крайней мере на ответственных потребителях таких как главный двигатель и винто-рулевой комплекс. Объединив группами обслуживающее оборудование и контролировать сопротивления изоляции хотя бы по группам. Решение этой задачи будет осуществляться посредством прибора, в котором реализован контроль сопротивления изоляции методом наложения постоянного тока на переменный, он приведен на рис.1.



Рисунок 1 – Система контроля изоляции фидеров – «СКИФ»

- нахождение места понижения и причины понижения сопротивления изоляции путем применения методов поиска и эксплуатации специального оборудования для реализации этой задачи. Реализация этой задачи будет осуществлена методом пикасекундных ( $c \cdot 10^{-12}$ ) импульсов подаваемых по проверяемому кабелю;

- в конечном итоге предполагается объединить прибор контроля и прибор поиска и реализовать эту систему в автоматическом режиме. Также предполагается с помощью микропроцессора осуществить контроль нагрузки на аварийном кабеле, либо переход на резерв.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.techct.ru/skif.html>
2. <http://www.finestreet.ru>

УДК 621.313

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

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

На сегодняшний день короткое замыкание (КЗ) остается наиболее тяжелым аварийным режимом в судовых электроэнергетических системах (СЭЭС), и от того на сколько система автоматики обеспечивает защитные и противоава-

рийные функции зависит надежность работы всех судовых систем и судна в целом.

Основной причиной КЗ является повреждение изоляции токоведущих частей электрического оборудования, возникающее в результате естественного старения, перенапряжения, небрежного ухода за оборудованием или механических повреждений. Короткие замыкания могут быть также результатом ошибочных действий, т. е. результатом различного рода нарушений Правил технической эксплуатации.

При этом практика показывает, что эффективность традиционных защит от токов КЗ не всегда является достаточной. В связи с этим возникает необходимость в разработке системы мониторинга динамики изменения токов, которая позволит повысить эффективность работы защит от токов КЗ в СЭЭС.

При коротком замыкании в результате резкого снижения сопротивления ток возрастает от величины рабочего тока до ударного тока короткого замыкания. Так как в цепи имеется индуктивность, ток скачкообразно изменяться не может. При изменении тока в результате изменения результирующего магнитного потока появляются свободные составляющие тока, сохраняющие в первый момент величину тока неизменной. Данное свойство позволяет произвести разработку опережающих систем контроля и противоаварийного управления (ПАУ) СЭЭС основанной на применении первой и второй производных параметра (1), описывающего контролируемый процесс. В данном случае речь идет о скорости и ускорении нарастания контролируемого параметра.

$$y = K_1 \frac{d\varepsilon}{dt} + K_2 \frac{d^2\varepsilon}{dt^2}, \quad (1)$$

где  $y$  – выходная функция измерения контролируемой величины,

$\varepsilon$  – контролируемая величина,

$K_1, K_2$  – коэффициенты усиления.

Однако при использовании дифференцирующих звеньев в законе управления возникает проблема, связанная с тем, что выходной сигнал измерителя пропадает, если контролируемая величина хотя бы на время становится постоянной величиной, производная от которой равна нулю.

Поэтому закон управления с воздействием по производным имеет смысл использовать только в совокупности с традиционной системой защиты от КЗ (2).

$$y = K_2 \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + K_1 \frac{d\varepsilon}{dt} + K_0 \varepsilon \quad (2)$$

В данном случае выходная величина характеризует работу автоматического выключателя, где  $K_0 \varepsilon$  реализация традиционной защиты от токов КЗ, упомянутая выше,  $K_1 \frac{d\varepsilon}{dt}$  и  $K_2 \frac{d^2\varepsilon}{dt^2}$  – характеризуют применение опережающих

элементов, в основу которых положено применение первой и второй производной контролируемого параметра.

Моделирование КЗ в СЭЭУ позволяет судить о возможности использования первой и второй производной тока КЗ СЭЭУ с целью предупреждения развития ударных токов максимальной величины.

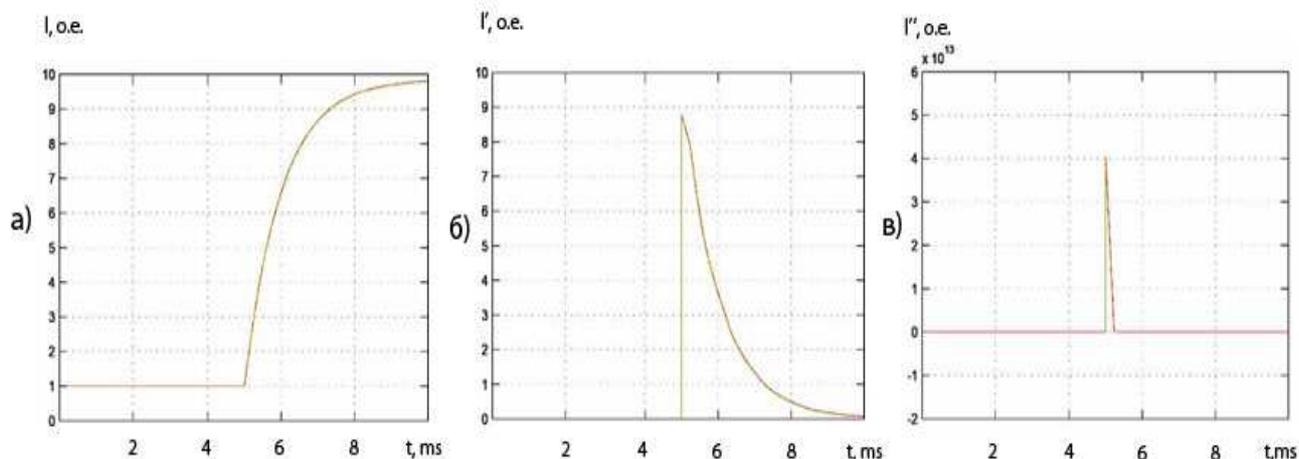


Рисунок 1 – Результаты моделирования: а) кривая, описывающая возникновение ударного тока КЗ (контролируемого параметра); б),в) – первая и вторая производные параметра (ударного тока КЗ) соответственно.

Так, из рис.1 видно, что скорость нарастания переднего фронта контролируемого параметра, в нашем случае ударного тока КЗ (рис. 1,а), гораздо ниже скорости нарастания переднего фронта и первой (рис. 1, б) и второй (рис. 1, в) производных данного контролируемого параметра.

Данный факт доказывает возможность разработки и реализации устройств и систем ПАУ СЭЭУ с функцией опережения, работа которых основана на использовании первой и второй производных контролируемого параметра.

Таким образом, повышение эффективности защиты электрических сетей от токов КЗ в СЭЭС с помощью автоматических выключателей возможно путем использования устройств опережения возрастания ударных токов КЗ до опасной величины, работающих по закону, основанному на применении первой и второй производных контролируемых параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Луковцев В.С., Кодров А.А. Повышение эффективности защиты судовой электроэнергетической системы от токов короткого замыкания // Судовые энергетические установки: Научн.-техн. сб. – 2006. Вып. 15. – Одесса: ОНМА. – С. 37-40

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ АВАРИЙНОМ СНИЖЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ СУДОВОЙ СЕТИ КОНТЕЙНЕРОВОЗА ВМЕСТИМОСТЬЮ 1700 КОНТЕЙНЕРОВ**

В.В. Бушер, д.т.н., доцент

С.Л. Петухов, курсант

Одесская национальная морская академия

Аварийные ситуации на судне, связанные с нарушением по каким-либо причинам работы судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) могут привести к неуправляемости судна. К таким аварийным ситуациям можно отнести выход из строя одного из параллельно работающих дизель – генераторов (ДГ). В таких случаях, как показывает судовая практика, всю нагрузку берет на себя оставшийся в работе дизель-генератор, который в результате этого оказывается сильно перегружен. Вследствие этого происходит резкое снижение частоты работающего ДГ и напряжения на шинах ГРЩ. В результате этого снижается мощность, потребляемая из сети основными потребителями (асинхронные электродвигатели), причем она снижается быстрее, чем успевают сработать защита генератора от перегрузки (защита Мейера) и ДГ переходит к новому установившемуся режиму  $0,7f_n$  и  $0,75P_n$ . В судах с современной системой защиты (блок GMM) при внезапном снижении частоты ниже допустимой происходит обесточивание судна. Для исключения таких ситуаций при проектировании судна завышают мощность ДГ.

Целью исследований является анализ возможных факторов, приводящих к аварийным ситуациям, исследование переходных процессов в системе «Дизель-генератор – асинхронный двигатель» в этих ситуациях и разработка системы защиты, позволяющей исключить обесточивание жизненно важных систем судна без завышения проектной мощности ДГ.

На основании «таблицы нагрузок» в различных режимах работы судна определены условия, которые могут привести к аварийным ситуациям. С помощью программы MatLab смоделированы процессы в СЭЭС с защитой Мейера в аварийном режиме. Для выхода из аварийной ситуации смоделировано поведение автоматической токовой и частотной защит и ручной (принудительной) частотной разгрузки генератора с учетом реальных уставок времени, рассчитаны соответствующие переходные процессы. Предложен алгоритм модернизированной защиты с дополнительной подачей сигнала на подготовку резервного ДГ.

Дальнейшие исследования направлены на подготовку к моделированию рабочих характеристик одного или группы асинхронных электродвигателей в аварийном режиме работы СЭЭС с учетом модернизированного алгоритма ра-

боты защиты и разработке программы для программируемого логического контроллера в составе общей системы управления СЭЭС.

УДК 621.182.26

## АЛГОРИТМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОННЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

М.В. Миусов, д.т.н., профессор  
Г.Ю. Дёмин, магистр  
Одесская национальная морская академия

Основной целью данной работы является получение алгоритма управления частотой вращения главного двигателя электронным регулятором DGU 8800.

В настоящее время на судах морского флота наиболее часто встречаются электронные системы ДАУ ГД фирм Kongsberg Maritime Ltd. (Норвегия), SAM Electronics (Германия), Lyngso Marine (Дания) и Nabtesco (Япония) [2, с. 105].

Компания Kongsberg Maritime Ltd известна своими средствами автоматизации судов. Большое распространение на судах получила система AutoChief 4, которая предназначена для автоматизации процессов управления ГД при пуске, реверсе, изменении ходовых режимов посредством одного органа, совмещенного с рукояткой машинного телеграфа. Необходимые операции по выводу ГД на заданный режим выполняются автоматически в соответствии с алгоритмами управления [2, с. 196].

В составе системы ДАУ в качестве регуляторов частоты вращения могут применяться цифровые регуляторы типа DGU 8800 с пневматическим исполнительным механизмом [1, с.52] или типа DGU 8800e с электромеханическим исполнительным устройством [1, с.66], а также гидромеханические регуляторы.

Современные судовые двигатели, как правило, снабжаются гидравлическими или электронными регуляторами частоты вращения вала, которые обеспечивают предотвращение динамических забросов частоты при волнении моря, повышение устойчивости работы двигателей на малых нагрузках и поддержание заданной частоты вращения гребного винта для выполнения плановой скорости движения судна. Кроме того, регуляторы частоты вращения используются как важное звено в составе систем ДАУ главных двигателей [3, с. 127].

На рис. 1 представлены характеристики совместной работы судового двигателя с регулятором частоты вращения вала, воздействующим на топливоподачу.

Регуляторная характеристика имеет вид наклонной линии ВА2С и поддержание заданной частоты происходит со статической ошибкой, определяемой

степенью наклона этой характеристики, которая, в свою очередь, зависит от степени неравномерности или коэффициента жесткой обратной связи.

Рассмотрим для построения алгоритма регулирования частоты вращения главного двигателя случай увеличения нагрузки при работе двигателя на исходном режиме в т. А2. В результате смещения винтовой характеристики из положения Nc2 в положение Nc1 произойдет уменьшение частоты вращения вала до значения, соответствующего т. А1.

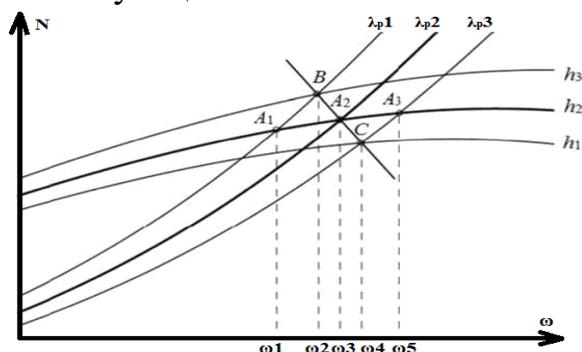


Рисунок 1 – Статические характеристики главного двигателя, работающего с пропорциональным регулятором частоты вращения

На графе переходов появится первое установившееся значение (новая частота вращения вала двигателя – блок 1). При этом регулятор частоты будет стремиться восстановить заданный скоростной режим, увеличивая подачу топлива в двигатель. На графе переходов это соответствует блоку 8 задания положения топливной рейки. Однако из-за наличия наклона регуляторной характеристики новый установившийся режим наступит в т. В при частоте, меньшей, чем на предыдущем режиме в т. А2, на величину статической ошибки, равной разности  $\omega_3 - \omega_2$ .

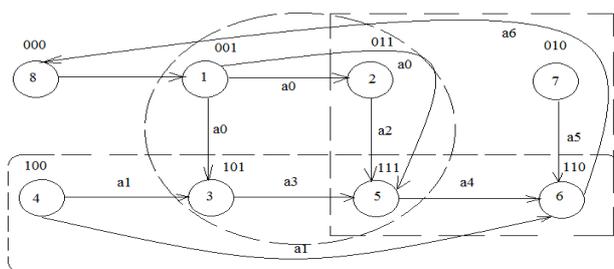


Рисунок 2 – Граф переходов алгоритма системы DGU 8800: 1 – новая частота вращения главного двигателя; 2 – обработка сигнала задания частоты вращения главного двигателя; 3 – формирование разности действительного и заданного значения частоты вращения; 4 – заданное значение частоты вращения главного двигателя; 5 – подсчёт оптимального коэффициента усиления; 6 – ограничение подачи топлива; 7 – значение надувочного воздуха; 8 – задание положения топливной рейки;  $a_0$  - управляющий сигнал системы дистанционного или аварийного управления;  $a_1$  - управляющий сигнал датчика частоты вращения;  $a_2$  - сигнал с блока обработки задания частоты вращения;  $a_3$  - сигнал с блока разности частот;  $a_4$  - сигнал с блока усиления;  $a_5$  - сигнал с блока надувочного воздуха;  $a_6$  - сигнал с блока ограничения подачи топлива.

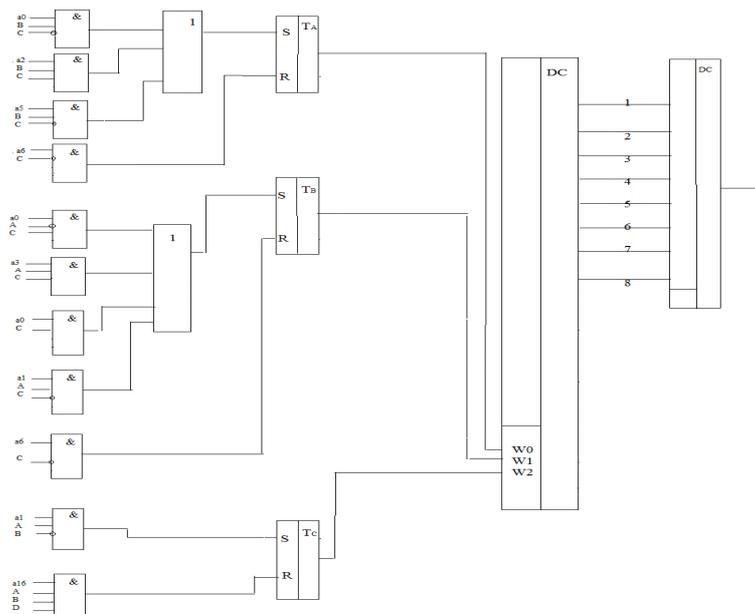


Рисунок 3 – Алгоритм метода управления главным двигателем реализованный на триггерах

По итогам проделанной работы сделан вывод, что данный регулятор может реализовывать любой закон регулирования, в сравнении с гидравлическими регуляторами является более надёжным, компактным и реализует более простой алгоритм управления главным двигателем, а что самое важное обеспечивает более безопасное управление судовой главной энергетической установкой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по эксплуатации судового регулятора частоты вращения DGU 8800e.
2. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления/ А.Н. Пипченко, В.В. Пономаренко, Ю.И. Теплов, А.В. Романенко – Одесса, 2005. – 370 стр.
3. Ланчуковский В.И. Безопасное управление судовыми энергетическими установками. – Одесса: Астропринт, 2004. - 232 с.

УДК 621. 313. 067

## **IGBT-ТРАНЗИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

П.И.Полищук, к.т.н., доцент  
Одесская национальная морская академия

Современный электропривод (ЭП) переменного тока (рис. 1) базируется на IGBT-транзисторных инверторах, осуществляющих, частотное регулирование асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (М) посред-

ством широтно-импульсной модуляции (инвертор U2) и рекуперации электроэнергии в питающую сеть как постоянного (PM), так и переменного (ABC) тока. Формирование синусоидальных кривых входного и выходного токов, обеспечивая высокий коэффициент мощности на входе преобразователя (инвертор U1).

Электромагнитная совместимость (ЭМС) преобразователя с питающей сетью обеспечивается фильтрами Z. Входной фильтр Z1 защищает питающую сеть от промышленных радиопомех и искажений, вносимых преобразователем, способствует защите преобразователя от импульсов сверхнапряжения сети. Выходной фильтр Z2 защищает асинхронный двигатель (АД) и кабель от воздействия сверхкрутых фронтов импульсов модулированного напряжения, которые ведут также к перенапряжениям вследствие эффекта отражённой волны. Промежуточный фильтр Z3 сглаживает пульсации напряжения в цепи постоянного тока PM.

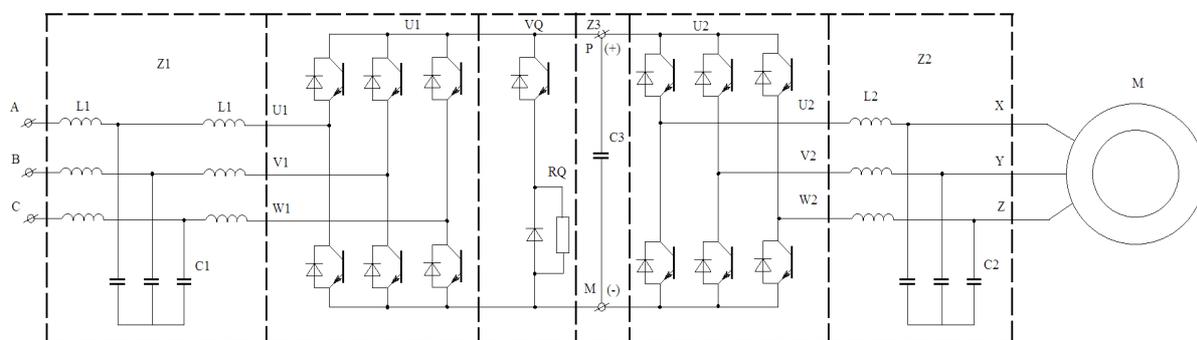


Рисунок 1 - Электропривод переменного тока

Решение проблемы сводится к формированию на выходе фильтра Z2 импульса напряжения, время нарастания фронта которого  $t_{V_z}$  в три раза больше времени  $t_e = \frac{l}{V_v}$  прохождения волны импульса с фазовой скоростью  $V_v \approx 150 \frac{M}{MKS}$  через кабель длиной  $l$ . Представление питающего кабеля однородной линией с распределёнными параметрами индуктивности  $L_e$  и ёмкости  $C_e$  даёт зависимость напряжения на двигателе:

$$u_M = KU \cdot U_d, \quad (1)$$

где  $KU = 1 + \frac{3t_e}{t_v} \cdot \Gamma_M$  - коэффициент перенапряжения;

$\Gamma_M = \frac{Z_{M-Z_e}}{Z_{M+Z_e}}$  - коэффициент отражения нагрузки;

$Z_M$  - сопротивление нагрузки;

$Z_e = \rho_e = \sqrt{\frac{L_e}{C_e}}$  - волновое сопротивление линии без потерь (кабеля) [2].

Полагая  $t_V = \pi\sqrt{L_2 \cdot C_2}$  и задавая  $R_U$ , находим:

$$L_2 \cdot C_2 > 40 \cdot 10^{-8} \frac{l^2 \cdot \Gamma_M^2}{(K_U - 1)^2} \quad (2)$$

Защита сети от промышленных радиопомех.

При равенстве параметров элементов характеристики Т-образного фильтра идентичны Г-образному, который принимает к рассмотрению в качестве расчётного в виде четырёхполюсника:

$$\begin{aligned} \overline{U}_G &= \overline{A}U_Z + \overline{B}I_Z \\ \overline{I}_G &= \overline{C}U_Z + \overline{D}I_Z \end{aligned} \quad (3)$$

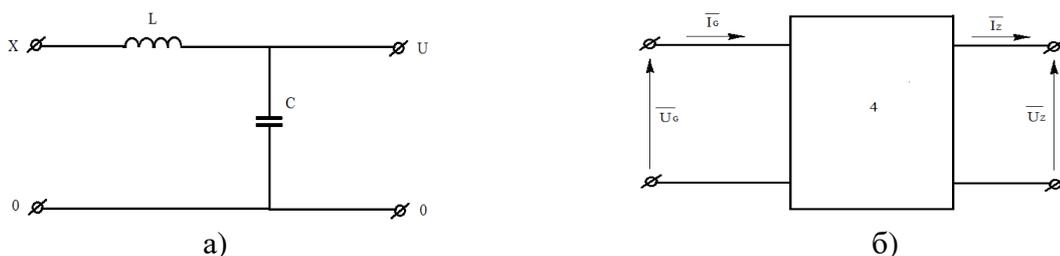


Рисунок 2 - Схема Г-образного фильтра: а) принципиальная; б) в виде четырёхполюсника

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Флора В. Д. Расчёт Г-образного фильтра на входе импульсного регулятора // Труды МЭИ. – 1993. – Вып. 669. – С. 104-108.
2. Бед/форд Б., Хофт Р. Теория автономных инверторов. – М.: Энергия, 1969. – 280 с.
3. ГОСТ 51317.3.2.RU Электромагнитная совместимость. – М.: Госстандарт, 2004. – 12с.
4. ГОСТ 14777-81. Радиопомехи промышленные. Термины и определения. – М.: Госстандарт, 1982. – 17с.

УДК 621.182.26

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ АСР ДАВЛЕНИЯ ПАРА СУДОВОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КОТЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПИ- И ПИД- ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

М.А. Журенко, к. т. н., профессор

В.А. Бушиков, курсант

Одесская национальная морская академия

Как известно, АСР топливосжигания является одной из основных систем, обеспечивающих работу судовой котельной установки. Так как процесс регулирования топливосжигания сводится к поддержанию заданного давления пара при сохранении теплового баланса котла [1, с. 134], то качество регулирования давления пара представляется одним из наиболее актуальных направлений для исследования.

Основной целью данной работы является определение наиболее оптимальной динамической характеристики переходных процессов в АСР давления пара вспомогательного котла Aalborg Sunrod AQ - 12 при использовании ПИ- и ПИД- законов регулирования. Основным возмущением котельной установки является изменение расхода пара, вызывающее изменение его давления, которое поддерживается на заданном уровне регулированием расхода топлива [1, с. 134]. То есть, давление пара является функцией от расхода пара и расхода топлива. При этом в ситуации резкого падения паровой нагрузки на котел возможен заброс давления и подрыв предохранительных клапанов [2, с. 199], что является недопустимым. Из изложенного выше следует, что более качественное регулирование этого параметра обеспечит более экономичное и безопасное управление судовым паровым котлом.

В настоящее время в качестве базового внешнего элемента управления большинства систем автоматизации применяется контроллер, в том числе автономный [3, с. 16]. Причиной этого является небольшой размер таких средств автоматизации, расширенные возможности изменения законов и способов регулирования без изменения конфигурации системы и дополнительных затрат, а также функция самонастройки. В связи с этим, объектом исследования была выбрана микропроцессорная АСР, что содержит в своем составе контроллер нагрузки котла SIPART DR 20 и контроллер LAL 2.25 фирмы Siemens, обеспечивающий алгоритм работы топочного агрегата Monarch RMS 9. На первом этапе на LAL 2.25 подается пусковая команда от реле давления, в результате чего осуществляется пусковой цикл. Данная система представляет собой АСР регулирования давления пара комбинированного типа: при нагрузке на котел до 30 % система работает в режиме позиционного регулирования, а при полной и в долевых нагрузках, на промежутке от 30 до 100 %, осуществляет непрерывное регулирование. Иначе говоря, после окончания пуска работа Monarch RMS 9 осуществляется в соответствии с регулировочными командами контроллера нагрузки SIPART DR 20. Исполнительным механизмом является сервомотор SQM 10, который изменяет степень открытия топливного клапана от частичной до полной нагрузки. Воздушная заслонка изменяет свое положение в соответствии с положением сервомотора посредством регулировочной пружины.

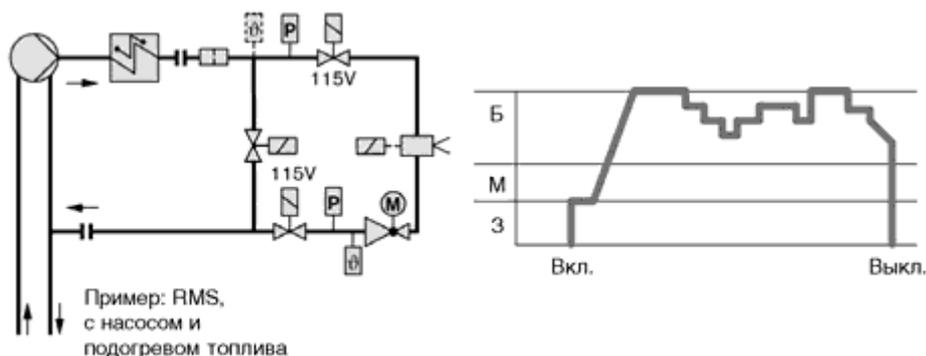


Рисунок 1 – Функциональная схема топливной системы топочного агрегата Monarch RMS 9 и график регулирования подачи топлива: З – при зажигании, М – при малой нагрузке, Б – при большой нагрузке на котел

Для проведения сравнительного анализа выполнен тепловой расчет вспомогательного котла Aalborg Sunrod AQ – 12 паропроизводительностью 2,8 т/ч и номинальным давлением пара 0,7 МПа, рассчитаны коэффициенты уравнения динамики объекта регулирования, произведено математическое моделирование АСР. Указанный выше вспомогательный котел был идентифицирован как одностепенный, инерционный, устойчивый объект с запаздыванием. На основании полученных переходных процессов при моделировании АСР были построены диаграммы качества переходных процессов.

По итогам проведенного анализа сделан вывод, что данная система с ПИД-законом регулирования, в сравнении с ПИ-законом, обеспечивает улучшение качества регулирования давления пара, в частности уменьшение динамического заброса и времени регулирования, что приведет к экономии топлива и обеспечит более безопасное управление котельной установкой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Онасенко В. С. Судовая автоматика / В. С. Онасенко. – М. : Транспорт, 1988. – 271 с.
2. Милтон Д. Х. Судовые паровые котлы / Д. Х. Милтон, Р. М. Лич. – М. : Транспорт, 1985. – 295 с.
3. Пипченко А. Н. Принципы построения и основы наладки контроллеров и систем автоматизации / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, В. А. Шевченко. – Одесса : ТЭС, 2010. – 592 с.

УДК 621.182.26

### **АНАЛИЗ АСР ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО И УТИЛИЗАЦИОННОГО СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ**

М.А. Журенко, к.т.н., профессор

И.С. Полежаев, курсант

Одесская национальная морская академия

В главных судовых двигателях внутреннего сгорания потери тепла с уходящими газами составляют 25 - 40 %. Одним из наиболее эффективных способов повышения экономичности энергетической установки теплохода является частичное использование этого тепла для производства пара в утилизационных котлах. Количество пара, которое может быть выработано утилизационным котлом, установленным на двигателе мощностью 8 - 10 тыс. л. с., достаточно не только для удовлетворения хозяйственных нужд, но и для работы турбогенератора, который может обеспечить все потребности в электроэнергии в ходовом режиме судна.

Однако, известно, что во время маневров, при снижении мощности главного двигателя уменьшается паропроизводительность утилизационного котла. В этом случае обеспечение судна паром и электроэнергией может осуществляться либо отключением утилизационного котла и передачей всей паровой нагрузки вспомогательному котлу, либо параллельной работой утилизационного и вспомогательного котлов с максимальным использованием паропроизводительности утилизационного котла.

С целью экономии топлива ставится задача разработки автоматической системы регулирования совместной работы утилизационного и вспомогательного котлов.

Для решения этой задачи была рассмотрена следующая автоматическая система регулирования (АСР)

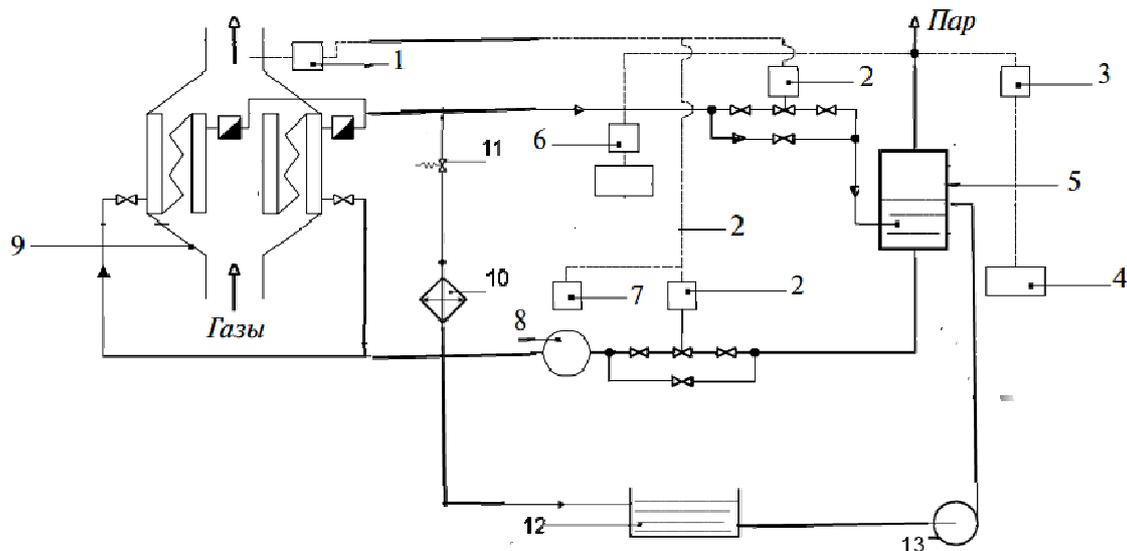


Рисунок 1– Принципиальная схема АСР совместной работы вспомогательного и утилизационного котлов

В АСР совместной работой утилизационного котла (УК) 9 и вспомогательного котла (ВК) 5 выполняет роль парового сепаратора УК, а подвод пароводяной смеси от УК в водяной коллектор ВК позволяет поддерживать температуру воды в котле близкой к температуре кипения. Если количество производимого УК пара достаточно для удовлетворения потребителей, то регулирование его паропроизводительности осуществляет регулятор 6 давления пара, клапан 10 и излишки пара сбрасываются в конденсатор 11 (ВК при этом не работает). При недостаточном количестве производимого УК пара его давление в паропроводе снижается и реле давления 3 подает сигнал в АСР вспомогательным котлом на включение его в работу. АСР вспомогательным котлом настраивают на поддержание более низкого давления пара, чем в УК. При повышении давления пара сверх заданного ВК выводится из действия автоматически с помощью реле 3 и системы управления 4. Если УК не обеспечивает производство пара заданных параметров (например, при работе двигателя на минимальных нагрузках), то реле 1 по температуре уходящих газов отключит УК от ВК посредством исполнительных механизмов 2 и остановит посредством пускателя 7 циркуляционный насос 8. Потребность в паре будет обеспечиваться ВК. При

достижении температурой газов значения, при котором УК обеспечит выработку пара заданных параметров, посредством реле 1 осуществится его подключение к ВК.

На основе изложенного в этой работе были выполнены исследования динамики совместной работы вспомогательного и утилизационного котлов на нескольких режимах работы. Обработка результатов исследований позволяет сделать вывод, что рассмотренная АСР решает задачу непрерывного поддержания необходимого давления пара на любых режимах нагрузки главного двигателя вплоть до отключения утилизационного котла при необходимости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев И. Г. Автоматизация судовых парознергетических установок – Москва «Транспорт», 1991. – 367 с.
2. Печененко В. И., Козьминых Г. В. Основы автоматики и комплексная автоматизация судовых парознергетических установок - Москва «Транспорт», 1979. – 262 с.
3. Ланчуковский В. И., Козьминых А. В. Автоматизированные системы управления судовыми дизельными и газотурбинными установками - Москва «Транспорт», 1990 – 319 с.

УДК 629.5.016.7

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АЗИМУТАЛЬНОГО ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА**

В.В.Будашко, к.т.н., доцент

Е.А.Юшков, аспирант

Одесская национальная морская академия

В настоящее время одним из главных направлений в судостроении является строительство судов для так называемых оффшорных зон. К судовому оборудованию данной категории заказчиками предъявляются специфические требования : оборудование должно быть безопасным по современным меркам , т.е. должно отвечать требованиям классификационных обществ , во-вторых , производители оборудования должны быть готовы оперативно модернизировать свою продукцию, вносить изменения в спецификации, в-третьих, дополнительные требования предъявляются к работе оборудования , оно должно быть способным к работе в тяжелых условиях [1] .

Это связано прежде всего с тем, что на таких судах устанавливаются системы динамического позиционирования (ДП). В публикации ИМО (Международная морская организация) " MSC/Circ.645, Руководящие принципы для су-

дов с динамическими системами позиционирования ", выработаны правила для классификации систем ДП судов как класса 1, класса 2 и класса 3:

- Система ДП класса 1 не имеет избыточности. Потеря позиции может произойти при единичной отказе ;

- Система ДП класса 2 имеет избыточность , единичный сбой в активной системе ДП не приведет к отказу . Потеря позиции не должна происходить по вине одного из активных компонентов или систем , таких как генератор , двигатель , коммутатор , дистанционно управляемые клапаны и т.д. Но может возникнуть после отказа статических компонентов , таких как кабели , трубы , клапаны и т.д.;

- Система ДП класса 3 обеспечивает удержание объекта над точкой позиционирования при единичном отказе активных и пассивных элементов, находящихся в любом из водонепроницаемых отсеков и противопожарных зон ... [2].

Итак система ДП класса 3, что соответствует по своим характеристикам знака ДИНПОЗ-3 в символе класса судна , должна иметь резервирование, которое обеспечивает удержание над точкой позиционирования при единичной отказе элементов , находящихся в разных водонепроницаемых отсеках или в одном из водонепроницаемых отсеков ... [3] .

Альтернативным резервированию становится совершенствование систем управления и диагностики в динамическом позиционировании, с помощью которых невозможны непрогнозируемые потери судном позиции, или своевременное предупреждение о таких возможностях . Но настоящее свидетельствует о том , что разработка таких систем находится на начальной стадии, потому что сам рынок производства развивается хаотично, без выявления реального спроса на продукцию судостроения в целом и на продукцию отдельных сегментов судостроительного производства [4] .

Задача динамической стабилизации судна, находящегося под влиянием внешних возмущений со стороны ветра и волнения моря рассматриваются, например, в работах [5,6] . Математическая модель движения бурового судна, которое выполняет ДП, подробно рассмотрена в [7] . В этих работах используются непрерывные модели для описания измерения и управления .

Результирующее смещение судна при ДП существенно зависит от интервала временной дискретности модели динамической системы, описывающей движение. Поэтому для оценки влияния ошибок измерений на точность удержания судна, результаты, полученные для непрерывных динамических моделей, не могут быть использованы.

Следствием ограничений на выработку управляющих упоров двигателями пропульсивного комплекса является существенное увеличение ошибки стабилизации по сравнению с величиной, которую дает модель, не учитывающей этих ограничений. Поэтому такая модель не может использоваться для оценки средней величины смещения судна, выполняющего ДП.

При выработке управляющих сигналов, модули обработки измерений не только комплексуют измерения от различных систем, но и производят к их временной фильтрации. Фильтрация измерений позволила повысить точность

оценок параметров движения и отсеять измерения с аномально большими ошибками. Использование в процессе расчета управления таких оценок увеличило точность позиционирования и уменьшило средние нагрузки на энергетическую установку в пропульсивном комплексе в целом. Специфика фильтрации измерений для судна, выполняющего динамическое позиционирование, связана с тем, что в течение всего времени координаты судна изменяются незначительно, а силы и моменты, действующие на судно, точно неизвестны и постоянно меняются.

При отсутствии ограничений на резервирование компонентов энергетической установки, когда внешние воздействия являются случайными нормальными узкополосными процессами, модель движения судна была описана с помощью линейной динамической системы. В этом случае при известных параметрах динамической системы лучшая стабилизация будет при временном сглаживании измерений с использованием фильтра Калмана.

Специфика движения судна при ДП, обусловлена нелинейным управлением, наличие неопределенности в статистических характеристиках оценок параметров, внешних возмущающих воздействий и управления, приводит к определенной сложности при построении оптимального фильтра и ставит вопрос об оценке эффективности временной фильтрации. Внешние воздействия были описаны случайными узкополосными процессами с малыми динамическими ошибками или с малыми флуктуационными ошибками. Стабилизирующее управление было построено, как линейная функция смещения судна относительно точки позиционирования и скорости его изменения. Такое управление не является оптимальным при существующих на практике ограничениях на судовые двигатели, поэтому была сделана попытка оптимальной стабилизации в условиях ограничений на управление непрерывной модели.

