

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»



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

МАТЕРІАЛИ

науково-методичної конференції

"АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І РАДІОТЕХНІКИ"

29.11. 2016 – 30.11. 2016



Одеса – 2016

У збірнику матеріалах конференції розміщено тези доповідей, які заслуховувались на пленарних та секційних засіданнях науково-методичної конференції "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", що відбулась 29-30 листопада 2016 року в Національному університеті «Одеська національна морська академія».

Тематика конференції охоплює наступні науково-методичні напрямки: електрозбереження в суднової енергетиці, 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", 29.11.2016 - 30.11.2016.– Одеса: НУ «ОМА», 2016. – 156 с.

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

Організатори:

Факультет електромеханіки та радіоелектроніки
Національного університета «Одеська морська академія»,
Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технології
Великобританії (IMarEST)

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

В.С. Луковцев

Итоги приемно-вступительной компании 2016 года на факультете электро-механики и радиоэлектроники..... 8

С.А. Михайлов

Сетевой график подготовки доктора философии..... 11

В.М. Кошевой

Итоги работы украинской делегации по вопросу повышения эффективности УКВ радиосвязи на 97 сессии КБМ..... 13

В.В.Будашко, О.В.Глазева, С.Ф.Самонов

Концептуалізація досліджень силових гібридних електроенергетичних комплексів..... 15

СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

В.С. Луковцев, Н.О.Кулиш

Результаты исследования режима работы электроэнергетической системы с пониженными параметрами..... 24

В.С. Луковцев, Р.И. Куделькин

Разработка аппаратно-программного комплекса для измерения вращающего момента асинхронных электродвигателей..... 26

В.В.Бушер, И. Г. Бондарь

Исследование имитационной модели судовых дизель-генераторов для работы в SCADA..... 28

В.Ф. Шапо

Беспроводные сети передачи данных LORA..... 29

С.Ф. Самонов, О.В. Глазева, В.А. Дубовик, В.Б. Власов

Повышение эффективности электрогенерирующих систем транспортных судов..... 34

<i>Е.В.Вербицкая</i> Нейросетевая аппроксимация экспериментальных данных.....	37
<i>В. С. Петрушин, В. Е. Загоруйко</i> Дослідження та оптимізація регульованого асинхронного кранового електроприводу балкера.....	39
<i>В.С. Луковцев, Е.А. Босый</i> Повышение эффективности защиты от короткого замыкания в судовых высоковольтных сетях.....	41
<i>В.В. Бушер, С.А. Перерва</i> Разработка автоматизированной системы согласованного управления электроприводами контейнерного перегружателя.....	43
<i>В.Г.Донской, П.О.Почивалов</i> Повышение эффективности системы распределения реактивной мощности..	46
<i>И.М. Гвоздева, В.А. Мягков</i> Экспериментальные исследования динамических процессов асинхронных двигателей.....	48
<i>В.С.Петрушин, О.В.Омельянченко</i> Дослідження та оптимізація роботи регульованого електроприводу компресора рефрижераторного контейнера	50
<i>И.М. Гвоздева, В.О.Берест</i> Исследование систем резервного энергоснабжения на возобновляемых источниках и ее взаимодействие с СЭЭС.....	52
<i>В.С. Луковцев, Н.О.Кулиш</i> Повышение эффективности защиты судовых синхронных генераторов от перегрузки.....	54
<i>А.О. Дранкова, А.И.Шестака, О.П.Синюченко</i> Применение активных интеллектуальных выпрямителей-фильтров в многодвигательных судовых системах с частотным управлением.....	56
<i>В.С.Петрушин, П.І.Куємжи</i> Моделювання гребної електричної установки змінного струму з трьохобмотковим трансформатором гідрографічного судна.....	59

<i>М.Й.Муха, А.В.Рябошанко</i> Дослідження прямого управління моментом електроприводу підрулюючого пристрою на лабораторній установці.....	62
<i>В.Б.Власов, И.С.Слободянюк</i> Простое зарядное устройство литий-ионных аккумуляторов	66
<i>А.О.Дранкова, А.І. Шестака, І.І.Красовський</i> Підвищення якості електроенергії суднової високовольтної мережі з нелінійним навантаженням.....	68
<i>А.О.Дранкова, С.С.Михайков</i> Анализ гармонических составляющих силовой сети дизель-электрохода при различных режимах работы пропульсивной установки.....	75
<i>В.А.Шевченко, Б.О.Печевистый</i> Способ верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией.....	78
<i>В.В.Бушер, М.З.Волков</i> Удосконалена модель системи керування електроприводами баштового крану.....	81
<i>В.В.Бушер, Ю.В.Єр'омін</i> 3D-SCADA керування тиловим контейнерним перевантажувачем.....	84
<i>С.Ф.Самонов, В.А.Муниця</i> Определение эффективности снижения гармонических искажений в системе питания грузового компрессора танкера-газовоза.....	86
<i>М.Й. Муха, А.І. Шестака, О.О. Голубенко</i> Дослідження та розробка алгоритмів гасіння коливань вантажу контейнерного крана при керуванні моментом.....	88
<i>В.Н.Захарченко, О.В.Глазева, Ю.В.Панин</i> Фильтры симметричных составляющих токов и напряжений для исследования полнофазных и неполнофазных режимов работы сети.....	94

РАДИОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК.

<i>В.А.Завадский, Н.Ю.Бубнова</i> Модели первого и второго порядка при планировании эксперимента в радиотехнике.....	105
<i>В.А.Завадский, К. Р. Штомпель</i> Имитационное моделирование радиоэлектронных систем.....	107
<i>С.А.Михайлов, К.Р.Штомпель</i> Практика применения радиолокационных станций на морском флоте.....	108
<i>В.А.Завадский, И.И.Мустипан</i> Особенности моделирования электронных устройств средствами пакета VISION.....	110
<i>В.А.Завадский, И.И.Мустипан</i> Исследование метода системы контроля дееспособности вахтенного помощника (СКДВП).....	112
<i>В.А.Завадский, С.В. Курочкин</i> Особенности моделирования РТС средствами пакета MATLAB.....	113
<i>С.А.Михайлов, Н.Ю.Бубнова</i> Обзор судовой аппаратуры цифровой связи.....	116
<i>С.А.Михайлов, С.В.Курочкин</i> Особенности и ограничения морских электронных картографических навигационно-информационных систем.....	117
<i>С.А.Михайлов, И.И.Мустипан</i> Менеджмент ресурсов мостика (bridge resource management).....	119
<i>Ю.С. Шевцов, Г. Швец</i> Дослідження аналізу рівня експлуатаційної кібербезпеки судових інформаційних систем.....	121
<i>В.М. Кошевий, С.В. Курочкин</i> Дослідження способів та розробка протоколу зв'язку для УКХ ЦВВ на базі ЕКНІС.....	125
<i>А.В. Кочетков</i> Повышение информационной скрытности передачи неравновероятного алфавита.....	127

<i>С.М. Дранчук, С.С. Ліщенко</i> Розробка імітатора для тестування тензометричного обладнання на основі мікроконтролера AVR.....	130
<i>В.А.Завадський, Т.В.Жекова</i> Порівняльний аналіз датчиків наближення в системі охорони судна.....	132
<i>А.В.Шишкин, Д.С.Семенюк</i> Применение помехоустойчивого кодирования в ГМССБ.....	134
<i>В.А. Завадский, А.Г. Швец</i> Разработка поведенческих моделей VHDL.....	136
<i>В.М.Кошевой, Е.Л.Пашенко</i> Исследование влияния амплитудной модуляции многофазных сигналов на поведение функции неопределенности в центральной области.....	138
<i>В.М.Кошевой, В.С.Попова</i> Влияние памяти фильтра на эффективность обработки с учетом ограничения на комплементарные свойства сигналов и фильтров.....	140
<i>В.М. Кошевой, И.Я. Горшина</i> Исследование функции неопределенности дискретных сигналов и фильтров....	144
<i>В.М. Кошевой, Н.Ю.Бубнова</i> Исследование эффективности обработки дискретных сигналов.....	146
<i>В.М. Кошевой, К.Р. Штомпель</i> Оптимизация фильтра в классе дискретной структуры.....	148
<i>V.M. Koshevyu, I.Y. Gorishnaya,</i> The joint waveform and filter design for marine radar tasks.....	151
<i>В.М. Кошевой, А.А. Шевченко</i> Расчет весовых коэффициентов пространственного фильтра при равномерной и неравномерной коррекции парциальной диаграммы направленности антенной решетки.....	151
<i>С.А.Михайлов, Д.А.Салабутина</i> Комплекс заходів кібербезпеки для «хмарних технологій» на водному транспорті.....	154

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

ИТОГИ ПРИЕМНО-ВСТУПИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ 2016 ГОДА НА ФАКУЛЬТЕТЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент, декан ФЭМ и РЭ

В 2016 году в Украине была проведена необычная вступительная компания. Абитуриенты, сдавшие независимое тестирование с высокими баллами, получали бюджетные места и приносили их в вузы. И совсем неожиданно для нас на 1-й курс стационара на уровень бакалавра на базе средней школы к нам на электромеханическую специальность вместо 35 чел., как обычно, поступило всего 20 чел., из них 13 чел. на бюджет и 7 чел. на контракт. Случилось так, что все наши потенциальные абитуриенты (будущие электромеханики) поступили учиться в Одесский национальный морской университет» и в Херсонскую государственную морскую академию.

Сложившаяся ситуация делает нас заложниками и во вступительной компании следующего года, т.к. условиями приема на 2017 год разрешено увеличить прием только на 10% от приема 2016 года и пока неизвестно: можно ли нам будет вести отчет от лицензионного объема то ли от числа принятых в этом году.

Поэтому важно разобраться, почему в этом году на нашу специальность на уровень бакалавра получился большой недобор, несмотря на то, что лицензия у нас - 100 чел.

Главная причина в том, что Министерство образования и науки Украины для нашей специализации «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» в рамках специальности «Речной и морской транспорт» установило слишком высокий проходной балл (157 баллов). Это намного выше чем на нашу прежнюю специальность, «Электрические системы и комплексы транспортных средств», на которую принимали в Одесском морском университете и в Херсоне, и даже выше, чем на, считающиеся престижными, судоводительскую и судомеханическую специальности, в том числе, и на факультет автоматики, где проходной балл был всего 140.

Вторая причина: непрестижность электромеханической специальности. Учиться на электромеханической специальности очень трудно, а зарплата у судового электромеханика находится на уровне 3-го механика, к тому же на транспортных судах у электромехаников нет карьерного роста, поэтому все абитуриенты стремятся поступить на судоводительский или судомеханический факультеты.

Эта проблема существовала и на советском флоте, многие электромеханики, не удовлетворившись своей специальностью, уходили на берег или в помощники капитана по политической части. В результате шел постоянный отток высококвалифицированных кадров. Выход был найден в конце 80-х годов, когда Министерство морского флота СССР приняло решение: на всех высокоав-

томатизированных транспортных судах и на судах с мощностью электроэнергетической установки свыше 10000 кВт ввести должности старших электромехаников с оплатой труда на 10% меньше чем у старшего механика. В сегодняшних условиях такое сделать не удастся.

Третья причина: Высокая стоимость обучения в нашем университете.

Четвертая причина: Снижение уровня подготовки наших выпускников электромехаников, и формирование общественного мнения, что в нашем вузе слабая подготовка специалистов, и как результат переориентировка части круингов на выпускников морских заведений Херсона и Николаева.

Уровень подготовки действительно упал, особенно после перехода на ступенчатую подготовку бакалавр-специалист (магистр) и увеличения плавательного ценза до 12 месяцев. Дополнительное время плавания было выделено за счет сокращения теоретической подготовки. Если раньше наши выпускники «брали» своей фундаментальной подготовкой, то теперь это преимущество практически утеряно. С каждым годом теоретическая подготовка у нас сокращается, а с практической дело идет не так хорошо, как хотелось, поскольку своего флота в Украине нет, а круинги берут не всех.

В этом вопросе наши интересы и интересы круингов расходятся, Мы заинтересованы, чтобы все курсанты прошли практику на настоящих морских судах, но круинги берут только лучших, с расчетом, что они будут у них работать в дальнейшем, и потом их каждый год обкатывают, даже, если тем уже и не требуется плавательный ценз. Остальные же курсанты отбраковываются.

К сожалению, круинги завышают требования к курсантам, так вопросы, по которым они проводят собеседование, одинаковы как для курсантов 5-го курса, так и для 3-го курса. В результате из 35 курсантов третьего с курса на практику уходят только 30-40%.

Многие круинги вообще не хотят заниматься подготовкой будущих специалистов и ищут курсантов уже с рабочими дипломами, чтобы заполнить ими должности электромехаников, пытаюсь на этом сэкономить.

К великому сожалению, повлиять на судовладельцев мы никак не можем. А они в условиях мирового экономического кризиса, который отрицательно отразился и на морских перевозках, опять начали компанию по сокращению электромехаников на транспортных судах. Многие судовладельцы вместо электромехаников, вводят в штат электриков уровня «electro-technical rating», а электромехаников уровня «electro-technical officer» оставляют по одному на пять судов (так называемый «электромеханик подскока»). Так что в электромеханики теперь попадут только лучшие.

Поэтому, чтобы лучшими стали наши выпускники, нам надо разобраться во втором вопросе: Почему снижается уровень подготовки наших выпускников?

Во-первых, из-за непрестижности специальности, к нам идут абитуриенты по остаточному принципу, те кто не попал на судоводительский или судомеханический факультеты из-за низкого балла. Низкий уровень школьной подготовки, помноженный на низкую мотивацию стать электромеханиками, не позволяет нам подготовить из таких абитуриентов классных специалистов.

Во-вторых, на качество теоретической подготовки отрицательно влияет уход на практику во время учебного процесса. Перевод на индивидуальный план обучения подразумевает перевод хорошо успевающих курсантов, но, к сожалению, приходится отпускать всех, т.к. на практику стало очень тяжело устроиться.

Контракты у всех по 6 месяцев, отсюда пропуски занятий целого семестра и вовремя несданные сессии. По приходу с практики для того, чтобы не лишиться стипендии всем курсантам устанавливается месячный срок погашения задолженностей по предметам. И они всеми правдами и неправдами пытаются уложиться в этот срок, хотя опыт показывает, что, если честно отрабатывать все, за один месяц лабораторные и курсовые работы и проекты по всем дисциплинам, за весь семестр, сдать невозможно.

А у нас все сводится к проформе: курсантам выдаются методички, по которым они должны выполнить лабораторные работы и курсовые задания, но т.к. курсанты приходят с рейса не одновременно, то преподаватели не охотно занимаются с задолжниками, лабораторные занятия с ними не всегда проводятся. Не проводятся с ними и другие занятия (лекции и практические), т.е. курсанты очники поставлены в более худшие условия, чем заочники. Тем хоть во время сессии начитывают лекции, проводят практические и лабораторные занятия.

Поэтому при такой организации учебного процесса даже хорошо успевающие курсанты снижают свои показатели, т.к. одних консультаций для изучения учебных дисциплин маловато.

Отсюда извечный вопрос: Что делать?

Повлиять на уровень проходного балла от МОНУ мы не можем. Несмотря на повышенный спрос на судовых электромехаников, повысить престиж специальности тоже не можем. Никакие рекламные кампании этого не решат.

Поэтому, чтобы выжить в таких условиях нам остается один путь – повышение качества подготовки наших выпускников. Чтобы крьюинги убедились, что выпускники Национального университета «Одесская морская академия» обеспечат эффективную эксплуатацию судового электрооборудования и средств автоматики на высоком уровне в любых условиях.

Для этого необходимо ввести систему отработки пропущенных занятий, (лекций и лабораторно-практических работ), т.к. опыт показывает, что если что-то не контролируется, то оно и не учится. А для пришедших с практики курсантов необходимо организовать хотя бы обзорные лекции по пропущенным предметам. Кроме того, необходимо вовремя отчислять нерадивых плохо успевающих курсантов, чтобы они не подрывали авторитет диплома нашей академии, крьюинги их на работу все равно не берут.

Поэтому, чтобы нашу академию наши конкуренты не оттеснили с рынка международного рынка труда, необходимо всем нам и преподавателям, и курсантам взять курс на повышение качества подготовки наших выпускников.

СЕТЕВОЙ ГРАФИК ПОДГОТОВКИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ

С.А.Михайлов, д.т.н., профессор
Национальный университет «Одесская морская академия»

Принятые в последнее время изменения в законодательство современной Украины, в частности Закон «О высшем образовании», полностью и принципиально изменили организацию подготовки аспирантов, т.е. соискателей ученой степени доктора философии (PhD). С 1 сентября 2016 года вновь поступившие учащиеся-аспиранты уже не предоставлены сами себе на весь период обучения в аспирантуре, как это ранее иногда бывало. Специально для них разработаны учебные планы соответствующих специальностей. Организуют подготовку аспирантов теперь не научно-исследовательские отделы ВУЗов, а факультеты во главе с деканатами. С этой целью каждому ВУЗу потребовалось получить в Министерстве образования и науки Украины лицензии на право проведения образовательной деятельности по подготовке аспирантов соответствующих специальностей.

Кроме традиционной исследовательской части в подготовке аспирантов также предусмотрена образовательная часть. Для аспирантов, как и для студентов, организованы занятия, с ними проводятся лекции, семинары, предусмотрена практика (в том числе – педагогическая). По каждой учебной дисциплине аспиранты сдают итоговый экзамен.

Эти изменения в организации подготовки докторов философии имеют целью приблизить форму обучения в аспирантуре к Европейской, а также упорядочить организацию учебного процесса.

Между тем, кроме названных исследовательской и учебной частей учебного плана, в эффективной подготовке будущего доктора философии важную роль играет организационная часть. Досрочную или хотя бы своевременную защиту диссертации принято считать достижением, хотя это должно быть и являться нормальной практикой. Эффективность работу аспирантуры, т.е. ее окончание с получением диплома доктора философии или, как называли прежде, кандидата наук, часто оказывается близка к нулю, в том числе и потому, что аспирант, имея индивидуальную форму подготовки и фактически предоставленный сам себе, не может самостоятельно спланировать свой четырехлетний бюджет времени. В начале своего обучения ему не были известны все задачи, которые он должен был решить на пути к защите своей диссертации.

Предлагаемый сетевой график (рис.1) позволяет назвать эти основные задачи аспиранта, определить их иерархию, распределить во времени последовательность или одновременность (параллельность) их выполнения. Целью данного доклада является разработка формальной структурированной модели, позволяющей дать представление соискателю ученой степени о пути, который ему предстоит пройти, об объеме работы, который ему предстоит выполнить. Сетевой график включает в себя следующие параллельные ветви:

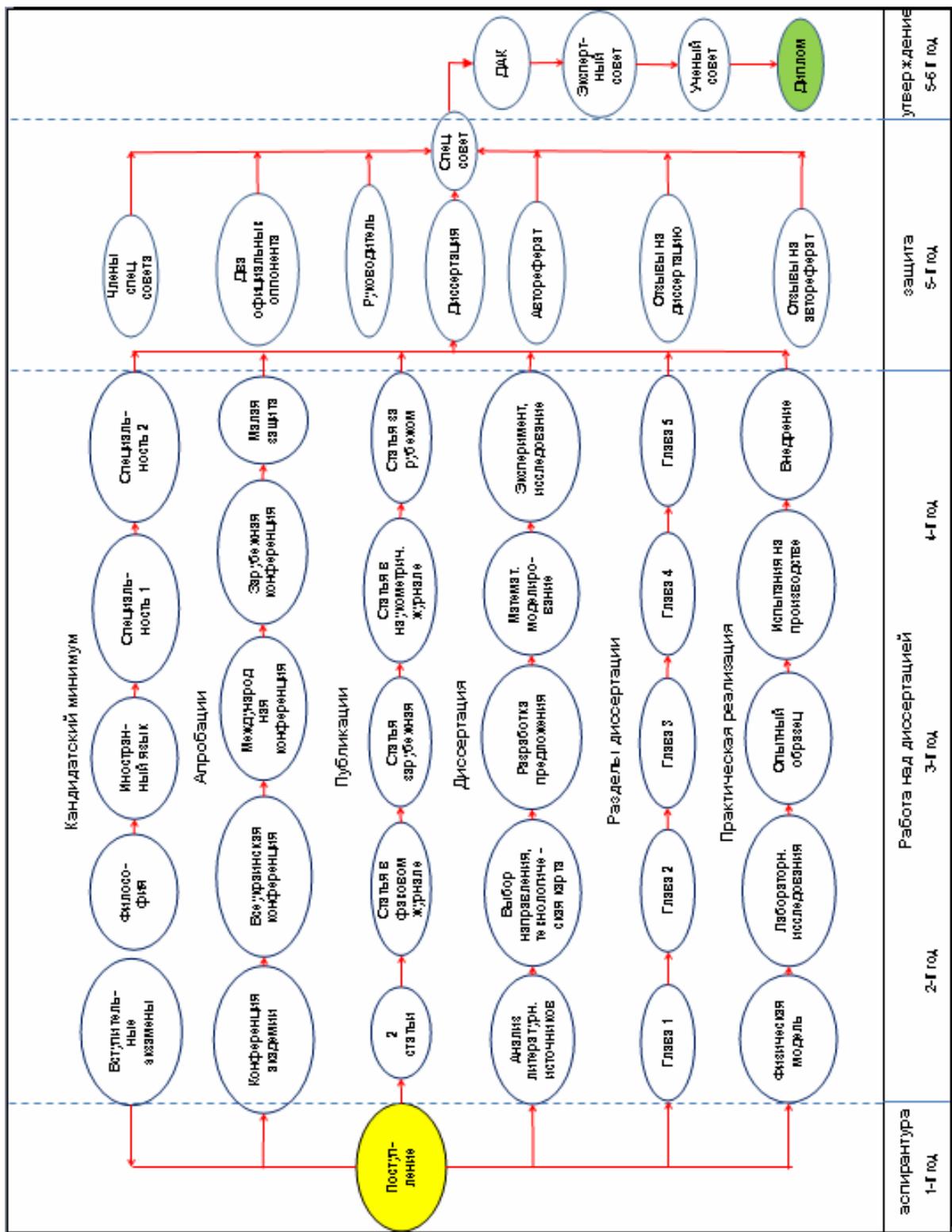


Рисунок 1 – Сетевой график подготовки доктора философии

образовательная часть – изучение дисциплин учебного плана, подготовка и сдача текущих экзаменов, в том числе экзаменов кандидатского минимума; исследовательская часть – подготовка и наполнение разделов диссертации; апробация текущих результатов работы; публикация основных результатов исследований;

практическая реализация и внедрение;
организация защиты диссертации в специализированном ученом совете.

Даже предварительный поверхностный анализ этого сетевого графика позволяет увидеть, что обилие разноплановых, но обязательных для выполнения задач столь велико, что шансы выполнить всю необходимую работу в отведенный четырехлетний срок невелики. Отсюда каждый потенциальный аспирант может сделать для себя, по крайней мере, два вывода.

Первый вывод: в аспирантуру следует поступать, уже имея наработки - «задел» в выбранной области науки. Этот «задел» вполне реально подготовить уже в студенческое время при работе над курсовыми проектами по специальным профессионально-ориентированным дисциплинам, при написании дипломных работ и проектов. Научные доклады и публикации с участием студентов – это весьма престижно и будет вспоминаться всю последующую научную карьеру. В результате, к моменту поступления в аспирантуру уже определен круг научных интересов, т.е. тема будущей диссертации; имеется ясное представление о современном состоянии научных исследований в выбранной области, т.е. обзор литературы для первых разделов диссертации; имеется опыт научных докладов, т.е. апробация; уже есть научные публикации.

Второй вывод: для достижения ожидаемого результата за отведенное время обучения необходим резкий старт, без обычного расслабления на 1 курсе обучения, а также динамичное продвижение к цели на всем периоде обучения одновременно по всем ветвям и показателям предложенного сетевого графика.

УДК 621.396. – 027.236

ИТОГИ РАБОТЫ УКРАИНСКОЙ ДЕЛЕГАЦИИ ПО ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УКВ РАДИОСВЯЗИ НА 97 СЕССИИ КБМ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор
Национальный университет «Одесская морская академия»

С 21 по 25 Ноября 2016 года в г. Лондон (Великобритания) в штаб-квартире Международной Морской Организации (ИМО) проходила 97 сессия Комитета по Безопасности Мореплавания КБМ 97 (MSC 97). Среди прочих вопросов на этой сессии рассматривался документ MSC 97/19/9, представленный Украиной, разработанный в Национальном университете «Одесская морская академия» (НУ «ОМА»). В документе предлагается пересмотр резолюций А.817(19) и MSC. 232(82) по Стандартам электронно-картографической навигационно-информационной системы (ЭКНИС) (ECDIS) для обеспечения дополнительного соединения ЭКНИС к оборудованию связи (включая двунаправленное соединение с УКВ ЦИВ контроллером). Это необходимо для упрощения

адресной УКВ радиосвязи для судоводителей и повышения эффективности УКВ цифрового избирательного вызова (ЦИВ).

Непосредственное участие в работе сессии принимал ректор НУ «ОМА» М.В. Миусов, который представлял Международную Ассоциацию Морских Университетов (IAMU).

В течение многих лет УКВ ЦИВ, который является важной составной частью ГМССБ (GMDSS), не работал подобающим образом. Для целей адресной УКВ радиосвязи ЦИВ вообще не используется, вследствие сложности пользовательского интерфейса. Было несколько попыток его улучшить, однако, без какого-либо заметного успеха. Украина предлагает кардинально новый подход для улучшения пользовательского интерфейса ЦИВ. Предлагаемая инновация основана на интеграции оборудования связи с ЭКНИС-АИС системой и разработана в НУ «ОМА» на кафедре Морской радиосвязи. Составные части предложенной системы защищены двумя патентами Германии. Указанная система может быть реализована в рамках существующего конвенционного оборудования и существенно упрощает и ускоряет процедуру УКВ ЦИВ радиосвязи. Проблема состоит в том, что в существующих ЭКНИС соединение с ЦИВ не предусмотрено. То есть необходим соответствующий пересмотр стандартов ЭКНИС. Финансовые затраты на практическую реализацию этой инновации минимальны, предполагающие только доработку программного обеспечения ЭКНИС и стандартного соединения шины ЭКНИС с УКВ ЦИВ контроллером. Наряду с очевидными преимуществами обеспечиваемых за счет соединения ЭКНИС-АИС системы с ЦИВ контроллером, такая интеграция полностью соответствует принципам ИМО концепции Е-навигации.

Идея предложения Украины отражена в документах: COMSAR 14/7, COMSAR 14/WP.5 (параграф 5.2), COMSAR14/17 (параграфы 12.10, 12.15, 12.15.3), COMSAR 15/INF.3 (страница 3), COMSAR 14/WP.6 (параграф 50.14), NAV 59/12/2, MSC 94/18/2, NCSR 1/17, NCSR 1/13, NCSR 3/INF.15. Результаты дискуссий по этим документам с представителями делегаций государств членов ИМО и Организаций наблюдателей, их замечания и предложения были учтены при подготовке документа MSC 97/19/9.

При обсуждении документа в своих выступлениях делегации единодушно поддержали основное намерение предложения, связанное с повышением эффективности УКВ ЦИВ посредством его интеграции с другим навигационным оборудованием на мостике, но не поддержали рассмотрение вопроса пересмотра ИМО стандартов ЭКНИС в отрыве от других задач Е-навигации, рассматриваемых ИМО в рамках интегрирования систем связи с интегрированными навигационными системами.

КБМ принял решение по документу MSC 97/19/9 о необходимости продолжения работ в рамках направления 5.2.6.1 (Дополнительные модули к пересмотру Стандартов для Интегрированных Навигационных Систем (ИНС) (резолюция MSC.252(83) относящаяся к гармонизации дизайна мостика и отображения информации). КБМ приглашает Украину подать документ на NCSR 4 для дальнейшего обсуждения в рамках указанного выше направления.

КОНЦЕПТУАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ СИЛОВИХ ГІБРИДНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

В.В.Будашко, к.т.н., доцент

О.В. Глазева, к.т.н., доцент

С.Ф.Самонов, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Вступ. Жорсткість вимог з охорони навколишнього середовища, викликала необхідність пошуку альтернативних джерел енергії, що відповідають зростаючим вимогам морського і екологічного законодавств [1].

Це змусило критично переосмислити досвід використання в судновій електроенергетиці акумуляторних, сонячних та водневих джерел енергії, переконатися в безпеці їх експлуатації та вдосконаленні технології їх виробництва і отримати схвалення провідних Класифікаційних товариств [2].

Об'єкт дослідження та його технологічний аудит. Об'єктом дослідження є гібридний ДЕПК, варіант структурної схеми якого показано на рис. 1. Інші рішення, пов'язані із інтеграційними удосконаленнями гібридних ДЕПК, СЕУ і СЕЕС, які їх забезпечують, наведені у [3].

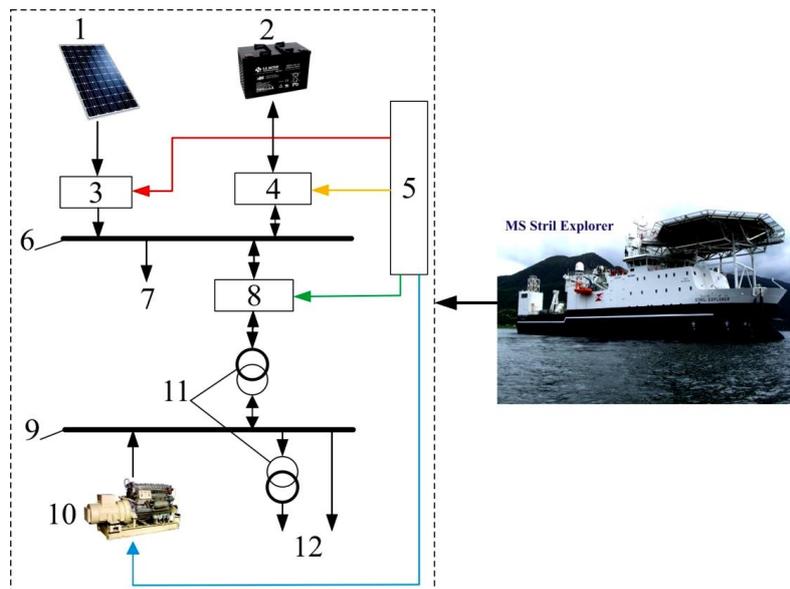


Рисунок 1 – Структурна функціональна схема комбінованого (гібридного) пропульсивного комплексу: 1 – сонячні генеруючі елементи (СГЕ); 2 – система накопичення енергії (СНЕ); 3, 4 – перетворювач (конвертер) постійної напруги (ППН); 5 – система керування (СК) гібридним дизель–електричним пропульсивним комплексом (ДЕПК); 6 – ланка постійного струму (ЛПС); 7 – до споживачів постійного струму, наприклад – гальмівних резисторів; 8 – інвертор напруги (ІН) або струму (ІС), 9 – головний розподільний щит високої напруги (ГРЩ ВН); 10 – суднова електроенергетична система (СЕЕС) з середньо–обертovими дизель–генераторами (СОДГ); 11 – трансформатори напруги, 12 – до споживачів змінного струму, зокрема – гребних електродвигунів (ГЕД), підрулюючих пристроїв (ПП), головного розподільного щиту низької напруги (ГРЩ НН)

Гібридний ДЕПК, представлений на рис. 1, розроблений на основі електроенергетичного комплексу офшорного судна, працюючого у режимі динамічного позиціонування.