В условиях, когда существуют ограничения на величину упоров, создаваемых судовыми двигателями, и скорость их изменения, использовать закон управления, который был бы оптимальным при отсутствии этих ограничений, не представляется возможным.

Как и в отсутствие ограничений на двигателе, дисперсия ошибки стабилизации пропорциональна взвешенной сумме квадратических ошибок измерения координаты, скорости и мощности случайной составляющей, обусловленной внешними возмущающими воздействиями. Большое значение для точности динамической стабилизации при наличии ограничений на движке имеет распределение управляющих упоров, что было обеспечено при решении данной задачи с помощью симплекс - метода.

Временное сглаживание измерений на основе фильтра Калмана позволило существенно уменьшить величину средней мощности двигателей, необходимой для выполнения ДП, в том числе в условиях ограничений на предельную величину и скорость изменения мощности отдельных двигателей.

Для выработки стабилизирующего управления система ДП получает сигналы измерения, которые позволяют точно оценить текущее смещение судна относительно желаемого положения и скорость изменения этого смещения, т.е. линейные координаты и вектор скорости судна, а также курс и скорость его из-

менения . Измерения использовались для компенсации, с помощью контура обратной связи, случайных компонентов внешних возмущений и ошибок, возникающих при компенсации медленно меняющихся компонентов внешних возмущений, значение которых измерялись и компенсировались непосредственно.

При ДП проводились оценки двух линейных координат в горизонтальной плоскости относительно точки позиционирования, курса судна, двух линейных скоростей и скорости изменения курса. Расчет добавок для компенсации случайных внешних возмущений в значениях управляющих упоров проводился таким образом, чтобы создаваемое ими дополнительное ускорение в неподвижной системе координат было пропорционально величине и скорости сдвига. Точность позиционирования зависело от различных факторов, главными из которых были: уровень внешних возмущающих воздействий, ограничения на управляющие воздействия, генерирования управляющих воздействий.

По результатам моделирования сделаны следующие качественные выводы и получены следующие результаты :

- В реальных условиях, когда существуют ограничения на величину упоров, создаваемых судовыми двигателями, и скорость их изменения, недопустимо использовать закон управления, который был бы оптимальным при отсутствии этих ограничений , при ограничениях на уровень и скорость изменения управляющих упоров точность позиционирования оказывается существенно ниже , чем в отсутствие ограничений;

- При наличии ограничений на управляющие упоры для обеспечения малой величины смещения судна необходимо проводить перерасчет упоров с целью недопущения существенного изменения крутящего момента по отношению к требуемой;

- Разработан алгоритм формирования управляющего воздействия для стабилизации судна в условиях ограничений на мощность пропульсивной комплекса и скорость ее изменения. В алгоритме были использованы симплекс - метод с применением большого количества подруливающих устройств. Высокая эффективность алгоритма подтверждена при его использовании в имитационной модели;

- При наличии ограничений временные сглаживания измерений, используемых при выработке стабилизирующего управления, приводит лишь к небольшому уменьшению средней величины смещения;

- временное сглаживание измерений на основе фильтра Калмана позволило существенно уменьшить величину средней мощности двигателей, необходимой для выполнения ДП, в том числе в условиях ограничений на предельную величину и скорость изменения мощности отдельных двигателей, величина ошибок стабилизации и средняя мощность двигателей растут незначительно , если модель , используемая для построения фильтра Калмана , неточно описывает уравнение состояния и наблюдения ;

- Для динамической стабилизации при равновесном временном сглаживании измерений на конечном интервале энергопотребление оказывается больше, а точность стабилизации хуже, чем при калмановской фильтрации при различной характере внешних возмущающих воздействий .

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 . Российское судостроение сегодня и завтра / Информационно - аналитический журнал « Морская биржа » <http://www.maritimemarket.ru/> .
- 2 . " ИМО MSC/Circ.645 , Руководящие принципы для судов с динамическими системами позиционирования " . [http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data\\_id %3D10015/MSCcirc645.pdf](http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D10015/MSCcirc645.pdf) .
- 3 . Г.Г. Холодов Требования национальных морских классификационных обществ к работам на морских шельфах и системам ориентации судов , оснащенных системами динамического позиционирования , и их классификация . - Вестник МГТУ , том 13 , № 4/1 , 2010 г. - С. 712-718 .
- 4 . Развитие мировых морских перевозок , транспортного флота и судостроения / Мировое судостроение : Сб . аналитических и справочных материалов. - ЦНИИ им. акад . А.И. Крылова 2011 [http://www.ksri.ru/rus/new/pub/mir\\_sud\\_1.htm](http://www.ksri.ru/rus/new/pub/mir_sud_1.htm) .
- 5 . Вагущенко Л.Л. , Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. - 3-е изд . , Перераб . и доп . - Одесса: Феникс, 2007 . - 328 с.
- 6 . Будашко В.В. Повышение эффективности передачи мощности в судовых дизельных пропульсивных комплексах. - Рукопись // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.05 - судовые энергетические установки. - Одесская национальная морская академия, Одесса, 2006.
- 7 . Родионов А.И. , Сазонов А.Э. Автоматизация Судовождение . - 3-е изд. М.: Транспорт, 1992 . - 192 с.

УДК 629.016:51-74

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОСТИ В КОМБИНИРОВАННОМ ПРОПУЛЬСИВНОМ КОМПЛЕКСЕ ПРИ РАЗНОВЕКТОРНЫХ НАГРУЗКАХ**

В.В.Будашко, к.т.н., доцент

И.Н.Тарасов, курсант

Одесская национальная морская академия

Повышение эффективности систем динамического позиционирования (ДП) в условиях воздействия факторов окружающей среды можно добиться путем: увеличения мощности двигателей; наиболее эффективного расположения двигателей, улучшения работы самой системы и ее компонентов [1, с.63]. Настоящее требует от разработчиков уделять внимание совершенствованию работы блока математической модели энергетической установки судна, предъявив следующие требования к алгоритмам оценки мощности, момента и угловой скорости: фильтрация волновой и оценки низкочастотной составляющих момента и угловой скорости; оценивания низкочастотной составляющей возмущения моментов; диагностирования отказов и сбоев в измерениях; фильтрация волновой составляющей потока мощности; оценивания низкочастотных составляющих координат гребных электрических машин; оценивания низкоча-

стотной составляющей возмущающих сил; устойчивость к сбоям в измерениях; диагностирования отказов и сбоев в измерениях; комплексирования измерений, которые имеют разную дискретность.

Построение математических моделей в параметрической форме требует обработки табличных данных. При этом следует учесть, что экспериментальные данные могут содержать систематические, случайные и грубые погрешности. Непосредственными результатами наблюдений (опытов) в процессе проведения эксперимента являются зависимости между входами и выходами, представлены, как правило, в табличной форме [2].

Пусть параметры динамики движения судна в зависимости от водоизмещения ( $\Delta_1, \Delta_2, \dots \Delta_m$ ) задано DMI-моделями [3, стр.69] в табличном виде (таблица 1):

Таблица 1 – DMI-модель водотоннажністю  $\Delta_1, \text{ м}^3$

№ п/п	$U$	$Ru=f(u)$	$w$	$t$	$n$
1	15.00	37053	0.121	0.181	119.3
2	15.50	40083	0.126	0.179	123.0
3	16.00	43763	0.125	0.177	127.5
4	16.50	47902	0.122	0.176	132.4
5	17.00	52333	0.119	0.177	137.5
6	17.50	56936	0.115	0.179	142.7
7	18.00	61673	0.113	0.180	147.8
8	18.50	66586	0.112	0.181	152.8
9	19.00	71858	0.111	0.179	157.9

где:  $u$  – скорость движения судна, вуз.;  $Ru=f(u)$  – сопротивление движению судна, кПа;  $w$  – коэффициент попутного потока;  $t$  – коэффициент упора винта;  $n$  – обороты гребного вала, об/мин.

Аппроксимацию данных будем делать полиномом методом наименьших квадратов в среде *MatLab/Simulink*, для чего на основании табл. 1 сформируем таблицы исходных данных в виде  $table\_1, table\_2 \dots table\_m = [u, R, w, t, n]$  для различных значений водоизмещения, которые задаем командой  $disp\_mat = [\Delta_1, \Delta_2, \dots \Delta_m]$ . Тогда командой  $disp = disp\_mat (loadcond)$  будем осуществлять вывод значений переменных в командное окно, где  $loadcond$  (*Load Condition*) может принимать значения от 1 до  $m$ . Зададим векторы расчетных функций с одновременным переходом к необходимым единицам измерения, если это необходимо:

$u\_dat = [table\_1(:,1), table\_2(:,1), \dots table\_m(:,1)] \cdot 0.5144$ ; - переводим узлы в м/с;

$Ru\_dat = [table\_1(:,2), table\_2(:,2), \dots table\_m(:,2)] \cdot 9.82/1000$ ; - переводим кПа в кН;

$w\_dat = [table\_1(:,3), table\_2(:,3), \dots table\_m(:,3)]$ ;

$t\_dat = [table\_1(:,4), table\_2(:,4), \dots table\_m(:,4)]$ ;

$n\_dat = [table\_1(:,5), table\_2(:,5), \dots table\_m(:,5)] * 2 * pi / 360;$  - переводим об/мин. в рад/с.

С начала цикла аппроксимации задаем его пределы, определив  $k1 = length(u\_dat)$ , что возвращает наибольшее значение  $u\_dat$  и начальную точку командой  $up\_start = u\_dat(1, loadcond)$ .

Определяем начальный коэффициент пропорциональности между скоростью судна и сопротивлением движению:  $X\_uu = 1000 * Ru\_dat(1, loadcond) / (up\_start^2)$ .

Тогда текущие значения скорости движения и сопротивления определяем следующим образом:

$u\_shift(:, loadcond) = U\_dat(:, loadcond) - up\_start;$

$R\_vec(:, loadcond) = 1000 * Ru\_dat(:, loadcond);$

Заикливив расчеты:  $for\ kk = 1:k1\ uml = U\_dat(kk, loadcond)\ res\_vec(kk, loadcond) = (R\_vec(kk, loadcond) - X\_uu * uml^2); end;$  с помощью команды *polyfit* формируем коэффициенты полиномов ( $pRu$ ) ( $pw0$ ) и ( $Ptd$ ) соответствующей степени, которые с наименьшей среднеквадратичной погрешностью аппроксимируют исходные функции:

$pRu = polyfit(u\_shift(:, loadcond), res\_vec(:, loadcond), 5)$  - расчет многочленного соответствия кривой;

$pw0 = polyfit(U\_dat(:, loadcond), w\_dat(:, loadcond), 0)$  -  $u$  и  $w$  для расчета коэффициента попутного потока;

$Ptd = polyfit(U\_dat(:, loadcond), t\_dat(:, loadcond), 0)$  -  $t$  вектор для расчета усилия удержания.

Для расчета значений полинома  $Ru$  в точках  $u$  применяем команду *polyval*:

$Ru = polyval(pRu, max(u - up\_start, 0)) * X\_uu * u^2;$

Соответствующая модель динамики судна приведена на рисунке 1.

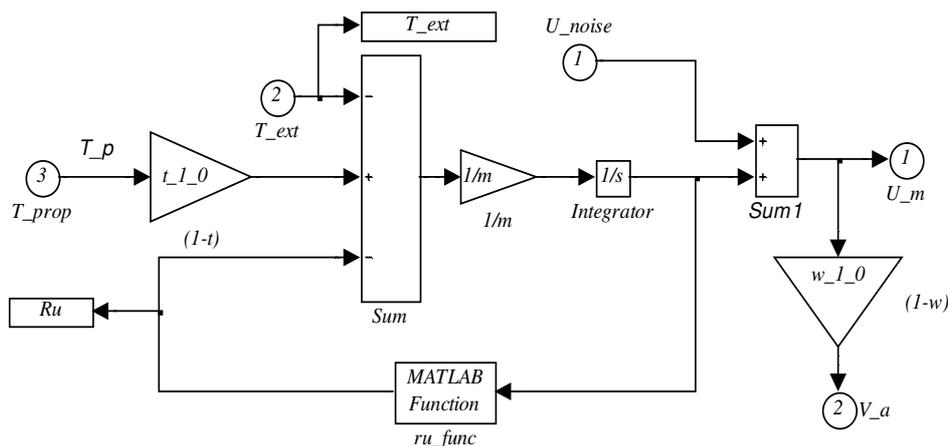


Рисунок 1 – Модель динамики судна:  $T\_prop$  - упор (*thrust*) гребного винта;  $t\_1\_0 = 1 - t$  = среднее значение коэффициента горизонтального удержания (*thrust deduction*) в относительных единицах (о.е.) измеренных данных для соответствующей модели судна;  $T\_ext$  - упор внешней силы (*External Force*)  $m = 10009 * 1025$  (водоизмещение \* масса единицы объема морской воды) +  $10^5$  (груз судна);  $U\_noise$  - отклонение ("шум") скорости судна;  $Ru\_func$  - функция расчета сопротивления судна ( $Ru$ )  $w\_1\_0 = 1 - w$  = среднее значение коэффициента попутного потока (*wake fraction*) в о.е. для соответствующей модели судна;  $U\_m$  - скорость судна.

Результаты моделирования подтвердили адекватность математических моделей, и являются основанием для дальнейших исследований в направлении применения методов волновой регрессии с целью организации предполагаемого регулирования в системе управления энергетической установкой судна и пропульсивной комплекса в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Потёмкин А.Э., Габрук Р.А. Повышение надежности и эффективности систем динамического позиционирования судов / А.Э. Потёмкин, Р.А. Габрук // Автоматизация судовых технических средств: научно-технический сборник. – 2009. – Вып. 15. – Одесса: ОНМА. – 130 с.
2. Выбор структуры математической модели и вычисление ее параметров // Моделирование электрических систем // Лекции / Кафедра электроэнергетических систем и сетей / Казанский государственный технический университет. – Режим доступа: <http://esis-kgeu.ru/model/378-modelees>
3. Будашко В.В. Підвищення ефективності передачі потужності в суднових дизельних пропульсивних комплексах. – Рукопис // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.05 – суднові енергетичні установки. – Одеська національна морська академія, Одеса, 2006.

УДК 629.5.048

### **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ С ДРОБНЫМИ ИНТЕГРАЛЬНО-ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ**

В.В. Бушер, д.т.н., доцент

А.В. Мельник, студент

Одесский национальный политехнический университет

Стремительное развитие цивилизации, особенно за последние десятилетия, значительно повлияло на образ жизни современного человека. Теперь человек все больше пребывает в «четырёх стенах». Поэтому с увеличением времени нахождения людей внутри помещений, помимо повышения требований надежности и безопасности к службам и системам здания, эта тенденция обеспечивает также растущие претензии к уровню комфорта. В связи с этим климатические установки – от простейших систем подготовки приточного воздуха до сложных многозональных систем с пассивной и активной рекуперацией тепла – становятся неотъемлемым элементом жизни человека. Повышение точности, быстродействия работы таких установок способствует обеспечению комфортных условий, повышению их энергетической эффективности.

Известно, что закон изменения температуры воздуха в помещении, в котором работает система вентиляции или кондиционирования, отличается от экспоненциального [1]: в первой части он более интенсивный, во второй – более затянутый.

Принято объяснять такое поведение объекта теплообменными процессами между воздухом в помещении и внешним ограждением и/или массивными предметами внутри помещения. Однако при работе системы вентиляции скорость воздушного потока вдоль помещения относительно невелика, при работе кондиционера и нагревательных элементов осуществляется только циркуляция воздуха. Можно предположить, что в процессы теплообмена вносят определенный вклад диффузия и конвекция воздушных потоков.

Тогда тепловые процессы в помещении можно описать передаточной функцией, содержащей в себе дробные интегралы. А система управления такой установкой может быть построена по принципу подчиненного регулирования температуры воздуха в помещении, причем при синтезе систем управления микроклиматом целесообразно учитывать возможность описания объекта управления как дробно-апериодического звена. Соответственно, для оптимизации системы регулятор будет включать в себя обратную функцию – дробный интегрально-пропорциональный регулятор ( $ПИИ^{\mu}$  – регулятор) [2-5].

Несмотря на то, что расчет САУ с подобными объектами остается непростым, современный уровень микропроцессорной техники позволяет реализовывать их без существенного удорожания систем управления. Это открывает пути для использования более сложных моделей и регуляторов без упрощений, которые ранее были обусловлены невозможностью исполнения в массовом производстве. Таким образом, разработка новых путей и соответствующих технических средств, позволяющих выполнять расчет систем такого класса и при этом частично снижать уровень затруднений, является актуальной задачей.

**Цель** работы заключается в разработке системы управления с цифровым  $ПИИ^{\mu}$  – регулятором и исследование ее динамических свойств.

В качестве экспериментальной установки взят стенд с приточной вентиляционной установкой, функциональная схема которой приведена на рис. 1. Управляемые элементы в системе – однофазный вентилятор с регулированием скорости от преобразователя частоты и нагревательный элемент с управлением мощностью от симисторного коммутатора.

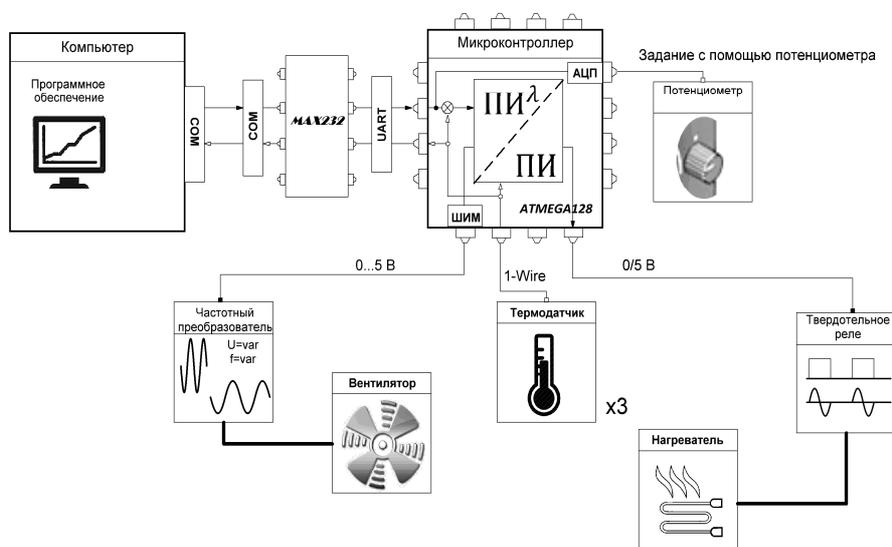


Рисунок 1 – Функциональная схема микроклиматической установки

Цифровой ПИД-регулятор реализован в виде программы, находящейся во флэш-памяти микроконтроллера ATmega128. Также микроконтроллер имеет встроенный многоканальный 10-битный АЦП и обладает аппаратной возможностью формировать ШИМ-сигналы с 8-, 9-, 10-, 16-битовым заданием скважности и частоты.

Для связи МК и ПК был выбран протокол RS232 из соображений простоты и надежности с использованием преобразователя уровней MAX232 и система визуального проектирования **Hiasm**, достоинством которой является возможность быстро «рисовать» небольшие программы.

Hiasm обрабатывает информацию от трех датчиков температуры, закодированной 3 байтами, содержащими номер байта, номер датчика и собственно величины измеренной температуры.

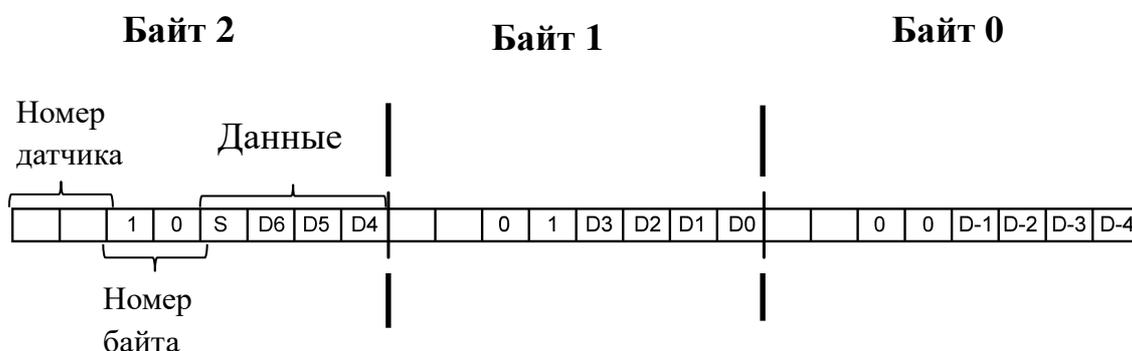


Рисунок 2 – Формат передачи данных от одного датчика

Данные, передаваемые по UART микроконтроллера, представляются в виде строки. Для представления 1 байта в 16-теричной системе достаточно 2 разрядов, поэтому перевод 1 байта в строковый тип данных даст 2 байта. Итого, чтобы получить информацию о температуре от 3 датчиков требуется принять пакет данных объемом  $3*3*2=18$  байт.

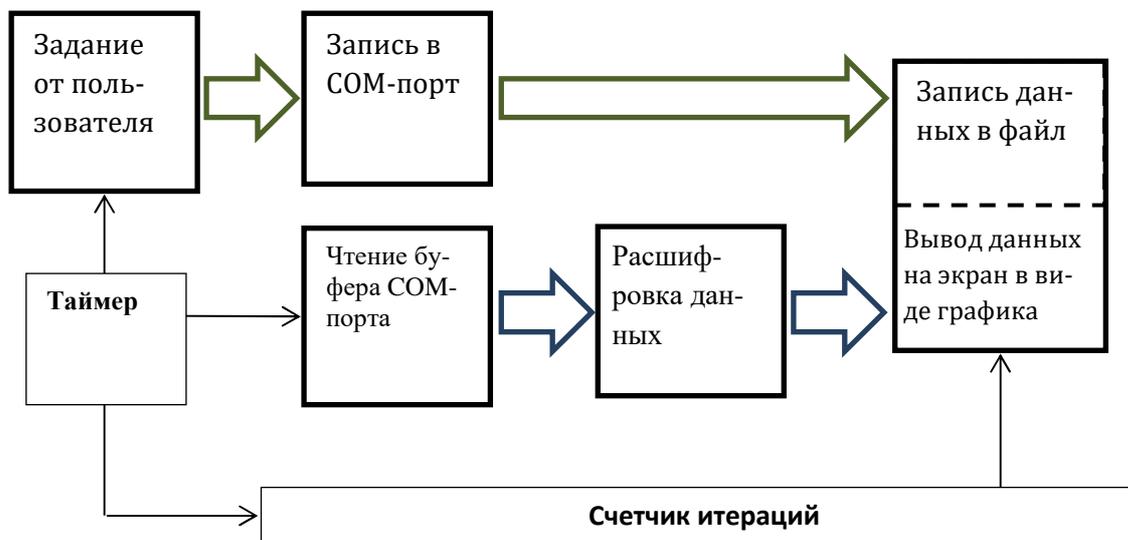


Рисунок 3 – Алгоритм программы

Для работы с СОМ-портом необходимы два потока – для чтения данных из порта и для записи их в порт. Согласно задачам, для программы разработан следующий алгоритм: после каждой итерации таймера происходит запись величины задания для САУ в СОМ-порт, далее следует опрос СОМ-порта – считывается необходимое количество байт, они запоминаются, после успешного прочтения пакета данных буфер RX входа очищается, далее строка из полученного пакета расшифровывается и данные представляются в десятичном коде, в удобном для человека виде. Затем происходит добавление точки на график и запись данных в файл. Наибольшую сложность представляет именно чтение, так как данные поступают извне асинхронно, поэтому проверять буфер приходится чаще, чем происходит передача пакета. Формула, по которой рассчитывается значение температуры, измеренной одним датчиком:

$$t^{\circ} = \left( \begin{matrix} \text{младшая тетрада} \\ \text{байта 2} \end{matrix} \right) \times 16 + \left( \begin{matrix} \text{младшая тетрада} \\ \text{байта 1} \end{matrix} \right) + \left( \begin{matrix} \text{младшая тетрада} \\ \text{байта 0} \end{matrix} \right) \times \frac{1}{16} \quad (1.1)$$

Среда разработки программ – BASCOM AVR для создания исполняемого кода микроконтроллеров семейства AVR на языке высокого уровня, близкого к стандартному Basic – выбрана благодаря простоте его языка, наглядности написанных программ и возможности ассемблерных вставок. Это помогает упростить настройку аппаратных возможностей МК, используя преимущества языка высокого уровня, а также, благодаря ассемблеру, позволяет ускорить математические расчеты и упростить операции с переменными нестандартных размеров. Для реализации дробного ПИ-регулятора использована модифицированная форма Римана-Лиувилля, в соответствии с которой каждое новое значение является суммой произведений массивов ошибки и весовых коэффициентов. Так как объемы памяти процессора ограничены, то для реализации такого расчета создан программный кольцевой буфер ошибок (рис. 4), таблица констант в ПЗУ, оптимизированы процедуры умножения целых двухбайтовых знаковых чисел, сложения 4-байтовых чисел с получением 6-байтового результата.

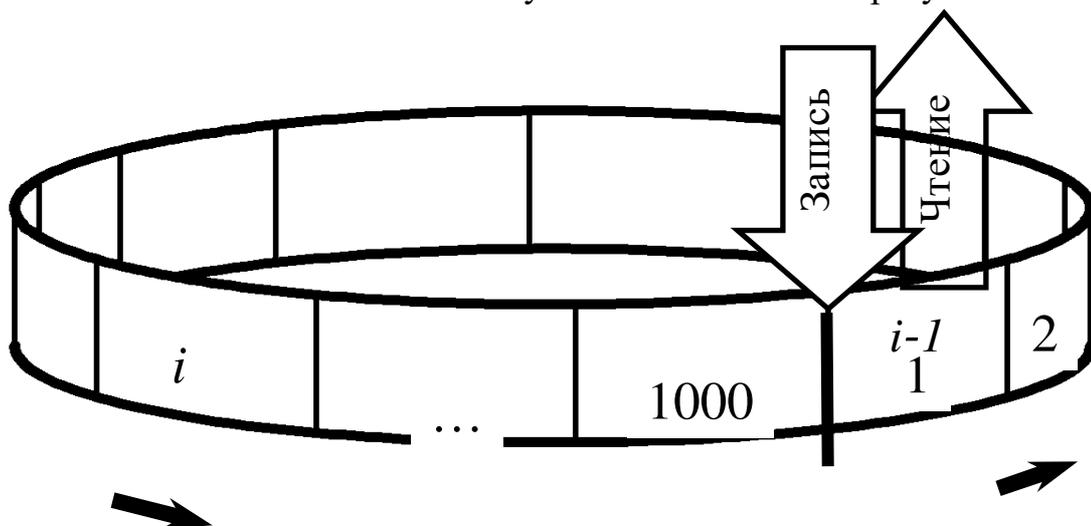


Рисунок 4 – Кольцевой буфер

Таким образом, реализован программно-аппаратный комплекс для исследования систем управления климатическими установками с дробными пропорционально-интегральными регуляторами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Бондарь Е.С.* Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: [Учеб. пособие] Под общ. ред. Е.С.Бондаря / Е.С.Бондарь, А.С.Гордиенко, В.А.Михайлов, Г.В.Нимич. – К: Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2005. – 560 с.
2. *Бушер В. В.* Сравнительный анализ систем управления климатическими установками / В. В. Бушер // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи.* - Кременчук: КрНУ.- 2012. - Вып. 1/2012(17) - С.138-142.
3. *Бушер В.В.* Идентификация элементов климатических систем дифференциальными уравнениями дробного порядка / В.В. Бушер // *Електромашинобуд. та електрообладн.– К.: Техніка.– 2010. – Вип.75.–С.68-70.*
4. *Бушер В.В.* Системы управления климатическими установками с дробными интегрально-дифференцирующими регуляторами / Бушер В.В. // *Вісн. Нац.техн.ун-ту «Харківський політехнічний інститут».* - Харків: НТУ «ХПІ». - 2010. - №28.- С.172-173.
5. *А. Х. Гильмутдинов, П. А. Ушаков, М. М. Гильметдинов* Дробные операторы: критерии синтеза и реализации УДК 530.1+621.372.4

УДК 621.431.74:621.436

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ГЛАВНОГО ДВУХТАКТНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ**

С.Ф.Самонов, к.т.н., доцент  
Одесская национальная морская академия

Применяемые схемы воздухообеспечения главных малооборотных судовых дизелей с наддувом при постоянном давлении не позволяют осуществлять пуск двигателя и его работу с низкими нагрузками, включая некоторые экономические режимы, с использованием одних только газотурбонагнетателей (ГТН). Результаты исследований (Возницкий И.В., Лемещенко А.Л.) показывают, что работа двухтактных дизелей при мощностях 30 – 50 % от номинальной невозможна без вспомогательных электроприводных воздуходувок (ЭПВ), так как ГТН при этом прекращает подачу воздуха и, вращаясь, пропускает только воздух, засасываемый двигателем. Сигналом включения ЭПВ служит падение давления воздуха в ресивере двигателя, а отключения – повышение давления до определенного уровня после разгона ГТН. При отказе одной ЭПВ из двух установленных остаются возможными пуск двигателя и его работа с нагрузкой до 18 % от номинальной ограниченное время. Учитывая, что суммарная мощность электроприводов ЭПВ может составлять около 1 % номинальной мощности двигателя, а также их относительно частые пуски при маневрировании судна либо длительном движении с пониженной мощностью в экономических режимах, подходы к реализации системы управления и конструкции электроприводов ЭПВ могут быть разными. В простейшем случае используется прямой пуск электродвигателей с кнопочного поста магнитного пускателя или ди-

станционно из ЦПУ вручную либо автоматически по сигналу системы управления двигателем, передаваемому в магнитный пускатель. При этом запуск второго электропривода производится через короткую выдержку времени (около 5 сек.) после пуска первого.

В случае относительно большой мощности электродвигателей для пуска применяется широко распространенная схема переключения обмоток статора со звезды на треугольник. Еще одним вариантом является использование ременной передачи с фрикционной муфтой на валу вентилятора при прямом пуске электродвигателя. Перечисленное свидетельствует о том, что изготовители двигателя и ЭПВ хотя и стремятся смягчить процесс запуска ЭПВ, но не принимают особо во внимание их влияние на судовую электростанцию, а кроме того - степень надежности этого электропривода.

Еще одной особенностью является то, что вентилятор ЭПВ работает на ресивер через невозвратный клапан в виде заслонки, который закрывается, когда давление воздуха в ресивере, создаваемое ГТН, превысит давление воздуха, обеспечиваемое ЭПВ. При этом фирмы – изготовители двигателей вводят задержку на отключение ЭПВ (около 8 и более секунд) несмотря на наличие сигнала на остановку от датчика давления в ресивере. Наблюдения за отключением ЭПВ показывает, что оно происходит при максимальном токе нагрузки электродвигателей. В отдельных случаях системой управления двигателя предусматривается автоматический запуск ЭПВ при переводе машины в состояние “Stand By”, что нежелательно при дальнейшем возможно длительном ожидании команды на пуск двигателя.

По информации с судов, длительно работающих в экономических режимах при океанских переходах, стало известно, что судовладельцы покупают и поставляют на борт запасную ЭПВ в сборе, очевидно, учитывая, с одной стороны - важность этого электрифицированного механизма, а с другой – последствия возможного его отказа.

В настоящее время автоматическое управление ЭПВ осуществляется от системы управления двигателем, куда сигнал по давлению воздуха в ресивере поступает в аналоговой нормализованной форме. Эта особенность при наличии частотного управления производительностью ЭПВ позволяет расширить рабочий интервал давлений ЭПВ, снизить частоту пусков, повысить надежность электропривода за счет управляемого пуска и обеспечения подачи количества воздуха, соответствующего режиму двигателя. Эффективность применения частотного управления ЭПВ будет определена в процессе моделирования работы электропривода с системой воздухообеспечения двигателя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Самсонов В.И., Худов Н.И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов. - М., Транспорт, 1990. - 368 с.
2. Корнилов Э.В. и др. Судовые главные двигатели с электронным управлением. - Одесса, «Экспресс-реклама», 2010. – 224 с.

## ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

О.В. Глазева, к.т.н., доцент

В.В. Голинский, лаборант

Одесская национальная морская академия

Во многих отраслях промышленности существуют технологические процессы, при которых происходит накопление зарядов статического электричества, что может не только отрицательно влиять на сам технологический процесс, но и быть причиной взрыва и пожара. Особо важной проблемой является защита, например, танкеров от опасного влияния статического электричества при проведении технологических операций с топливом.

Для изучения процессов электризации, а также создания средств контроля и защиты от электростатической опасности необходимы универсальные средства измерений. Работа измерителей степени наэлектризованности среды в судовых танках основана на измерении напряженности электростатического поля. Поэтому изучение свойств электростатического поля актуально для судовых специалистов с точки зрения обеспечения необходимой электробезопасности.

Электростатическое поле представляет собой особый вид материи: оно возникает в пространстве, окружающем неподвижные электрические заряды и осуществляет взаимодействие между наэлектризованными телами. Электростатическое поле в каждой своей точке характеризуется силовой (напряженность) и энергетической (потенциал) величинами.

Для наглядного представления электростатических полей их принято изображать графически с помощью линий вектора напряженности (силовых линий) и эквипотенциальных линий или поверхностей.

При исследовании сложных физических процессов широкое применение нашли модельные эксперименты. Электрическое поле стационарного тока в слабопроводящей среде является потенциальным, поэтому его можно использовать для моделирования электростатического поля заряженных тел в вакууме. При таком моделировании силовым линиям электростатического поля будут соответствовать линии тока, а поверхностям равного потенциала – поверхности равных напряжений. Проведение эксперимента упрощается при проведении исследования плоского стационарного поля тока. В этом случае потенциалы измеряются при помощи зонда на поверхности слабопроводящей среды.

Для проведения данного исследования была создана лабораторная установка, электрическая цепь которой собрана на отдельной панели и состоит из источника постоянного напряжения (3), зонда (1) и милливольтметра (2) (рис.1). Принципиальная и монтажная схемы источника постоянного напряжения приведены на рисунке 2 (а,б).

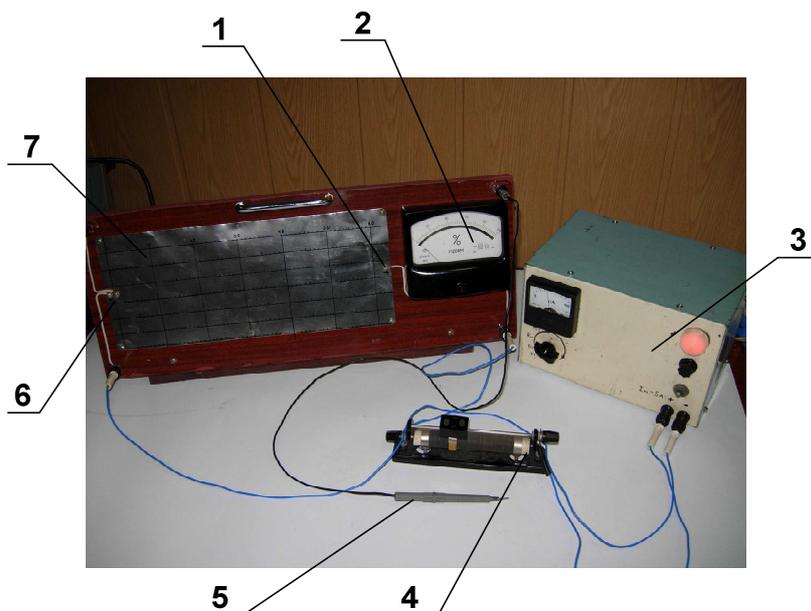
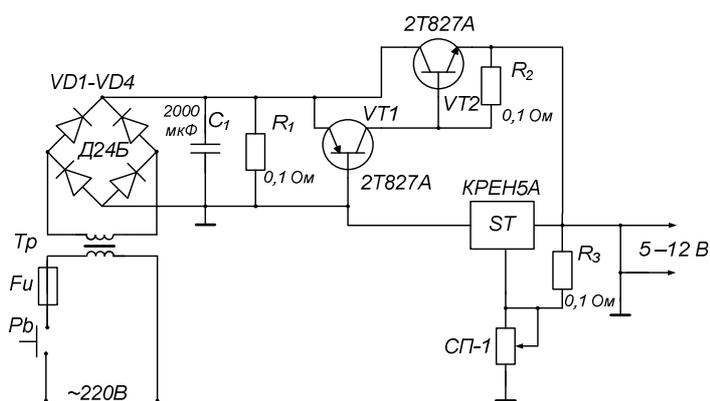


Рисунок 1 – Лабораторная установка для изучения свойств электростатического поля

В качестве слабопроводящей среды используется тонкий лист металла с большим удельным сопротивлением с нанесенным на него сеткой (7) для удобства построения линий поля. На листе закреплены медные электроды (1) и (6). При помещении зонда (5) в произвольную точку пластины, вольтметр (2) показывает значение потенциала поля в этой точке, измеренное относительно электрода (6), потенциал которого принимается равным нулю. Совокупность точек исследуемого поля с таким же значением потенциала образует эквипотенциальную поверхность.

При проведении экспериментального исследования необходимо при помощи зонда определить по вольтметру электрод с нулевым потенциалом. Обозначить на чертеже этот электрод знаком «-», а второй электрод – знаком «+».



а)

б)

Рисунок 2 – Принципиальная (а) и монтажная (б) схемы источника постоянного напряжения

Установить по вольтметру, расположенному на ИПТ заданную разность потенциалов 0...+ 12В между электродами, выбрать шаг изменения потенциала, для построения нескольких эквипотенциальных линий в выбранном интервале

напряжений. Зондом отметить точки с одинаковым потенциалом, затем соединить их плавной кривой и на полученной таким образом эквипотенциальной линии указать значение её потенциала.

Используя свойство ортогональности касательных к эквипотенциальным и силовым линиям электростатического поля, провести несколько силовых линий учитывая, что с поверхностью электродов они пересекаются под прямым углом. На наиболее однородной области моделируемого поля выбрать две соседние эквипотенциальные линии, рассчитать модуль вектора напряжённости и указать его направление. Для однородного электростатического поля линии напряжённости параллельны вектору напряжённости. Таким образом, мы получаем графическое изображение модели электростатического поля (рис.3).

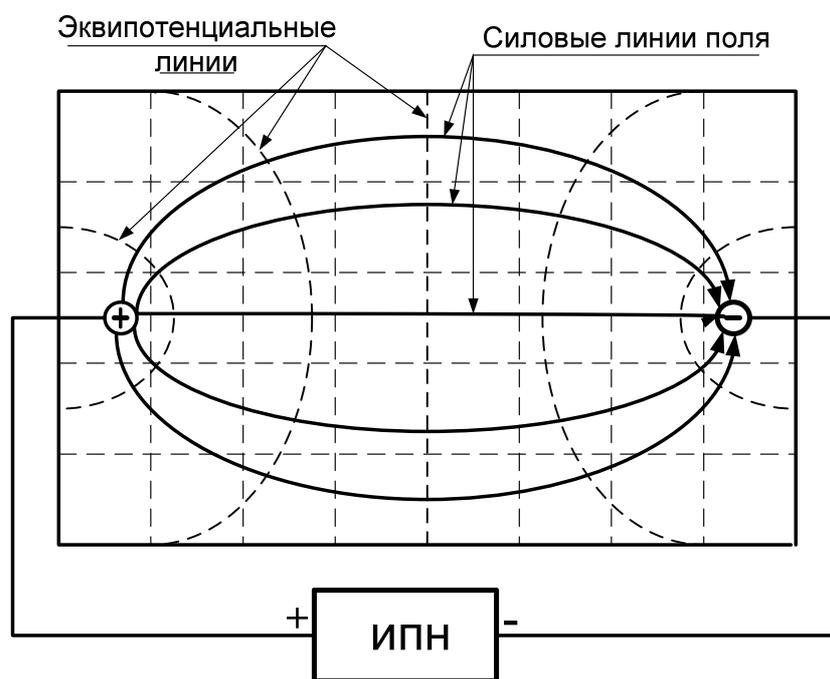


Рисунок 3 – Графическое изображение модели электростатического поля

Разработанный лабораторный стенд может быть использован для изучения и углубления знаний физических законов и явлений в лабораторном практикуме по дисциплинам «Физика» и «Теоретические основы электротехники».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Принципы построения судовых измерителей напряженности электростатического поля /Бадаляян Э.Г., Васильев Б.С., Линов А.М., Мондрусов В.А., Щигловский К.Б. ЦНИИ "Румб", 1982, 35 с.
2. Рязанов, Г.А. Опыты и моделирование при изучении электростатического поля / Г.А. Рязанов. – М.: Наука, 1966. – 200 с.
3. Калашников, С.Г. Электричество / С.Г. Калашников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 624 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПОДРУЛИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ПО СИСТЕМЕ ТПН-АД

А.О. Дранкова, к.т.н., доцент

В.В. Бушер, д.т.н., доцент

Д.А. Глазев, курсант

Одесская национальная морская академия

Постоянное увеличение нелинейных нагрузок в сети электропитания, к которым, относятся регулируемые приводы, приводит к необходимости контроля качества электроэнергии и обеспечения надежности функционирования оборудования. В системах электроснабжения с мощной нелинейной нагрузкой возникают значительные искажения форм тока и питающего напряжения, а часть мощности передается на частотах высших гармоник.

Высоковольтные тиристорные преобразователи напряжения (ТПН) все чаще применяются в качестве устройств плавного пуска асинхронных короткозамкнутых двигателей (АД) с номинальным напряжением 3, 6, 10 кВ [1].

При плавном пуске индивидуального асинхронного электропривода (АЭП) механизмов центробежного принципа действия с вентиляторным характером нагрузки  $M_{ст} \sim \omega^2$  – насосов, вентиляторов, компрессоров – при использовании системы «ТПН–АД» получают высокие технико-экономические показатели.

Объектом исследования в работе выбрано подруливающее устройство на базе асинхронного двигателя с тиристорным преобразователем напряжения судна типа контейнеровоз на 8450 TEU (MAERSK SOFIA).

Воздействие ТПН на судовую сеть проявляется в виде генерирования высокочастотных гармоник напряжения и потребления реактивной мощности. Воздействие ТПН на объект регулирования – подруливающее устройство – проявляется в появлении высших гармоник напряжения и тока на выходных зажимах двигателя, что приводит к дополнительным потерям в обмотках статора и ротора, что приводит к повышению средней температуры и локальному перегреву отдельных частей АД [2].

Сложность и дороговизна проведения натуральных экспериментов по исследованию гармонического состава токов и напряжений подруливающего устройства по системе ТПН–АД привело к необходимости создания модели как самого устройства ТПН, так и всей электромеханической системы в целом. Использование модели системы: «судовая сеть – преобразователь – асинхронный двигатель» позволит промоделировать пусковые режимы устройства плавного пуска мощного АД (АМІ630L10АВ), получить и исследовать временные диа-

граммы токов и напряжений на участках «Сеть–ТПН» и «ТПН–АД», выработать рекомендации по оптимальному выбору фильтров высших гармоник.

Несмотря на актуальность проблемы, моделированию устройств плавного пуска асинхронных двигателей в среде Matlab/Simulink посвящено незначительное количество работ [3]. Отсутствие в научной литературе полных моделей устройств плавного пуска мощных АД с короткозамкнутым ротором ограничивает возможность проведения таких исследований. Основной причиной этого является недостаточное освещение в публикациях вопросов, связанных с разработкой функциональных и структурных схем моделей. Чаще всего они представлены в виде подсистем и не дают полного представления о принятых схемотехнических решениях.

Целью данного этапа работы магистра является разработка модели традиционного устройства плавного пуска АД с вентиляторной нагрузкой на основе ТПН в среде Matlab/Simulink.

При разработке модели высоковольтной системы «ТПН–АД» основными исходными данными послужили номинальные параметры АД с короткозамкнутым ротором – мощность, линейное напряжение и ток статора двигателя, пусковой и критический момент (табл. 1); расчетные параметры схемы замещения (рис. 1); механические характеристики центробежного механизма (Bow Thruster ТСТ-315); параметры питающей сети: номинальное напряжение (6кВ) и частота ( $f = 50$  Гц).

Таблица 1 – Параметры АД с короткозамкнутым ротором АМІ630L10АВ

IP 55 - IC 611 - Insulation class F, temperature rise class B

Output Motor kW type	Product ID	Speed r/min	Efficiency		Power factor		Current			Torque			Rotor inertia kgm <sup>2</sup>	Motor weight kg	Sound pressure level L <sub>p</sub> dB(A)
			Full load 100 %	3/4 load 75 %	Full load 100 %	3/4 load 75 %	I <sub>n</sub> A	I <sub>s</sub> / I <sub>n</sub>	I <sub>b</sub> A	T <sub>n</sub> Nm	T <sub>s</sub> / T <sub>n</sub>	T <sub>max</sub> / T <sub>n</sub>			
600	AMI 630L10A B	597	96.9	97.0	0.82	0.79	381	5.7	147	50371	0.7	2.2	516.2	13980	76

600 r/min = 10 poles      6000 V 50 Hz

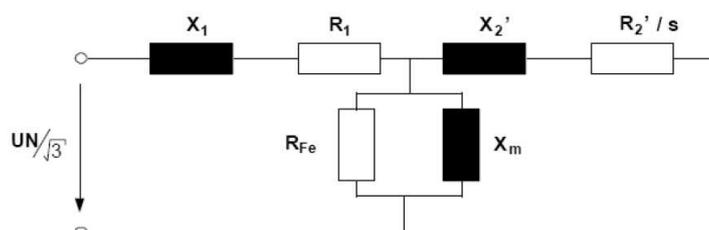


Рисунок 1– Схема замещения АД

Функциональная схема асинхронного электропривода с регулируемым напряжением на статоре представлена на рис. 2. ТПН управляет основным потоком электрической энергии, которая поступает от источника питания силовых цепей к электродвигателю через мощные тиристорные ключи. Способ регулирования электрической мощности, подводимой к обмоткам статора электродвигателя во время пуска электропривода, основан на фазовом регулировании выходного напряжения ТПН [4].

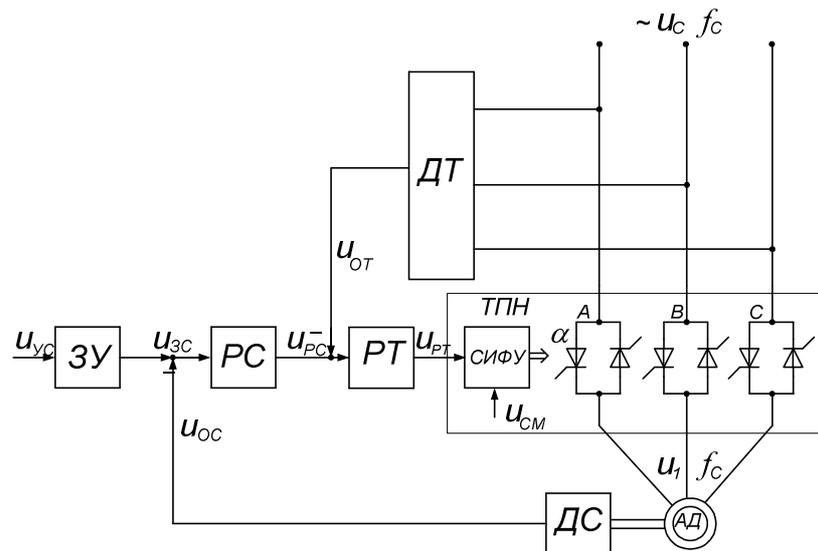


Рисунок 2 – Функциональная схема асинхронного электропривода с регулируемым напряжением на статоре: ЗУ- задающее устройство; РС- регулятор скорости; РТ- регулятор тока; ДС- датчик скорости; ДТ- датчик тока; ТПН- тиристорный преобразователь напряжения; СИФУ- система импульсно-фазового управления; АД- асинхронный двигатель;  $u_{yc}$  -напряжение управления скоростью;  $u_{зс}$  - напряжение задания скорости;  $u_{РС}$  - напряжение регулятора скорости;  $u_{РТ}$  - напряжение регулятора тока;  $u_{от}$ -напряжение обратной связи по току;  $u_{см}$  - напряжение смещения;  $u_c$  - напряжение сети;  $f_c$  - частота сети;  $u_1$  - напряжение на обмотках статора АД.

Изменение напряжения на статоре АД вызывает изменение его электромагнитного момента и, в итоге, угловой скорости двигателя. В разомкнутой системе асинхронного электропривода эффективность такого регулирования скорости ограничена весьма малым диапазоном устойчивости режимов работы двигателя, поэтому для расширения функциональных возможности АЭП используется замкнутая система с обратной связью по скорости. Кроме того, алгоритмы формирования пусковых токов и напряжений на статоре АД предусматривают обеспечение постоянного заданного значения динамического момента  $M_{дин}$  электропривода центробежного механизма при плавном пуске с учетом механической характеристики механизма и момента инерции электропривода [4].

Разработанная в пакете SimPowerSistems модель электромеханической системы с устройством плавного пуска на основе ТПН представлена на рис. 3. Модель состоит из следующих блоков:

- блок Three-Phase Source - источник трехфазного напряжения;
- блок Thyristor Bridge – подсистема из шести блоков Thyristor1...Thyristor6, включенных встречно-параллельно и моделирующих силовую схему ТПН;
- блоки Synchronized 6-Pulse Generator и Subsystem, для изменения угла отпирания тиристоров  $\alpha$  и, соответственно, фазного напряжения от мини-

мального, необходимого для создания начального пускового момента, до номинального напряжения сети;

- блок Asynchronous Machine SI Units – АД с короткозамкнутым ротором;
- блок Linear ramp-function – линейный задатчик интенсивности;
- блоки PI-regulator – пропорционально-интегральные регуляторы тока статора и скорости;
- блок Reactive-Vent load – вентиляторная нагрузка АД.

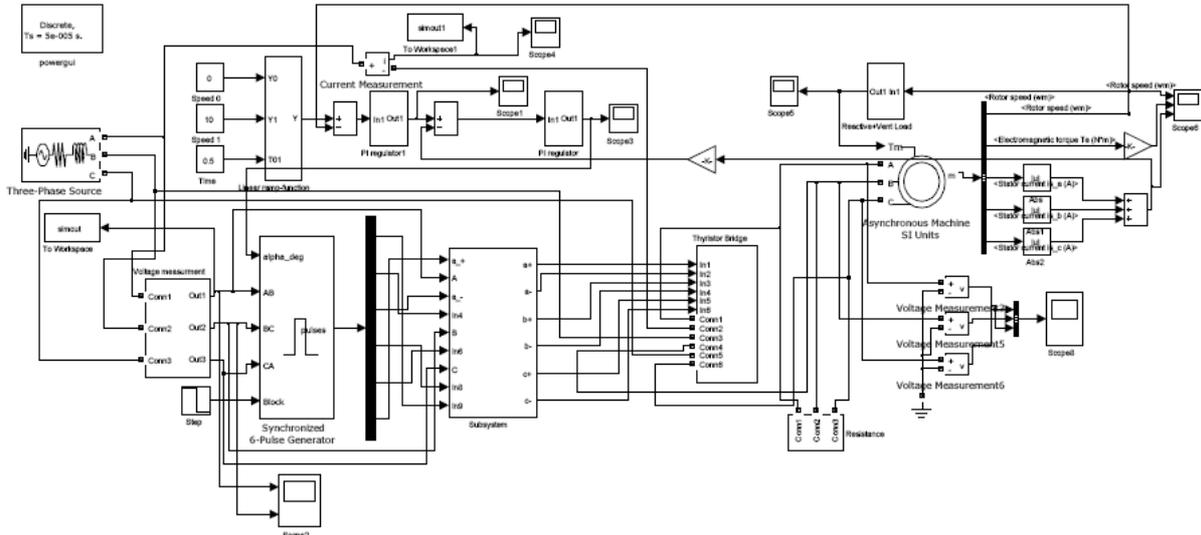


Рисунок 3 – Модель АД с ТПН

Линейный задатчик интенсивности – Linear ramp-function (рис.4) – определяет модуль разницы между текущим и заданным значениями скорости, полученная величина сигнала умножается на знак разности и подается на интегратор. Используемый в данной схеме коэффициент усиления подобран таким образом, чтобы обеспечить переход от начального к конечному значению скорости за заданное время.

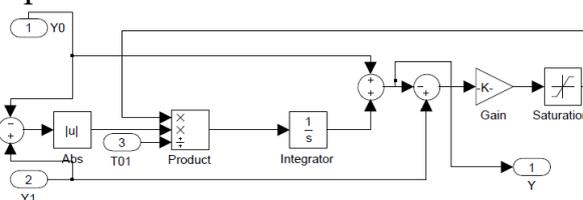


Рисунок 4 – Линейный задатчик интенсивности (Linear ramp-function)

ПИ-регулятор (PI-regulator) формирует возрастающий положительный сигнал при положительной ошибке между заданной и текущей координатами двигателя. Для расчета угла отпирания тиристоров полученное значение вычитается из максимального значения угла.

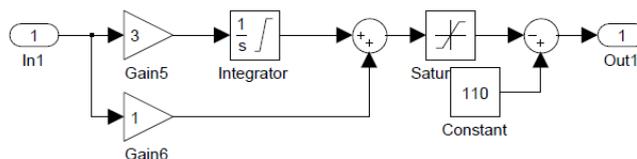


Рисунок 5 – ПИ-регулятор (PI-regulator)

Стандартный Synchronized 6-pulse Generator (СИФУ) формирует короткие импульсы, обычно синхронизированные с линейными напряжениями сети. В ТПН необходимо выполнять синхронизацию по фазным напряжениям, а ширина управляющего импульса  $\theta$  должна удовлетворять условию  $\varphi < \alpha + \theta < 180^\circ$ , где  $\varphi$  – угол нагрузки. Учитывая, что определение величины  $\varphi$  затруднительно, был создан блок, который формирует импульсы от заданного  $\alpha$  до следующего перехода фазового напряжения через 0.

Вентиляторная нагрузка АД (рис.6) представлена блоком Reactive-Vent load, учитывающего как квадратичную зависимость момента от скорости вращения винта, так и наличие реактивного момента сопротивления, обусловленного силами трения в механизме.

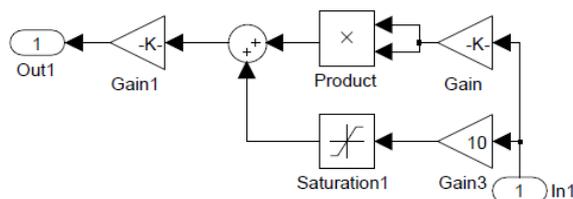


Рисунок 6 – Подсистема нагрузки (Reactive-Vent load)

После тестирования модели и выбора коэффициентов регуляторов тока и скорости получены переходные процессы плавного запуска двигателя АМІ630L10АВ с вентиляторной нагрузкой на валу. Результаты моделирования представлены в виде графиков зависимостей моментов и скорости от времени на рис. 7.

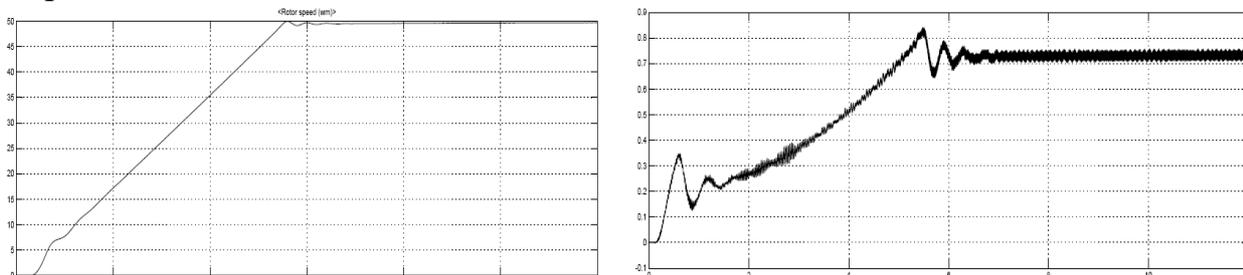


Рисунок 7 – Временные диаграммы скорости и момента АД при  $\omega = 50$  рад/с

Полученная модель позволила получить временные диаграммы кривых тока при различных скоростях вращения АД, которые используются для анализа гармоник, генерируемых ТПН. На рис. 8 представлена временная диаграмма тока фазы при скорости вращения ротора АД 50 рад/сек.

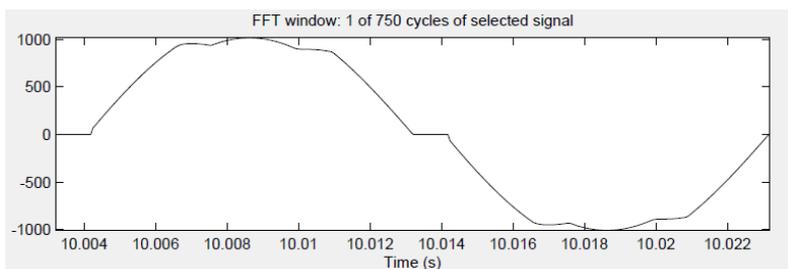


Рисунок 8 – Временная диаграмма тока фазы АД при  $\omega = 50$  рад/с

Блок быстрого преобразования Фурье (FFT Analysis) используется для получения амплитудного спектра тока фазы на участке «Сеть – ТПН». Поскольку кривая тока симметрична относительно оси времени, то в ней практически отсутствуют постоянная составляющая и четные гармоники. ТПН генерирует гармоники тока, кратные  $\lambda = p\kappa \pm 1$ , где  $\kappa=0,1,2,\dots,n$ ;  $p$  – фазность преобразователя, в данном случае  $p=6$ . Третья и кратные трем гармоники компенсируются благодаря соединению обмоток статора в звезду. Как видно из представленной на рис. 9 гистограммы амплитудного спектра тока фазы, ТПН генерирует в сеть гармоники в основном 5-го, 7-го, а также 11-го и 13-го порядков, что подтверждает теоретические положения [5].

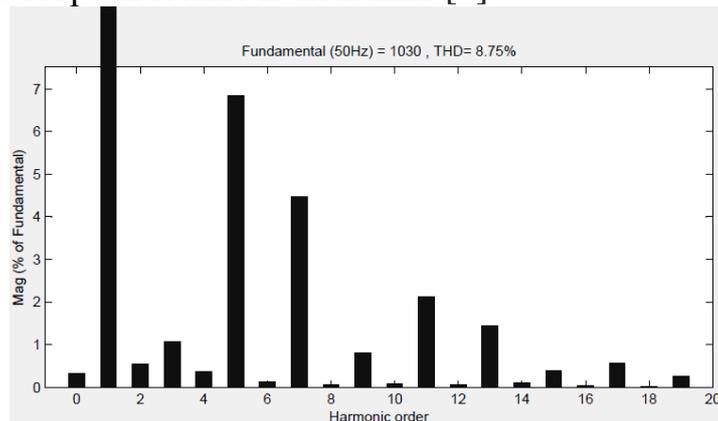


Рисунок 9 – Амплитудный спектр тока фазы АД при  $\omega = 50$  рад/с

Результаты анализа гармонического состава тока при различной скорости вращения ротора АД приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Амплитудные и фазовые значения гармоник тока

Номер гармоники	Скорость вращения ротора рад/сек					
	30		40		50	
	$I_m$	$\psi_i$	$I_m$	$\psi_i$	$I_m$	$\psi_i$
1	100.00%	-72.0°	100.00%	-65.3°	100.00%	-5.5°
5	7.09%	28.5°	6.79%	208.7°	5.06%	148.7°
7	4.58 %	106.3°	4.42%	77.7°	3.37%	134.9°
11	2.15%	60.9°	2.14%	168.4°	1.85%	105.9°
13	1.43%	39.0°	1.44%	35.2°	1.35%	93.4°
17	0.51%	-12.3°	0.58%	126.2°	0.76%	61.4°
19	0.22%	-42.2°	0.28%	-21.3°	0.53%	50.0°

Таким образом построение адекватной модели устройства плавного пуска высоковольтного мощного АД с короткозамкнутым ротором в среде Matlab/Simulink позволяет решить проблему исследования высших гармоник для последующего решения практических задач, в частности, синтеза опти-

мальных по массогабаритным и технико-экономическим параметрам сетевых фильтров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачук А., Кривовяз В., Копырин В., Силуков А. Плавный пуск группы высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов. Силовая электроника, №2-2008, С.54–57.
2. Воршевский А. А., Гальперин В. Е. Электромагнитная совместимость судовых технических средств / А. А. Воршевский, В. Е. Гальперин; СПбГМТУ.– СПб., 2006.– 317 с.
3. Назаренко В. Н., Назаренко К. В. Моделирование устройств плавного пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в среде Matlab/Simulink. Збірник наукових праць СНУЯЕтаП «Інформаційні системи і технології», С.207-217.
4. Терехов В. М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. Высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.
5. Арриллага Дж. и др. Гармоники в электрических системах: Пер. с англ. / Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Боджер.– М.: Энергоатомиздат, 1990.– 320 с.: ил.
6. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink 5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала».- М.: СОЛОН-Пресс, 2005.– 800 с.:ил.

УДК 629.5.0645 (045): 621.313.33

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЩНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ**

Н.И. Муха, к.т.н., доцент

И.А. Урсу, магистр

Одесская национальная морская академия

Одним из путей уменьшения потерь является совершенствование распределения энергетических потоков, в частности, компенсация реактивной энергии судовых потребителей. До настоящего времени нерешенной остается проблема компенсации реактивной энергии при переменных нагрузках и пусках приводов соизмеримой мощности. Существующие технические решения обеспечивают компенсацию среднего значения реактивной мощности, при этом быстрые переходные процессы в энергетической системе не учитываются. В то же время, работа судовой энергетической установки характеризуется в основном переменными режимами с частыми пусками приводов судовых механизмов.

Решение проблемы компенсации реактивной энергии в переходных процессах является сложной технической задачей, требующей научных исследований и разработки новых технических решений – создания систем динамической компенсации реактивной энергии, обеспечивающих типовые рабочие режимы СЭУ.

Цель работы - повышение энергетической эффективности электроприводов судовых установок путем разработки систем динамической компенсации реактивной энергии во время пуска электродвигателей соизмеримой мощности от судового дизель-генератора.

Основные решаемые задачи:

- анализ технических решений по компенсации реактивной мощности и применения их для осуществления пуска мощного электродвигателя с целью выбора эффективных схем компенсации;

- выбор методов исследования судовых установок генерирования и распределения активной и реактивной энергии, разработка математических моделей и компьютерных программ для исследования режима пуска мощного электропривода судового механизма;

- исследований асинхронных двигателей с индивидуальной компенсацией реактивной мощности (АД с ИКРМ), разработка математических моделей для оценки статических и динамических характеристик электроприводов на основе асинхронных двигателей с индивидуальной компенсацией реактивной мощности.

Методы исследования:

- математическое и физическое моделирование процессов в судовых энергетических установках в режиме пуска электродвигателя для создания компьютерных моделей и программ расчета режимов компенсации реактивной мощности;

- методы теории автоматического управления для анализа переходных процессов компенсации реактивной нагрузки, а также структурного и параметрического синтеза в системах стабилизации коэффициента мощности потребителей энергии;

В результате решения указанных задач была разработана схема индивидуальной динамической компенсации реактивной мощности для двигателя типа CSM 280S/M-4 мощностью 150 кВт, представленная на рис. 1.

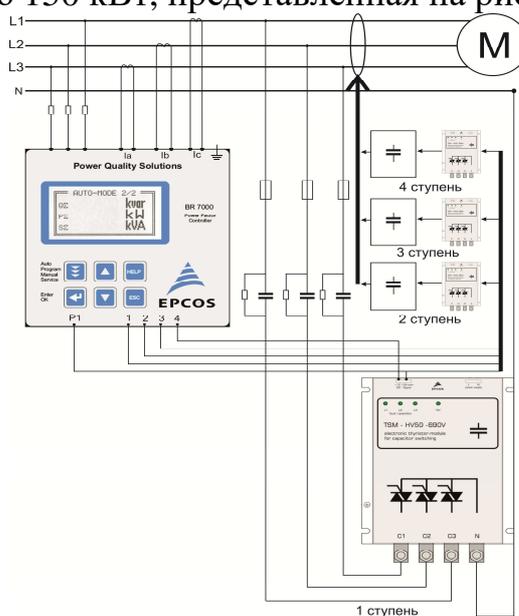


Рисунок 1 – Схема индивидуальной динамической компенсации реактивной мощности.

Компенсация реактивной мощности осуществляется за счет включения в цепь статора конденсаторов по схеме «звезда» в 4 ступени с весовыми коэффициентами 1 – 2 – 4 – 8 посредством тиристорных ключей, управляемых контроллером BR7000 – Т в зависимости от требуемого значения коэффициента мощности.

Разработанная схема позволяет контролировать cosφ двигателя и поддерживать его постоянное значение в переходных режимах работы, что привело также к снижению провалов напряжения судовой электростанции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурбело М.Й. Підвищення ефективності електроспоживання асинхронних двигунів у перехідних режимах / М.Й. Бурбело, А.В. Гадай // Енергетика та електрифікація. – 2008. – № 3. – С. 57 – 58.
2. Бурбело М.Й. Компенсація реактивної потужності асинхронних двигунів в різкозмінних режимах навантаження / М.Й. Бурбело, А.В. Гадай // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 1. – С. 65 – 68.
3. Петухов М.В. Дослідження математичної моделі параметричного статичного компенсатора реактивної потужності / М.В. Петухов, А.В. Гадай, Ю.В. Грицюк // Вісник НУ „Львівська політехніка”. Електроенергетичні та електромеханічні системи. 2001. – № 421. – С. 154 – 159.

УДК 621.313.333

### **АНАЛИЗ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО СУДНА**

В.С. Петрушин, д.т.н., профессор  
С.В. Дариенко, курсант  
Одесская национальная морская академия

В последнее время на судах специального назначения применяются гребные электрические установки (ГЭУ). В частности, на гидрографических судах используются ГЭУ с транзисторными преобразователями частоты (ТПЧ), которые питают гребные асинхронные двигатели (АД).

Для выбора схемного решения такой ГЭУ необходимо проанализировать несколько вариантов схем для конкретного гидрографического судна, у которого предварительно определены характеристики гребного винта и тип судового генератора (МСК375-1000).

Рассмотрено три варианта схем:

1. Безредукторная ГЭУ (см. рис. 1).
2. ГЭУ с редуктором (Р) и трансформатором (Тр) (см. рис. 2).
3. ГЭУ с редуктором (Р) (см. рис. 3).

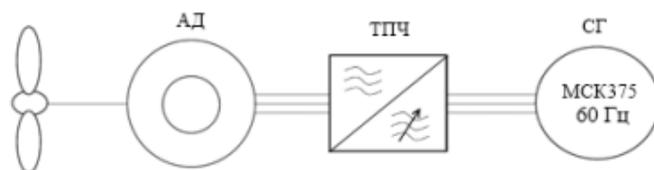


Рисунок 1 – Структурная схема безредукторного ГЭУ

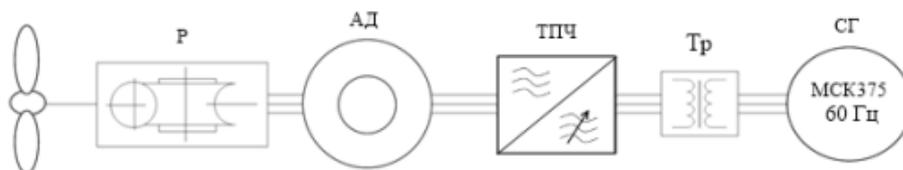


Рисунок 2 – Структурная схема ГЭУ с редуктором и трансформатором

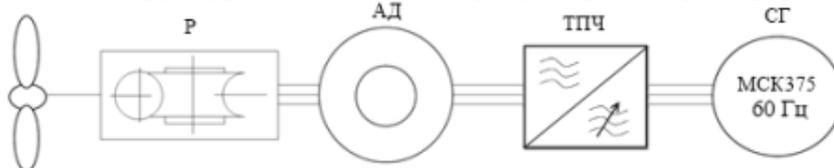


Рисунок 3 – Структурная схема ГЭУ с редуктором

С целью анализа сформированы математические модели (ММ) исследуемых схем ГЭУ, включающих в себя модели всех составляющих [1, 2]. Расчет осуществляется при номинальной частоте вращения вала двигателя 200 об/мин.

Для каждого схемного решения использованы определенные АД, ТПЧ, а также трансформатор и редукторы.

Сопоставление технико-экономических показателей рассматриваемых вариантов приведено в таблице (см. табл. 1).

Таблица 1- Техничко-экономические показатели схемных решений ГЭУ гидрографического судна

Схемы / Величины	С трансформатором. С редуктором. Двигатель 4A200L4	Безтрансформаторная. С редуктором. Двигатель 4A250S6	Безредукторная. Безтрансформаторная Двигатель 4A355M12
Стоимость АД, грн.	11748	16640	79000
Стоимость редуктора, грн.	7345,5	12325,5	—
Стоимость трансформатора, грн.	15820	—	—
Стоимость Преобразователя, грн.	33468	33468	57000
Стоимость ГЭУ, грн.	68381,72	62433,5	136000
Полный объем ГЭУ, м <sup>3</sup>	0,96	0,906	1,48
Масса ГЭУ, кг.	865	845	1745
КПД ГЭУ, о.е.	0,725	0,74	0,82
Потери активной энергии за год, грн.	79826,252	74483,955	49292,634
Приведенные затраты ГЭУ за 5 лет, грн.	513328,7	476683,7	473583,2

Исходя из приведенных в таблице значений предпочтительным является схема безредукторного ГЭУ (рис. 1).

Модернизация без редукторного ГЭУ возможна двумя путями.

Первый путь предполагает изменение настройку частотного преобразователя, в результате которой возможно повысить КПД.

Была создана ММ рассматриваемой безредукторной ГЭУ с настройкой частоты преобразователя на 55 Гц, вместо номинальных 60 Гц в базовом варианте.

На регулировочных характеристиках (рис. 4-7), приведены зависимости для исходной модели ГЭУ (кривые 1), модернизированной ГЭУ за счет настройки ТПЧ (кривые 2).

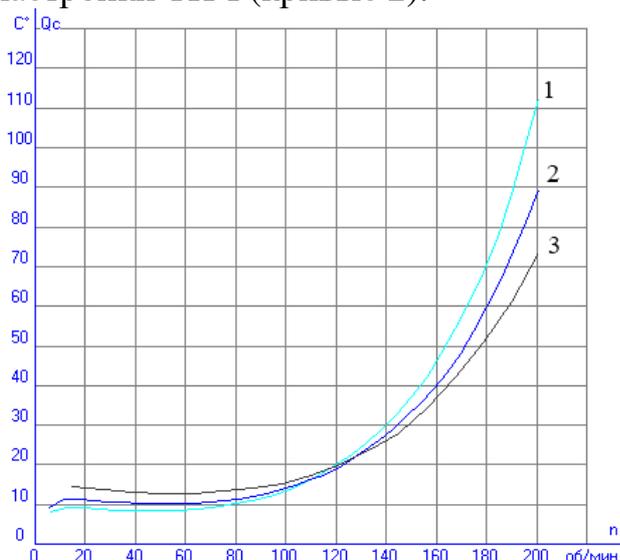


Рисунок 4 – Зависимость перегрева обмотки статора

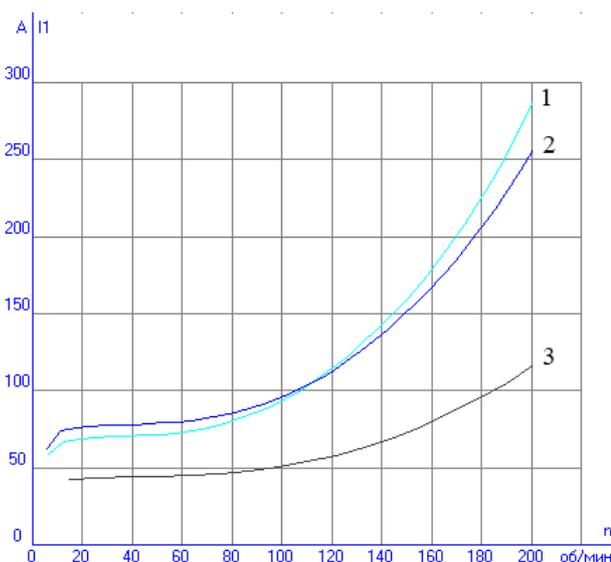


Рисунок 5 – Зависимость тока двигателя

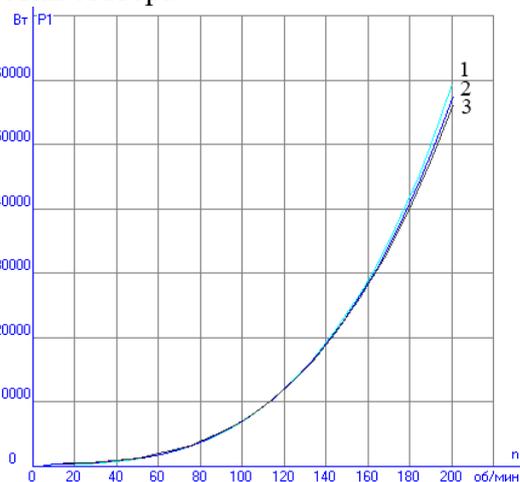


Рисунок 6 – Зависимость мощности двигателя на входе

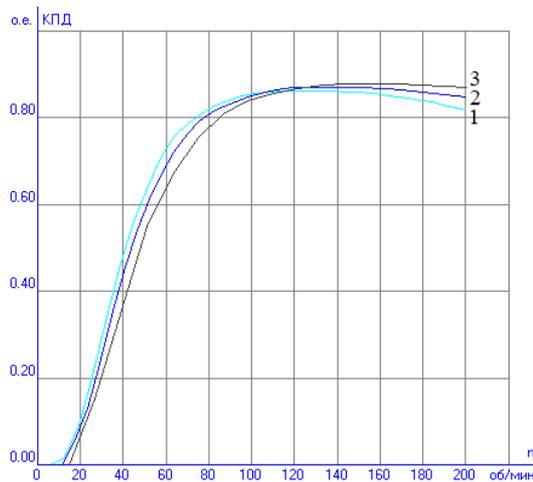


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента полезного действия

Второй путь предполагает спроектировать для безредукторной ГЭУ модификацию двигателя 4А355М12. Поскольку двигатель работает в диапазоне частот до 25 Гц, следует пересчитать обмотку двигателя на 25 Гц. Соответственно меняется настройка ТПЧ. В результате пересчета изменяются обмоточ-

ные данные (см. табл. 2). Характеристики модернизированной ГЭУ, приведены на рисунках 4-7 (кривые 3).

Таблица 2 – Сравнение конструктивных изменений модификации двигателя с базовым двигателем

Двигатель	Серийный АД	Модификация АД
Параметры		
Частота $f_1$ , Гц	50	25
Число витков обмотки статора $w_1$	45	90
Сечение эффективного проводника обмотки $q_1$ , мм <sup>2</sup>	8,04	4,0265
Высота (диаметр) изолированного статора Н1, мм	1,68	1,13

Анализ предусматривает сопоставление технико-экономических показателей рассматриваемых ГЭУ (см. табл. 3).