СК гібридним ДЕПК розподіляє потужність між СГЕ, СНЕ і СЕЕС відповідно до обраної стратегії управління енергоспоживанням.

Основне призначення СГЕ як АДЕ (альтернативні джерела енергії) у наведеному гібридному ДЕПК – ввід в дію СЕЕС після знеструмлення і підтримка потужності у маневрових режимах роботи судна, одним з яких є режим динамічного позиціонування (DP). В залежності від обраної стратегії управління енергоспоживанням, СК регулює потужність кожного джерела енергії у відповідності до заданих вихідної напруги і максимального струму СГЕ, СНЕ і силових перетворювачів (ППН, ІН).

Недоліками наведеної функціональної схеми гібридного ДЕПК є:

неузгодженість параметрів СОДГ з іншими компонентами, що призводить до нерівномірного регулювання магнітних потоків і амплітуд напруг, що викликає додаткове підвищення пульсацій напруги на виході конвертерів і виникнення зрівняльних струмів при синхронній роботі;

підвищений рівень гармонік в струмі споживачів енергії;

знижена надійність, економічність, підвищені габарити і маса, які виникають за рахунок застосування елементів підвищеної потужності і комплектів обладнання до них;

відсутність можливості симетрування трифазної системи напруг живлення при нерівномірному завантаженні фаз.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – удосконалення системи контролю та управління енергетичними процесами у суднових гібридних ДЕПК, виконаних із застосуванням АДЕ.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

Обґрунтувати можливі шляхи удосконалення структурних та функціональних схем гібридних ДЕПК із АДЕ з урахуванням сучасних досягнень в області розвитку останніх.

Визначити найбільш вагомі чинники експлуатаційних режимів гібридних ДЕПК із АДЕ, що впливають на якість споживаної електроенергії в умовах недетермінованих навантажень.

Здійснити порівняльне математичне моделювання енергетичних процесів у гібридних ДЕПК із АДЕ в різних експлуатаційних режимах з метою їх параметризації і визначення граничних умов безаварійної роботи.

Аналіз літературних даних. Поновлювані джерела енергії, особливо сонячної, енергії вітру, все більше проникають у сектор суднобудування. Але, тривале зберігання енергії є універсальною проблемою в забезпеченні підтримки відновлюваних джерел на основі електроенергії з високою доступністю в залежності від сезону. Одним із шляхів подолання цієї проблеми є використання водню в якості енергетичного вектору, за допомогою якого сонячна енергія та енергія вітру перетворюється, зберігається та відновлюється у потрібний момент. Водень, отриманий з води методом електролізу, зберігається у вигляді

стислого газу або метал-гідриду, потім використовується зі сховища для вироблення електроенергії в паливному елементі.

У [4] авторами визначені переваги і проблеми різних типів паливних елементів. Розглядаються можливі обмеження шкідливих викидів різних типів паливних елементів, реальні пристрої для торгових суден і військових кораблів та проекти потенційних інновацій і потреб досліджень для області паливних елементів.

Детальний аналіз ефективності суднової гібридної системи живлення постійного струму здійснено у [5]. Також авторами були розроблені алгоритми оптимізації системи керування за критерієм мінімуму витрати палива при різних умовах навантаження та досягнуто близько 15 % економії палива з оптимально налагодженим накопиченням енергії в досліджуваній системі постійного струму.

Серйозні забруднення навколишнього середовища і низька енергоефективність традиційних СЕУ, потужність яких зумовлюється тільки кількістю дизель-генераторів, можуть бути знижені шляхом правильної інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Аналіз рис. 1 дозволяє зробити висновок, що управління гібридним ДЕПК є дуже складним процесом, який потребує урахування великої кількості чинників енергетичних та експлуатаційних складових. Наприклад, такий компонент гібридного ДЕПК, як СНЕ, базується на застосуванні літій-іонних акумуляторних батарей (ЛІАБ, англ. Lithium-ion batteries – LIB) [6].

Різноманіття режимів СЕУ КПК при застосуванні ЛІАБ визначає не тільки більшу номенклатуру вироблених ємностей і типорозмірів акумуляторів, а й широкі діапазони напруг (від семи до декількох сотень вольт) батарей на їх основі, необхідних для реалізації певних потужних, енергетичних і експлуатаційних характеристик СНЕ.

При наявності небезпечних зовнішніх впливів на СНЕ їх конструктивне виконання ускладнюється, також як і в разі потужних батарей (особливо для гібридних ДЕПК), які потребують додаткового повітряного або рідинного охолодження.

При проектуванні гібридних ДЕПК загальними вимогами для всіх ЛІАБ є забезпечення безпеки і зручності експлуатації, а також досягнення при циклічному режимі роботи повного розряду всіх АБ, а не робота за графіком найбільш слабого елемента. Це досягається введенням до складу СНЕ селективної СК (англ. Battery Management System – BMS) акумуляторними модульними збірками (АМЗ), що здійснює моніторинг стану і захист батареї від виникнення небезпечних режимів роботи і надає інформацію про її основні параметри [7,8].

З огляду на високу потужність і великий запас енергії, а також пожеже-небезпечність застосовуваного в ЛІАБ електроліту, основним завданням СК АМЗ можна вважати захист АБ при виникненні небезпечних режимів роботи. До них, перш за все, відносяться струмові перевантаження і короткі замикання силових ланцюгів, перегрів АБ, перезарядка і надмірний розряд ЛІАБ. Захист від виникнення небезпечних режимів роботи здійснюється шляхом нівелювання розбалансу напруг ЛІАБ і формування керуючих сигналів (КС) для зміни

режиму роботи зовнішніх пристроїв або для відключення АБ від зовнішніх силових ланцюгів за допомогою комутаційної апаратури, яка конструктивно розміщується як у складі АБ, так і поза ними [9,10].

З огляду на вищесказане, можна зробити висновок, що розвиток ДЕПК потребує додаткових досліджень в області удосконалення енергетичних процесів, пов'язаних із застосуванням у ДЕПК альтернативних джерел енергії. Останні потребують розробки сучасних локальних СК с точки зору інтеграції їх у СК гібридними ДЕПК.

Матеріали та методи дослідження

1. Удосконалення системи контролю та управління енергетичними процесами у суднових гібридних дизель–електричних пропульсивних комплексах, виконаних із застосуванням альтернативних джерел енергії

Для захисту СНЕ від перезарядження і перерозрядження локальна СК здійснює вимір напруги кожного елемента в ЛАБ. При цьому вимірювальні ланцюги усіх акумуляторів повинні бути гальванічно розв'язані і розраховані на роботу при напрузі, відповідній максимальній напрузі СНЕ.

Поелементний контроль температури ЛАБ необхідний також для захисту СНЕ від перегрівання. Для вимірювання струму в СНЕ поряд з шунтами використовуються датчики струму холловського типу, широка номенклатура яких дозволяє вимірювати струми в діапазоні від 10 до 1000 А з точністю порядку $\pm 2\%$.

Найбільш складним, з точки зору реалізації, завданням є забезпечення працездатності СНЕ при відмовах (КЗ або обрив) всередині ЛАБ. Обрив в ЛАБ найбільш небезпечний при їх послідовному з'єднанні в СНЕ, коротке замикання – при їх паралельному з'єднанні.

Важливою функцією локальної СК є апаратне вирівнювання ступеню зарядженості (нівелювання розбалансом напруг) одиничних ЛАБ в СНЕ.

Апаратні методи нівелювання розбалансу напруг можна розділити на наступні:

1) найбільш простий в реалізації пасивний метод, коли ЛАБ з підвищеною напругою розряджається за допомогою резистора, що підключається паралельно їй;

2) активні методи, що забезпечують вирівнювання напруг АБ шляхом перерозподілу енергії між ними;

3) системні методи, що забезпечують індивідуальний (незалежний) режим заряду для кожній ЛАБ.

Найбільш простим, але досить ефективним системним методом нівелювання розбалансу в ЛАБ великої та надвеликої ємності, є їх заряд багатоканальними автоматичними зарядними пристроями (АЗП).

В активних методах реалізуються трансформаторні схеми перерозподілу енергії в ЛАБ або використовується дозаряд «відстаючих» АБ від одного або декількох джерел постійного струму, живлення яких здійснюється з виходу АБ або від зовнішнього джерела енергії (наприклад, АЗП, СГЕ, іншого джерела поновлюваної енергії). Такі пристрої, що забезпечують великі перетікаючи

струми, дозволяють не тільки нівелювати розбаланс напруг в АБ, а й забезпечувати їх повний розряд, а не працювати за графіком «гіршої» ЛАБ.

Для зручності експлуатації АБ інформація про її стан може передаватися в інтегровану СК гібридним ДЕПК по стандартному цифровому каналу, виводитися на дисплей або відображатися за допомогою світлодіодів, використовуючи інтуїтивно зрозумілу «світлофорну» колірну символіку.

Високовольтні високоємні АБ будуються за модульним принципом виходячи з вимог забезпечення електробезпеки при монтажі та ремонті, а також можливості їх транспортування і монтажу з мінімальним використанням підйомно–транспортних механізмів (ПТМ). У них використовуються СК також побудовані за модульним принципом з 2–3 рівнями керування.

При побудові потужних СНЕ для гібридних ДЕПК на перший план виходять вимоги безпеки при їх монтажі, експлуатації, технічного обслуговування і ремонту. Високоенергоємні АБ можуть бути побудовані по послідовно–паралельній або паралельно–послідовній схемах [11].

Заданий термін експлуатації і безперебійність роботи ЛАБ досягаються: шляхом застосування комплектуючих виробів і матеріалів з відповідними термінами служби; за рахунок структурного резервування в АБ; за рахунок використання АМЗ і безперервного моніторингу їх.