Таблица 3 – Техничко-экономические показатели ГЭУ

Двигатели	Исходная ГЭУ	ГЭУ с измененными настройками ТПЧ	ГЭУ с модифицированным АД
Величины			
КПД ГЭУ, о.е.	0,82	0,85	0,87
Потери активной энергии за год, грн.	49292,634	38293,516	33474,973
Приведенные затраты ГЭУ за 5 лет, грн.	473583,2	418587,6	394494,9

Таким образом наилучший результат получается при использовании, в ГЭУ модифицированного двигателя 4А355М12.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе: Учеб. Пособие / В.С. Петрушин. – О.: Наука и техника, 2006. – 320 с.
2. Петрушин В.С., Рябинин С.В., Якимец А.М. Программный продукт “DIMASDrive”. Программа анализа работы, выбора и проектирования асинхронных короткозамкнутых двигателей систем регулируемого электропривода (свидетельство о регистрации программы ПА №4065). Киев: Министерство образования и науки Украины, Государственный департамент интеллектуальной собственности, 26.03.2001.

## **СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ СУДОВ ОТ НАПАДЕНИЯ ПИРАТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В.А. Дубовик, ст. преподаватель  
А.Л. Тогобицкий, курсант  
Одесская национальная морская академия

Действия, проводимые пиратами по захвату судна, наносят не только материальный ущерб, но самое главное – затрагивают жизнь членов экипажа. Поэтому обеспечение безопасности жизнедеятельности судна и членов его экипажа, а также защита от нападения пиратов является на сегодняшний день весьма актуальной задачей.

Существует целый комплекс мероприятий, направленных на предотвращение, а при необходимости и отражение атаки морских пиратов. В каждом конкретном случае эта задача решается с учётом определённых особенностей (района плавания, типа судна и его груза, компании судовладельца и т.д.), согласно нормам и законам международного морского права. Торговым судам необходимо обеспечивать свою безопасность и собственными средствами. Помимо всех проводимых мероприятий по предотвращению нападения пиратов на судно, в качестве дополнительной защиты можно использовать специальное ограждение по периметру судна, на которое, в случае атаки будут подаваться высоковольтные импульсы (рис.1).

Принципиальная электрическая схема защиты судна от нападения пиратов при использовании высоковольтного оборудования представлена на рис.2. В её состав входят источник питания, генератор высоковольтных импульсов, устройство сигнализации, и собственно само ограждение, выполненное из стальных тросов и установленное по бортам на стойках (тросы крепятся к стойкам через изоляторы).



Рисунок 1 – Ограждение по периметру судна

Предлагаемый генератор высоковольтных импульсов, принципиальная электрическая схема которого приведена на рисунке 2, обеспечивает импульсы длительностью 0,01...0,015с (60-70 импульсов в минуту) и напряжение относительно земли (корпуса) 6-7кВ. Так как выходное сопротивление генератора велико, то при прикосновении человека к ограждению, выходное напряжение уменьшается с 6-7кВ до 10-15В, что безопасно для людей. При этом злоумышленник получит довольно ощутимый и весьма неприятный удар электрическим током. Также в состав генератора импульсов входит охранная сигнализация, которая срабатывает при отсутствии импульсов высокого напряжения на ограждении, обрыве провода или прикосновении его к корпусу судна. С её помощью можно не только осуществлять мониторинг исправности самой системы, а также, используя сирены и прожектора - оповещать экипаж судна о попытке проникновения на борт, а захватчиков – о том, что они обнаружены. Особенно это актуально для тёмного времени суток.

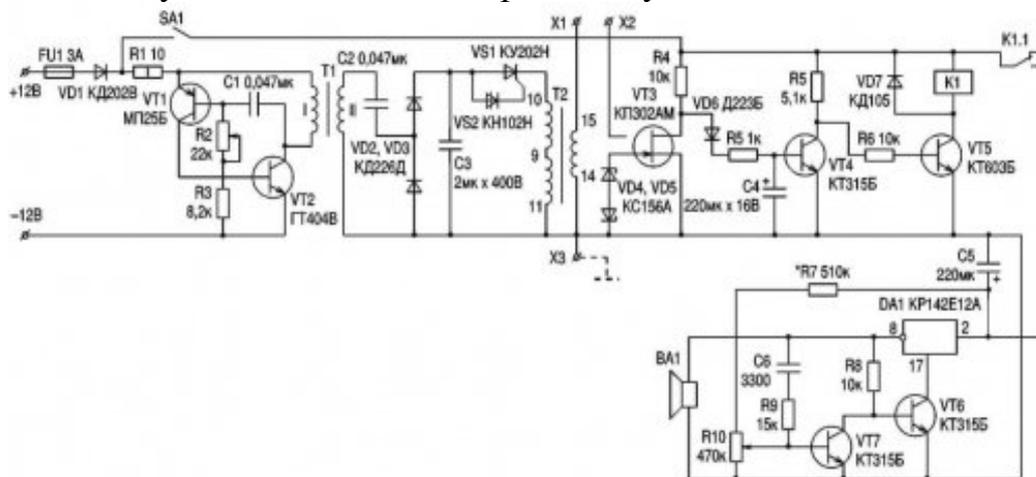


Рисунок 2 – Принципиальная схема генератора высоковольтных импульсов

Генератор высоковольтных импульсов представляет преобразователь низковольтного постоянного напряжения в импульсное высоковольтное. Он содержит два последовательно включенных преобразователя напряжения. Первый из них - несимметричный мультивибратор на транзисторах VT1 и VT2. Нагрузкой транзистора VT2 служит первичная обмотка повышающего трансформатора T1. С его вторичной обмотки последовательность коротких импульсов с амплитудой 150В поступает ко второму преобразователю. Он собран по схеме тиристорного генератора импульсов. Выходные импульсы со вторичной обмотки T1 после выпрямления диодами VD2 и VD3 заряжают накопительный конденсатор C3. Когда напряжение на C3 достигает напряжения включения диода VS2 открывается VS1, и конденсатор C3 разряжается на первичную обмотку трансформатора T2. Разрядный импульс тока через первичную обмотку вызывает появление на вторичной обмотке высоковольтного импульса. После окончания разряда конденсатора C3 тиристор VS1 закрывается, и конденсатор заряжается снова. Частота повторения импульсов мультивибратора - десятки килогерц, а частота импульсов, подаваемых на провод ограждения - от одного до нескольких герц. Регулируется частота импульсов мультивибратора, поступающих на тиристорный генератор импульсов. Это позволяет получить от

маломощного генератора, питающегося от источника 12В, мощные высоковольтные импульсы.

Вследствие высокой агрессивности окружающей среды при изготовлении данной системы следует особое внимание уделить проводящим и изоляционным материалам, так как проводники нельзя красить, а попадание морской воды на ограждение не должно вызывать ложных срабатываний сигнализации. Этого можно добиться с помощью применения современных технологий и материалов.

Несмотря на то, что система считается безопасной, а удар электрическим током – не смертельным, всё же в целях безопасности необходимо разработать правила и рекомендации по соблюдению техники безопасности членами экипажа при эксплуатации оборудования данной системы. В первую очередь должны быть установлены предупреждающие таблички с надписями: «Attention! High Voltage! Risk of electric shock» по бортам судна, и назначено лицо, ответственное за безопасную эксплуатацию высоковольтного оборудования системы безопасности. Эти обязанности можно возложить на электромеханика либо судового электрика, а при их отсутствии на борту – на старшего механика. По прибытию на борт каждый член экипажа должен быть проинструктирован и ознакомлен с работой системы. Необходимо периодически проводить учения экипажа по тревоге «Угроза пиратского нападения» с использованием высоковольтного ограждения. Также в целях безопасности экипажа система безопасности должна включаться только в случае необходимости, а её включение должно сопровождаться звуковым сигналом и объявлением по судовой громкой связи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.Secure-Marine.com>
2. <http://oleg-inform.ru/elektropastuch.html>

УДК 656.61.052.08:347.799.4:621.3

### **СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ, ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИЕ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ СУДОВ ОТ НАПАДЕНИЯ ПИРАТОВ**

В.А. Дубовик, ст. преподаватель  
С.В. Колосов, курсант

Одесская национальная морская академия

Методы и средства ведения борьбы членов экипажа судна с пиратами различны и осуществляются непосредственно под руководством капитана и командного состава. Учитывая тот факт, что зона пиратской активности значи-

тельно расширилась и имеют место случаи нападения на торговые суда на значительном расстоянии от берега возникает необходимость усиления бдительности и наблюдения за обстановкой вахтенного персонала.

Для этих целей можно использовать системы видеонаблюдения и сигнализации для повышения эффективности борьбы с морскими пиратами.

Примером такой системы может служить интегрированная система безопасности (ИСБ) Orwell 2К-Нептун, представленная на рис.1

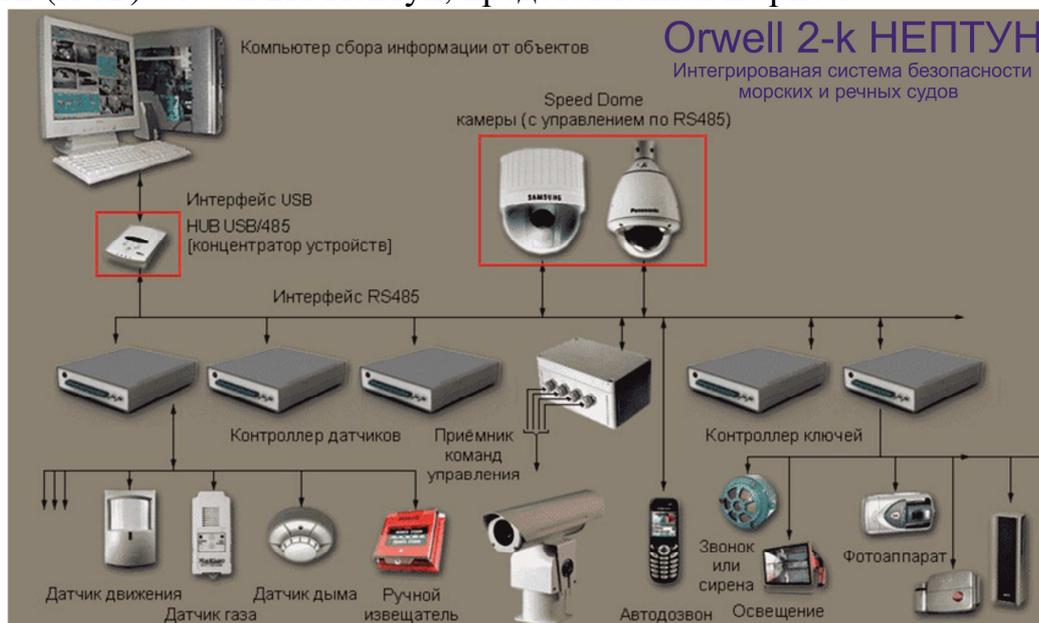


Рисунок 1 – Интегрированная система безопасности

Функциональные возможности подсистемы видеонаблюдения:

- обнаружение и классификация целей и ситуаций (приближающиеся суда, возгорание, задымление, оставленный предмет, вход в тревожную зону и т.д.);
- передача видеoinформации оператору в режиме реального времени;
- автосопровождение обнаруженных целей;
- отображение мнемоник целей на электронной карте объекта;
- создание тревожных зон;
- звуковое оповещение о потенциально опасных ситуациях;
- формирование архива событий;
- поиск в архиве по событиям и характеристикам;
- разграничение прав пользователей.

Интеграция систем расширяет возможности Orwell 2к, существенно увеличивать дальность работы, определяемой уровнем современной тепловизионной техники (от сотен метров до нескольких километров) и обеспечивать видимость в полной темноте, в реальном времени и в любых погодных условиях.

Таким образом, установка подобного рода систем позволяет обеспечить безопасность жизнедеятельности судна и его членов экипажа от нападения пиратов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://elvees.ru>

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ГРУЗОВОГО КОМПЛЕКСА ХИМОВОЗА

А.О.Дранкова, к.т.н., доцент

С.С.Михайков, аспирант

Одесская национальная морская академия

Грузовой комплекс современного химовоза представляет собой достаточно мощную нелинейную нагрузку, включает в себя непосредственно систему выгрузки и вспомогательную систему поддержания постоянного давления подачи груза. И та, и другая системы содержат объекты с частотно-регулируемыми электроприводами, которые в свою очередь проектируются с использованием статических преобразователей. Любое оборудование с нелинейными элементами обуславливает появление высокочастотных гармоник токов и напряжений электросети, что ведет к нерациональному использованию электроэнергии, а также к систематическому недопроизводству, а иногда и к сбоям грузового производственного оборудования судна.

Основными техническими средствами подавления высокочастотных гармоник токов и напряжений являются фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ) [1], которые подразделяются на:

- сетевые дроссели;
- пассивные фильтры;
- трансформаторные решения;
- активные кондиционеры гармоник.

На рисунке 1 представлена гистограмма гармонического спектра токов трехфазной системы напряжения до и после подключения сетевых дросселей.

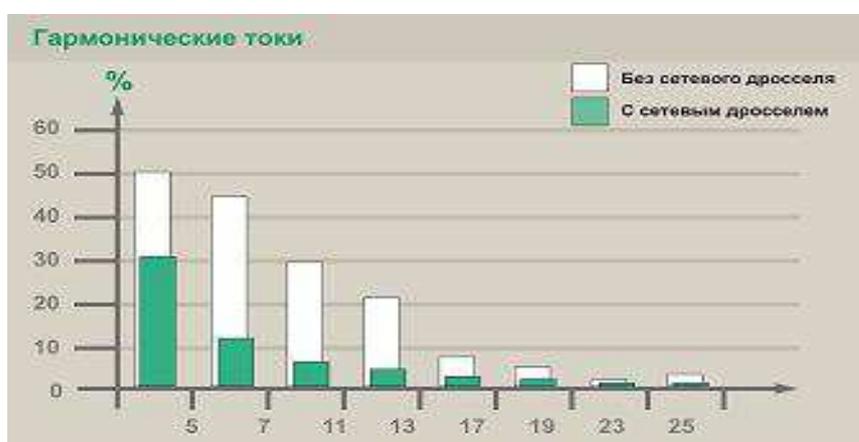


Рисунок 1 – Гистограмма гармонического спектра токов системы до и после подключения сетевых дросселей

Вопросам подбора промышленных сетевых дросселей и пассивных фильтров, а также трансформаторным решениям посвящено достаточно большое количество публикаций, как в постсоветской [1,2], так и в зарубежной литературе [3,4,5].

Термин “активный кондиционер гармоник” (Active Harmonic Conditioner) был введен в зарубежной литературе [6] и получил распространение в следующих работах [7, 8].

Схема включения активного кондиционера гармоник (АКГ) представлена на рисунке 2 [6].

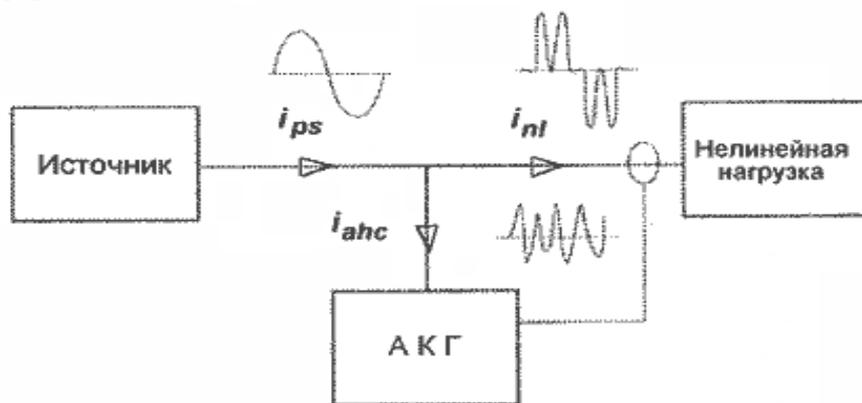


Рисунок 2 – Схема включения активного кондиционера гармоник (АКГ)

Ток нелинейной нагрузки содержит основную ( $i_1$ ) и высшие ( $i_n$ ) гармоники:

$$i_{nl} = i_1 + \sum_{n \geq 2} i_n$$

Принцип действия АКГ основан на анализе гармоник тока нелинейной нагрузки и генерировании в распределительную сеть таких же гармоник тока, но с противоположной фазой:

$$i_{ahc} = -\sum_{n \geq 2} i_n$$

Как результат этого, высшие гармонические составляющие тока нейтрализуются в точке подключения АКГ и ток, потребляемый от источника, практически синусоидален, так как содержит только основную (первую) гармонику:

$$i_{ps} = i_{nl} + i_{ahc} = i_1$$

Таким образом, источник обеспечивает только основную гармонику тока нагрузки, а АКГ покрывает практически весь спектр высших гармоник от 2-ой до 25-ой. АКГ может быть установлен в любой точке распределительной сети и способен компенсировать высшие гармоники от одной или нескольких нелинейных нагрузок.

На рисунке 3 приведена блок-схема АКГ для силовой цепи одной фазы. В состав АКГ входят следующие узлы: IGBT-преобразователь, устройство управления и контроля, блок защиты и мягкого пуска и токовые датчики. Преобразователь АКГ содержит трехфазный инвертор на IGBT транзисторах, коммутируемых с тактовой частотой 16 кГц, два конденсатора  $C_1$ ,  $C_2$  и линейные

дроссели  $Dp_1$  в каждой фазе. Устройство управления и контроля состоит из блока анализа гармоник тока, блока установки номеров компенсируемых гармоник, блока управления преобразователем и мониторинга [8].

На анализатор гармоник поступают сигналы с быстродействующих датчиков тока  $DT_1$  нагрузки и тока  $DT_2$  АКГ. Блок защиты и “мягкого” пуска содержит быстродействующие предохранители, с помощью контактора и балластного сопротивления обеспечивается плавный заряд конденсаторов  $C_1, C_2$  в период включения АКГ.

Применение АКГ обеспечивает значительное снижение коэффициента амплитуды тока в распределительной сети по сравнению с существующими коэффициентами тока нелинейных нагрузок, что в свою очередь, способствует увеличению коэффициента мощности системы и уменьшению потерь на участках распределительной сети.

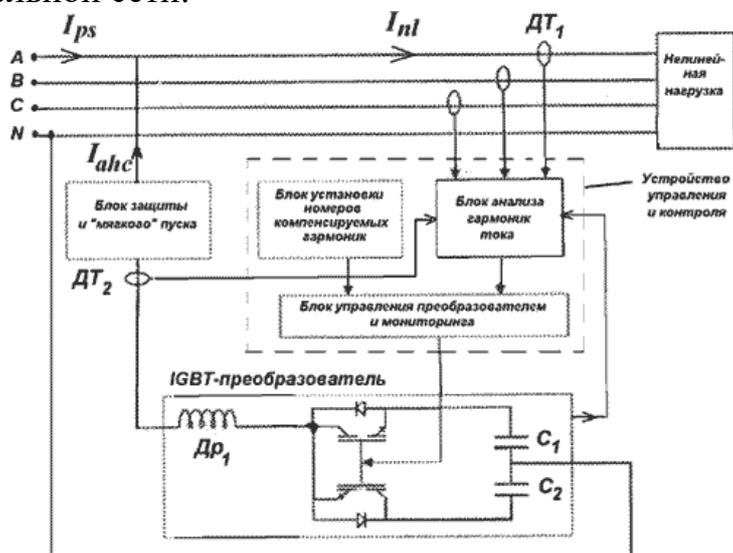


Рисунок 3 – Блок-схема активного кондиционера гармоник

Правильный выбор активных фильтров подавления гармоник может затрудниться из-за ряда неизвестных параметров нелинейной нагрузки. Однако выбор правильного размера фильтра является ключевым условием достижения оптимального соотношения между стоимостью и качеством, т.е. требуемым снижением гармоник тока при минимальных усилиях по обеспечению фильтрации. Учитывая, что некоторые периферийные устройства электропривода, например фильтры электромагнитных помех, сетевые реакторы или выходные фильтры разрабатываются и выбираются на основе сетевого тока  $I$ , очень часто считается, что этот параметр годится и в случае с фильтрами подавления гармоник. Однако правильная процедура выбора таких фильтров заключается в учете активной мощности нагрузки  $P$ , а при выборе активного фильтра подавления гармоник следует исходить из реактивной составляющей тока  $I_p$  [8].

Анализ существующих ФКУ показал, что для решения задачи обеспечения электромагнитной совместимости оборудования грузового комплекса химовоза необходимо:

– знание условий эксплуатации и технические характеристики генераторов, распределительной системы электропитания и автоматов защиты;

- точные знания характеристик нагрузок (гармонического состава токов, потребляемой мощности, места их подключения в системе электропитания);
- использование специальных измерительных приборов для экспериментального определения гармонического состава тока в различных участках распределительной системы электропитания;
- проведение анализа и моделирования изучаемой системы электропитания (источник – преобразователь - потребитель) с учетом ФКУ.

Комплекс этих мероприятий необходим для правильного выбора средств ФКУ, а также подбора оборудования, способного обеспечить электромагнитную совместимость, соответствующую современным международным стандартам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Климов В.П., Москалев А.Д. Способы подавления гармоник тока в системах электропитания // Практическая силовая электроника. Науч.-техн.сборник/Под ред. Малышкова Г.М., Лукина А.В. – М.: АОЗТ "ММП-Ирбис". – 2000. – Вып 4., С. 20 –25.
2. Климов В.П., Москалев А.Д. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания // Практическая силовая электроника. Науч.-техн.сборник/Под ред. Малышкова Г.М., Лукина А.В. – М.: АОЗТ "ММП-Ирбис". – 2002. – Вып 5., С. 15 – 22.
3. Houdek J.A. Economical Solutions to Meet Harmonic Distortion Limits // MTE Corporation. – 1999. – 5 p.
4. UPS and Power Protection Solution. Design Guide // MGE UPS Systems, MGE 0135. – 1998. – 259 p.
5. Dugan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W. Electrical Power Systems Quality. McGraw-Hill . – 1996. – 265 p.
6. Bettega E., Fiorina J.N. Active Harmonic Conditioners and Unity Power Factor Rectifiers // Cahier Technique Schneider Electric, ECT 183. – 1999. – 28 p.
7. Bernard S., Fiorina J.N., Gros B., Trochain G. THM Filtering and the Management of Harmonic Upstream of UPS // MGE UPS Systems, MGE 0246. – 2000. – 17 p.
8. Bernard S., Trochain G. Compensation of Harmonic Currents Generated By Computers Utilizing an Innovative Active Harmonic Conditioner // MGE UPS Systems, MGE0128 – 2000. – 19 p.

УДК 621.313.33:629.5

### **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В.В.Голынский, лаборант

Исходя из достаточно широкого и универсального спектра функций асинхронных двигателей (АД), они по-прежнему широко применяются в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, в частности, в морском транспорте. На судах их используют в электроприводе швартовых устройств, подъёмно-транспортных механизмах, транспортёрах, насосах, вентиляторах. Маломощные двигатели используются в устройствах автоматики.

Широкое применение асинхронных двигателей объясняется их достоинствами по сравнению с другими двигателями, а именно:

- простота и прочность конструкции;
- высокая надёжность при эксплуатации;
- возможность работы непосредственно от сети переменного тока;
- низкая начальная стоимость;
- высокая эффективность;
- простота обслуживания.

Таким образом, дальнейшее изучение характеристик и параметров систем асинхронного двигателя остается актуальной теоретико-прикладной задачей. Данный доклад посвящен описанию алгоритма определения параметров эквивалентной схемы замещения асинхронного двигателя.

Следует начать с отличительной особенности асинхронных двигателей, которая заключается в том, что токи в роторе создаются не за счёт постоянного тока возбудителя или других внешних источников питания, как, например, в синхронных машинах или машинах постоянного тока, а исключительно благодаря электромагнитной индукции, как в трансформаторе. Соответственно, эквивалентная схема замещения асинхронного двигателя тоже очень походит на схему замещения трансформатора [1].

На основе эквивалентной схемы при  $U_2' / S = 0$  изучаются статические свойства асинхронных двигателей. Эквивалентная схема, представленная на рис.1, справедлива для любой фазы симметричного многофазного асинхронного двигателя [1].

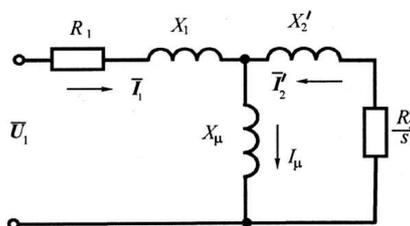


Рисунок 1 – Эквивалентная схема при  $U_2' / S = 0$

Для удобства и простоты расчетов эквивалентную Т-образную схему преобразуют в Г-образную схему с вынесенным на зажимы источника питания намагничивающим контуром. Но характеристики АД можно рассчитать, если известны параметры Т-образной эквивалентной схемы для номинального режима, т. е. при скольжении  $-S_{ном} \leq S \leq S_{ном}$ , где эти параметры можно считать постоянными.

Иногда параметры эквивалентной схемы АД приводятся в справочниках, но в большинстве случаев мы их не знаем. Поэтому весьма актуальной является задача определения параметров эквивалентной схемы АД по каталожным данным.

Ниже приведен алгоритм определения параметров эквивалентной схемы асинхронного короткозамкнутого двигателя по каталожным данным для скольжений  $-S_{ном} \leq S \leq S_{ном}$  (рис.2).

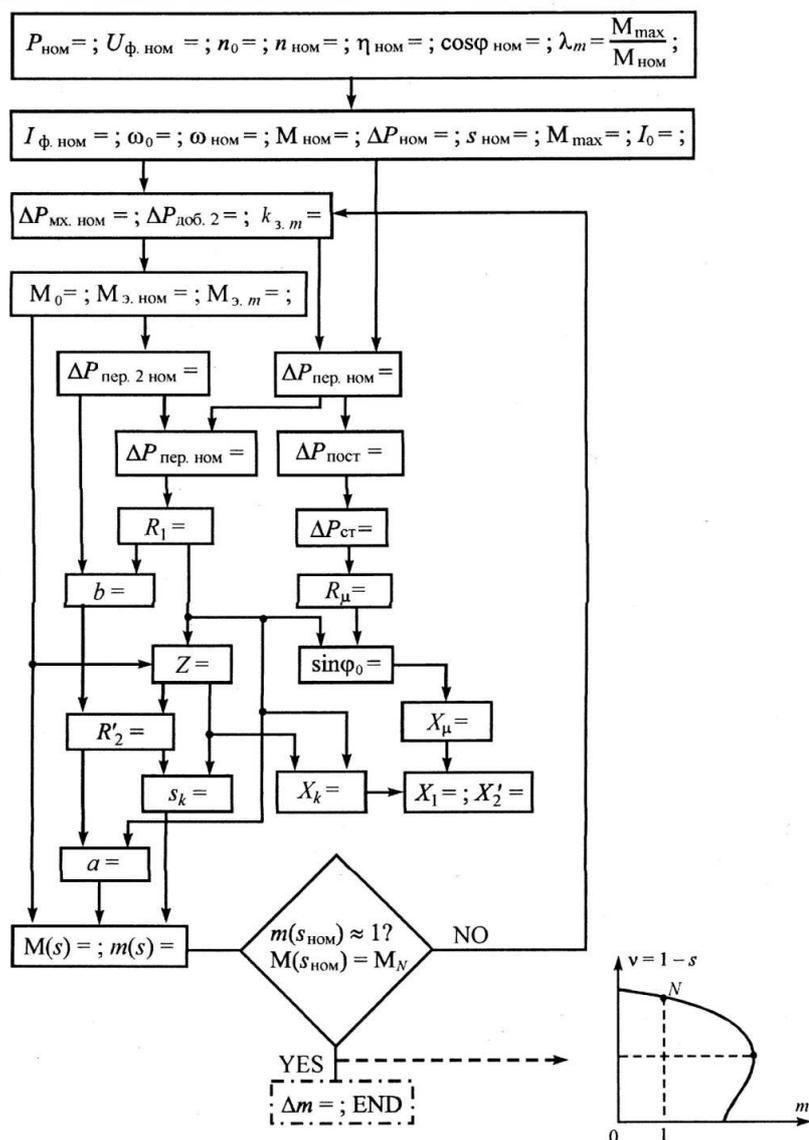


Рисунок 2 – Алгоритм расчета параметров АД по каталожным данным для скольжений  $-S_{ном} \leq S \leq S_{ном}$

В качестве отправных данных, использовались следующие параметры двигателя:

- номинальная мощность  $P_{ном}$ , кВт,
- номинальное фазное напряжение  $U_{ф.ном}$ , В,
- номинальная частота вращения  $n_{ном}$ , об/мин,
- номинальный коэффициент мощности  $\sin \varphi_{ном}$ ,
- номинальный к.п.д.  $\eta_{ном}$ , о.е.,
- кратность максимального момента  $\lambda_m$ ,
- кратность пускового момента  $\lambda_n$ ,
- кратность пускового тока статора.

При этом, если погрешность  $\Delta m$  превышает допустимую величину (обычно принимают 0,01 – 0,05), то корректируем величину коэффициента загрузки  $k_{3,m}$  и момент холостого хода  $M_0$  до получения требуемой погрешности.

Следует заметить, что предложенный алгоритм можно принимать в качестве методики расчета параметров эквивалентной схемы асинхронных двигателей нормального исполнения, в которых величина критического скольжения, находится в пределах  $S_k = 0.07 \div 0.30$ , а величина номинального скольжения –  $S_{ном} = 0.015 \div 0.05$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Теория электропривода : Учеб. пособие. Мн.: ЗАО "Техноперспектива", 2004. - 527 с.
2. R.Krishnan, "Electric Motor Drives Modeling, Analysis and Control", first edition, 2001 Prentice-Hall International, Inc. Upper Saddle River, New Jersey 07458.
3. R.K.Rajput, "Electrical Machines," first edition, New York: McGraw-Hill, 1993, pp. 352-353

УДК 621.391.83

**РАЗРАБОТКА ЦИКЛА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО РАСЧЕТУ  
ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ  
И ФИЛЬТРОВ**

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор

И.Я. Горишная, курсант

Одесская национальная морская академия

Функция неопределенности (ФН) соответствует частотно-временной функции отклика, наблюдаемой на выходе фильтра. [1] Одной из важных характеристик ФН является уровень боковых лепестков, который в большинстве случаев стараются уменьшить. Рассмотрим некоторую последовательность  $\dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots$  периода  $N$ , которая манипулирует чипы длительности  $\Delta$ , и фильтр с конечным импульсным откликом (FIR), осуществляющий суммирование  $N$  сигнальных копий, задержанных на  $\Delta$  и взвешенных коэффициентами  $b_i, i = 0, 1, \dots, N - 1$ , как это показано на рис.1.1. [2] При периодической входной последовательности выходная также будет периодической с тем же периодом  $N$ . Предъявим к фильтру требования, физический смысл которых состоит в том, что выходной сигнал фильтра имеет ненулевой основной лепесток, повторяющийся с периодом тогда как все боковые лепестки между ними равны нулю. Подобный фильтр, называемый фильтром подавления боковых лепестков (ФПБЛ) имитирует своим откликом идеальную периодическую АКФ.

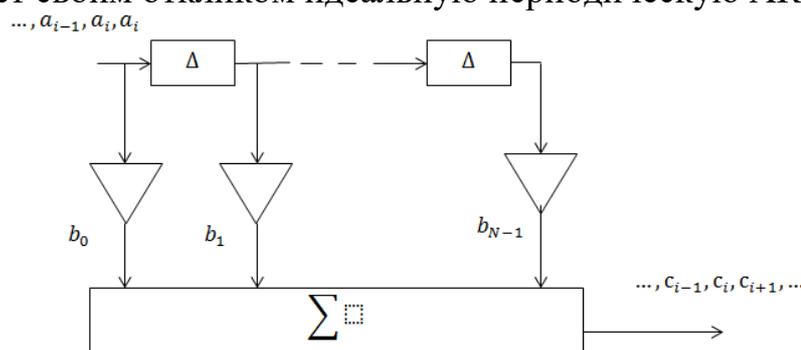


Рисунок 1 - FIR фильтр для последовательности длины  $N$ .

Согласно формуле (1) и расчетам, произведенным в среде Matlab для первого случая (рис. 3) наибольшие потери по шумам, а во втором случае (рис. 4) потери по шумам меньше.

$$\rho = \frac{(W^* S)^2}{W^* W \cdot S^* S}, \tag{1}$$

где  $S, W$  – комплексные амплитуды сигнала и фильтра соответственно.

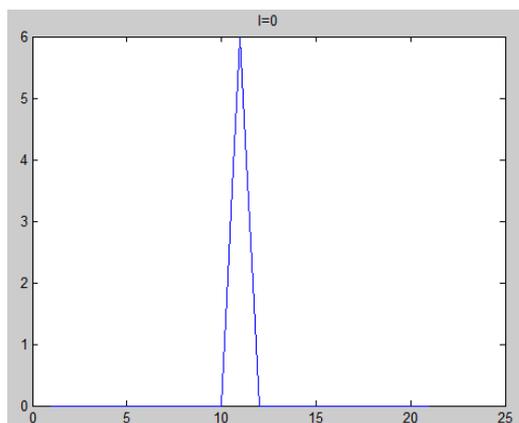


Рисунок 2 - Сигнал на выходе рассогласованного фильтра при  $s = [1\ 1\ 1\ -1\ -1\ -1\ 1\ 1\ -1\ -1\ 1\ 1\ -1]$ ,  $w = [0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1]$ ;  $l = 0$

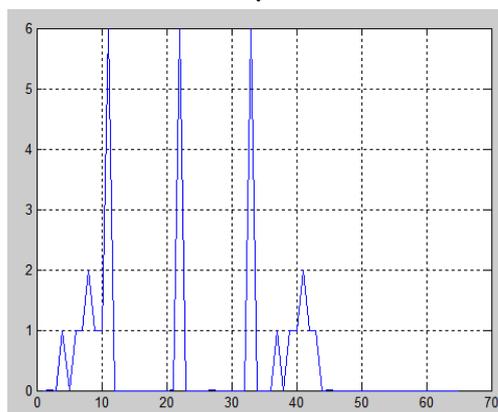


Рисунок 3 - Код Баркера для рассогласованного фильтра  $N=11$ , при  $s = [1\ 1\ 1\ -1\ -1\ -1\ 1\ 1\ -1\ -1\ 1\ 1\ -1]$ ,  $w = [0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1]$ .

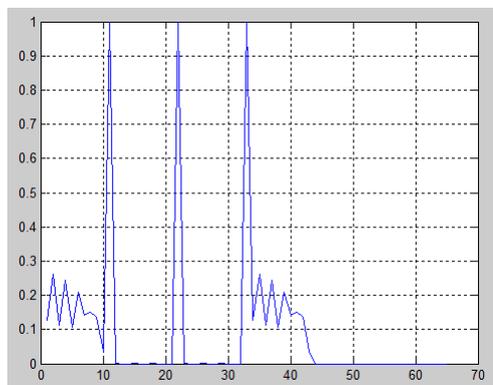


Рисунок 4 – Дискретный сигнал при  $N=11$ , при  $s = [1\ 1\ -1\ -1\ 1\ -1\ 1\ -1\ 1\ 1\ 1]$ ,  $w = [0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0]$ ;  $l = 0$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Е. Варакин. Системы связи с шумоподобными сигналами – М.: Радио и связь, 1985, 384 с.
2. В. П. Ипатов. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения – В.: Техносфера, 2007, 488 с.

## РАЗРАБОТКА ЦИКЛА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор  
И. А. Жигарева, курсант  
Одесская национальная морская академия

Предположим, что проектировщик системы не склонен отвергать бинарные  $\{\pm 1\}$  последовательности и, в то же время, не удовлетворен достижимым уровнем боковых лепестков их периодической АКФ. В подобных условиях эффективным способом разрешения этих противоречивых устремлений служит «имитация» идеальной периодической АКФ путем отказа от согласованной фильтрации в пользу специальной рассогласованной обработки, позволяющей подавить боковые лепестки на всем периоде сигнала.[1]

Очень близкие идеи лежат в основе уменьшения или подавления аperiodических боковых лепестков, также как в стремлении побороть межсимвольную интерференцию с помощью нуль-форсирующих эквалайзеров, однако в наиболее прозрачной форме они проявляются в случае применения к периодическим сигналам.

Возможность подавления всех периодических боковых лепестков выдвигает новый критерий синтеза бинарных последовательностей, который является альтернативным минимизации максимального бокового лепестка. Действительно, какой смысл заботиться об уровне бокового лепестка, когда все боковые лепестки могут быть приведены к нулю? Более естественным представляется минимизация затрат, обуславливающих устранение боковых лепестков, и количественной мерой этих затрат, конечно, выступает потери в отношении сигнал-шум.

Расчет произведен вручную и была составлена программа в среде Matlab, результаты которых совпали с рассчитанными.[2]

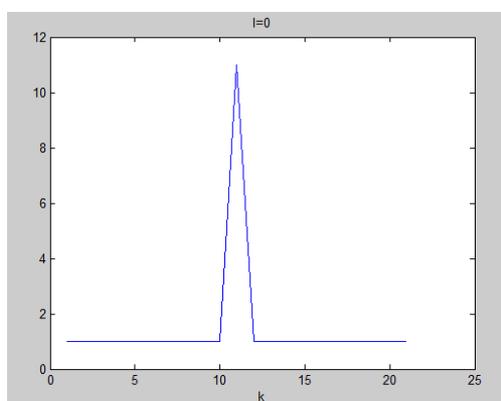


Рисунок 1 – Сигнал на выходе согласованного фильтра при  $N=11$ , где  $s=[1\ 1\ 1\ -1\ -1\ -1\ 1\ -1\ -1\ 1\ -1]$ ;  $w=[1\ 1\ 1\ -1\ -1\ -1\ 1\ -1\ -1\ 1\ -1]$ ;  $l=0$ .

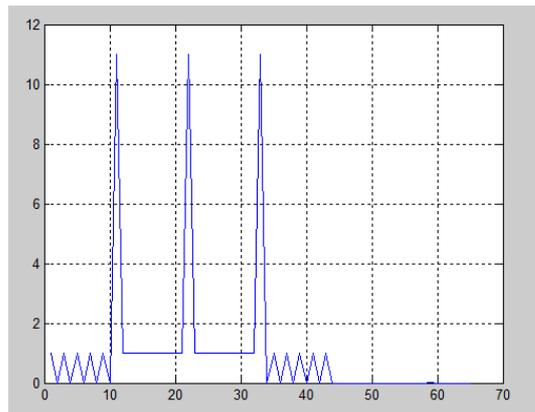


Рисунок 2 – Код Баркера при  $N=11$ , где  $s=[1\ 1\ 1\ -1\ -1\ -1\ 1\ -1\ -1\ 1\ -1]$ ;  
 $w=[1\ 1\ 1\ -1\ -1\ -1\ 1\ -1\ -1\ 1\ -1]$ ;  $l=0$ .

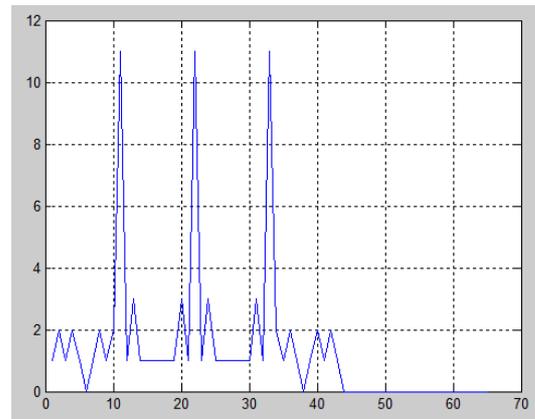


Рисунок 3 – Дискретный сигнал при  $N=11$ , где  $s=[1\ 1\ -1\ -1\ 1\ -1\ 1\ -1\ 1\ 1\ 1]$ ;  
 $w=[1\ 1\ -1\ -1\ 1\ -1\ 1\ -1\ 1\ 1\ 1]$ ;  $l=0$ .

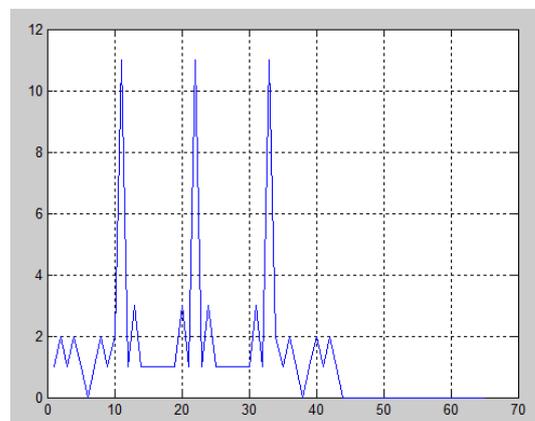


Рисунок 4 – Дискретный сигнал при  $N=11$ , где  $s=[1\ 1\ 1\ -1\ 1\ -1\ 1\ -1\ -1\ 1\ 1]$ ;  
 $w=[1\ 1\ 1\ -1\ 1\ -1\ 1\ -1\ -1\ 1\ 1]$ ;  $l=0$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Ипатов. Широкополосные системы и разделение сигналов. В.: Техносфера, 2007, 488 с.
2. А. Б. Сергиенко. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002, 608 с.

## ПОВЕДЕНИЕ ГРЕБНЕЙ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ (ФН) СОСТАВНЫХ МНОГОФАЗНЫХ СИГНАЛОВ

В.М.Кошевой, д.т.н., профессор

Е.Л.Пашенко, аспирант

Одесская национальная морская академия

Современные морские радиолокационные станции работают в импульсном режиме. Однако этот режим обладает недостатком, который заключается в повышенной мощности излучения импульсов, что негативно отражается на здоровье членов экипажа.

Для того чтобы избежать этого, необходимо перейти к непрерывным, в частности фазоманипулированным, сигналам. За счет увеличения длительности такие сигналы имеют малую мощность и, следовательно, безопасны для окружающих, а также обладают лучшими свойствами по электромагнитной совместимости, что принципиально важно для судовой радиоэлектроники. В связи с этим большое значение приобретает изучение спектральных и корреляционных свойств таких сигналов, а также взаимосвязи между ними, что дает возможность разработки соответствующих подходов к синтезу сигналов, обеспечивающих заданные корреляционные свойства.

С целью анализа тонкой структуры ФН были рассмотрены составные сигналы с одинаковым набором импульсов базовой и внешней последовательностей [1]. Количество импульсов базовой и внешней последовательностей  $N_б$  и  $N_в$  имеют фиксированное значение равное 4 и 18. На рис. 1 изображена структура ФН апериодического многофазного сигнала.

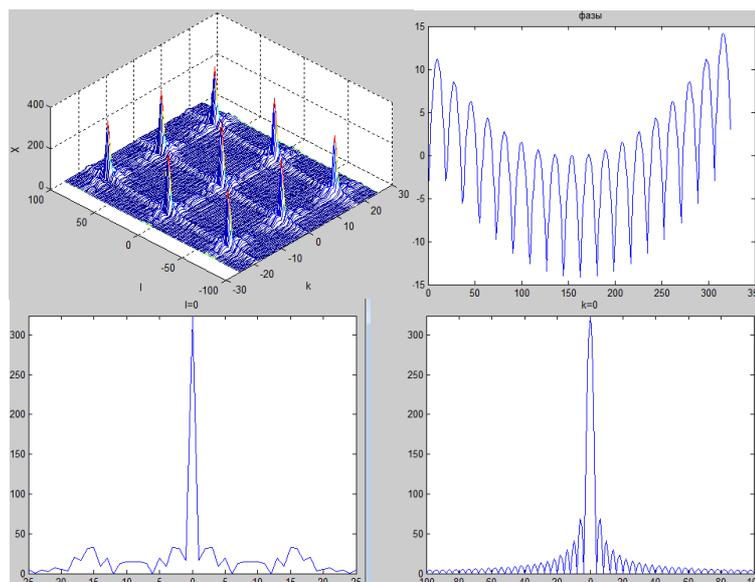
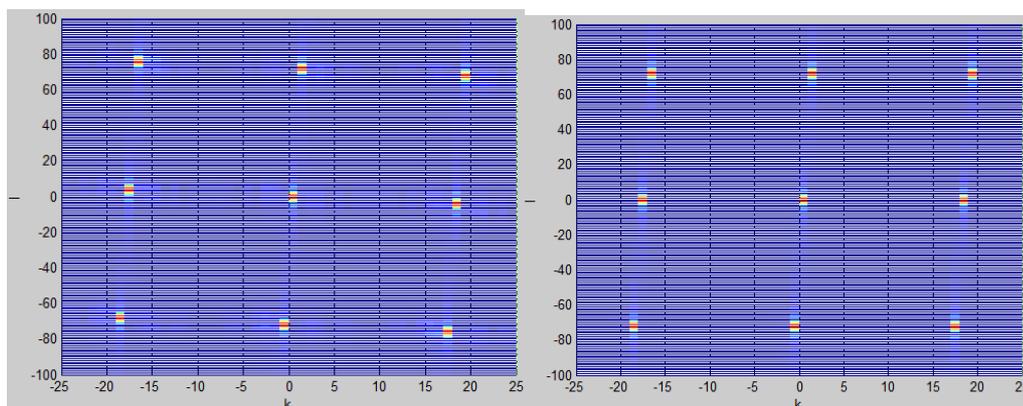


Рисунок 1 – Тело ФН для апериодического многофазного сигнала при коэффициентах  $\alpha = -1/N_б$ ,  $\beta = 1/N_б$ ,  $N_б = N_в = 18$  (область вокруг главного пика)

Необходимо отметить, что нулевой уровень боковых лепестков ФН отсутствует. Если рассматривать многофазный периодический сигнал, при тех же коэффициентах  $\alpha$  и  $\beta$ , можно заметить, что при  $l=0$ , начиная с 18 отсчета от точки  $k=0$ , наблюдается нулевой уровень боковых лепестков, что отсутствовало в аperiodическом сигнале. По мере удаления от сечения  $l=0$ , растет уровень боковых лепестков. Также можем наблюдать, что при отдалении от сечения  $k=0$  в область положительных значений центральные пики постепенно исчезают, а в области отрицательных значений центральные пики раздваиваются.

При коэффициентах  $\alpha=-1/N_6$  и  $\beta=1/N_6^2$  поведение аperiodического и периодического сигнала отличается от предыдущего случая. Уровень боковых лепестков многофазного аperiodического сигнала в несколько раз ниже, чем в предыдущем случае (см. рис. 1). Явно выражены пики, их уровень по мере отдаления от центра тела неопределенности уменьшается. В периодическом сигнале уровень боковых лепестков значительно меньше, чем в аperiodическом случае. Тело ФН имеет ярко выраженный многопиковый характер. Наблюдается раздвоение центрального пика в области отрицательных значений  $l$ .

Зависимость поворота тела ФН при изменении коэффициента  $\beta$  представлены на рис.2. Красным цветом выделены пики, синим – свободная зона (низкий уровень боковых лепестков). Как видим, изменение коэффициента  $\beta$  приводит не только к повороту тела ФН, а также к изменению его структуры.



а)

б)

Рисунок 2 – Разворот тела ФН для аperiodической свертки в зависимости от изменения коэффициента  $\beta$  (вид сверху области вокруг главного пика): а)  $\beta = 1/N_6$ , б)  $\beta = 1/N_6^2$  при  $\alpha = -1/N_6$ ,  $N_B = N_6 = 18$

Таким образом, при значениях параметров составных сигналов  $\alpha = -1/N_6$  и  $\beta = 1/N_6^2$  обеспечивается наименьший уровень боковых лепестков, и они являются оптимальными. При  $\beta = 1/N_6^2$  пики лежат параллельно оси  $k$ , а при  $\beta = 1/N_6$  они имеют некоторый наклон, который будет увеличиваться при изменении  $\beta$ . При использовании сигнала из 324 импульсов ( $N_B = N_6 = 18$ ), по сравнению с сигналом из 16 ( $N_B = N_6 = 4$ ), отношение площади свободной зоны к площади пиков увеличилось.

Рассмотрим поведение тела ФН многофазного аperiodического сигнала при изменении коэффициента  $\alpha$  и примем его равным  $0,5/N_6$ ,  $N_B = N_6 = 18$ . Как

видно из рис.3 регулярная многопиковая структура тела ФН нарушается, растет уровень боковых лепестков.

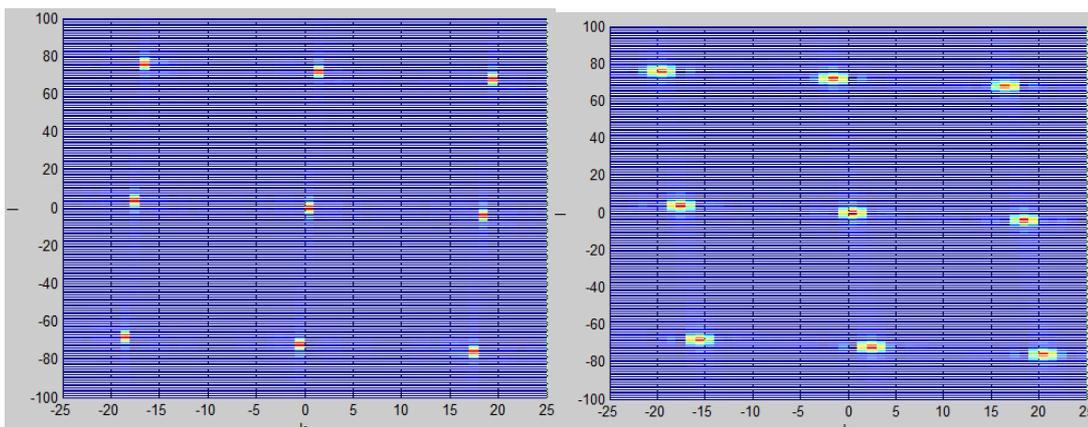


Рисунок 3 – Изменение тела ФН для аperiodического многофазного сигнала в зависимости от изменения коэффициента  $\alpha$  при фиксированном  $\beta=1/N_6$  (вид сверху):  
а)  $\alpha = -1/N_6$ , б)  $\alpha = 0,5/N_6$

При увеличении  $\alpha$  тело ФН многофазного сигнала становится изрезанным, многолепестковым. Площадь свободной зоны вокруг главного пика уменьшается. Существенно изменилась структура гребней, при  $\alpha = 0,5/N_6$  они вытянулись вдоль оси  $k$  [2].

Можно сделать вывод, что влияние параметров  $\alpha$  и  $\beta$  на структуру ФН сказывается различным образом. Изменение  $\beta$  в достаточно больших пределах вызывает разворот ФН на плоскости неопределенности без ее заметного искажения. С другой стороны, изменение  $\alpha$  в незначительных пределах приводит к нарушению регулярной структуры ФН, расширению пиков или их изрезанности. Также необходимо отметить, что максимальная площадь свободной области для аperiodического и периодического сигнала при  $\alpha = -1/N_6$  и  $\beta = 1/N_6^2$ .

Таким образом, зная относительно малое количество параметров сигнала (количество импульсов базовой и внешней последовательностей, коэффициенты, задающие направление гребней) и закон изменения фаз, мы можем получить сигнал большой длительности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевой В.М., Купровский В.И. Исследование свойств составных многофазных сигналов// Радиоэлектроника.-1991. - №8.- с. 63-66.
2. Кошевой В.М. Синтез составных многофазных сигналов// Радиоэлектроника.-1988.-№ 8.- с.56-58.

## ФОРМИРОВАНИЕ НУЛЕВЫХ ЗОН ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ УПРАВЛЯЮЩИХ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор

А.А. Шершнёва, курсант

Одесская национальная морская академия

В настоящее время при разработке систем защиты от различного рода помех представляет интерес исследование систем с ограниченным числом перестраиваемых весовых коэффициентов, например, когда таких перестраиваемых коэффициентов только два. [1, с.107].

Метод построения системы обработки в этом случае заключается в том, что все весовые коэффициенты пространственного фильтра приемной линейной антенной решетки кроме двух (первого и последнего), фиксируются (выбираются равными весовым коэффициентам синфазной обработки). Значение двух регулируемых весовых коэффициентов выбираются исходя из условия обеспечения нулевых значений диаграммы направленности в двух точках  $(\theta_1, \theta_2)$ . Сигнал на выходе антенной решетки записывается в следующем виде:

$$Y = \sum_{i=1}^N W_i^* X_i \quad (1)$$

где  $X_i = S_i(\theta) + N_{in}$  – амплитуда сигнала на выходе  $i$ -го элемента антенной решетки;  $S_i = |S_1| \cdot e^{j(i-1)\varphi}$  – сигнал, пришедший с направления  $\theta$  относительно нормали к оси антенной решетки;  $\varphi = 2\pi \frac{d \sin \theta}{\lambda}$  – фаза сигнала;  $\lambda$  – длина волны;  $d$  – расстояние между элементами антенной решетки.

В случае отсутствия помехи и при  $|S_1| = 1$ , выражение (1) определяет диаграмму направленности антенной решетки. В случае, когда все  $W_i = 1$  мы получаем синфазную антенную решетку. Её недостатком является наличие значительного уровня боковых лепестков диаграммы направленности антенны. Для их подавления, как известно, можно использовать весовые коэффициенты  $W_i$ , отличные от единицы и выбирая  $W_i$  получать подавленные боковые лепестки в заданных точках. Как упоминалось ранее, представляет интерес получение нулевых уровней боковых лепестков при минимальном числе управляющих весовых коэффициентов. В данном случае рассматривается управление двумя весовыми коэффициентами  $W_1$  и  $W_N$ , а остальные весовые коэффициенты фильтра соответствуют синфазной решетке и равны  $W_2 = W_3 = \dots = W_{N-1} = 1$ .

С учетом вышесказанного, составив и решив систему уравнений было получено выражение для диаграммы направленности линейной антенной решетки с двумя управляющими весовыми коэффициентами (2).

$$G(\theta) = G_{N-2}(\theta) - \gamma_1(\theta) \sum_{i=2}^{N-2} e^{-j2\pi(N-1)\sin\theta_1} - \gamma_2(\theta) \sum_{i=2}^{N-1} e^{-j2\pi(N-1)\sin\theta_2} \quad G_{N-2}(\theta) = \sum_{i=2}^{N-2} e^{-j2\pi(i-1)\sin\theta} \quad , (2)$$

$$\text{где } \gamma_1(\theta) = \frac{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta}}{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}; \quad \gamma_2(\theta) = \frac{e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta} - e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}.$$

В результате расчетов в среде MatLab были получены графики для диаграммы направленности по (2). Расчеты выполнялись для 10-ти элементной антенной решетки при различном расположении подавляемых точек  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ . Полученные графики представлены на рисунке 1.

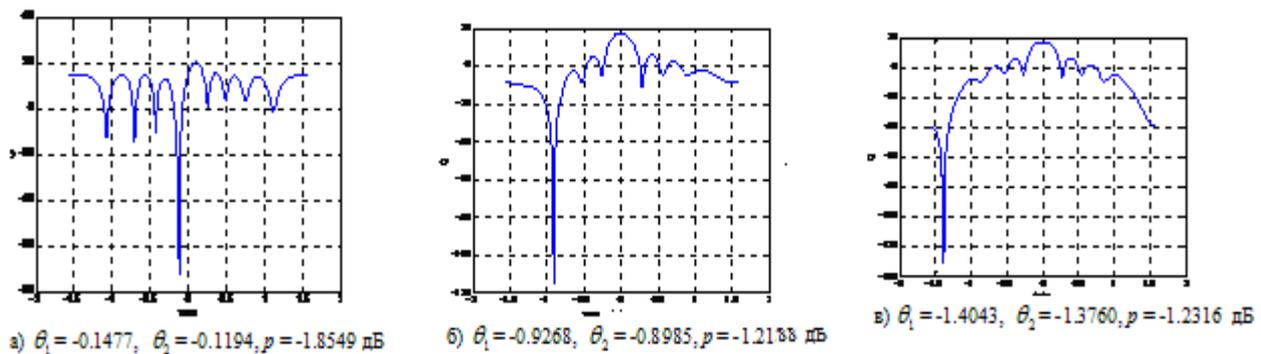


Рисунок 1- Диаграммы направленности

В результате, рассматриваемый фильтр обеспечивает не только полное подавление боковых лепестков диаграммы направленности линейной антенной решетки в точках  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , но и достаточно малый уровень между подавляемыми точками. Расчеты показывают, что потери в коэффициенте направленного действия ( $p$ ) увеличиваются при приближении подавляемых точек к главному лучу диаграммы направленности [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевой В.М., Свердлик М.Б. О возможностях подавления боковых лепестков взаимной функции неопределенности в заданной области. – «Радиотехника и электроника», 1974, 19, №9.
2. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. М., «Советское радио», 1974.
3. В.М. Кошевой, В.П. Лавриненко, Селекция целей на основе дискретных структур с минимальным числом управляемых элементов. Том XXIV, №4 Известия ВУЗов СССР – Радиоэлектроника 1981.
4. В.М. Кошевой, Синтез систем селекции движущихся целей при ограничениях на размер обращаемой матрицы – Том XXV, №3 Известия ВУЗов СССР – Радиоэлектроника 1982.

## ВЫБОР СИГНАЛОВ НЕПРЕРЫВНЫХ РЛС, ПОЗВОЛЯЮЩИХ РАБОТАТЬ С РЛО

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор

Н. В. Ступак, курсант

Одесская национальная морская академия

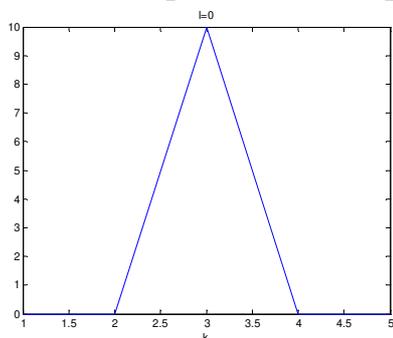
Для непрерывных радиолокационных станций (РЛС) важную роль играет выбор сигналов, позволяющих обеспечить решение основных задач радиолокации: обнаружение объектов и измерение их координат. Кроме обнаружения и измерения координат важный момент обеспечения безопасности мореплавания – обеспечение функционирования существующих радиолокационных ответчиков (РЛО). Возникающая проблема связана с тем, что РЛО не имеют фильтра сжатия и рассчитаны на импульсные сигналы [1].

В связи с этим возникает задача поиска таких непрерывных сигналов, которые смогут обеспечить возможность совместного функционирования РЛС и РЛО с учетом сохранения возможности обеспечения стандартных режимов работы станции. Важным требованием для сигналов непрерывных РЛС является обеспечение как можно меньшего уровня боковых лепестков (БЛ) периодической автокорреляционной функции (ПАКФ) [1], что связано с обеспечением помехозащищенности сигналов и увеличением необходимой точности измерения координат. Решение этой задачи будем рассматривать на примере.

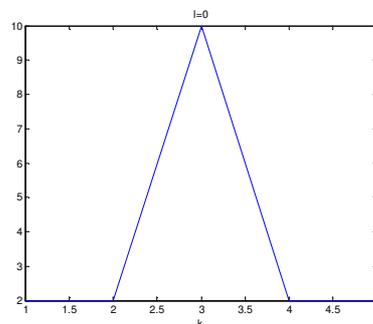
Для радиолокационных приложений наибольший интерес представляет случай, когда все боковые лепестки периодической автокорреляционной функции (ПАКФ) равны нулю [2]. В этом случае:  $s_0 = a$  и  $s_1 = s_2 = s_n = b$ .  $b = 1$

$$a = -\left(\frac{N-2}{2}\right), \quad (1)$$

То есть сигнал обеспечивает нулевые боковые лепестки автокорреляционной функции в периодическом режиме при  $N = 3$ .



а)  $s_0 = -0,5, s_1 = 1, s_2 = 1; a = -0,5, b = 1;$   
 $w_0 = -0,5, w_1 = 1, w_2 = 1$



б)  $s_0 = -1, s_1 = 1, s_2 = 1; a = -1,$   
 $b = 1; w_0 = 0, w_1 = 0,5, w_2 = 0,5$

Рисунок 1 – Графики обработки сигнала в среде MATLAB

## ЛИТЕРАТУРА

1. Выбор сигналов, обеспечивающих возможность работы непрерывных РЛС совместно с существующими РЛО // Судовождение. –2012. - № 21. Одесса: ОНМА. – С. 109 – 116.
2. Кошевой В. М., Долженко Д. О. Методы синтеза дискретно-кодированных сигналов на основе использования их спектральных свойств//ОНМА: Судовождение, 2011. – 109-116 с.

УДК 621.372.54

### **АНАЛИЗ И СИНТЕЗ БИХ-ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОМЕХОЗАЩИТЫ**

В.М. Кошевой, профессор

О. В. Барицкая, курсант

Одесская национальная морская академия

Цифровой фильтр - в электронике любой фильтр, обрабатывающий цифровой сигнал с целью выделения и/или подавления определённых частот этого сигнала.

Наибольшее распространение получили цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ) и бесконечной импульсной характеристикой (БИХ).

КИХ - фильтры

КИХ фильтр (нерекурсивный фильтр) - один из видов электронных фильтров, характерной особенностью которого является ограниченность по времени его импульсной характеристики.

БИХ - фильтры

БИХ фильтр (рекурсивный фильтр) - электронный фильтр, использующий один или более своих выходов в качестве входа, то есть образует обратную связь. Основным свойством таких фильтров является то, что их импульсная переходная характеристика имеет бесконечную длину во временной области.

Простейшая схема рекурсивного фильтра (БИХ) первого порядка в частности может быть использована для обеспечения цифрового аналога RC - цепочки.

Для получения эквивалента схемы нерекурсивного цифрового фильтра надо выполнить  $n$ - циклов. Время работы одинаковое. Число элементов схемы меньше. Нерекурсивный цифровой фильтр чаще используется для согласованной обработки дискретных сигналов. При этом  $h(0) = S_{N-1}$ ,  $h(1) = S_{N-2} \dots$

В более сложных случаях, когда, например, нужно получить частотную характеристику в виде обратной функции  $G(f)^{-1}$ , где  $G(f)^{-1}$ -произвольная функция, используют более сложную структуру рекурсивного фильтра, которая получается путем включения нерекурсивного фильтра в обратную связь.

Частотная характеристика дискретного фильтра может быть получена путем дискретного преобразования Фурье.

$$H(f) = \sum_{n=0}^{N-1} h_n p_n(f), \text{ где } p_n(f) = \int_{-\infty}^{\infty} p_n(t) e^{-i2\pi ft} dt, \quad p_n(t) = p(t - nT_0), \quad p(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T_0 \\ 0 & \text{для других } t \end{cases} \quad (1)$$

При использовании дискретных частот  $f = \frac{l}{NT_0}$  (2)

$$H(l) = \sum_{n=0}^{N-1} h_n e^{-i2\pi \frac{nl}{4N}} \quad (3)$$

Были проведены расчеты дискретной частотной характеристики дискретного фильтра и сравнены с частотной характеристикой аналогового фильтра, результаты приведены на графиках.

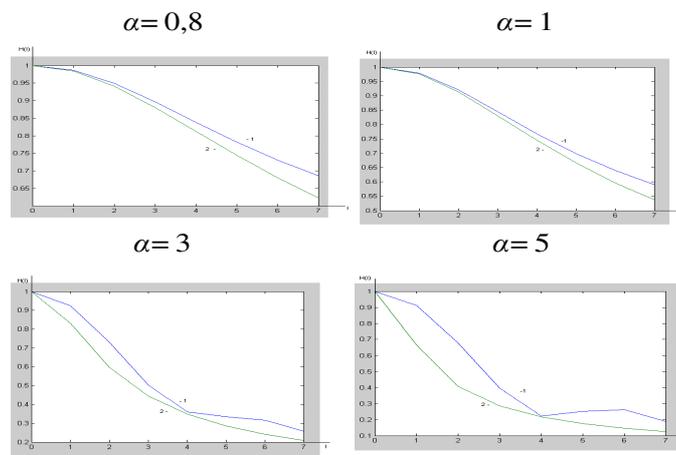


Рисунок 1 – Дискретные частотные и истинно частотные характеристики RC-цепочки, при различных значениях постоянной времени  $\alpha T_0$ .  
1-аналоговый фильтр, 2- цифровой фильтр.

Использование подходов ДПФ дискретных фильтров, можно использовать для оптимальных фильтров подавления лепестков.

Были рассмотрены подавления боковых лепестков за счет прямого и обратного дискретного преобразования Фурье для сигнала  $s = [1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1]$  были рассчитаны весовые коэффициенты фильтра, которые равны  $h1 = 0.2500 \ 0.2500 \ 0 \ 0 \ 0.2500 \ 0$ .

Для сигнала кода Баркера 11,  $s = [1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1]$  получили весовые коэффициенты  $s1 = -0.0000 \ -0.0000 \ 0.0000 \ -0.1667 \ -0.1667 \ -0.1667 \ -0.0000 \ -0.1667 \ -0.1667 \ 0.0000 \ -0.1667$

Был также рассмотрен сигнал  $N=11$ , отличный от кода Баркера  $s = [1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1]$   
 $s1 = 0.33333 \ 0.33333 \ 0.16667 \ 0.33333 \ 0.33333 \ 0.16667 \ 0.16667 \ 0.16667 \ 0.33333 \ 0.33333 \ 0.33333$   
 $s = [1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1]$   
 $s1 = -0.16667 \ -0.16667 \ -0.16667 \ -0.33333 \ -0.33333 \ -0.16667 \ -0.33333$

- 0.33333 - 0.33333 - 0.33333 - 0.33333.

Как показывают исследования, эти фильтры дают боковые лепестки функции корреляции сигнала (ВКФ). Расчеты показывают, что обеспечивается полное подавление боковых лепестков ВКФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Солонина А.И. Основы цифровой обработки сигналов. БХВ-Петербург, 2-е издание, 2005 725с.

УДК 621.391.83

### **ВЫБОР ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИДЕАЛЬНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ**

В. М. Кошевой, к.т.н., доцент

М. О. Райнова, курсант

Одесская национальная морская академия

Обычный радиолокационный сигнал для измерения дальности представляет собой короткий импульс. Чем короче импульс, тем точнее можно измерить дальность. Сформировать короткий импульс с высокой энергией – непростая задача, так как с укорочением импульса возрастает его пиковая мощность, что нежелательно для судовой радиолокационной станции. Решение этой задачи основано на применении непрерывных дискретных периодических сигналов большой длительности, с широким спектром; для расширения спектра длинного сигнала производится его внутриимпульсная модуляция (обычно по частоте или по фазе). При приеме обработка принятого сигнала в фильтре ведет к соответствующему сжатию его во времени, в результате чего длинный радиоимпульс трансформируется в короткий. Данный метод позволяет при ограниченной пиковой мощности передатчика получать сигналы с большей энергией, чем при использовании коротких импульсов. Представляет интерес изучение корреляционных свойств непрерывных фазоманипулированных сигналов с целью обеспечения нулевых боковых лепестков функции корреляции за счет выбора фазы [1].

В данной работе оценивается выигрыш от использования фазовой модуляции дискретных фазоманипулированных последовательностей и потери в отношении сигнал/шум по отношению к согласованной обработке.

С помощью метода совместной оптимизации сигнала и фильтра с учетом дополнительных ограничений на постоянную разрешения по времени синтезируем пару «сигнал-фильтр». Все задачи оптимизации рассмотрены для класса

дискретных сигналов и фильтров соответственно с комплексными огибающими [2].

$$S(t) = \sum_{n=1}^N S_n p(t - nt_0), \quad W(t) = \sum_{m=1}^M W_m p(t - mq_\phi T_0), \quad (1)$$

где 
$$p(t - mZ) = \begin{cases} 1, & (m-1)Z \leq t \ll mZ, \\ 0, & \text{при других } t; \end{cases} \quad (2)$$

$$\Sigma = \frac{A^2 |W^* \cdot S|^2}{W^* \cdot [vI + \sigma_0 D_{\theta\xi}] W}. \quad (3)$$

Рассчитаем для m-последовательности при  $N=3$  и  $N=7$  сечения дискретного аналога взаимной функции неопределенности (ВФН) и весовые коэффициенты. Выражение для расчета ВФН имеет вид:

$$R_{kl} = \sum_{n=0}^{N-1} W_n^* \cdot e^{i2\pi n T_0} S_{(n-k)} \text{ mod } \bar{N}. \quad (4)$$

Подставим вместо -1 в исходные сигналы  $e^{i\varphi}$ . Выражение для расчета фазы  $\varphi$  имеет вид:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{1-N}{1+N}\right). \quad (5)$$

Тогда сигналы примут вид: для  $N=3$   $[1 \ e^{i\varphi} \ e^{i\varphi}]$ ,  
для  $N=7$   $[1 \ 1 \ 1 \ e^{i\varphi} \ e^{i\varphi} \ 1 \ e^{i\varphi}]$ .

Рассчитаем потери в отношении сигнал/шум по формуле:

$$\rho = \frac{(W^* \cdot S)^2}{W^* \cdot W S^* \cdot S}. \quad (6)$$

Рассчитаем отношение сигнал/помеха по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{|W^* \cdot S|^2}{W^* \cdot RW}. \quad (7)$$

Представим результаты расчетов в виде таблицы (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Результаты расчетов

N	m-последовательность		оптимальный сигнал $e^{i\varphi}$	
	$\rho$	$\sigma$	$\rho$	$\sigma$
N=3	0,7	1	1	1
N=7	0,6	1	1	1

Исходя из результатов, записанных в таблице 1, можно сделать вывод, что синтез сигналов с использованием фазовой модуляции позволяет обеспечить подавление боковых лепестков с меньшими потерями в отношениях сигнал/шум и сигнал/помеха, по сравнению с  $m$ -последовательностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по радиолокации: В 4 т. / Под ред. М. Сколника. – М.: Советское радио, 1979. – Т. 3. Радиолокационные устройства и системы. – 528 с.
2. Кошевой В. М., Свердлик М. Б. Радиотехника и электроника. – 1976.
3. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. П. Ипатов. – М.: Техносфера, 2007. – 488 с.

УДК 621.391.83

### **ВЫБОР ТРОИЧНЫХ КОДОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ РАДИОЛОКАЦИИ И СВЯЗИ**

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор

Т.А. Дзюбюк, курсант

Одесская национальная морская академия

Используется троичный алфавит  $\{-1,0,1\}$ , который с практической точки зрения означает комбинирование бинарной ФМ с паузами, т.е. интервалами времени, в течение которых отсутствует передача символов. Совершенно очевидно, что расширение бинарного алфавита  $\{-1,1\}$  до троичного  $\{-1,0,1\}$  не приведет к серьезному усложнению схем формирования и обработки, но, как будет показано ниже, откроет путь к получению последовательностей с идеальными периодическими корреляционными свойствами. Одной из основных причин проявления интереса к расширению спектра в задачах временного измерения и разрешения служит стремление к достижению высоких показателей при низкой пиковой мощности, т.е. при распределении энергии сигнала на большом временном интервале. В этих условиях совершенно оправданно использовать в качестве показателя эффективности распределения энергии во времени величину пик–фактора т.е. отношение пиковой и средней мощностей.

Введение пауз на периоде последовательности, как это имеет место при троичном алфавите, нарушит равномерность распределения энергии и увеличит пик–фактор. Следовательно, целевой функцией синтеза является построение троичных последовательностей, обладающих не только идеальной периодической АКФ, но и малым числом нулей на периоде, т.е. пик–фактором, несущественно превышающим единицу. Без введения подобного ограничения задача становится вырожденной и имеет тривиальное решение: код с одним только ненулевым символом на периоде, соответствующим одиночному чипу, повторяющемуся с периодом, обладает, несомненно, идеальной периодической

АКФ. Для  $m$ -последовательности при  $N=3$  и  $N=5$  были рассчитаны весовые коэффициенты и сечения взаимной функции неопределенности (ВФН) по формуле:

$$R_{kl} = \sum_{n=0}^N W_n^* \cdot e^{i2\pi f n T_0} S_{(n-k) \bmod N} \quad (1)$$

Потери в отношении сигнал/шум рассчитываем по формуле:

$$\rho = \frac{(W^* S)^2}{W^* W \cdot S^* S} \quad (2)$$

где  $S, W$  – комплексные амплитуды сигнала и фильтра соответственно.

А соотношения сигнал/помеха рассчитываем, используя следующее выражение:

$$\sigma = \frac{|W^* S|^2}{W^* R W} \quad (3)$$

В таблице 1 представлены результаты полное подавления боковых лепестков с меньшими потерями в отношении сигнал/шум, по сравнению с  $m$ -последовательностью.

Таблица 1

N	$\sigma_{ss}$	$\sigma_{sw}$	$\nu$	$\rho$
N=3	1	0.5	1.5	0.66
N=5	1	1	1.25	0.73

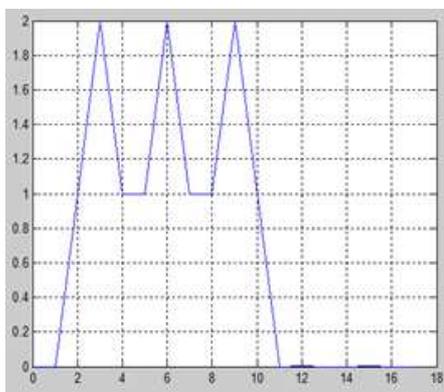


Рисунок 1 – Дискретный сигнал при  $N=3$ , при  $s = [1 \ 1 \ 0]$ ,  $w = [1 \ 1 \ 0]$ ;  $l = 0$

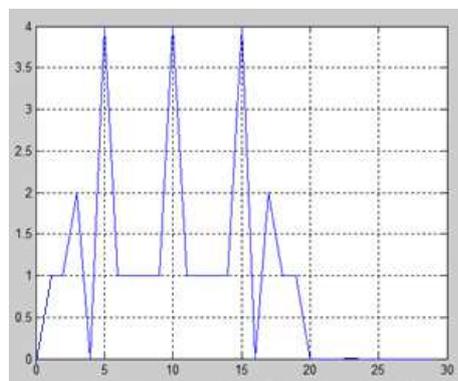


Рисунок 2 – Дискретный сигнал при  $N=5$ , при  $s = [1 \ 0 \ -1 \ 1 \ 1]$ ,  $w = [1 \ 0 \ -1 \ 1 \ 1]$ ;  $l = 0$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Е. Варакин. Системы связи с шумоподобными сигналами.–М.:Радио и связь,1985, 384 с.
2. В. П. Ипатов. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения – В.: Техносфера, 2007, 488 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ АПЕРИОДИЧЕСКИХ АФМ СИГНАЛОВ

В.М.Кошевой, д.т.н., профессор

А.В.Полищук, аспирант

Одесская национальная морская академия

В задачах временного измерения и разрешения во времени основное достоинство широкополосности состоит в возможности распределения энергии сигнала на значительном временном интервале, тем самым, снижая пиковую мощность.