Алгоритм роботи АБ передбачає переклад із заданою періодичністю частини акумуляторних секцій в режим тестування, в якому вони підключаються до одного з штатних навантажень.

При паралельному з'єднанні ЛАБ в силовому ланцюзі кожного з них повинен бути передбачений елемент захисту від перевантаження по струму (наприклад, плавка вставка), що захищає АМЗ від короткого замикання всередині окремих ЛАБ, а локальна СК повинна забезпечувати контроль їх стану.

2. Визначення експлуатаційних режимів гібридних ДЕПК із АДЕ в умовах недетермінованих навантажень

Експлуатаційні режими як ДЕПК, так і СНЕ, різняться. Прикладом типових експлуатаційних навантажень ДЕПК є: динамічне позиціонування, прохід з малою швидкістю вузькості або мілководдя, швартувальні операції з навантаженнями на силову установку, що різко відрізняються один від одного, ходової режим, буксирування тощо.

При значних навантаженнях рух судна забезпечує ГЕД, що працює при цьому і на підзаряд СНЕ, яка може забезпечувати електропостачання на менш напружених режимах навантаження: електрорух на малих швидкостях, електричне освітлення, живлення електронних пристроїв та інших слабкострумових споживачів.

При розгляді структур (чисто електричні, послідовні, паралельні та комбіновані ДЕПК), основним принципом, що полягає у сфері досліджень експлуатаційних режимів остається принцип забезпечення економії палива і безперебійність живлення.

Зазвичай, при малих навантаженнях, тепловий двигун зупиняють і судно забезпечується електричною енергією від СНЕ, в тому числі для приводу греб-

ного гвинта. СНЕ можуть бути заряджені від берегового джерела, АДЕ або від теплового двигуна, що обертає гребний гвинт на ходу судна.

ДЕПК з СНЕ, що знаходиться у тривалому експлуатаційному режимі, повинен відповідати як міркуванням економічності так і екологічним стандартам. Рух з оптимальною швидкістю забезпечується не завжди, а підзарядка проводиться в кінцевих пунктах під час стоянки. Імовірність підвищення економічної ефективності збільшується з установкою додаткових поновлюваних джерел енергії, які сполучаються з існуючою (запропонованою) системою.

3. Моделювання енергетичних процесів у гібридних ДЕПК із АДЕ в різних експлуатаційних режимах з метою їх параметризації і визначення граничних умов безаварійної роботи

В цьому розділі приділено увагу визначенню розмірів СНЕ, паливних і поновлюваних елементів енергії і силових перетворювачів. Потім, ґрунтуючись на вимогах до ДЕПК, задано призначення пасивних компонентів перетворювачів, і, нарешті, запропоновано процес проектування електронних всережимних регуляторів.

Відповідно до відомих принципів побудови динамічних моделей [12], декомпозиція [13] об'єкта дослідження – СЕУ КПК, по суті, є розчленуванням на взаємодіючі частини.

Навантаження СЕУ КПК визначається властивостями і параметрами окремих споживачів, особливо при роботі джерел енергії на споживачі сумірної потужності, а також і закономірностями випадкових процесів формування групових навантажень, що представляють собою функції великого числа випадкових чинників і їх різноманітного поєднання.

Представлений аналіз способу моделювання різних експлуатаційних режимів СЕУ ДЕПК з точки зору споживання енергії, дозволив виявити основні критерії для порівняння продуктивності витрати палива і стану заряду СНЕ (напруги на DC-link). Загальна ефективність системи і напруги на кожному джерелі енергії, які можуть вплинути на параметри експлуатаційного режиму, будуть оцінюватися із застосуванням підходу, заснованого на зворотному вейвлет-перетворенні їх миттєвих потужностей за допомогою імітаційної моделі СЕУ ДЕПК у MatLab/Simulink.

Результати дослідження. Під час моделювання отримано характеристики енергетичних процесів у гібридному ДЕПК протягом 350 с у середовищі MatLab/Simulink. Профіль навантаження (підсистема СП) визначалася згідно системи рівнянь (1) для $\cos\phi = 0,8$.

$$\left. \begin{aligned} |I(t) - I^m(t)| &\leq \varepsilon_I; \\ |U(t) - U^m(t)| &\leq \varepsilon_U; \\ |\phi(t) - \phi^m(t)| &\leq \varepsilon_\phi; \\ k_{puls} &\leq k_{puls_max} \text{ or } k_{puls} \leq k_{THD}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

У таблиці 1 наведені порівняльні результати моделювання енергетичних процесів при передачі потужності у гібридному ДЕПК для двох найважчих екс-

платуаційних режимів: аварійного (Emergency Operation) та режиму DP з умови застосування різних стратегій управління СРЕЕ (PMS).

Отримані результати моделювання енергетичних процесів у гібридному ДЕПК дають можливість вирішувати проблеми структуризації останніх на основі впровадження нових видів силової напівпровідникової техніки і високоавтоматизованих технологій управління. Сукупність перерахованих складових дозволяє будувати гнучкі багатофункціональні електрогенеруючі системи, інтегровані в гібридний ДЕПК в якості невід'ємної його частини.

Але, враховуючи той факт, що регулювання ступеню заряду батареї несуттєво впливає на зниження споживання реактивної потужності (табл. 1), а живлення інверторів нестабілізованою випрямленою напругою створює проблему рекуперації електроенергії в мережу суднових електроспоживачів, можна зробити висновок, що електромеханічна компенсація реактивної потужності споживачів в основному здійснюється за рахунок СОДГ, що переводяться її ПД-регуляторами в режим компенсаторів.

Таблиця 1 – Порівняльні результати моделювання енергетичних процесів при передачі потужності у гібридному ДЕПК

Name of element	Output data						DP					Emergency operation				
	Quantity	Installed capacity, kW	Efficiency	Power factor	Power consumption, kW		Diversity factor	Coefficient of loading	Power factor	Power consumption		Diversity factor	Coefficient of loading	Power factor	Power consumption	
					Single	Total				Active power, kW	Reactive power, kVAR				Active power, kW	Reactive power, kVAR
Hybrid Propulsion Complex																
PVGS	10	11,5	0,94	1,00	12,2	122,3	1,0	1,0	1,00	122,34	0,00	1,0	0,8	1,00	97,87	0,00
ESS	2	100,0	0,93	1,00	107,5	215,1	1,0	1,0	1,00	215,05	0,00	1,0	0,9	1,00	193,55	0,00
DC/DC converters	2	200,0	0,88	1,00	227,3	454,5	1,0	1,0	1,00	454,55	0,00	0,5	0,8	1,00	181,82	0,00
VSI	2	400,0	0,80	0,69	500,0	1000,0	1,0	1,0	0,69	1000,00	723,81	0,5	0,9	0,69	450,00	325,71
DC-Link	1	300,0	0,80	0,69	375,0	375,0	1,0	1,0	0,69	375,00	271,43	1,0	0,8	0,69	281,25	203,57
HVSB	2	611,5	0,88	0,43	694,9	1389,8	1,0	1,0	0,43	1389,77	1254,73	0,5	0,8	0,43	583,70	526,99
LVSB	2	1311,5	0,89	0,44	1473,6	2947,2	1,0	1,0	0,44	2947,19	2646,57	0,5	1,0	0,44	1414,65	1270,35
Load	2	1923,0	0,95	0,80	2024,2	4048,4	1,0	1,0	0,80	4048,42	2429,05	0,5	1,0	0,80	2024,21	1214,53
State machine control strategy								0,70		10552,3	7325,6		0,70		4022,6	3011,9
Classical PI control strategy with SOC's regulation								0,75		21104,6	14651,2		0,75		4847,9	3337,6
Frequency decoupling and state machine control strategy with SOC's regulation								0,80		16883,7	11720,9		0,85		4120,7	2836,9
Equivalent consumption minimization strategy								0,85		17727,9	12307,0		0,90		4326,8	2978,8
External energy maximization strategy with SOC's regulation								0,90		18614,3	12922,3		0,95		4543,1	3127,7
								SOC's reg.		yes	no		SOC's reg.		yes	no

Зокрема, потрібно звернути увагу на те, що до складу такого ДЕПК входять допоміжні дизель - або турбогенератори, як основні джерела теплової та механічної енергії, частина якої перетворюється в електричну, і при інших особливих умовах з утилізацією, в свою чергу, необхідно враховувати теплові втрати в їх робочому процесі. Особлива увагу при розробці структурних схем гібридних ДЕПК необхідно приділяти автоматизації управління всім енергетичним комплексом, включаючи підсистеми збору і обробки вимірювальної інформації, узгодженого управління окремими перетворювачами енергії: генерато-

рами і їх системами збудження, силовими напівпровідниковими і комутаційними пристроями, різноманітними механізмами і їх регуляторами, взаємопов'язаними на різних ієрархічних рівнях. Крім того, електрогенеруюча система повинна задовольняти часто суперечливим вимогам, що впливають із призначення судна, неспівпадаючими характеристиками одного і того ж обладнання від різних виробників, і особливостей його використання, а також бути високонадійною, з необхідним ступенем резервування і ремонтпридатності.

Висновки

Встановлено, що удосконалення експлуатаційних режимів роботи гібридних дизель-електричних пропульсивних комплексів можливо за рахунок використання сучасних систем накопичення енергії із застосуванням сонячних генеруючих елементів і акумуляторних батарей оптимальної ємкості.

Отримані динамічні характеристики параметрів передачі потужностей на різних ділянках гібридного дизель-електричного пропульсивного комплексу. Вони дозволяють відпрацьовувати принципи налагодження систем управління розподіленням електроенергії для різних експлуатаційних режимів в умовах недетермінованих навантажень. Наприклад, аналізуючи дані у табл. 2, можна зробити висновок, що при застосуванні класичного PI управління з регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ відбувається зменшення споживання потужності споживачами, підключеними до DC-link, в межах 5÷7 % в залежності від експлуатаційного режиму, а компенсація реактивної потужності досягається у межах 2÷3 %. Якщо застосовувати управління за критерієм мінімуму споживання електроенергії, то в цьому випадку відбувається підвищення коефіцієнта пульсацій вихідної напруги у межах 1÷1,5 %, що неможливо компенсувати без підтримки ступеню зарядки батарей СНЕ на рівні 85÷95 %.

Промодельовані енергетичні процеси у гібридному дизель-електричному пропульсивному комплексі із альтернативними джерелами електроенергії в різних експлуатаційних режимах роботи судна. Що, з одного боку, забезпечує обґрунтований вибір вольт-амперних характеристик сонячних генеруючих елементів і батарей системи накопичення енергії з точки зору оптимальних циклів заряджання/розряджання, а з іншого боку, дозволяє виконати параметризацію основних джерел електроенергії і визначити граничні умови їх безаварійної роботи. Наприклад, аналізуючи отримані залежності і дані табл. 2, можна зробити висновок, що контроль частоти і стан СОДГ з регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ, при усіх інших рівних умовах для експлуатаційного режиму, дозволяє зменшити кількість, або потужність модулів СГЕ на 7÷10 %, а управління за критерієм отримання максимуму альтернативної енергії та регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ використовувати акумуляторні батареї меншої ємкості у межах 6÷8 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Livanosa, G. A. Techno-economic investigation of alternative propulsion plants for Ferries and RoRo ships [Text] / G. A. Livanosa, G. Theotokatos, D.-N. Pagonis // Energy Conversion and Management. – V. 79. March, 2014. P. 640–651. Doi:[10.1016/j.enconman.2013.12.050](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.12.050).

2. Abdin, Z. Solar hydrogen hybrid energy systems for off-grid electricity supply: Review Article [Text] / Z. Abdin, C. J. Webb, E. MacA. Gray // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – V. 52. – P.1791–1808. Doi:[10.1016/j.rser.2015.08.011](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.011).
3. Matthé, U. 8–The Voltec System—Energy Storage and Electric Propulsion [Text] / R. Matthé, U. Eberle // *Lithium–Ion Batteries: Advances and Applications*. – 2014. – P. 51–176. Doi:[10.1016/B978-0-444-59513-3.00008-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59513-3.00008-X).
4. de-Troya, J. J. Analysing the possibilities of using fuel cells in ships [Text] / J. J. de-Troya, C. Álvarez, C. Fernández–Garrido, L. Carral // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2016. – V. 41. – I. 4 – P.2853–2866. Doi:[10.1016/j.ijhydene.2015.11.145](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.11.145).
5. Zahedi, B. Optimized efficiency of all–electric ships by dc hybrid power systems [Text] / B. Zahedi, L. E. Norum, K. B. Ludvigsen // *Journal of Power Sources*. – 2014. – V. 255. – P.341–354. Doi:[10.1016/j.jpowsour.2014.01.031](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.01.031).
6. Ovrum, E. Modelling lithium–ion battery hybrid ship crane operation [Text] / E. Ovrum, T.F. Bergh // *Applied Energy*. – 2015. – V. 152. – P. 162–172. Doi:[10.1016/j.apenergy.2015.01.066](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.066).
7. Ordoñez, J. Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium–ion batteries [Text] / J. Ordoñez, E.J. Gago, A. Girard // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. – V. 60. – P. 195–205. Doi:[10.1016/j.rser.2015.12.363](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.363).
8. Wang, Q. A critical review of thermal management models and solutions of lithium–ion batteries for the development of pure electric vehicles [Text] / Q. Wang, B. Jiang, B. Li, Y. Yan // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. – V. 64. – P. 106–128. Doi:[10.1016/j.rser.2016.05.033](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.033).
9. Hassan, S. R. Evaluation of Propulsion System Used in URRG–Autonomous Surface Vessel (ASV) [Text] / S. R. Hassan, M. Zakaria, M. R. Arshad, Z. A. Aziz // *Procedia Engineering*. – 2012. – V. 41, P. – 607–613. Doi:[10.1016/j.proeng.2012.07.219](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.219). Gasification: a Route to Clean Energy
10. Delucchi, M. A. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies [Text] / M. A. Delucchi, M. Z. Jacobson // *Energy Policy*. – 2011. – V. 39. – I. 3. – P. 1170–1190. Doi:[10.1016/j.enpol.2010.11.045](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.045).
11. Yang, N. Unbalanced discharging and aging due to temperature differences among the cells in a lithium–ion battery pack with parallel combination [Text] / N. Yang, X. Zhang, B. Shang, G. Li // *Journal of Power Sources*. – 2016. – V. 306. – P. 733–741. Doi:[10.1016/j.jpowsour.2015.12.079](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.12.079).
12. Будашко, В. В. Математические основы имитационного моделирования системы управления энергетической установкой бурового судна [Электронный ресурс] / В. В. Будашко, О. А. Онищенко // *Вестник Камчатского государственного технического университета*. – Петропавловск–камчатский: КамчатГТУ. – 2014. – Вып. 29. – С. 6–13. – Режим доступа: \www/ URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22822710> – 10.10.2016 г. – Загл. с экрана.
13. Глазева, О. В. Аспекти математичного моделювання елементів єдиних електроенергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів [Электронный ресурс] / О. В. Глазева, В.В. Будашко // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2015. – № 42 (1151). – С. 71–75. – Режим доступа: \www/ URL: <http://pema.khpi.edu.ua/index.php/2079-3944/article/view/55969>. – 10.10.2016 г. – Загл. с экрана.

СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 629.5.064.5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПОНИЖЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент

Н.О.Кулиш, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Известно несколько аварийных случаев: на теплоходах «Унан Аветисян» и «Лубны» [1,2] в ходовом режиме произошло не санкционированное отключение от сети одного из двух работающих в параллель синхронных генераторов. При этом в обоих случаях возникали аварийные ситуации, которые сопровождались однотипными физическими процессами.

Вся нагрузка отключившегося генератора перекидывалась на, оставшийся в работе, дизель-генератор (ДГ), который начинал работать с нагрузкой свыше 110%, которая по истечении 2-4с снижалась до уровня 100-105%. Защита от перегрузки не успевала сработать, в результате устанавливался режим, при котором ДГ работал с частотой вращения 350 об/мин вместо 500 об/мин с максимальной топливоподачей и напряжением около 320 В. ДГ, оставшийся в работе, от перегрузки перегревался до температуры, при которой обгорала краска на цилиндрах и выгорало масло на крышках цилиндров. Резервный ДГ в обоих случаях запустился, но из-за большой разницы частот включиться в параллель штатными автоматическими и ручными средствами не мог.

На т/х «Унан Аветисян» аварийная ситуация была ликвидирована путем включения резервного ДГ на шины главного распределительного щита (ГРЩ) с помощью ручной точной синхронизации на частоте сети 35 Гц. На т/х «Лубны» ситуация вышла из-под контроля, что привело к более тяжелой аварии - столкновение судов.

Когда при резком набросе нагрузки на судовой дизель-генератор (суммарная нагрузка свыше 110%), дизель-генератор (ДГ) переходит на новый установившийся режим с пониженным напряжением и частотой тока, приводящий к снижению потребляемой мощности механизмами с приводом от асинхронных двигателей ниже 110%. При этом защита генераторов от перегрузки не срабатывает.

В результате возникает угроза обесточивания ответственных потребителей на ходу судна, что, например, при плавании в стесненных условиях может привести к аварийным последствиям.

Поэтому в работе *была поставлена задача*: Исследовать процессы, происходящие в судовой электроэнергетической системе (СЭЭС), при внезапной

перегрузке ДГ с целью выявления причины несрабатывания защиты от перегрузки, чтобы в дальнейшем повысить ее эффективность.

В качестве гипотезы было выдвинуто: обеспечить эффективную работу защиты ДГ от перегрузки возможно дополнив имеющуюся систему защиты каналом частотной разгрузки.

Поставленная задача была решена с помощью моделирования системы и проведения натурального эксперимента на тренажере судовой электроэнергетической установки фирмы «ASEA», имеющей в распоряжении кафедры электрооборудования и автоматики судов.

На рисунке 1 изображена схема экспериментальной установки, состоящей из синхронного генератора (СГ) мощностью 2,5 кВА с приводом от двигателя постоянного тока, асинхронного двигателя (АД) мощностью 0,25 кВт и смешанной (активно-индуктивной) нагрузкой. С помощью щитовых и переносных приборов (тестер тип МЕТЕХ М3610D и осциллограф тип TDS1000B связанные с компьютером) были сняты статические и динамические характеристики СГ и АД при работе в ненормальном режиме. Для снятия динамических характеристик в системы были встроены шунт ($R=0,505 \text{ Ом}$) и делитель напряжения (потенциометр $R=10 \text{ кОм}$, а также $R1, R2=1,5 \text{ кОм}; 5 \text{ кОм}$), частоту вращения АД измеряли с помощью ручного тахометра.

В результате эксперимента было установлено, что при снижении частоты тока в сети частота вращения АД также существенно снижается, что ведет к снижению потребляемого тока асинхронным двигателем, а, следовательно, и его мощности.

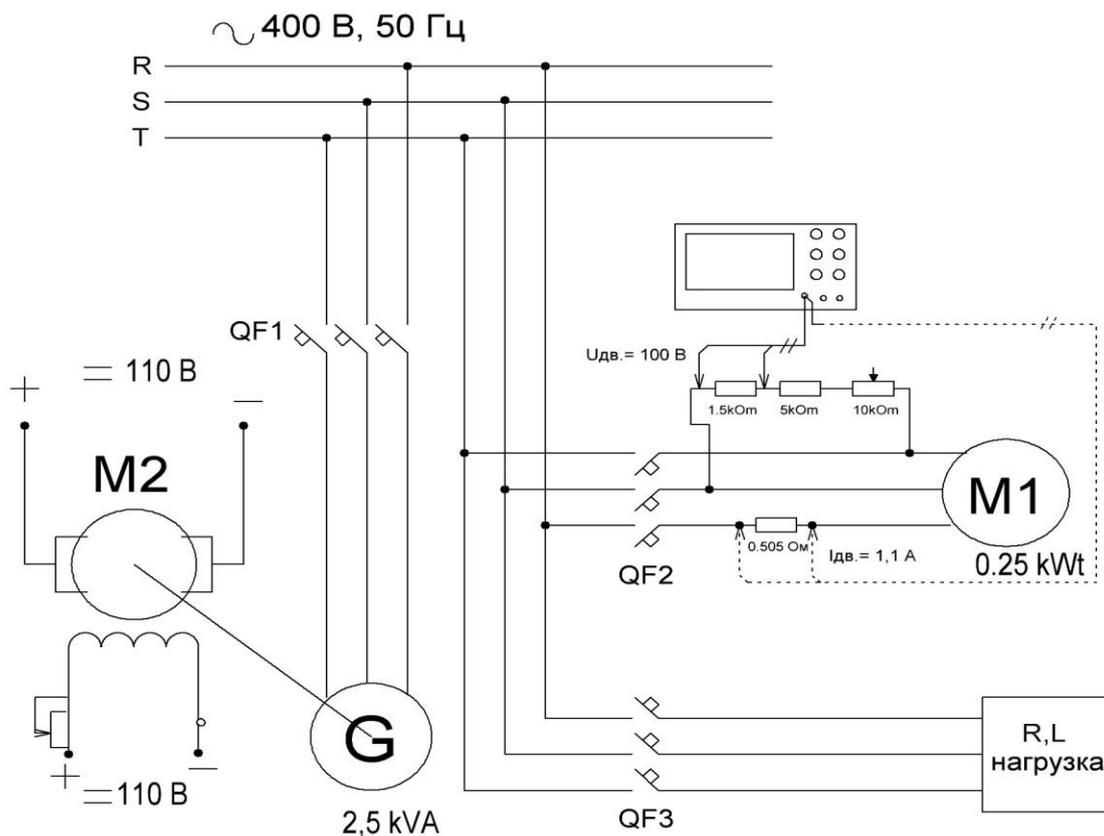


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать выводы, что внезапное увеличение нагрузки на ДГ свыше 110%, ведет к резкому снижению частоты сети, которое в свою очередь является причиной уменьшения потребляемой мощности АД. Кроме того, в сети возрастает реактивная мощность, которая снижает напряжение генератора.