Сигналы с ФМ, свободные от амплитудной модуляции, представляют собой предельную версию такого расширения, позволяющую получить пик-фактор  $V$  сигнала (отношение пиковой к средней мощности), равный единице. Для любого ФМ сигнала  $|a_i|=1, i=0,1,\dots,N-1$ , так что  $|a_0 a_{N-1}|=1$ , и крайний правый боковой лепесток апериодической АКФ  $|\rho_a(N-1)|=1/N$ . Следовательно, максимальный боковой лепесток ФМ сигнала ограничен снизу величиной:

$$\rho_{a, \max} \geq 1/N \quad (1)$$

ФМ сигналы, удовлетворяющие данной границе, будут оптимальными.

В честь ученого, первым предпринявшего поиск подобных сигналов, они получили название кодов Баркера. Традиционно бинарные последовательности с символами  $\pm 1$  считаются наиболее привлекательными, поскольку в наибольшей степени отвечают цифровой схемотехнике и гарантируют наименьшую сложность в их формировании и обработке. Ниже представлены все бинарные коды Баркера (см.табл.1.).

Таблица 1- Бинарные коды Баркера

$mN$	Код												
2	+	-											
3	+	+	-										
4	+	+	-	+									
5	+	+	+	-	+								
7	+	+	+	-	-	+	-						
11	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-		
13	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+

Таблица 2 иллюстрирует вычисление апериодической и периодической АКФ кода Баркера длины  $N=7$ . Не только апериодическая, но и нормированная периодическая АКФ характеризуется максимальным боковым лепестком, равным  $1/N$ .

Таблица 2- Вычисление АКФ бинарного кода Баркера длины 7

$m$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R_a(m)$	$R_p(m)$
0	+	+	+	-	-	+	-	+7	+7
1	-	+	+	+	-	-	+	0	-1
2	+	-	+	+	+	-	-	-1	-1
3	-	+	-	+	+	+	-	0	-1
4	-	-	+	-	+	+	+	-1	-1
5	+	-	-	+	-	+	+	-0	-1
6	+	+	-	-	+	-	+	-1	-1

Рассмотрим кратко процедуру согласованной фильтрации сигнала Баркера на некотором конкретном примере. Изображена структура согласованного фильтра для сигнала Баркера длины  $N=7$  (см.рис.1).Первым блоком данной структуры является линия задержки с отводами, разделенными во времени на величину, равную периоду следования чипов  $\Delta$ . Выходные сигналы отводов линии задержки подаются на сумматор с весами, определяемыми как зеркальное отражение символов кода. Второй частью структуры служит фильтр, согласованный с одиночным чипом (СФОИ). Чтобы убедиться в том, что указанная схема является искомым согласованным фильтром, достаточно осуществить проверку, подав на ее вход дельта-импульс. Выходной отклик представит собой зеркальное отображение сигнала, что в точности соответствует реакции согласованного фильтра (см. рис.1).

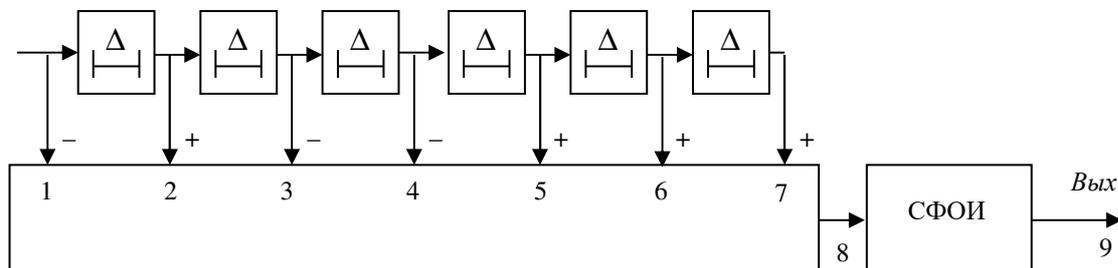


Рисунок 1- Согласованный фильтр для бинарного сигнала Баркера длины  $N=7$ .

Схема иллюстрирует в деталях согласованную фильтрацию видеосигнала Баркера, составленного из чипов с прямоугольной огибающей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Eliahou, S., and Kervaire, M. "Barker sequences and difference sets", L'Enseignement Mathématique, vol. 38, pp. 345-382, 1992.
2. Ipatov, V. P., and Fedorov, B.V. "Regular binary sequences with small losses in suppressing sidelobes", Radioelectron. a. Commun. Syst. (Radioelektronika), vol. 27, no.3, pp. 29-33, 1984.
3. Hamkins, J., and Zeger, K. "Improved bounds on maximum size binary radar array", IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 43, pp. 997-1000, 1997.
4. Ipatov, V. P., "Choice of periodical PSK signal and filter combination", Radioelectron. a. Commun. Syst. (Radioelektronika), vol. 21, no.4, pp. 49-55, 1978.

## ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НЕПРЕРЫВНЫХ РЛС С МАЛЫМ УРОВНЕМ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ И РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПОТЕРЯМИ В ОТНОШЕНИИ СИГНАЛ/ШУМ

В.М.Кошевой, профессор

А.А.Шаповалова, аспирант

Одесская национальная морская академия

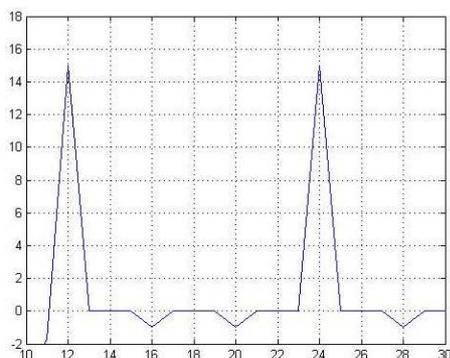
Большое значение в практическом судовождении представляет судовой радиолокатор. Разработан морской радиолокатор, использующий непрерывное излучение в виде фазокодированных сигналов, которые имеют значительно меньшую максимальную мощность излучения. В работе рассматривается обработка сигналов непрерывных РЛС. С помощью специальной весовой обработки (рассогласованной фильтрации) обеспечивается сколь угодно малый уровень боковых лепестков при контролируемых потерях в отношении сигнал/шум.

При прохождении сигнала типа М-последовательности через согласованный фильтр на выходе мы получаем боковые лепестки равные -1. Данные боковые лепестки маскируют слабые цели или слабые сигналы при передаче информации. При прохождении М-последовательности через рассогласованный фильтр мы получаем выходной сигнал с нулевыми боковыми лепестками. В данном случае появляются большие потери в отношении сигнал/шум.

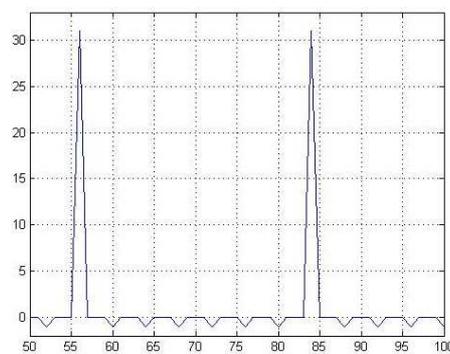
Расчет потерь в отношении сигнал/шум  $\rho$ , когда вместо согласованной обработки используется рассогласованная определяется по формуле:

$$\rho = \left( \frac{C}{Ш} \right)_P / \left( \frac{C}{Ш} \right)_C = \frac{\left( \int_{-\infty}^{\infty} s(t)w(t)dt \right)^2 \cdot N_0}{N_0 \int_{-\infty}^{\infty} w^2(t)dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t)dt} = \frac{\left( \int_{-\infty}^{\infty} s(t)w(t)dt \right)^2}{\int_{-\infty}^{\infty} w^2(t)dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t)dt}, \quad (1)$$

где  $s(t)$  – сигнал;  $w(t)$  – весовая функция фильтра;  $(C/Ш)$  – отношение мощности сигнала к мощности шума.



а



б

Рисунок 1-Сигнал на выходе рассогласованного при числе импульсов в сигнале

$$N=7 \text{ (a) и } N=60 \text{ (б)}$$

Далее рассматриваются сигналы, которые при подавлении боковых лепестков позволяют получить меньшие потери в отношении сигнал/шум:

Данные сигналы получаем путем генерирования любой M-последовательности с периодическим сигналом  $N=4$  [1-1-1-1]. Постоянная разрешения по времени для M-последовательности равна:

$$\frac{N^2}{2N - 1 + N^2} \quad (2)$$

Постоянная разрешения по времени для полученных сигналов ближе к единице и равна:

$$\frac{4N^2}{4N^2 + 2N - 1} \quad (3)$$

Таким образом мы уменьшаем потери в отношении сигнал/шум и уменьшаем постоянную разрешения по времени. Также показывается качество выделенного сигнала на фоне мешающих отражений, когда сигнал находится внутри отражающей помехи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевой В.М., Свердлик М.Б. О возможностях полного подавления боковых лепестков взаимной функции неопределенности в заданной области. – «Радиотехника и электроника», 1974, 19, №9, стр.1839.
2. Ипатов В.П. Полное подавление боковых лепестков периодических корреляционных функций фазоманипулированных сигналов. – «Радиотехника и электроника», 1977, 22, №8, с. 1600

УДК 621.371.37

### **УЛУЧШЕНИЕ УКВ РАДИОСВЯЗИ В РАМКАХ ИНТЕГРИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЕКНИС/АИС В УКВ/ЦИВ**

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор  
Д.А. Ставертий, курсант  
Одесская национальная морская академия

#### 1. Описание программной части ЕКНИС.

Используемое программное обеспечение в комплексе ЕКНИС/АИС по сути является судовой ЭКНИС (Рис. 1), которая в полной мере позволяет наблюдать навигационную обстановку в районе действия АИС.

АИС-приёмник (транспондер) подключается к ПК по стандартному последовательному интерфейсу RS-232 (Рис.1), после чего в настройках программного обеспечения указывается номер порта для получения данных АИС. На текущий момент поддержано отображение АИС класса А и В.

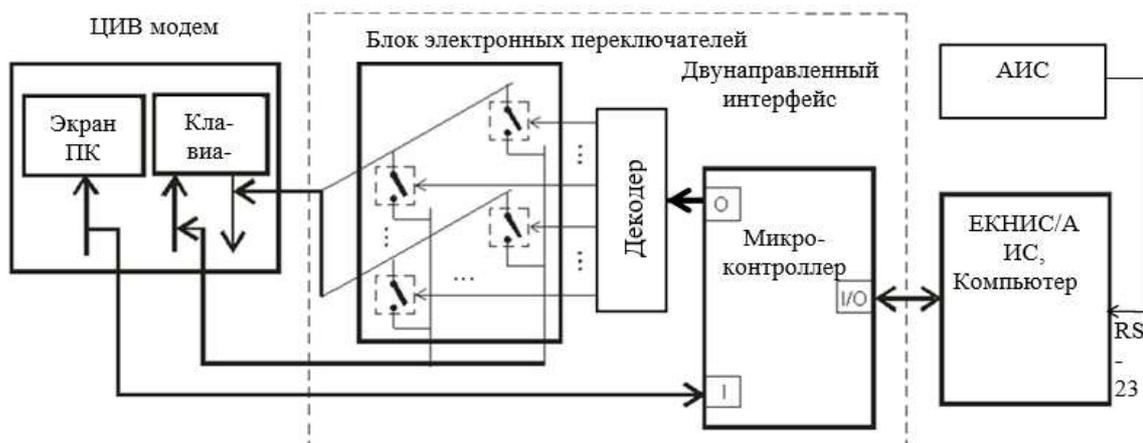


Рисунок 1 – Упрощенная схема двунаправленного интерфейса системы УКВ ЦИВ – ECDIS/AIS

Отображение АИС-информации происходит поверх электронных векторных карт, выполненных в соответствии с международным стандартом S-57.

Картографическая информация, в данном обеспечении, представляет собой коллекцию из навигационных карт, которые содержат слои (навигация, суша) со списком объектов, таких как буи и глубины. Таким образом, механизм отображения карт является независимым и поддерживает основные функции, такие как: масштабирование, сдвиг по осям, поворот.

## 2. Интеграция с ЦИВ – контроллером.

ЦИВ-контроллер подключается к ПК по стандартному последовательному интерфейсу (RS-232), после чего в настройках программного обеспечения указывается номер порта для получения данных от контроллера.

ЦИВ-контроллер реализует двусторонний протокол обмена, позволяющий отправлять и получать сообщения ЦИВ (Рис.2).

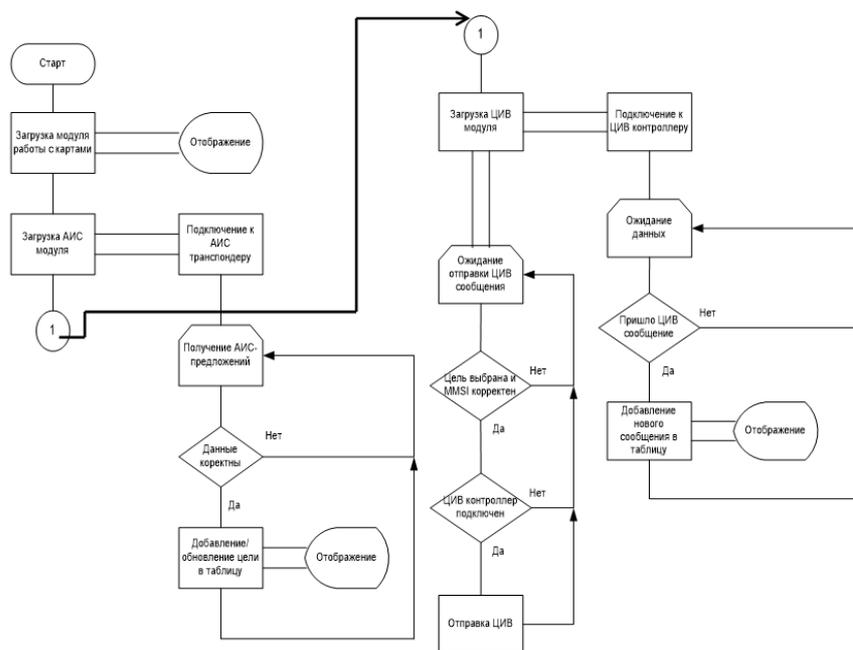


Рисунок 2 – Алгоритм работы судовой интегрированной системы УКВ ЦИВ – ЕКНИС/АИС

Представленное программное обеспечение позволяет установить режим, который при выборе АИС-цели на карте, инициирует отправку сообщения ЦИВ, путём передачи необходимой информации (MMSI, номер канала) в последовательный СОМ порт, подключенный к ЦИВ-контроллеру. Передача ЦИВ, в данном случае, происходит одним действием.

С другой стороны, когда ЦИВ-контроллер принимает сообщение ЦИВ, информация о вызове через последовательный порт передаётся в программное обеспечение, где происходит поиск и подсветка АИС-цели отправившей вызов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Miyusov M.V., Koshevoy V.M., Shishkin A.V.: Increasing Maritime Safety: Integration of the Digital Selective Calling VHF Marine Radio communication System and ECDIS, TransNav - International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 5, No. 2, pp. 159 – 161, 2011.
2. Proposal for simplification of VHF DSC radio communication and increasing DSC efficiency. COMSAR 14/7, 27 October 2009.
3. O. V. Shishkin, V. M. Koshevoy “Audio Watermarking for Automatic Identification of Radiotelephone Transmissions in VHF Maritime Communication”, Watermarking - Volume 2, pp. 209 – 227. In Tech, 2012. ISBN 978-953-51-0619-7 <http://www.intechopen.com>

УДК 621.391.83

### **ВЫДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА НА ФОНЕ ПОМЕХИ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ МОДЕЛЬЮ БЕЛОГО ШУМА**

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор

А.А. Григус, курсант

Одесская национальная морская академия

Рассмотрим задачу максимизации отношения Сигнал/Помеха на выходе фильтра в случае помехи в виде теплового шума, которая описывается моделью белого шума. Общее выражение для отношения мощности сигнала к мощности помехи имеет вид:

$$\frac{C}{\Pi} = \frac{\left( \int_{-\infty}^{\infty} S(t)W^*(t)dt \right)^2}{\iint R(t_1, t_2)W^*(t)W(t_2)dt_1 dt_2} \quad (1)$$

где  $S(t)$  - комплексная огибающая полезного сигнала;  $W(t)$  – комплексная огибающая опорного сигнала, которая связана с импульсным откликом фильтра  $W(t) = H(-t)$ ;  $R(t_1; t_2)$  - корреляционная функция (комплексная огибающая) помехи, которая для белого шума имеет вид:

$$R(t_1; t_2) = N_0 \delta(t - t_1) \quad (2)$$

где  $N_0$  - спектральная плотность шума;  $\delta(t - t_1)$  - дельта-функция (функция Дирака).

Для выражения (2) отношение (1) преобразуется следующим образом:

$$\frac{C}{\Pi} = \frac{\left( \int_{-\infty}^{\infty} S(t)W^*(t)dt \right)^2}{N_0 \iint \delta(t - t_1)W^*(t_1)W(t_2)dt_1 dt_2} = \frac{\left( \int_{-\infty}^{\infty} S(t)W^*(t)dt \right)^2}{N_0 \int |W(t_1)|^2 dt_1} \quad (3)$$

Рассмотрим задачу максимизации отношения сигнал-помеха. Для решения задачи воспользуемся неравенством Буняковского-Шварца:

$$\left( \int_{-\infty}^{\infty} S(t)W^*(t)dt \right)^2 \leq \int_{-\infty}^{\infty} |S(t)|^2 dt \int_{-\infty}^{\infty} |W^*(t)|^2 dt \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в (3), получим:

$$\frac{\left( \int_{-\infty}^{\infty} S(t)W^*(t)dt \right)^2}{N_0 \int_{-\infty}^{\infty} |W^*(t)|^2 dt} \leq \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |S(t)|^2 dt \int_{-\infty}^{\infty} |W^*(t)|^2 dt}{N_0 \int_{-\infty}^{\infty} |W^*(t)|^2 dt} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |S(t)|^2 dt}{N_0} = \frac{2E_c}{N_0} \quad (5)$$

где  $\frac{2E_c}{N_0}$  - максимальное отношение сигнал помеха.

Отсюда видно, что если  $W(t) = S(t)$ , то достигается максимальное значение сигнал-помеха и фильтр  $W(t) = S(t)$  является оптимальным. Такой оптимальный фильтр называется согласованным.

Для дискретного фильтра  $W(t) = \sum_{n=0}^{N-1} W_n p_n(t)$  и дискретного сигнала  $S(t) = \sum_{n=0}^{N-1} S_n p_n(t)$ , где  $p_n(t) = p(t - nT_0)$ , а  $p(t)$  является прямоугольным импульсом в начале координат длительностью  $T_0$ . отношение Сигнал/Помеха может быть представлена в следующем виде:

$$\frac{C}{\Pi} = \frac{|W^* S|^2}{W^* R W}$$

где R- корреляционная матрица белого шума

$$R = \begin{bmatrix} N_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & N_0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & N_0 \end{bmatrix} = N_0 I$$

Максимальное значение достигается при  $W=S$ . Согласованная обработка для дискретного сигнала:

$$\frac{C}{\Pi} = \frac{|S^* S|^2}{N_0 S^* S} = \frac{S^* S}{N_0} = \frac{2E_c}{N_0}$$

Провели анализ и получили решение оптимального фильтра для белого шума, получили отношение Сигнал/Помеха для фильтра аналоговой и дискретной обработки. Такой фильтр может быть реализован как дискретный фильтр с

конечной импульсной характеристикой (КИХ) с весовыми коэффициентами  $W$  в виде КИХ (цифрового фильтра).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов/Л.Е.Варакин М.: «Советское радио», 1970-371 с.
2. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов/ М.: «Советское радио», 1973-367 с.

УДК 621.396.6.001.63:681.3

## РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ СВЕТОДИОДНОГО ДИСПЛЕЯ В САПР ALTIUM DESIGNER

С.А. Михайлов, д.т.н., профессор

Т.В. Чашурин, курсант

Одесская национальная морская академия

Системы автоматизированного проектирования (САПР) занимают особое место среди информационных технологий. В работе в качестве рабочего пакета САПР выбрана программная среда Altium Designer.

Состав программного пакета Altium Designer включает весь необходимый набор инструментов для создания, редактирования и правки работ на основе электрических и программируемых интегральных схем. Редактор схем позволяет работать с проектами любого размера и сложности, преобразовывая их в простейшие подблоки. Редактор печатных плат программы содержит уникальные средства для и интерактивного размещения компонентов.

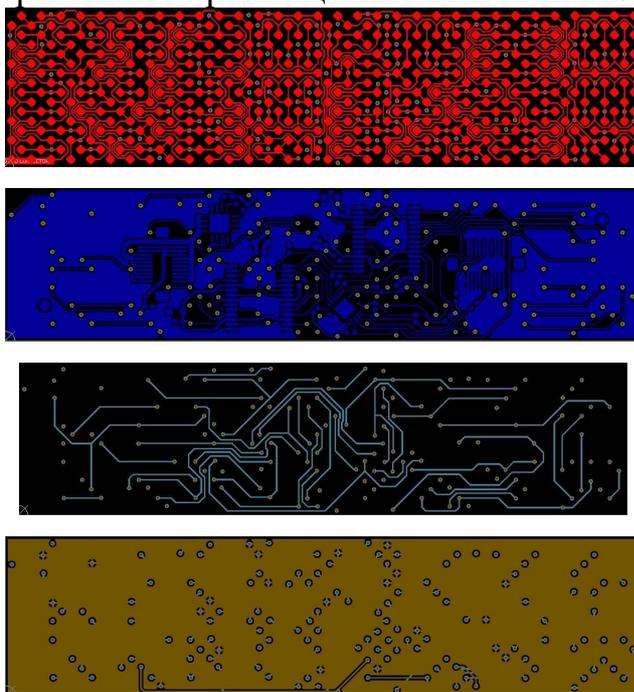


Рисунок 1- Скриншоты разработанной печатной платы в Altium Designer

В ходе выполнения задания была спроектирована печатная плата светодиодного дисплея в виде прямоугольной матрицы с 256 светодиодами в САПР Altium Designer. Матрица имеет горизонтальную ориентацию с количеством светодиодов 8 x 32. Использовано 2 микросхемы светодиодных драйверов AS1130, причем каждая из микросхем управляет левой и правой частью дисплея соответственно.

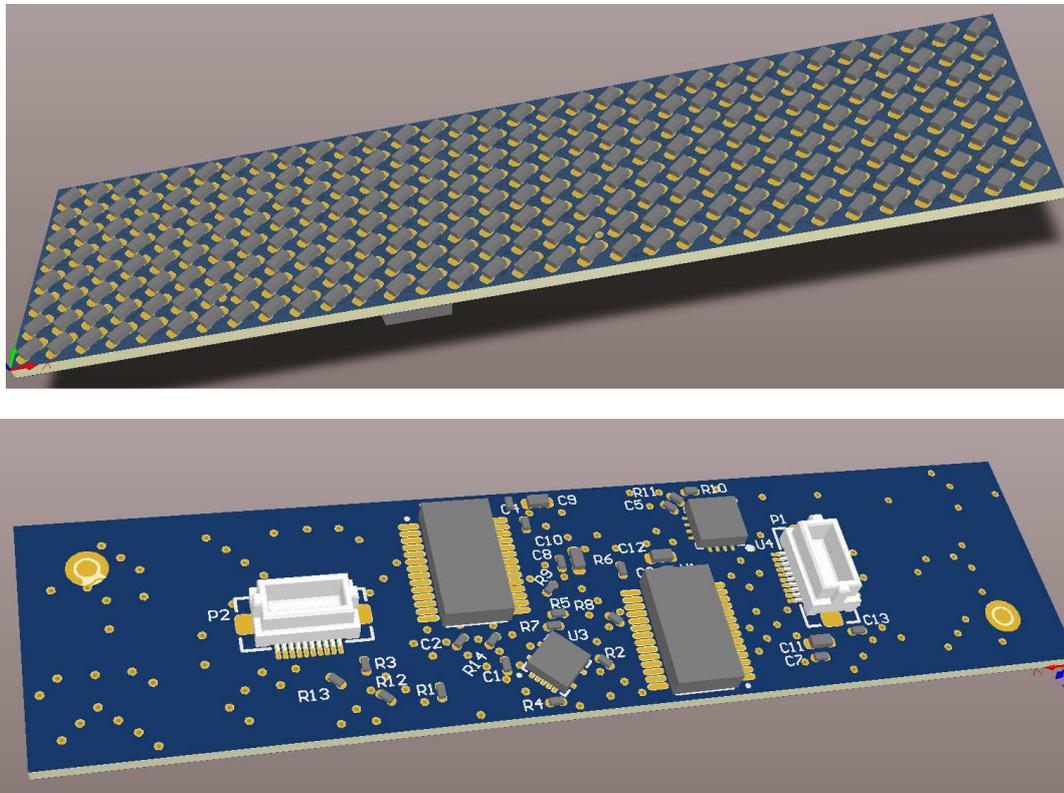


Рисунок 2 – Скриншот светодиодного дисплея в Altium Designer

Ввиду требований к малым габаритам платы (20\*80 мм), светодиоды для проекта выбраны типоразмера 0603 и каждый из светодиодов располагается по диагонали, так как при таком размещении обеспечивается максимальное заполнение полезной площади печатной платы. При этом, две управляющие микросхемы AS1130 и остальные компоненты, в том числе и соединительные разъемы располагаются на обратной стороне печатной платы. Переходные отверстия используются сквозные, т. е., они проходят через всю плату.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.ti.com](http://www.ti.com)
2. [www.ams.com](http://www.ams.com)
3. [www.digikey.com](http://www.digikey.com)
4. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Т. 2. Пер. с англ.- Изд. 3-е, стереотип.-М.: Мир, 1986. - 590 с., ил.

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СУДНОВОЇ РЕА У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK

С.А.Михайлов, д.т.н., професор  
А.А.Піряєв, курсант  
Одеська національна морська академія

Трифазні електроприводи поширені в судновій РЕА, наприклад для управління поворотом суднової антени. Досліди таких приводів за допомогою комп'ютерного середовища SIMULINK є актуальною темою.

Для моделювання обираємо асинхронний двигун типу 4A250S20M2 потужністю  $P_{н(АД)} = 1.5$  кВт, синхронна частота обертання 1750 об/хв [1]. Для живлення АД застосовуємо перетворювач частоти з ланкою постійного струму, функціональна схема якого приведена на рис. 1.

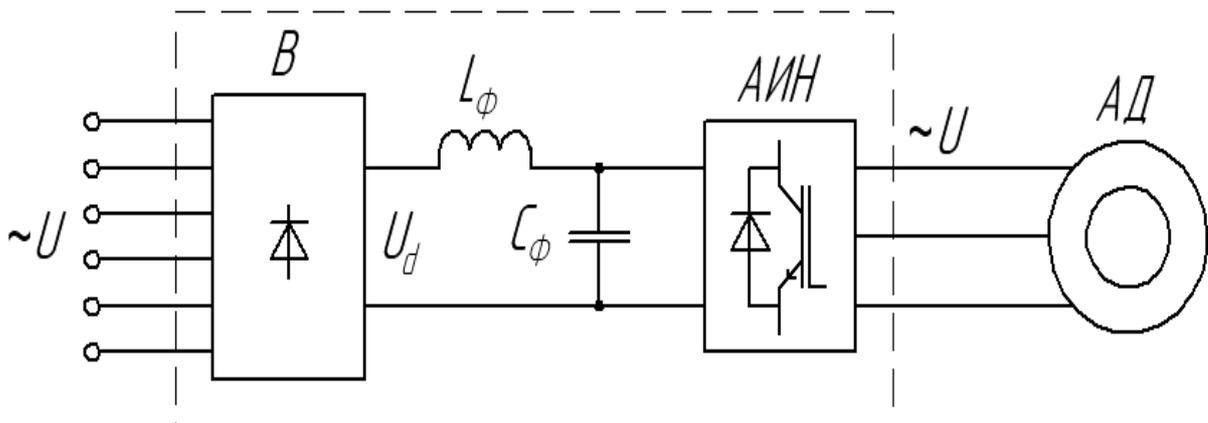


Рисунок 1 – Функціональна схема перетворювача

Вибираємо дванадцяти імпульсну паралельну схему некерованого випрямляча, яка характеризується найменшим коефіцієнтом пульсацій ( $K_n$ ) вихідної напруги ( $U_d$ ), таким чином для фільтрації останньої потрібно буде застосувати фільтр у ланці постійного струму з конденсаторами відносно меншої ємкості. Чим більші потужність навантаження і вимоги до якості напруги на АД, тим меншим повинен бути  $K_n$  вихідної напруги випрямляча, який, в свою чергу обумовлює коефіцієнт гармонік  $K_r$ , або коефіцієнт викривлення форми кривої вихідної напруги [2].

У якості інвертору напруги застосовуємо мостовий трифазний інвертор (таблиця 1).

Для живлення дванадцяти імпульсного некерованого випрямляча необхідно застосувати трифазний трансформатор з двома вторинними обмотками, одна з яких з'єднана зіркою, а друга трикутником, за рахунок чого досягається зсув лінійних напруг на цих обмотках на  $30^\circ$ .

Таблиця 1 – Вибір схеми перетворювача електроенергії

Вид струму та кількість фаз джерела живлення		Вид струму та кількість фаз навантаження		Тип випрямляча					Тип Інвертору			Тип регулятора		Тип навантаження (споживача електроенергії)				
Змінний	постійний	змінний	Постійний	Схема					Керований	Некерований	Мостовий	Трьохрівневий	ШПП	Зі зниженням напруги	З підвищенням напруги	Активно-індуктивне	Двигун постійного струму	Асинхронний двигун
				З нульовим виводом	Мостова	Подвійна мостова	Дванадцяти імпульсна послідовна	Дванадцяти імпульсна паралельна										
3		3						+										+

Моделюємо роботу повної схеми «Джерело – Перетворювач – Навантаження» [4,5]. Для виконання даного пункту з'єднуємо випрямляч і інвертор, встановлюємо між ними фільтр і навантажуюмо інвертор заданим навантаженням ( $S_H = 800 \text{ кВА}$ ,  $\cos \varphi = 0.89$ ). Отримана модель представлена на рис. 2.

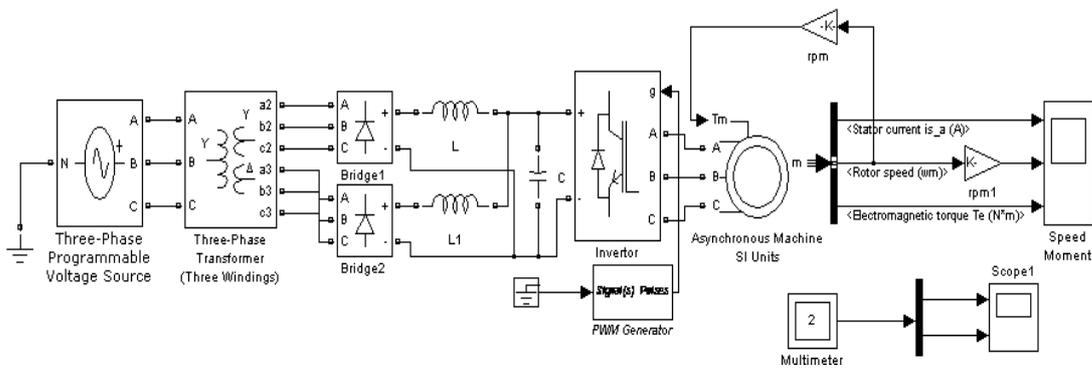


Рисунок 2 – Модель повної схеми «Джерело - Перетворювач – Навантаження»

Криві струму, моменту і швидкості ротора представлені на рисунках 3 і 4.

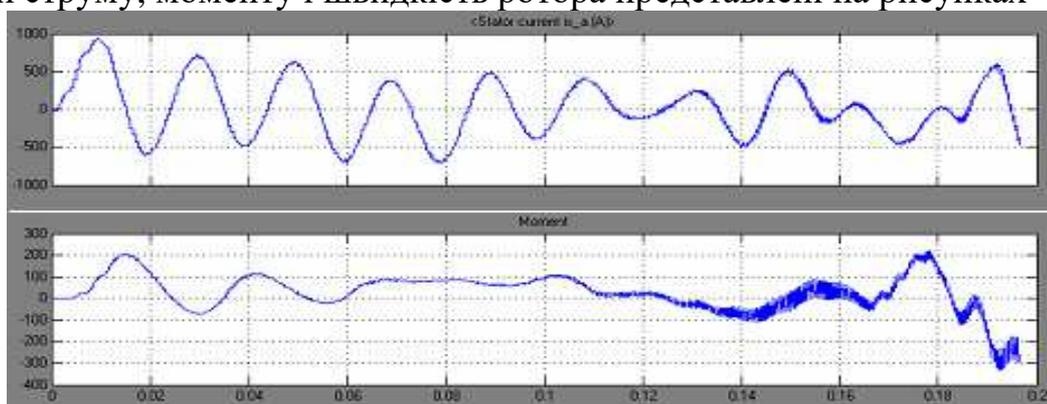


Рисунок 3 – Струм і момент ротора

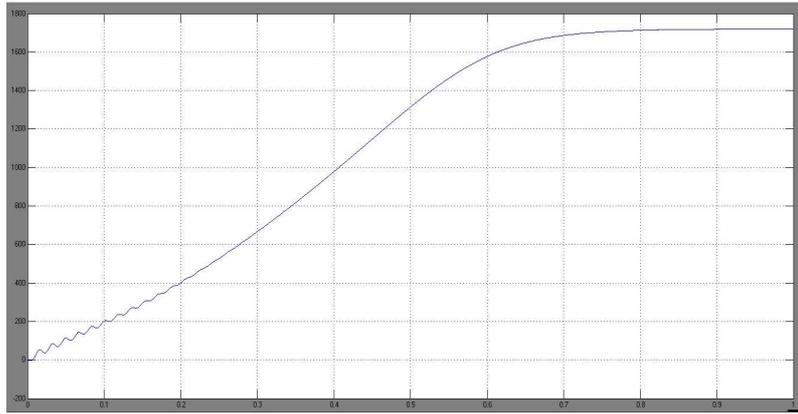


Рисунок 4 – Швидкість ротора

В результаті проведеної роботи ми отримали криві перехідних процесів асинхронного двигуна. Також була побудована модель електропривода, який живиться від трифазної мережі змінного струму.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Силовая электроника і перетворювальна техніка: Методичні вказівки і завдання до розрахунково-графічних, контрольних і лабораторних робіт / Будашко В.В. - Одеса: ОНМА, 2007. - 32 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника. СПб.: КОРОНА ПРИНТ, 2002. 302 с.
3. Силовая электроника: Примеры и расчеты/ Ф. Чаки, И. Герман, И. Ипшич и др. Пер. с англ. - М.: Энергоиздат, 1982
4. Гульятев А.К. Визуальное моделирование в среде MatLab. СПб.: Питер, 2000. 429. с.
5. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MatLab. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2002. 602 с.

УДК 681.3

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СУДОВОЙ АНТЕННЫ КВ ДИАПАЗОНА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MMANA

Михайлов С.А., д.т.н., профессор  
Шагова А.А., курсант  
Одесская национальная морская академия

Программа моделирования MMANA (Macoto Mori Antenna Analyzer) позволяет в компьютере проверить антенну, которую можно изготовить для своего радиоприемника или телевизора, сотового телефона или радиостанции (стационарной или носимой), иными словами — любой профессиональной или любительской антенны. Рассчитанная на широкий круг пользователей, программа моделирования имеет понятный «дружественный» интерфейс и, что немало важно для многих пользователей, «объясняется» с ними на русском языке.

Независимо от хорошего совпадения результатов расчетов и моделирования в программной среде MMANA с реальными, необходимость точной настройки физических антенн, сделанных по результатам моделирования, все же остается. Степень подстройки зависит от различий реальных и моделируемых условий.

Принимаем следующие исходные данные: антенна в виде двух равнобедренных треугольников, расстояние между ними – 20 (м); источник справа на высоте 10 (м); частота – 2182 кГц; длина стороны – 46 (м); материал – медь; диаметр провода – 4 (мм); почва – чернозем. На рисунке 1 показана геометрия исследуемой антенны. Программа позволяет рассчитать диаграммы направленности антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях (под любыми вертикальными углами) (см. рис. 2).