В результате ДГ не останавливается, а переходит к режиму с параметрами 0,7 номинальной частоты и нагрузкой чуть меньше 110% быстрее, чем успевает сработать защита от перегрузки. Поэтому для повышения эффективности защиты СГ от перегрузки в таких ситуациях системе управления СЭЭС должна быть предусмотрена функция частотной разгрузки ДГ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Статья по Унан Аветисяну.
- 2.Статья по Лубны.
- 3.Баранов П.А. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1988. – 328 с.
- 4.Голиков С.П. Анализ работы асинхронного двигателя при пониженной частоте питающей сети: научная статья, 1999. – Интернет

УДК 621.313.33.016

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент

Р.И. Куделькин, аспирант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Асинхронные трехфазные двигатели имеют ряд недостатков, связанных с наличием гармонических составляющих магнитного потока в зазоре. Это наличие так называемого эффекта залипания в пусковых режимах, обусловленного появлением обратного вращающего момента гармоник поля, или значительным пульсациям величины прямого вращающего момента. Применение специальных методов намотки статора позволяет значительно ослабить указанный эффект и увеличить кратность пускового момента. Но, существующие системы моделирования физических процессов, оперируют упрощенными математическими моделями и не позволяют провести расчет указанных эффектов в сложных обмотках. Применяемые упрощения, такие как, например, синусоидальность магнитного поля в зазоре, работа сердечника на линейном участке магнитной характеристики, не позволяют рассчитать и проанализировать влияние гармонических составляющих на величину вращающего момента. Необходимо

проведение натуральных экспериментов с помощью измерителей (датчиков) вращающего момента.

В настоящее время, промышленностью выпускается широкая номенклатура датчиков вращающего момента, предназначенных для работы в самых различных условиях и диапазонах измерений. Но, высокая цена серийных датчиков, не позволяет использовать их для единичных измерений, либо в условиях недостаточного финансирования.

Учитывая изложенное, была предпринята попытка создания измерителя вращающего момента в виде аппаратно-программного комплекса, включающего в себя собственно датчик момента и микроконтроллерно-компьютерную среду обработки для этого датчика. Проанализировав существующие конструкции датчиков момента и физические принципы, лежащие в их основе [1, с.60], было принято решение использовать микросхему линейного датчика Холла, фирмы AllegroMicrosystems A1324[2, с.4], имеющую высокую чувствительность к изменению магнитного поля, линейную вольт-гауссовскую характеристику с ошибкой в 1,5% в диапазоне измерений и полную температурную компенсацию в рабочем диапазоне. В качестве деформационного элемента был применен сменный стальной торсион, позволивший получать широкий диапазон измерения простой заменой торсионного элемента. В качестве источника магнитного поля для датчика, применен постоянный магнит из сплава на основе редкоземельных металлов, характеризующийся высокой коэрцитивной силой и стабильностью параметров. Для увеличения крутизны преобразования торсионных перемещений в напряжение сигнала и, следовательно, чувствительности датчика, был введен ОУ с КУ=100. Сигнал датчика имеет первичную обработку, выполненную с использованием микрокомплекта Arduino[3, с.25] в качестве АЦП, коммутирующего устройства и устройства выбора средств измерения. Цифровой код, несущий в себе информацию о величине сигнала с датчика, пропорциональной измеряемому моменту, передается на компьютер для дальнейшей обработки – визуализации и фиксации измерений.

На рис.1 представлена визуализация полученных данных с микроконтроллера в виде зависимости выходного напряжения датчика от приложенного вращающего усилия.

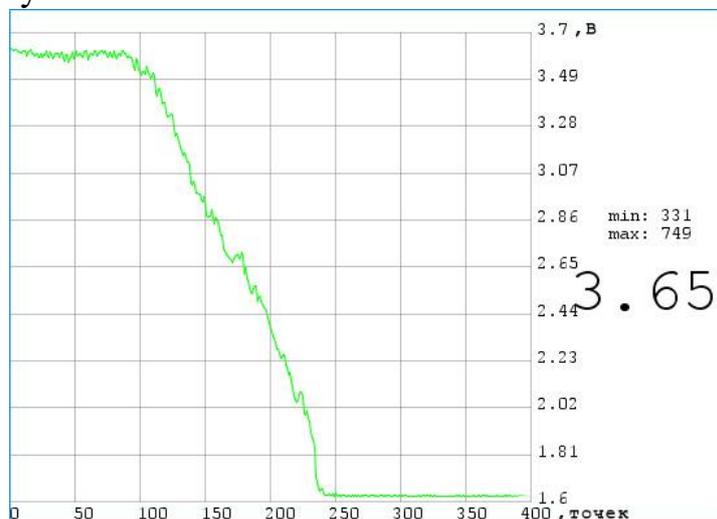


Рисунок 1 – Визуализация полученных данных на ПК

В дальнейшем, расширив номенклатуру применяемых датчиков, например, применив фазные датчики тока, датчик частоты вращения, планируется создать исследовательский аппаратно-программный комплекс для работы с асинхронными электродвигателями. Таким образом, можно будет довольно просто проводить измерения практически всего комплекса электромеханических характеристик двигателей, например, измерять индуктивность рассеивания, что является трудоемкой нетривиальной задачей.

В результате проведенной работы был создан сам датчик, разработана программа обработки сигнала с датчика в микроконтроллере и программа приема и визуализации результатов измерений на компьютере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов Л.Б. Измерение крутящего момента. М., «Энергия», 1967. – 120с.
2. Sanchit Gupta, Andrea Foletto, Andreas Friedrich. Analysis of a Hall-Effect System. [Электронный ресурс] Allegro MicroSystems Inc. Application Information, 2013.
3. URL: <http://www.allegromicro.com/>
4. Brian W. Evans. Arduino programming notebook [Электронный ресурс], 2007 – 40р. URL: http://playground.arduino.cc/uploads/Main/arduino_notebook_v1-1.pdf

УДК 621.313.1-843.6:004.89/94

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ РАБОТЫ В SCADA

В.В.Бушер, д.т.н., профессор

И. Г. Бондарь, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Цель работы: Создание имитационной модели (виртуального тренажера) СЭЭС, моделирующей поведения силовых агрегатов и нагрузки в реальном времени на базе современной SCADA.

Для достижения этой цели необходимо решить несколько задач:

Разработать математическую модель синхронного ДГ, пассивных активно-индуктивных нагрузок 3-фазной судовой сети, позволяющую выполнить расчет динамических режимов в реальном времени.

Определить параметры моделей так, чтобы обеспечить имитацию основных режимов работы СЭЭС. К таким режимам относятся: грузовые операции, маневренный, ходовой и аварийный. В том числе необходимо смоделировать аварийные ситуации, режимы отключения и подключения в параллельную работу нескольких ДГ, берегового питания, нагрузок.

Разработать графическую оболочку SCADA.

Обеспечить в SCADA запись состояния СЭЭС и действий оператора.

Для решения 1-й задачи необходимо учесть, что современные SCADA без подключения к ним контролера (что соответствует требованиям к виртуальным тренажерам) могут обеспечить вычисление переходных процессов в физических системах с частотой не более 25 Гц. Поэтому соответствующие электромагнитные переходные процессы необходимо смоделировать на уровне действующих, а не мгновенных значений координат (будут рассмотрены однолинейные схемы СЭЭС, векторные диаграммы электрических машин).

Для решения 2-й задачи соберем информацию о типовых режимах судна (грузовые операции, маневренный, ходовой и аварийный).

Для решения 3-й задачи в качестве рабочей среды будем ориентироваться на программную среду Citect SCADA (Schneider Electric), как свободно распространяемый программный продукт без ограничений при работе в виртуальном режиме.

Для решения 4-й задачи в SCADA необходимо предусмотреть возможности хранения и отображения трендов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов А.В. «SCADA-Системы»-эл.ресурс.<http://www.insycom.ru/html/metodmat/Automat2011/Lect6.pdf>
2. Пьявченко Т.А. «Проектирование АСУТП в SCADA-Системе» - эл. ресурс. <http://window.edu.ru/resource/205/61205>
3. Меркурьев Г.В., Шаргин Ю.М. «Устойчивость энергосистем», В 2-х т. - СПб.: НОУ "Центр подготовки кадров энергетики", 2008. - Т. 2. - 376 с.

УДК 004.735

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ LORA

В.Ф. Шапо, к.т.н., доцент
Национальный университет "Одесская морская академия"

В последние годы чрезвычайно быстро развиваются беспроводные технологии передачи данных. На ноябрь 2016 г. можно перечислить следующие существующие и успешно применяемые технологии: Wi Fi (b, a, g, n, ac, ah, ad), Bluetooth (5 версий), ZigBee, NFC, RFID, Wi Max, Thread, UltraWideBand, Wireless USB, Wireless HART, Z-Wave, Personal Cell (PCell), WBAN, Li Fi, IEEE 802.22 и др. Многие из них отличаются друг от друга автономностью работы, скоростью передачи и приёма данных, дальностью, топологией, возможностью работы в IP-сетях, задействованными частотами и другими характеристиками. Многие из них могут использоваться в промышленности, для построения систем "Умный дом", соответствуют концепциям IoT (Internet of Things, Интернет вещей) и Industry 4.0 (4-й этап промышленной революции). Некоторые техно-

логии дополняют друг друга, некоторые имеют накладывающиеся, широкие или нишевые сферы применения, при этом все они активно развиваются и дополняются новыми разработками.