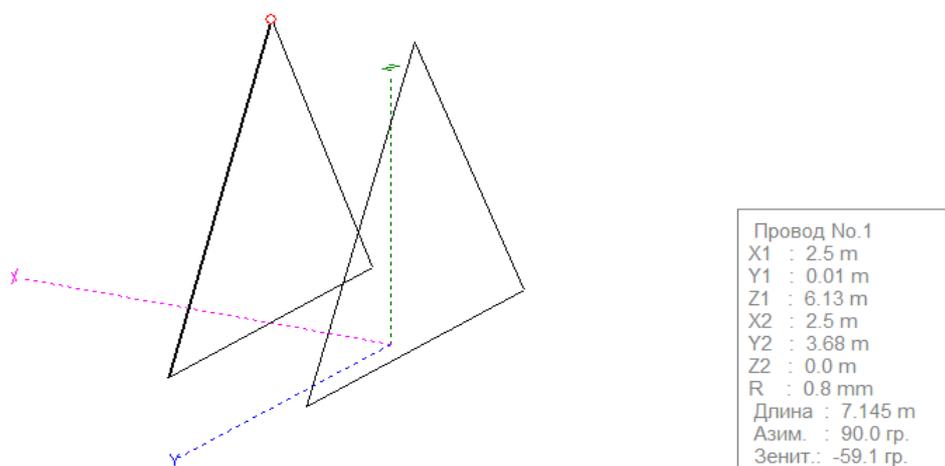


Рисунок 1 – Геометрия антенны

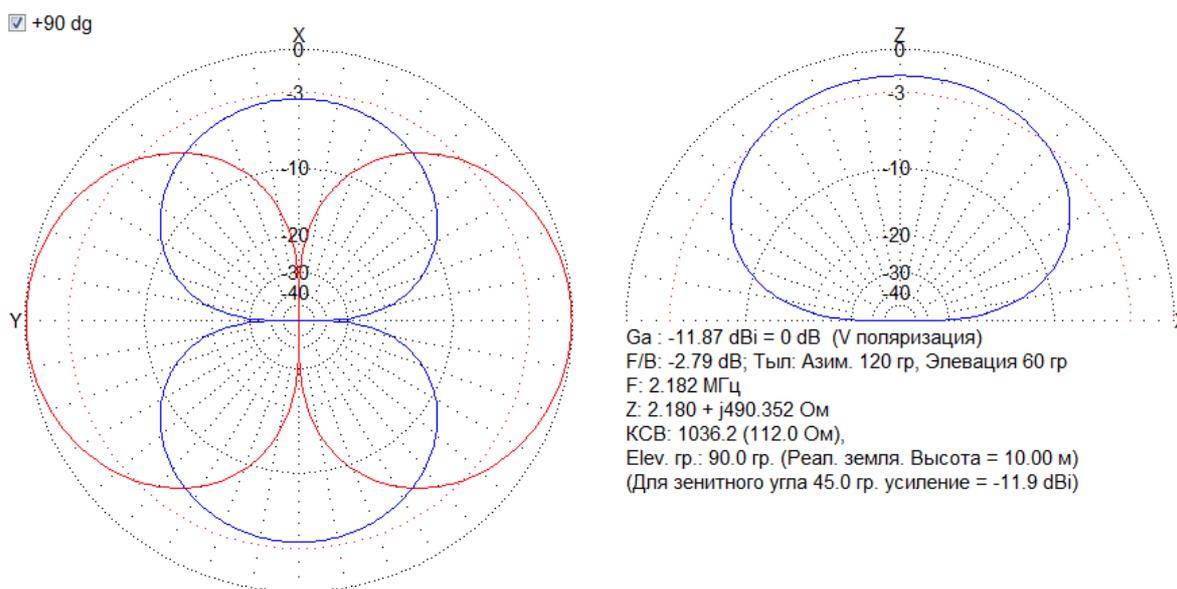


Рисунок 2 – Диаграмма направленности антенны

Полученная диаграмма направленности в горизонтальной плоскости не является плоским разрезом объемной диаграммы направленности, как это принято думать. В самом деле, при наличии реальной земли непосредственно вдоль земли (под нулевым зенитным углом) никакая антенна ничего не излучает, поэтому если мы в этом случае просто попытаемся разрезать объемную диаграмму направленности плоскостью X–Y, то не увидим ничего. В действительности же все диаграммы направленности (не только в MMANA, а вообще все) в горизонтальной плоскости являются коническими сечениями объемной диаграммы направленности.

Программная среда MMANA может обеспечить задачу, достойную по сложности самых скоростных как современных, так и будущих компьютеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко И. В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA. — М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио». 2002 — 80 с.: ил.

УДК 681.3-621.375

### СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА В ПРОГРАММНОМ СИМУЛЯТОРЕ MATLAB

С.А. Михайлов, профессор

Н.Н. Фучеджи, курсант

Одесская национальная морская академия

Для синтеза Цифрового Фильтра в качестве примера рассматриваем АФ-прототип (Аналоговый Фильтр). Данный устойчивый прототип должен быть преобразован в устойчивый Цифровой Фильтр. Рассчитаем его с передаточной функцией  $G(p)$  по требованиям, заданным к ЦФ, используя функции `buttord` и `butter`.

$$[N \ W0] = \text{buttord}(Wp, Ws, Rp, Rs, 's'); \quad (1)$$

Передаточная функция АФ-прототипа:

$$G(p) = \frac{1,6292e+12}{p^6 + 2,35e+4p^5 + 6,91e+9p^4 + 1,05e+14p^3 + 1,52e+19p^2 + 1,15e+23p + 1,08e+28} . \quad (2)$$

Частотные характеристики АФ-прототипа:

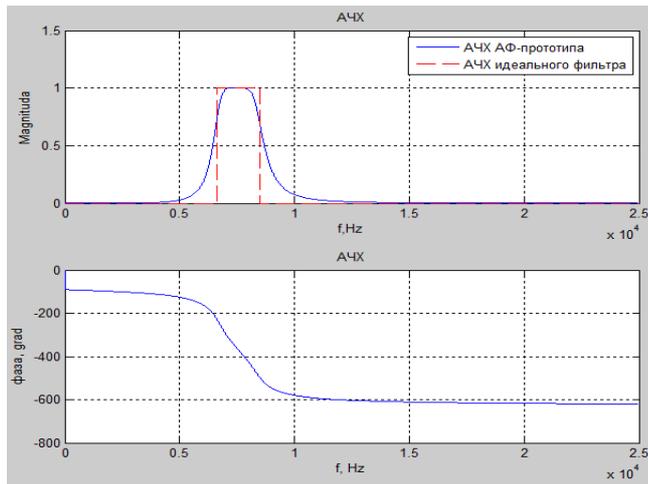


Рисунок 1 – Частотные характеристики АФ-прототипа

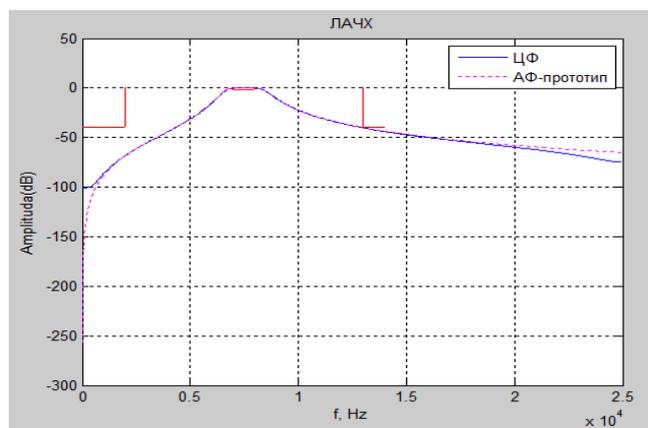


Рисунок 2 – Частотные характеристики Цифрового фильтра

Увеличенная диаграмма нулей в области большого числа нулей:

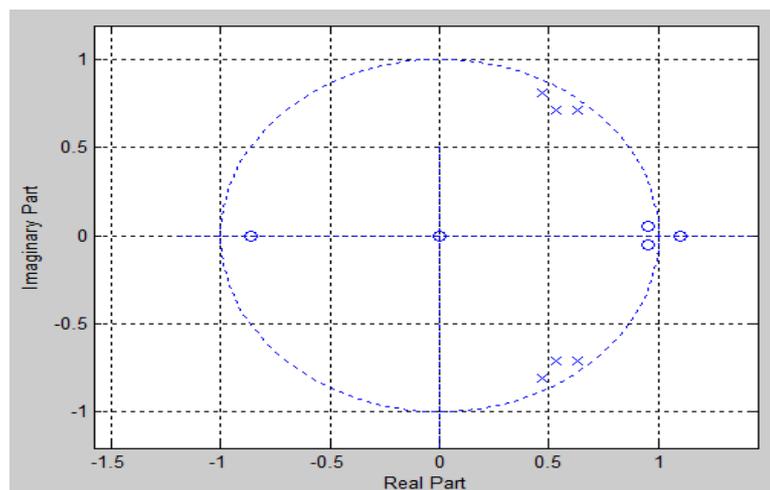


Рисунок 3 – Увеличенная диаграмма нулей

Все полюсы фильтра лежат внутри окружности единичного радиуса  $z$ -плоскости, следовательно, фильтр устойчив.

Получаем параллельную структурную схему фильтра:

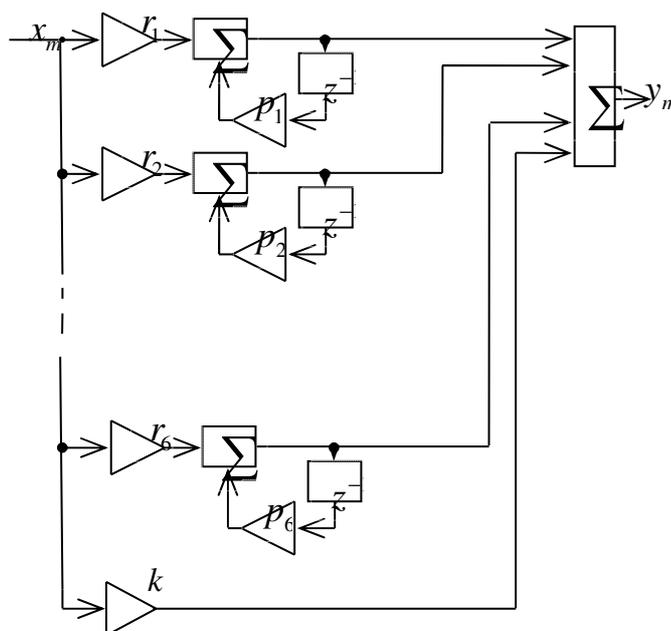


Рисунок 4 – Параллельная структурная схема фильтра

Идеальная (прямоугольная) форма АЧХ не может быть физически реализована, поэтому в теории аналоговых фильтров разработан ряд методов аппроксимации прямоугольных АЧХ. Аппроксимацией фильтра будем называть передаточную функцию, у которой АЧХ  $A(\omega)$  приближается к одной из идеальных характеристик.

УДК 681.3

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СУДОВОЙ АНТЕННЫ УКВ ДИАПАЗОНА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MMANA

С.А. Михайлов, д.т.н., профессор

С.В. Юрченко, курсант

Одесская национальная морская академия

MMANA (Macoto Mori Antenna Analyzer) – это программа моделирования антенн, работающая в среде Windows. Вычислительной основой MMANA (так же как и многих коммерческих программ моделирования) является программа MININEC Ver.3, которая была создана для целей американских ВМС в Washington Research Institute [1].

Несмотря на очень хорошее совпадение результатов расчетов и моделирования в программной среде MMANA с реальными, необходимость точной настройки физических антенн, сделанных по результатам моделирования, все же остается. Степень подстройки зависит от различий реальных и моделируемых условий. Прежде всего, от окружающих местных предметов.

Имея такие исходные данные: антенна типа Split J-Antenna (рис.2); частота – 156 МГц; материал – медь; диаметр провода – 5 (мм); высота установки – 30м; окружающая среда– морская вода. Программа позволяет рассчитать диаграммы направленности (ДН) антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях (под любыми вертикальными углами) (см. рис. 1).

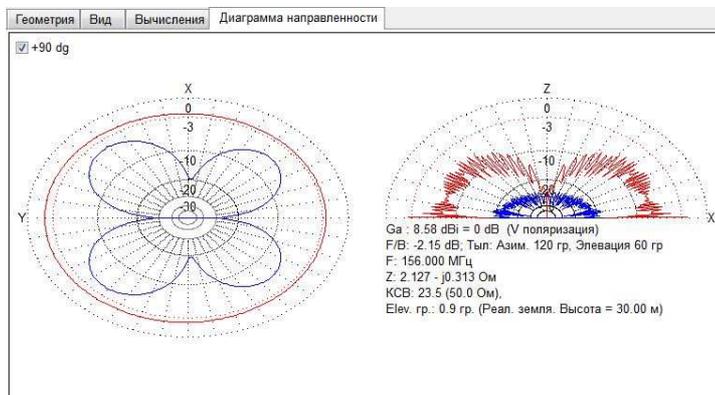


Рисунок 1 – Диаграмма направленности антенны

Полученная ДН в горизонтальной плоскости не является плоским разрезом объемной ДН, как это принято думать. В самом деле, при наличии реальной земли непосредственно вдоль земли (под нулевым зенитным углом) никакая антенна ничего не излучает, поэтому если мы в этом случае просто попытаемся разрезать объемную ДН плоскостью X–Y, то не увидим ничего. В действительности же все ДН (не только в ММНА, а вообще все) в горизонтальной плоскости являются коническими сечениями объемной ДН.

Программная среда ММНА может обеспечить задачу, достойную по сложности самых скоростных как современных, так и будущих компьютеров.

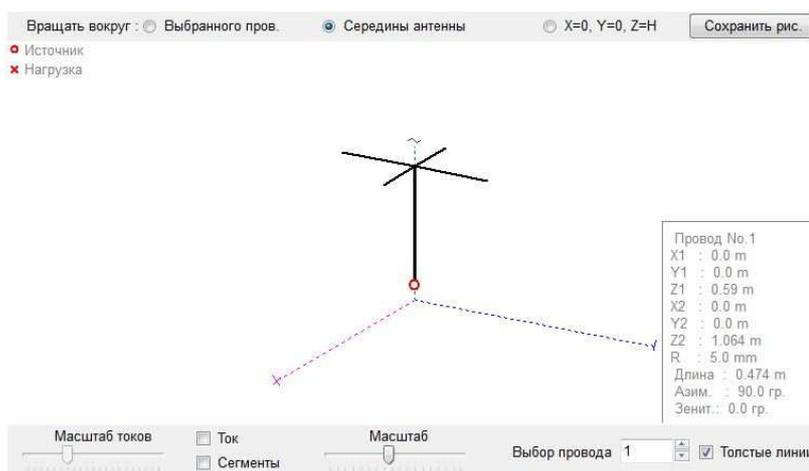


Рисунок 2 – Закладка « Вид» антенны Split J-Antenna

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко И. В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе ММНА. — М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио». 2002 — 80 с.: ил.

## **РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО БЛОКА ИНДИКАЦИИ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ НА МИКРОСХЕМАХ ФИРМЫ ALTERA**

С. А. Михайлов, профессор, д.т.н.

М. П. Шишман, курсант

Одесская национальная морская академия

Язык описания аппаратуры для высокоскоростных интегральных схем (VHSIC), называемый VHDL, может быть использован на всех этапах разработки электронных систем. Язык легко воспринимается как машиной, так и человеком, он может использоваться на этапах проектирования, верификации, синтеза и тестирования аппаратуры, также как и для передачи данных о проекте, модификации и сопровождения. VHDL является формальной записью, предназначенной для описания функции и логической организации цифровой системы. Функция системы определяется, как преобразование значений на входах в значения на выходах. Причем время в этом преобразовании задается явно. Объект проекта (entity) представляет собой описание компоненты проекта, имеющей четко заданные входы и выходы и выполняющей четко определенную функцию. Объект проекта может представлять всю проектируемую систему, некоторую подсистему, устройство, узел, стойку, плату, кристалл, макроячейку, логический элемент и т.п. В результате такой декомпозиции объекта проекта пользователь строит иерархию объектов проекта, представляющих весь проект в целом и состоящую из нескольких уровней абстракций. Такая совокупность объектов проекта называется **ИЕРАРХИЕЙ ПРОЕКТА** (design hierarchy). Каждый объект проекта состоит, как минимум, из двух различных типов описаний: описания интерфейса и одного или более архитектурных тел. Интерфейс описывается в **ОБЪЯВЛЕНИИ ОБЪЕКТА ПРОЕКТА** (entity declaration) и определяет только входы и выходы объекта проекта. Для описания поведения объекта или его структуры служит **АРХИТЕКТУРНОЕ ТЕЛО** (architecture body). Чтобы задать, какие объекты проекта использованы для создания полного проекта, используется **Объявление КОНФИГУРАЦИИ** (configuration declaration). В языке VHDL предусмотрен механизм пакетов для часто используемых описаний, констант, типов, сигналов. Эти описания помещаются в **Объявлении ПАКЕТА** (package declaration). Если пользователь использует нестандартные операции или функции, их интерфейсы описываются в **объявлении пакета**, а тела содержатся в **ТЕЛЕ ПАКЕТА** (package body). Таким образом, при описании цифровых схем на языке VHDL, пользователь может использовать пять различных типов описаний: объявление объекта проекта, архитектурное тело, объявление конфигурации, объявление пакета и тело пакета. Каждое из описаний является самостоятельной конструкцией языка VHDL, может быть независимо проанализировано анализатором и поэтому получило название "**МОДУЛЬ ПРОЕКТА**" (design unit). Модули проекта, в свою очередь,

можно разбить на две категории: ПЕРВИЧНЫЕ и ВТОРИЧНЫЕ. К первичным модулям относятся различного типа объявления. К вторичным - отдельно анализируемые тела первичных модулей. Один или несколько модулей проекта могут быть помещены в один файл MS DOS, называемый ФАЙЛОМ ПРОЕКТА (design file). Каждый проанализированный модуль проекта помещается в БИБЛИОТЕКУ ПРОЕКТА (design library) и становится БИБЛИОТЕЧНЫМ МОДУЛЕМ (library unit). Данная реализация позволяет создать любое число библиотек проекта. Каждая библиотека проекта в языке VHDL имеет логическое имя (идентификатор). Фактическое имя файла, содержащего эту библиотеку, может совпадать или не совпадать с логическим именем библиотеки проекта. В программной среде языка VHDL существует два класса библиотек проекта: рабочие библиотеки и библиотеки ресурсов. РАБОЧАЯ БИБЛИОТЕКА - это библиотека, с которой в данном сеансе работает пользователь и в которую помещается библиотечный модуль, полученный в результате анализа модуля проекта. БИБЛИОТЕКА РЕСУРСОВ - это библиотека, содержащая библиотечные модули, ссылка на которые имеется в анализируемом модуле проекта.

Система проектирования технических устройств на базе микросхем фирмы ALTERA может работать с различными микросхемами семейства FPGA и CPLD, т.е. перепрограммируемыми и однократно программируемыми. Возможно использование библиотеки стандартных элементов. Возможна проверка работы разработанного устройства в виртуальном режиме с помощью создания временных диаграмм для входных воздействий. Возможен текущий контроль правильности проекта, есть возможность какие-то части схемы объединять в блок, которым пользуешься как элементом схемы. Для организации межсоединений поддерживается 3 типа линейной связи: простое соединение, соединение типа шина, конduit. Возможна компиляция под заданный тип проекта.

Блок диагностики и коррекции ошибок по Хеммингу работает так: на входе устройства, например ОЗУ, по байту полезной информации вычисляются КР и вместе с информацией записываются в ячейки. Каждое слово ОЗУ должно содержать  $N+K$  разрядов. При считывании ОЗУ по информационным разрядам вновь вычисляются КР и сравниваются с их значениями, считанными из памяти. Совпадение КР означает, что информация считана правильно.

При несовпадении возможно несколько вариантов. Если не совпадает только один из 4 КР, то искажены могут быть только сами КР, а информация считана правильно. Такая ошибка игнорируется. Если не совпадает более одного разряда, необходима проверка на допустимость получившегося несовпадения. Если проверка покажет, что несовпадение вызвано искажением одного информационного разряда, сочетание несовпадающих разрядов (синдромов)  $S_0...S_3$  укажет на искаженный разряд. Этот разряд следует инвертировать, чтобы исправить ошибку.

Изложенный алгоритм проще всего реализовать аппаратно с помощью ППЗУ (Рис. 1, Рис. 2, Рис. 3).

Addr	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
00	0	1	1	1	0	0	0	0
08	0	0	1	1	1	0	0	0
10	0	1	0	0	0	0	0	0
18	0	0	1	0	0	0	0	0

Рисунок 1 – Control

Addr	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
0	7E	30	6D	79	33	5B	5F	70
8	7F	7B						

Рисунок 2 – Semisigment

Addr	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
0000	00000	00005	00010	00015	00020	00025	00030	00035
0008	00040	00045	00050	00055	00060	00065	00070	00075
0010	00080	00085	00090	00095	00100	00105	00110	00115
0018	00120	00125	00130	00135	00140	00145	00150	00155
0020	00160	00165	00170	00175	00180	00185	00190	00195
0028	00200	00205	00210	00215	00220	00225	00230	00235
0030	00240	00245	00250	00255	00260	00265	00270	00275
0038	00280	00285	00290	00295	00300	00305	00310	00315
0040	00320	00325	00330	00335	00340	00345	00350	00355
0048	00360	00365	00370	00375	00380	00385	00390	00395
0050	00400	00405	00410	00415	00420	00425	00430	00435
0058	00440	00445	00450	00455	00460	00465	00470	00475
0060	00480	00485	00490	00495	00500	00505	00510	00515
0068	00520	00525	00530	00535	00540	00545	00550	00555
0070	00560	00565	00570	00575	00580	00585	00590	00595
0078	00600	00605	00610	00615	00620	00625	00630	00635
0080	00640	00645	00650	00655	00660	00665	00670	00675
0088	00680	00685	00690	00695	00700	00705	00710	00715
0090	00720	00725	00730	00735	00740	00745	00750	00755
0098	00760	00765	00770	00775	00780	00785	00790	00795
00a0	00800	00805	00810	00815	00820	00825	00830	00835
00a8	00840	00845	00850	00855	00860	00865	00870	00875
00b0	00880	00885	00890	00895	00900	00905	00910	00915
00b8	00920	00925	00930	00935	00940	00945	00950	00955
00c0	00960	00965	00970	00975	00980	00985	00990	00995
00c8	01000	01005	01010	01015	01020	01025	01030	01035
00d0	01040	01045	01050	01055	01060	01065	01070	01075
00d8	01080	01085	01090	01095	01100	01105	01110	01115
00e0	01120	01125	01130	01135	01140	01145	01150	01155
00e8	01160	01165	01170	01175	01180	01185	01190	01195

Рисунок 3 – Compilation Report

Смоделированная схема изображена на рис. 4.

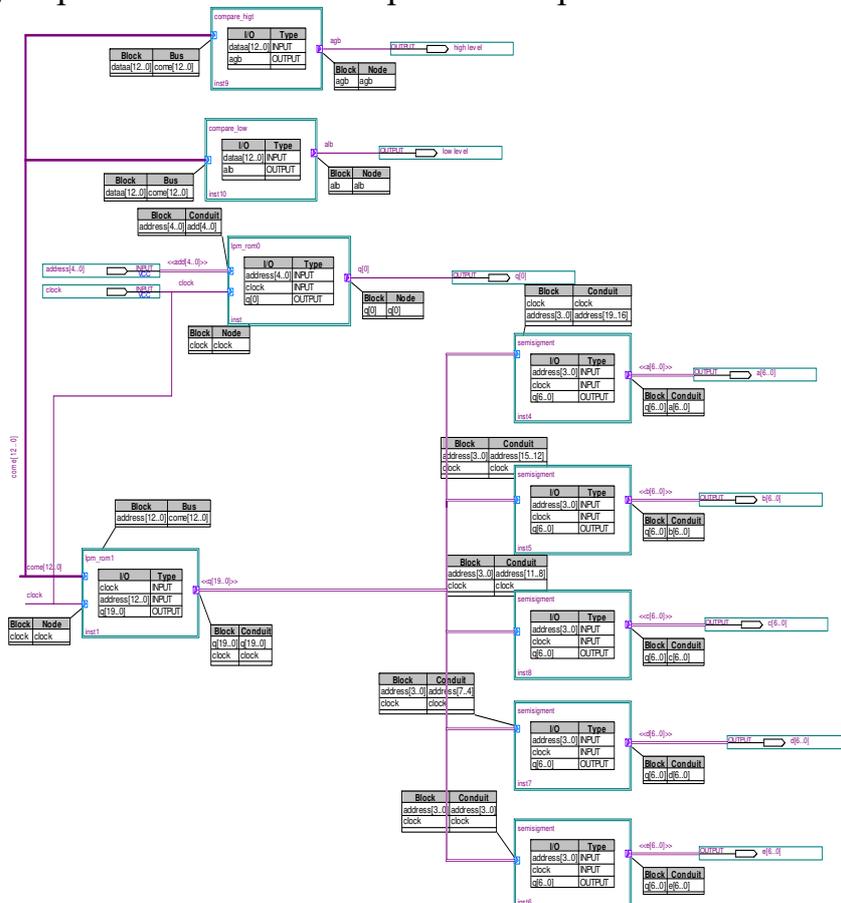


Рисунок 4 – Цифровой блок фирмы индикации устройства измерения на микросхеме фирмы Altera

В данной работе, мы использовали программу компьютерного моделирования Quartus II, с помощью которой мы разработали цифровой блок индикации устройства измерения на перепрограммируемых микросхемах фирмы Altera.

УДК 681.3

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СУДОВОЙ АНТЕННЫ T2FD В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MMANA**

С.А. Михайлов, д.т.н. профессор

В.С. Попова, курсант

Одесская национальная морская академия

Работа посвящена моделированию судовой антенны T2FD в программе MMANA. MMANA (Macoto Mori Antenna Analyzer) – это программа моделирования антенн, работающая в среде Windows. Программа работает с любыми типами антенн, представленных в виде наборов тонких проводов.

Антенны легко рисуются и правятся либо с помощью задания цифровых значений, либо в графическом окне, имеющем объемное представление. В программе можно соединять воедино до четырех различных файлов моделей, создавая целые антенные комплексы. При вычислении будут учтены нагрузки и провода всех антенн составной системы.

Расчет проводится на любой частоте. Перед его началом производится автоматическая проверка проекта на ошибки. При обнаружении таковых в информационном окне появляется описание, а курсор показывает проблемный провод. Результаты расчета изображаются диаграммами направленности (в том числе и трехмерными), а также множеством различных графиков-зависимостей.

Функция оптимизации автоматически настраивает антенны по заданным параметрам [1].

В программе MMANA мы моделировали судовую КВ антенну под названием T2FD - Tilted Terminated Folded Dipole (наклонный петлевой вибратор с резистивной нагрузкой). Антенна по своему принципу работы относится к группе апериодических (искусственно широкополосных) антенн.

В конструктивном отношении эта антенна несложная и может быть использована без каких-либо переключений в относительно большой полосе рабочих частот. Важнейшей и самой трудновыполнимой деталью антенны является нагрузочный резистор. Он должен быть безиндуктивный и с малой емкостью, чтобы в рабочем интервале частот отсутствовали заметные реактивные составляющие. Поэтому здесь нельзя применять проволочные резисторы в виде обмотки. В режиме передачи резистор преобразует в тепло по крайней мере 35% коротковолновой мощности оконечного каскада, так что для 100-ваттного передатчика понадобится резистор, способный рассеивать мощность 35 Вт. Сопротивление поглощающего резистора

равно волновому сопротивлению фидера произвольной длины. 600-омный фидер требует нагрузку такого же сопротивления (600 Ом). Однако на практике выгоднее, чтобы сопротивление нагрузки было несколько большим [2].

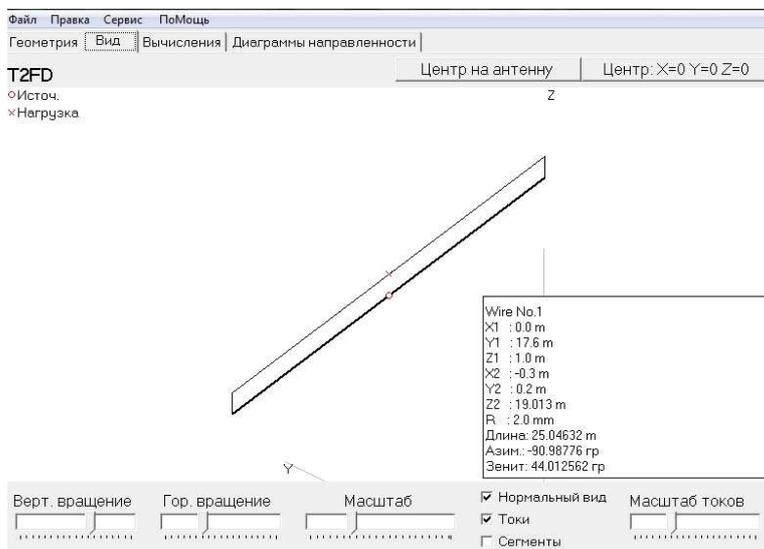


Рисунок 1 – Закладка « Вид» антенны T2FD

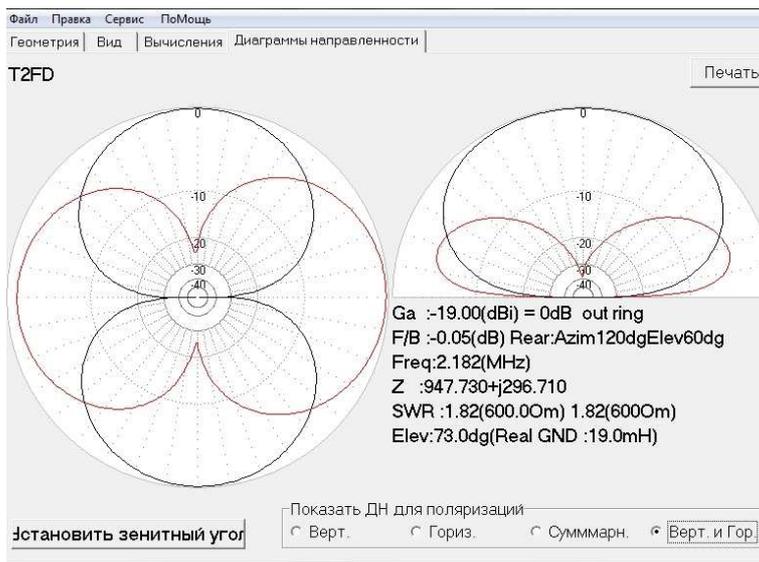


Рисунок 2 – Диаграммы направленности (ДН) в вертикальной и горизонтальной плоскостях

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко И.В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA .- М.: ИП РадиоСофт , Журнал « Радио». 2002- 80 с.
2. Ссылка <http://ra9we.narod.ru/kw/ant1.htm>

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕННЫ SCTD В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MMANA

С.А.Михайлов, д.т.н., профессор

О.В.Михайленко, курсант

Одесская национальная морская академия

Программой профессионального класса является программа моделирования антенн MMANA, позволяющая в компьютере проверить антенну, которую вы предполагаете изготовить для своего радиоприемника или телевизора. MMANA - это программа моделирования антенн, работающая в среде Windows. Вычислительной основой MMANA является программа MININEC Ver.3, которая была создана для целей американских ВМС в Washington Research Institute. Программа позволяет строить множество разнообразных графиков Zвх, KCB, усиления, отношения излучений вперед/назад (F/B), включая показ зависимости диаграммы направленности от частоты; рассчитывать диаграммы направленности антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях (см. рис.1); одновременно сравнивать результаты моделирования нескольких разных антенн; оптимизировать антенну, гибко настраивая цели оптимизации: Zвх, KCB, усиление, F/B, минимум вертикального угла излучения.

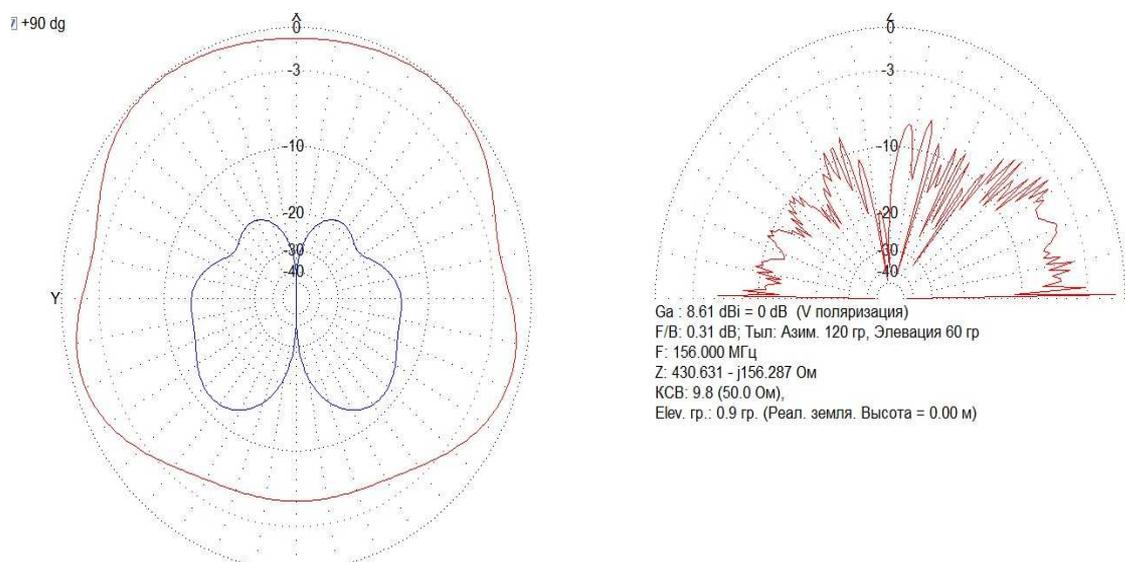


Рисунок 1 – Диаграмма направленности антенны

Диаграмма направленности любой антенны является объемной трехмерной фигурой, в общем случае, неправильной формы. Поэтому диаграмма направленности в вертикальной плоскости в программной среде MMANA представляет собой сечение плоскостью X-Z объемной диаграммы направленности. Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости также не является плоским разрезом объемной диаграммы направленности, как это

принято думать. В самом деле, непосредственно вдоль земли никакая антенна ничего не излучает. В действительности же все диаграммы направленности в горизонтальной плоскости являются коническими сечениями объемной диаграммы направленности. Строится такая диаграмма направленности так – берется определенный зенитный угол, и, сохраняя его постоянным, обходим по азимуту антенну вокруг. Получившаяся плоская фигура и будет коническим сечением.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко И.В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA.- М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио».- 2002 – 80 с.

УДК 621.31

### **РАСЧЕТ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ FILTER SOLUTION**

С.А.Михайлов, д.т.н., профессор  
Е.В.Соловьева, курсант гр. 3161

Фильтр - это устройство для выделения из радиосигнала полосовой составляющей и подавление других частот. Существуют фильтры нижних, верхних частот, а также полосовые фильтры.

В нашем случае используется полосовой фильтр, который рассчитывается программой Filter Solutions 8.1.

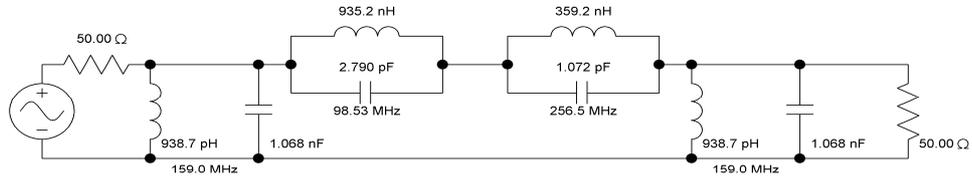
Исходные данные проектируемого радиоприемника следующие:

- Диапазон УКВ: 156 МГц
- Чувствительность: 0,1мкВ
- Избирательность: -55дБ
- Класс излучения: F3E
- Выходное напряжение: 0,8В

Выберем фильтр Чебышёва I рода 3-го порядка (рис. 1).

### 3rd Order Band Pass Chebyshev I

Lower Corner Frequency = 156.0 MHz    Contains Stop Band Zeros  
Upper Corner Frequency = 162.0 MHz  
Pass Band Ripple = 1.000 dB



Sat May 28 09:39:53 2011

Рисунок 1 – Расчетная модель полосового фильтра

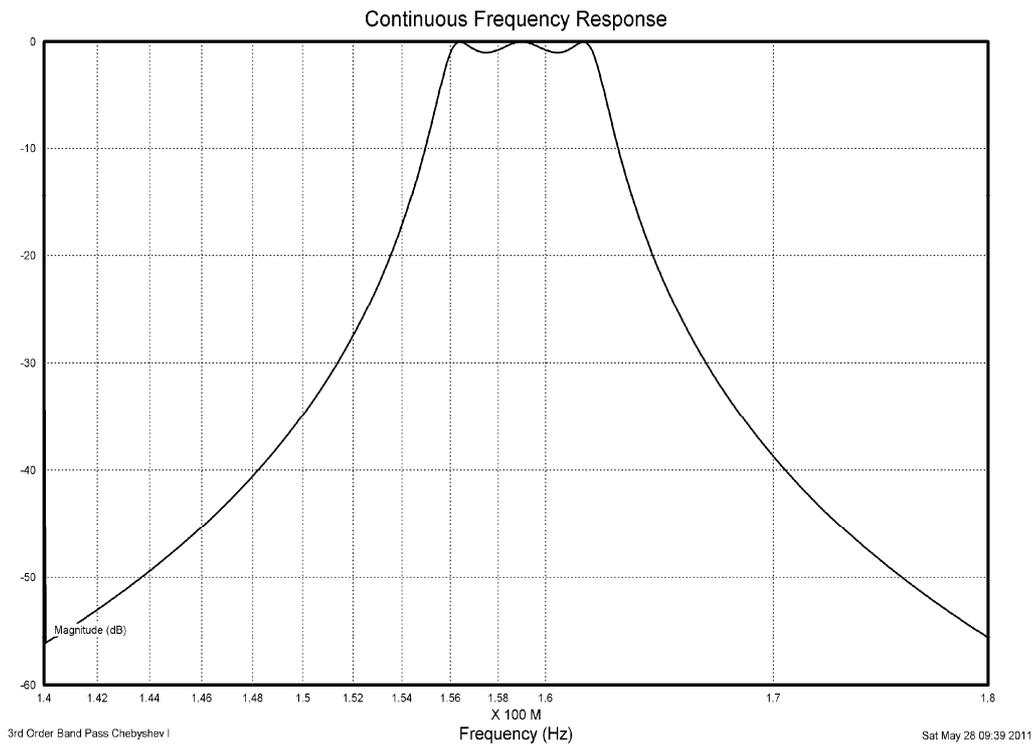


Рисунок 2 – Амплитудно-частотная характеристика рассчитанного фильтра

В ходе данной работы был рассчитан фильтр промежуточных частот рабочего диапазона для проектируемого радиоприёмника на основе супергетеродина с двумя преобразованиями частоты.

## РАСЧЕТ АНТЕННЫ ПВ ДИАПАЗОНА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MMANA

С.А. Михайлов, д.т.н., профессор  
А.В. Терзи, курсант

Одесская национальная морская академия

Главная особенность программы MMANA - это практически единственное и бесплатное компьютерное средство моделирования метода моментов (NEC) на русском языке. Программа компьютерного моделирования антенн MMANA JE3NHT разработана в 2000 году, причем первоначально - на японском языке. Русская и английская версии, а также их развитие и дополнение появились в 2001...2002 г.

Что может программа:

- Анализировать произвольный набор проводов в качестве антенны
- Рассчитывать все возможные параметры антенны
- Единый подход к расчету всех антенн обеспечивает корректность и универсальность
  - Нарисовать антенну очень просто - мышкой во встроенном редакторе с интуитивно ясным интерфейсом
  - Крайне полезная возможность автоматической оптимизации по множеству параметров и критериев
  - Объем программа невелик (около 500 кБ вместе с большой библиотекой антенн).

В первом пункте программы приведены такие исходные данные как:

Частота – 2182 кГц,  
Длина стороны – 34 (м),  
Материал – медь,  
Диаметр провода – 4 (мм),  
Почва – чернозем,  
Высота над уровнем земли – 10 (м).

Выбрав пункт Вид можно посмотреть внешний вид в трехмерном пространстве описанной нами антенны и распределение сегментов и токов по ней. Последнее возможно только после предварительного проведения расчета в пункте Вычисления [1].

В окне Вычисления производятся установки условий расчета, выводится ход расчета и окончательные результаты. Закончив ввод описания антенны и нажав кнопку Пуск мы получим результаты расчета.

Результаты расчетов и моделирования выводятся в следующем формате (по столбцам):

- Freq MHz – частота
- R – активная часть входного сопротивления, Ом

- $jX$  – реактивная
- SWR – КСВ
- $G_h$  – усиление относительно полуволнового диполя (дБд).
- $G_a$  dBi – усиление к изотропному излучателю (для свободного пространства на 2,15 дБ больше, чем  $G_h$ ).
- F/B db – отношение уровней излучения вперед/назад.
- Elev. – зенитный (вертикальный) угол, под которым расположен максимум излучения антенны
- Земл – тип земли
- Высота – высота антенны в метрах над землей
- Пол. – поляризация антенны – горизонтальная или вертикальная.

В последнем окне программы изображены разными цветами диаграммы направленности (кривые 1, 2, 3 на рис.1) антенны для всех частот (шагов сетки) в рассчитанной полосе, а также табличку изменения основных параметров [1].

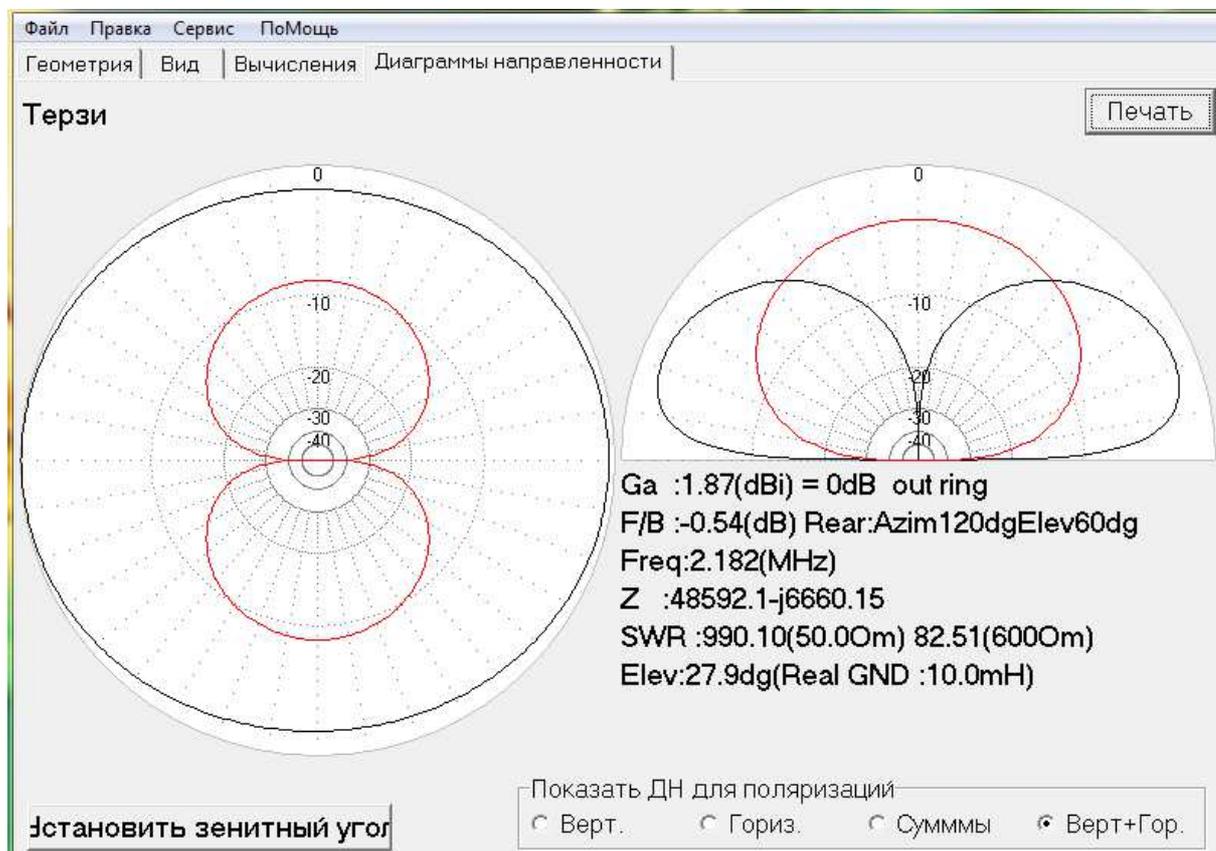


Рисунок 1- Пример изображения диаграммы направленности

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко И. В «Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MNA». - М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио». 2002 — 80 с.

## МЕТОДОЛОГІЯ СИНТЕЗУ ДЖЕРЕЛА ОПОРНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ СУДНОВОЇ РЕА

[В.А.Бойко], к.т.н., доцент

С.А.Михайлов, д.т.н., професор

А.М.Драгіч, курсант

Одеська національна морська академія

Сучасна суднова радіоелектронна апаратура (РЕА) характеризується високою складністю і функціональністю. Саме тому, особливого значення набувають експлуатаційна надійність і стабільність параметрів РЕА, які, значною мірою, залежать від надійності і стабільності джерел живлення [1]. Метою даної роботи є створення малогабаритного і універсального генератора для джерела безперервного живлення, на прикладі котрого розглянуті основні питання синтезу опорного сигналу цифровим методом.

Синтез опорного сигналу може бути виконаний одним з найпоширеніших методів, до яких відносять: прямий аналоговий синтез, непрямий синтез на основі фазового автоматичного підстроювання частоти, прямий цифровий синтез та гібридний синтез, що представляє собою комбінацію декількох вище вказаних методів [2]. Генератори, що використовують прямий аналоговий синтез прості, але не задовольняють умовам проектування, тому що у прямому аналоговому синтезі відсутній процес корекції помилки. Цифровий синтез має виключно високий дозвіл по частоті і фазі, що має значення в умовах необхідності отримання зразкового синусоїдального сигналу з фіксованою частотою. Цифрові синтезатори також забезпечують досить малий рівень фазових шумів, порівняно з непрямим синтезом частоти. Для корекції синусоїдального сигналу тактові імпульси для ЦАП генеруються з використанням систем на основі ФАПЧ [3].

Структурна схема розробленого джерела опорного сигналу приведена на рис.1.

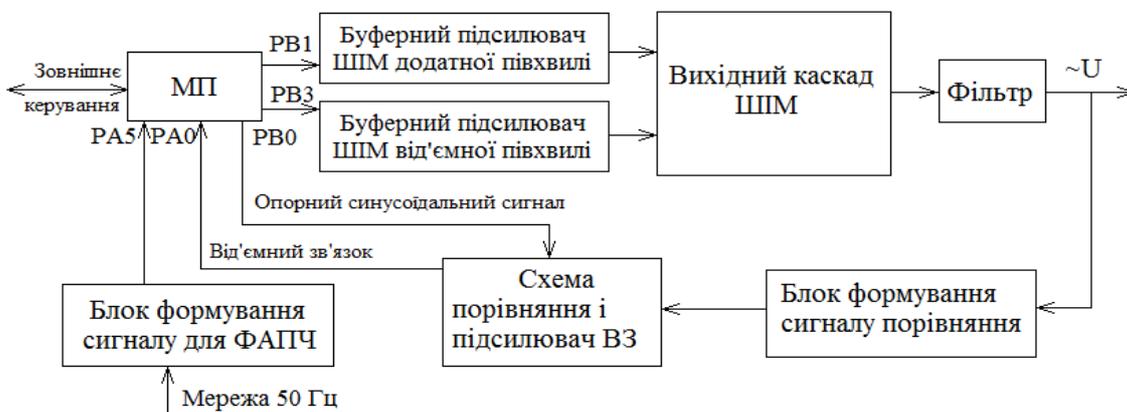


Рисунок1 – Структурна схема джерела опорного синусоїдального сигналу

Для формування сигналів управління використаний розвинутий сучасний мікропроцесор з можливістю оперативної зміни програми управління ATtiny26.

У роботі виконані розрахунки параметрів сигналів управління, розроблений алгоритм формування сигналів управління силовими ключами ДБЖ і ініціалізації режиму ШІМ. На основі проведених розрахунків розроблена принципова схема генератора і алгоритм формування ШІМ сигналів. Топологія друкованої плати пристрою виконана в програмному пакеті OrCAD.

Проектований пристрій реалізований на макеті. За допомогою цифрового осцилографа були проведені вимірювання синусоїдального вихідного сигналу опорного генератора і еталонних синусоїдальних імпульсів.

На рис.2 представлена форма вихідної напруги генератора.

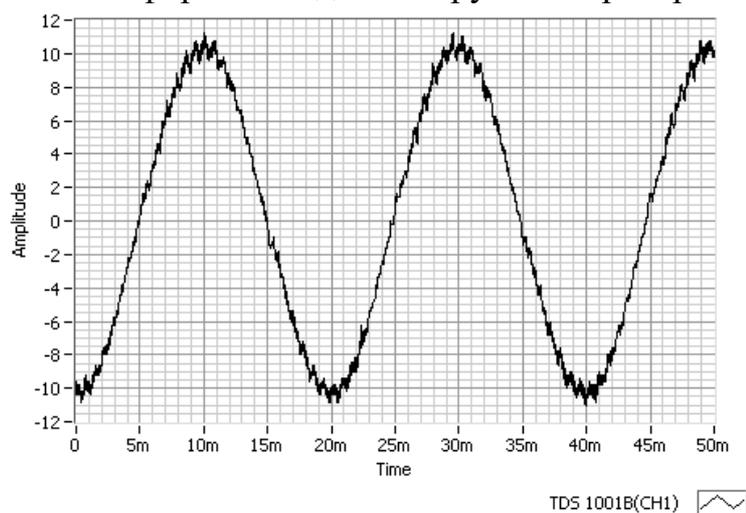


Рисунок 2 – Форма вихідної напруги генератора

Період коливання синусоїдального сигналу і його амплітуда дорівнюють:  
 $T=20\text{мкс}$ ,  $U=10\text{ В}$ .

Сучасні цифрові генератори можна з певністю вважати дуже перспективними приладами. Стрімкий розвиток мікроелектроніки, аналогової і цифрової мікросхемотехніки, мікропроцесорної і комп'ютерної техніки робить істотний вплив на розвиток техніки генераторів опорних сигналів, як з точки зору різкого збільшення функціональних можливостей, так і з точки зору поліпшення їх експлуатаційних показників. Сучасні цифрові синтезатори використовують субмікронну CMOS-технологію, трьохвольтову логіку, мініатюрні корпуси. Одночасно постійно знижуються ціни на них. Все це відкриває необмежені можливості щодо постійного удосконалення і спрощення методології синтезу опорних сигналів цифровим методом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Костиков В.Г., Парфенов Е.М., Шахнов В.А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 344 с.: ил.
2. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи. - М.: Радио и Связь, 1991 - 264 с.
3. <http://ra3ggi.qrz.ru/UZLY/dds.htm> Леонид Ридико "Компоненты и технологии" № 7 2001.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПЕКТРА ОДИНОЧНОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО РАДИОИМПУЛЬСА, МАНИПУЛИРОВАННОГО ПО ФАЗЕ КОДОМ БАРКЕРА

В.В. Сергеев, к.т.н., доцент

С.Ю. Решевских, курсант

Одесская национальная морская академия

Изучение фазоманипулированных радиоимпульсов (ФМ) и их спектров является одной из задач учебной дисциплины «Сигналы и процессы в радиотехнике». Аналитическое выражение для одиночного ФМ радиоимпульса имеет вид

$$S(t) = \begin{cases} S_m \cos[\omega_0 t + \psi(t)], & \text{при } 0 < t < \tau_u \\ 0, & \text{при } t < 0, t > \tau_u \end{cases}. \quad (1)$$

Здесь  $\tau_u = m\tau_0$  – длительность ФМ радиоимпульса;

$\tau_0$  – длительность одного парциального (элементарного) радиоимпульса (дискреты);

$\omega_0$  – угловая несущая частота;

$\psi(t)$  – закон фазовой манипуляции (изменения начальных фаз парциальных радиоимпульсов);

$S_m$  – амплитуда ФМ радиоимпульса.

Целью настоящей статьи является совершенствование методики расчета спектральной плотности одиночного прямоугольного радиоимпульса, манипулированного по фазе кодом Баркера. Она позволит в дальнейшем получить аналитические выражения для амплитудных спектров  $S(\omega)$  ФМ сигналов в виде, наиболее удобном для последующего анализа и расчета на ЭВМ.

Сущность предлагаемой методики состоит в том, чтобы обобщить результаты работ [1] и [2] и представить спектральную плотность  $S(j\omega)$  в виде произведения двух комплексных функций

$$S(j\omega) = S_1(j\omega) \cdot F(j\omega), \quad (2)$$

где  $S_1(j\omega)$  – спектральная плотность первого парциального радиоимпульса;

$F(j\omega)$  – множитель системы – комплексная функция частоты  $\omega$ .

Спектральная плотность  $S_1(j\omega)$  первого парциального радиоимпульса при начале отсчета времени, совпадающим с центром импульса, является вещественной функцией частоты  $\omega$  и определяется соотношением [1]:

$$S_1(j\omega) = \frac{S_m \cdot \tau_0}{2} \cdot \frac{\sin \frac{(\omega - \omega_0)\tau_0}{2}}{\frac{(\omega - \omega_0)\tau_0}{2}}. \quad (2)$$

Множитель системы  $F(j\omega)$  – функция, независимая от формы одиночного радиоимпульса и определяемая числом парциальных радиоимпульсов  $m$ , их длительностью  $\tau_0$ , а также законом фазовой манипуляции  $\psi(t)$ .

Например, для 7-ми элементного ( $m = 7$ ) ФМ радиоимпульса, манипулированного по фазе кодом Баркера, т.е. имеющего закон фазовой манипуляции (закон изменения начальных фаз):

$$\psi(t) = [\psi_1 = 0, \psi_2 = 0, \psi_3 = 0, \psi_4 = \pi, \psi_5 = \pi, \psi_6 = 0, \psi_7 = \pi], \quad (3)$$

аналитическое выражение для множителя системы  $F(j\omega)$  имеет вид

$$F(j\omega) = 1 + e^{-j(\omega-\omega_0)\tau_0} + e^{-2j(\omega-\omega_0)\tau_0} - e^{-3j(\omega-\omega_0)\tau_0} - e^{-j(\omega-\omega_0)4\tau_0} + e^{-j(\omega-\omega_0)5\tau_0} - e^{-j(\omega-\omega_0)6\tau_0}. \quad (4)$$

Для упрощения последующих расчетов введем новую переменную  $x = (\omega - \omega_0)\tau_0$  и представим множитель системы  $F(j\omega)$  для семиэлементного ФМ радиоимпульса в виде

$$F(j\omega) = F(jx) = 1 + e^{-jx} + e^{-j2x} - e^{-j3x} - e^{-j4x} + e^{-j5x} - e^{-j6x}. \quad (5)$$

Последующей задачей является приведение функции  $F(j\omega) = F(jx)$  к виду, наиболее удобному для последующего анализа и расчета. Для этого предлагается вынести за скобки центральный член  $e^{-j3x}$  в исследуемой функции  $F(jx)$  и, применяя формулы Эйлера  $\sin \alpha = \frac{e^{j\alpha} - e^{-j\alpha}}{2j}$  и  $\cos \alpha = \frac{e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}}{2}$ , получить слагаемые, содержащие тригонометрические функции синуса и косинуса угла  $x$ .

Так для исследуемой функции  $F(jx)$  получаем

$$F(jx) = e^{-j3x} [e^{j3x} + e^{j2x} + e^{jx} - 1 - e^{-jx} + e^{-j2x} - e^{-j3x}] = e^{-j3x} [(2 \cos 2x - 1) + 2j(\sin 3x + \sin x)]. \quad (6)$$

При этом модуль множителя системы равен

$$F(x) = |F(jx)| = \sqrt{[2 \cos 2x - 1]^2 + 4[\sin 3x + \sin x]^2}, \quad (7)$$

или после ряда преобразований

$$F(x) = \sqrt{1 + 4 \sin^2 x + 4 \sin^2 2x + 4 \sin^2 3x}. \quad (8)$$

Переходя от переменной  $x$  к переменной  $\omega$ , получим расчетное соотношение для спектральной плотности исследуемого сигнала и его амплитудного спектра

$$S(\omega) = |S(j\omega)| = S_1(\omega) \cdot F(\omega) = S_1(\omega) \cdot \sqrt{1 + 4 \sin^2(\omega - \omega_0)\tau_0 + 4 \sin^2 2(\omega - \omega_0)\tau_0 + 4 \sin^2 3(\omega - \omega_0)\tau_0}. \quad (9)$$

Полученное соотношение является наиболее удобным для анализа спектра данного вида ФМ сигнала и последующего его расчета на ЭВМ. Предложенный подход может быть обобщен и на остальные более сложные виды ФМ сигналов, манипулированных кодами Баркера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Радиотехнические цепи и сигналы. Примеры и задачи: Учеб. Пособие для вузов/Г.Г. Галуштов, И.С. Гоноровский, М.П. Демин и др.; Под ред. И.С. Гоноровского. – М.: Радио и связь, 1989. – 248 с.: ил.
2. Денисенко А. Н. Сигналы. Теоретическая радиотехника. Справочное пособие. - М: Горячая линия - Телеком, 2005. - 704 с: ил.

УДК 621.396.327

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ ОДИНОЧНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

В.В. Сергеев, к.т.н., доцент

В.В. Дерменжи, курсант

Одесская национальная морская академия

Модель одиночного (непериодического) радиоимпульса является наиболее предпочтительной при анализе импульсных радиолокационных систем (РЛС) с большой скважностью излучения ( $q \gg 1$ ). Под скважностью  $q$  понимается отношение периода повторения (следования) радиоимпульсов  $T_u$  к их длительности  $\tau_u$ . Одним из основных энергетических параметров одиночных сигналов является энергия  $\mathcal{E}$ , выделяемая радиосигналом в единичном сопротивлении за время его существования, т.е. длительности  $\tau_u$  [1]:

$$\mathcal{E} = \int_0^{\tau_u} s^2(t) dt. \quad (1)$$

Проведем сравнительный анализ энергии и мощности одиночных радиоимпульсов различной формы: прямоугольного радиоимпульса  $s_1(t)$ , симметричного треугольного радиоимпульса  $s_2(t)$  и радиоимпульса косинусоидальной формы  $s_3(t)$  при условии равенства значений их параметров: амплитуды  $S_m$ , длительности  $\tau_u$  и несущей частоты  $\omega_0$ . Для упрощения математических выкладок будем полагать, что начало отсчета времени совпадает с центром радиоимпульса. Тогда функции  $s(t)$ , описывающие данные сигналы, являются четными функциями времени:

$$s_1(t) = \begin{cases} S_m \cos \omega_0 t, & \text{при } 0 \leq |t| \leq \frac{\tau_u}{2}, \\ 0, & \text{при } |t| > \frac{\tau_u}{2}. \end{cases}$$
$$s_2(t) = \begin{cases} S_m \left(1 - \frac{2|t|}{\tau_u}\right) \cos \omega_0 t, & \text{при } 0 \leq |t| \leq \frac{\tau_u}{2}, \\ 0, & \text{при } |t| > \frac{\tau_u}{2}. \end{cases} \quad (2)$$

$$s_3(t) = \begin{cases} S_m \cos \Omega t \cos \omega_0 t, & \text{при } 0 \leq |t| \leq \frac{\tau_u}{2} \\ 0, & \text{при } |t| > \frac{\tau_u}{2}. \end{cases}, \quad \text{при этом } \Omega \ll \omega_0.$$

Подставляя последовательно значения функций (2) в формулу (1) и выполняя операции интегрирования на временном интервале  $[-\tau_u/2, +\tau_u/2]$  после ряда несложных преобразований получим значения энергии:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{1}{2} S_m^2 \cdot \tau_u - \text{прямоугольного радиоимпульса}; \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_2 = \frac{1}{6} S_m^2 \tau_u - \text{треугольного радиоимпульса}; \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_3 = \frac{1}{4} S_m^2 \cdot \tau_u - \text{радиоимпульса косинусоидальной формы}. \quad (5)$$

Для последнего сигнала – радиоимпульса косинусоидальной формы, под длительностью импульса  $\tau_u$  следует понимать полупериод огибающей в виде низкочастотного колебания, т.е. значение  $\tau_u = \frac{T}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Omega}{2\pi}$ . Соответственно, пределы интегрирования устанавливаются равными  $[-T/4, +T/4]$ .

Для получения соотношений (3...5) при проведении интегрирования также учтено известное тригонометрическое преобразование  $\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$ , что позволило исключить из результата гармонику удвоенной частоты  $2\omega_0$  и учесть лишь низкочастотные составляющие.

Сравнение соотношений (3...5) показывает, что при одинаковых значениях длительности импульса  $\tau_u$  и амплитуды  $S_m$  наибольшей энергией обладает прямоугольный радиоимпульс; косинусоидальный радиоимпульс имеет в два раза меньшую энергию, а энергия треугольного радиоимпульса в три раза меньше, чем у прямоугольного. Поэтому, применение в РЛС прямоугольных радиоимпульсов является наиболее выгодным с энергетической точки зрения, что и реализуется на практике в судовых навигационных РЛС.

Отношение энергии радиоимпульса  $\mathcal{E}$  к его длительности  $\tau_u$  характеризует среднюю мощность  $P_{cp}$  сигнала, выделяемую в единичном сопротивлении. Как следует из формулы (3), она также имеет наибольшее значение для прямоугольного радиоимпульса

$$P_{cp1} = \frac{\mathcal{E}_1}{\tau_u} = \frac{1}{2} S_m^2 = S^2,$$

где  $S = \frac{S_m}{\sqrt{2}} \approx 0,7 S_m$  – действующее значение колебания на несущей частоте  $\omega_0$ .

Повышение энергетического потенциала РЛС, необходимое для обнаружения скоростных, малоразмерных объектов, за счет увеличения энергии излучаемого сигнала реализуется путем увеличения его средней мощности или за счет увеличения длительности  $\tau_u$ . В последнем случае ухудшается разрешающая способность РЛС по дальности [2]. Хорошим компромиссным решением при

ограниченной мощности излучения является применение зондирующих радиоимпульсов с внутриимпульсной линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) или фазовой манипуляцией (ФМ) и обработкой отраженных от объектов сигналов специальными устройствами – согласованными фильтрами. В результате реализуется требуемая дальность обнаружения объектов без ухудшения разрешающей способности РЛС по дальности [3]. Как недостаток следует отметить усложнение конструкции приемно-передающего тракта РЛС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: «Сов. Радио», 1977. – 608 с., ил.
2. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с., ил.
3. Лёзин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем: Учеб. пособие для вузов. – М. Радио и связь, 1986. – 280 с., ил.

УДК 681.518.5

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОГО МОДУЛЯ ОПОВЕЩЕНИЯ НА УДАЛЕННОМ ОБЪЕКТЕ

В.А. Завадский, к.т.н., профессор  
О.И. Дума, аспирант

В современном мире вопрос безопасности один из самых актуальных и наболевших. Обеспечение безопасности – сфера требующая современного технического обеспечения и значительных затрат человеческие ресурсы. Данная работа направлена на то, чтобы минимизировать функции оператора, диспетчера.



Рисунок 1 – Контроллер построен на ATmega328

Аппаратно данная система выполнена на основе элементов компании Tosduino а также ряда ведущих производителей электрорадиоэлементов.

Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB, либо подать питание при помощи адаптера AC/DC или батареи.

Что касается аппаратной части, то хотелось бы отметить одну деталь: данные с трех датчиков передаются не как советуют производители – по цифровому каналу (по одному датчику на канал), а сразу три по одному аналоговому, используя делители напряжения (рис. 2).

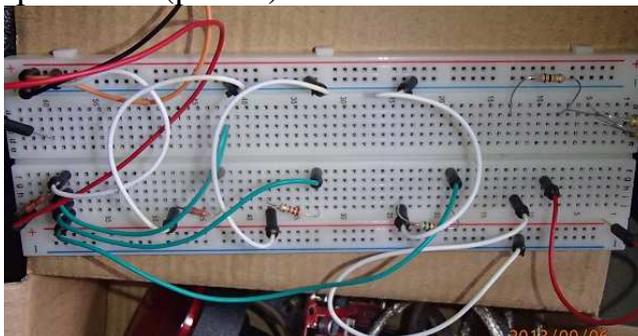


Рисунок 2 – Вид делителя напряжения для подключения 3-х датчиков движения к одному аналоговому порту МК, собранного на макетной беспаячной плате.

Таким образом общее максимальное количество подключаемых подобных датчиков может достигать 12 (при 4-х задействованных портов, т.к. 2 из 6 аналоговых портов МК Tosduino необходимы для функционирования GSM/GPRS модуля). Листинг инициализации (функция void Setup()) на языке Processing/Wired приведен ниже (Листинг 1):

Листинг 1. Начальные переменные и инициализация прошивки МК стенда PIR/GSM системы сигнализации.

```
//#25-NOV-2013#by Duma O.I.  
//ver 0010 - total redesign  
#include "SIM900.h"  
#include <SoftwareSerial.h>  
#include "sms.h"  
#include "call.h"  
  
CallGSM call;  
MSGSM sms;  
char number[20];  
char smsbuffer[160];  
byte stat=0;  
int value=0;  
int pin=1;  
boolean DBUQ = true; //DEBUG  
void setup()  
  
...  

```

Также приводим часть программного кода циклически-исполняемой части прошивки МК

Листинг 2. Циклически выполняемая («следящая») функция МК void Loop – основной процесс.

```
void loop()  
{  
int a = 0;  

```

```

int AnVal = 0; //Analog value (0...1024) for voltage between GND and A5
String T = "";

//DETECTORS CHECK PART
AnVal = analogRead(5); // get the analog value
Serial.println(strCaseNamer(a));

```

Таким образом, при запуске получаем в мониторе порта МК следующий текст:

```

Init detector on pin 7.
30 sec. timeout for detector initializing.
Timeout over.
GSM Shield testing.
status=READY
SMS 'GSM READY' sent OK
Loop! Started=1
Check balance
GetBalanceResponse answer is...Checking GetATCommResponse()
All data obtained. Total string is CUSD: 0,"Na rahunku: ***.69 grn. Info
pro bonusu na *112# i *119#.",4
CUSD: 0,"Na rahunku: ***.69 grn. Info pro bonusu na *112# i *119#.",4
Check GetBalance function

```

Данный лог показывает, что система запущена и стала успешно на дежурство.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Arduino Internals, Dale Wheat Book Description Publication Date: November 16, 2011 Edition: 1
2. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry Jeremy Blum (Author) Book Description Publication Date: July 22, 2013 Edition: 1
3. Дж. Форсье, П. Биссекс, У. Чан - Django. Разработка веб-приложений на Python 2010 Издательство: Символ-Плюс, 456 стр.
4. Макс Шлее - Qt 4.5. Профессиональное программирование на C++. 2010г. Издательство: БХВ-Петербург, 896 стр.

УДК 681.518.5

### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО МОДУЛЯ СИГНАЛИЗАЦИИ НА УДАЛЕННОМ ОБЪЕКТЕ**

В.А.Завадский, к.т.н., профессор  
Д.А.Захарченко, аспирант

В данное время, все больше и больше набирают популярность автономные охранные системы, а также прочие системы удаленной сигнализации. В работе предлагается разработка системы автономного модуля сигнализации на удаленном объекте, с использованием инфракрасных датчиков и платы-расширения для использования передачи данных по GSM каналу (т.н. PIR/GSM-сигнализация). Разработка и построение данного стенда, была обу-

словлена необходимостью получения, в результате слияния проектов единой автономной системы с минимальным вмешательством человека-оператора и самого процесса детектирования объектов в поле сканирования. Стенд представляет собой законченное практическое решение – достаточно простая, построенная на широкодоступных элементах, охранная система с оповещением о проникновении (а в данной реализации и о пожаре) на объект, посредством SMS-сообщений («SMS» – «Short Messaging Service»).

В этом проекте использованы такие элементы, как совместимый с Arduino UNO R3 его клон от компании Tosduino – Tosduino UNO R3 (несмотря на кажущуюся противозаконность этого производства, благодаря самой философии Arduino, данное не является пиратством; более того, даже в самой этой модели-«клоне» есть некоторые, пусть и незначительные, но усовершенствования оригинала, касающиеся, в первую очередь, силовой части и подбором более стабильной к нагрузкам элементной базы), а также плату расширения для первого – Arduino-совместимый модуль «LinkSprite SIM900 GSM/GPRS Shield» (рис. 1). Как видно из названия, в качестве радиомодуля, производителем был выбран чип SIM900, производства компании SimCom, ставшим достаточно популярным за короткий промежуток времени в данном сегменте, встраиваемых в любительские и полупрофессиональные мелкосерийные решения, GSM-модулей.



Рисунок 1 – Внешний вид платы LinkSprite SIM900 GSM/GPRS Shield

В качестве ИК-сенсоров, ввиду однозначности выбора элементной базы (текущий лидер рынка – сенсор D203S с популярным операционным усилителем LM324N, см. рис. 2), но неоднозначности – готового для встраивания и подключения модуля, наш выбор пал на промышленно выпускаемый датчик движения от компании De Luxe (модель YCA1021, рис. 3). При определенном преобразовании, он вполне может питаться от тока постоянного напряжения с величиной от 3 до 9 вольт, что уже присутствует на самой плате микроконтроллера.

лера Tosduino UNO R3. Хотя на данном этапе, изменениям подверглась лишь часть, отвечающая за вывод сигнала срабатывания датчика.

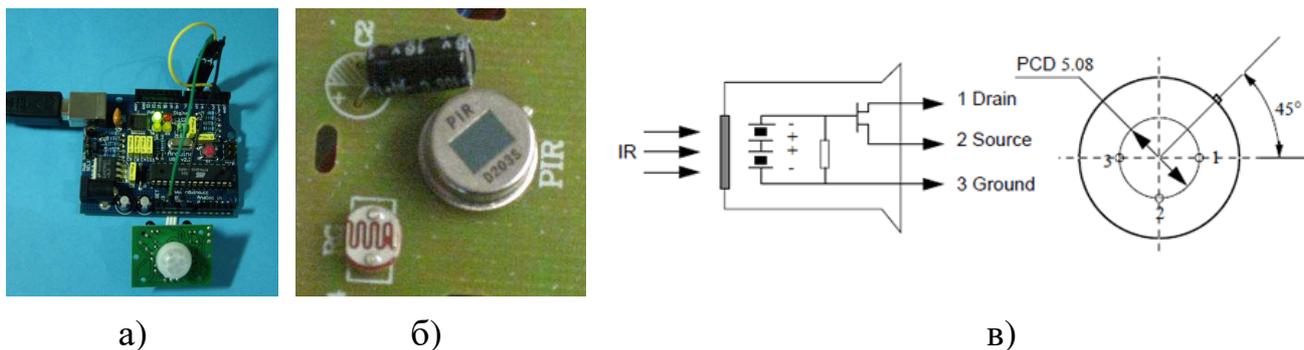


Рисунок 2 – Сенсор D203S: а) в составе готового решения – выносной платы, подключенной к МК Arduino; б) внешний вид самого сенсора на плате; в) распиновка сенсора



Рисунок 3 – Датчик движения De Luxe YCA1021 в разобранном виде

Что касается аппаратной части стенда, то хотелось бы отметить одну деталь: данные с трех датчиков движения передаются не как советуют производители – по цифровому каналу (по одному датчику на канал), а сразу три по одному аналоговому

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оригинальное название: Arduino: Mikrocontroller-Programmierung mit Arduino/ Freeduino, 2010 г. Автор: Улли Соммер Переводчик: Виктор Букирев Издательство: БХВ-Петербург 2012 г.
2. Массимо Банци: Arduino для начинающих волшебников Переводчик: Райтман М. Редактор: Федосова И. Издательство: Рид Групп, 2012 г
3. Arduino Cookbook M. Margolis — O'Reilly Media (2011) — 662 pages
4. Arduino Internals, Dale Wheat Book Description Publication Date: November 16, 2011 Edition: 1

## ВЫБОР АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИДЕАЛЬНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор  
Л. Н. Сукач, курсант  
Одесская национальная морская академия

Использование импульсных сигналов в морской радиолокации имеет свои недостатки, такие как высокая пиковая мощность излучения, что негативно отражается на здоровье членов экипажа судна и состоянии окружающей среды. Одним из возможных способов борьбы с ними является использование непрерывных сигналов, в частности фазоманипулированных, позволяющих существенным образом снизить пиковую мощность излучения и тем самым улучшить условия работы моряков и повысить экологическую безопасность. За счет увеличения длительности такие сигналы имеют малую мощность и, следовательно, безопасны для окружающих, а также обладают лучшими свойствами по электромагнитной совместимости, что принципиально важно для судовой радиоэлектроники.

В данной работе оценивается выигрыш от использования амплитудной модуляции дискретных фазоманипулированных последовательностей и потери в отношении сигнал/шум относительно согласованной обработки.

С помощью метода совместной оптимизации сигнала и фильтра с учетом дополнительных ограничений на постоянную разрешения по времени синтезируем пару «сигнал-фильтр». Все задачи оптимизации рассмотрены для класса дискретных сигналов и фильтров соответственно с комплексными огибающими:

$$S(t) = \sum_{n=1}^N S_n p(t - nt_0), \quad (1)$$

$$W(t) = \sum_{m=1}^M W_m p(t - nq_\phi T_0), \quad (2)$$

где

$$p(t - mZ) = \begin{cases} 1, & 0m - 1Z \leq t \ll mZ, \\ 0, & \text{при других } t; \end{cases}$$

$S_n = |S_n| e^{i(i_n)}$ ,  $W_m = |W_m| e^{i(i_m)}$  – комплексные весовые коэффициенты сигнала и фильтра.

Численный метод решения задачи определения фильтра при заданном сигнале заключается в получении семейства решений линейного интегрального уравнения представлено в [1].

Задача совместного определения сигнала и фильтра приводит к системе интегральных уравнений [1], для решения которых используется итерационный

метод, то есть для сигнала находим фильтр, для фильтра сигнал и данный процесс продолжается до тех пор, пока не произойдет замыкание.

Для м-последовательности при  $N=3$  и  $N=7$  были рассчитаны весовые коэффициенты и сечения взаимной функции неопределенности (ВФН) по формуле:

$$R_{kl} = \sum_{n=0}^N W_n^* \cdot e^{i2\pi f n T_0} S_{(n-k) \bmod N} \quad (3)$$

Для получения идеальной корреляционной функции к исходным сигналам добавляем амплитуду  $a$ , которая рассчитывается по упрощенной формуле:

$$a = \frac{1}{N} \pm \sqrt{\frac{1}{N^2} + \frac{1}{N}} \quad (4)$$

И получили следующие сигналы, на примере  $N=3$  [2 0 0] и [1 -2 -2].

Потери в отношении сигнал/шум рассчитываем по формуле:

$$\rho = \frac{(W^* S)^2}{W^* W \cdot S^* S} \quad (5)$$

где  $S, W$  – комплексные амплитуды сигнала и фильтра соответственно.

А соотношения сигнал/помеха рассчитываем, используя следующее выражение:

$$\sigma = \frac{|W^* S|^2}{W^* R W} \quad (6)$$

Исходя из полученных результатов (табл.1), можно сказать, что синтез сигналов с применением амплитудной модуляции позволяет обеспечить полное подавления боковых лепестков с меньшими потерями в отношении сигнал/шум, по сравнению с м-последовательностью.

Таблица 1

	м-последовательность		Оптимизированный сигнал	
	$\rho$	$\sigma$	$\rho$	$\sigma$
$N=3$	0,7	1	1	1
$N=7$	0,6	1	1	1

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Кошевой, М. Б. Свердлик, Радиотехника и электроника, 1976, №6
2. В. П. Ипатов. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения – В.: Техносфера, 2007, - 488 с.

Наукове видання

Матеріали  
науково-методичної конференції

**"Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки"**

11.12.2013 – 12.12.2013

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

Підп. до друку 30.12.2013. Формат 60×84/16. Папір офсет.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 8,13.  
Тираж 100 пр. Зам. № И14-04-02.

Одеська національна морська академія  
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8  
тел./факс: (0482) 34-14-12  
[publish-r@onma.edu.ua](mailto:publish-r@onma.edu.ua)

Свідоцтво субекта видавничої справи  
ДК № 1292 от 20.03.2003