В январе 2015 г. для принятия нового протокола LoRaWAN (Long Range Wide/Wireless Area Networks) в качестве стандарта для глобальных беспроводных сетей с низким энергопотреблением LPWAN (Low Power Wide/Wireless Area Networks) создана некоммерческая организация LoRa Alliance. В технологию LoRa входят метод модуляции LoRa и открытый протокол LoRaWAN.

Метод модуляции LoRa работает на физическом (1-м) уровне 7-уровневой модели OSI. Протокол LoRaWAN – протокол канального (2-го) уровня 7-уровневой модели OSI для беспроводных сетей с множеством узлов, невысокой скоростью обмена данными, большим радиусом действия (до 15 км на открытом пространстве и до 5 км в городах), низким энергопотреблением (до 10 лет работы от батареи AA), невысокой стоимостью устройств.

Сеть LoRaWAN имеет звездообразную топологию, оптимизирована для устройств, работающих от батарей и обеспечивает компромисс между скоростями приёма и передачи данных и автономностью узлов, при этом используя шифрование. Архитектура LoRaWAN разрабатывалась, в частности, для активной работы с мобильными устройствами, что является быстрорастущим направлением IoT (Internet of Things, Интернет вещей).

В сети LoRaWAN шлюзы передают зашифрованные данные от узлов на центральный сервер сети, затем – на сервер приложений, откуда данные поступают пользователю.

В настоящий момент существуют две реализации стека LoRaWAN с открытым исходным кодом: LoRaMAC [1] разработана компанией Semtech, а LoRaWAN in C [2], – компанией IBM.

Устройства-узлы сети LoRaWAN выполняют функции измерения, управления и контроля. Используя протокол LoRaWAN, узлы могут быть настроены для связи с шлюзом LoRa. Узлы имеют 32-разрядный адрес.

Данные в сети LoRaWAN могут передаваться между узлами и управляющим сервером в обоих направлениях. Узлы передают данные в течение временных промежутков длительностью 1-5 с, после чего возможен приём данных. Остальное время узлы неактивны или находятся в состоянии приема в зависимости от класса устройства (A, B, C).

1. Узел класса A передает данные шлюзу короткими посылками по заданному графику. Инициатор обмена – сам узел, который обычно не требует получения подтверждения своего сообщения приложением (сообщение без квитирования), но протокол предусматривает и сообщения, на которые сервер приложений формирует ответ-квитанцию, а сетевой сервер выбирает лучший маршрут (шлюз) для отправки подтверждения в момент открытия узлом окна приема (сообщение с квитированием). Узел на некоторое время переходит в режим приема сразу после отправки данных, но большую часть времени находится в режиме энергосбережения или сна. Управляющий сервер накапливает сообщения для узлов и пересылает их, как только узел выходит на связь. Узлы класса A наиболее экономичны в энергопотреблении и наиболее распространены.

2. Узел класса В включает приемник по графику, заданному сервером. Управляющий сервер отправляет сообщения узлу согласно расписанию. Инициатором обмена может быть и сервер. Устройства класса В синхронизируют собственное время с временем сети с помощью сигналов, которые регулярно получает от шлюза. Узлы класса В имеют относительно низкую временную задержку в обмене данными и открывают более широкое временное окно приема по сравнению с классом А. Узлы класса В обладают всеми возможностями устройств класса А.

3. Узлы класса С принимают данные постоянно, ненадолго переходя в режим передачи. Управляющий сервер может инициировать обмен в любое время и передает сообщения узлу сразу после появления. Устройства класса С потребляют больше энергии по сравнению с классами А и В, поэтому реже используют батарейное питание, но получают данные от управляющего сервера сети LoRa с наименьшими задержками. Устройства класса С обладают всеми возможностями устройств класса А и В.

Узлы могут обмениваться данными с одним или несколькими шлюзами, работая в режиме точка-точка (обмен данными между узлом и шлюзом или между двумя узлами напрямую) и в гибридном режиме, когда один из узлов подключен по радиоканалу к другим узлам, одновременно имея проводное подключение к TCP/IP-сети и выступая в роли шлюза с использованием соответствующего программного обеспечения (ПО). Такой мини-шлюз может обслуживать от одного устройства до нескольких десятков, при этом устройства конкурируют между собой за свободные временные промежутки мини-шлюза для приема и передачи данных.

Шлюзы LoRa – многоканальные мультимодемные приёмопередатчики, которые могут выполнять демодуляцию нескольких каналов одновременно или одновременную демодуляцию множества сигналов на одном канале и используются в звездообразных сетях большого радиуса действия, использующих протокол LoRaWAN. Шлюзы служат в качестве моста для передачи сообщений между узлами и управляющим сервером.

Связь между шлюзами и сервером сети LoRaWAN осуществляется на базе протокола TCP/IP и технологий семейств Ethernet, WiFi, с использованием передачи данных в мобильных телефонных сетях GSM и других сетевых технологий.

Для одновременного подключения к одному или нескольким шлюзам узлы используют беспроводное соединение. Обычно оно двунаправленное, но узлы также могут выполнять групповое обновление программного обеспечения по радиоканалу или передачу сообщений в широкополосном режиме для сокращения времени передачи. Шлюзы имеют внутреннее и внешнее исполнение для установки внутри и снаружи помещений, имеют различную производительность и канальную ёмкость.

Узлы сети LoRa могут находиться в зоне покрытия одного или нескольких шлюзов. В сетях с большим числом узлов предпочтительны многоканальные шлюзы, которые могут принимать данные от нескольких узлов одновременно. Это позволяет повысить число узлов, обслуживаемых одним шлюзом.

Например, шлюзы на базе процессора Semtech SX1301 могут обслуживать до 5 тысяч узлов на квадратный километр с помощью двух встроенных процессоров SX1257, обеспечивающих работу с 8-ью независимыми приёмопередающими каналами, которые могут работать одновременно, и одним каналом связи с внешней сетью. Их основные характеристики: полоса частот 868 МГц; выходная мощность до 20 дБ; возможно наличие GPS-приёмника; чувствительность до -138 дБ; интерфейсы USB или SPI (Serial Peripheral Interface, последовательный интерфейс для подключения периферийных устройств, – последовательный синхронный стандарт передачи данных в полнодуплексном режиме для обеспечения простого и недорогого высокоскоростного сопряжения микроконтроллеров и различных периферийных устройств: ЦАП/АЦП, потенциометров, датчиков, расширителей портов ввода/вывода, различной памяти и более сложных устройств, таких как звуковые кодеки и контроллеры Ethernet); возможность работы с отрицательным отношением сигнал/шум; эмуляция 49-ти LoRa-демодуляторов и 1 (G)FSK-демодулятора; 10 параллельных программируемых демодуляторов.

Каждый узел может отправлять данные с разной периодичностью, объем данных и скорость передачи могут существенно различаться, поэтому говорить о теоретической емкости сети достаточно сложно и для точных расчетов нужно принимать во внимание множество факторов. Емкость сети зависит от числа пакетов, которые могут быть получены в данный момент времени. Так, шлюз SX1301 с 8 каналами, используя протокол LoRaWAN, способен получить 1,5 млн. пакетов в день.

Если емкости сегмента сети недостаточно, то сеть LoRa масштабируется: слишком высокую плотность узлов можно компенсировать установкой дополнительных шлюзов. При подключении нового шлюза управляющий сервер сети перераспределяет нагрузку и обновляет график включения режима передачи для всех узлов. Возможные коллизии при одновременной передаче данных несколькими узлами разрешает управляющий сервер, отправляя узлам управляющие команды через шлюзы и выделяя временные промежутки для передачи и приема для каждого узла.

Управляющий сервер сети LoRa принимает решения о необходимости изменения скорости передачи данных узлами, мощности передатчика, выборе канала передачи, ее начале и длительности, контролирует заряд батарей узлов, т.е. полностью контролирует сеть и управляет каждым устройством.

При работе протокола LoRaWAN каждый пакет данных, отправляемый узлом, имеет уникальный идентификатор приложения AppEUI, принадлежащий приложению на сервере приложений, для которого он предназначен. Этот идентификатор используется управляющим сервером сети LoRa для маршрутизации пакета и его обработки на сервере приложений. Сервер приложений, управляющий сервер и единственный шлюз сети (одноканальный LoRa-приёмопередатчик) могут быть объединены в одном устройстве при создании несложной сети.

Высокая проникающая способность радиосигнала на частоте 868 МГц в промышленных корпусах, зданиях, подвалах, в условиях наличия электромаг-

нитных помех от работающего оборудования обеспечивает гораздо более стабильную связь по сравнению с другими беспроводными технологиями передачи данных. Модем LoRa на совмещенном GMSK-канале (Gaussian Minimum Shift Keying, гауссовская модуляция (манипуляция переключения сдвигом или переключения скачком) с минимальным частотным сдвигом) имеет возможность подавления помех до 19,5 дБ за счет гауссовской фильтрации, т.е. может принимать и демодулировать сигналы на 19,5 дБ ниже уровня помех или шумов. Для правильной демодуляции большинству систем с частотной манипуляцией FSK (Frequency Shift Keying, наиболее распространенный вид цифровой модуляции радиочастотных сигналов) нужна мощность сигнала минимум на 8-10 дБ выше уровня шума. Низкая чувствительность к помехам позволяет использовать простую и недорогую сеть LoRa там, где передача данных работа затруднена механическими или электромагнитными помехами или в гибридных сетях связи. В этих случаях использование технологии LoRa позволяет расширить диапазон покрытия сети связи.

Протокол LoRaWAN регламентирует скорость передачи данных в диапазоне 300 бит/с – 50 кбит/с (достигаемая скорость обратно пропорциональна расстоянию между приёмником и передатчиком).

Для европейских потребителей доступен один канал GFSK передачи информации со скоростью передачи данных до 50 кбит/с. В Северной Америке из-за ограничений, накладываемых Федеральной Комиссией Электросвязи США (FCC, Federal Communications Commission), минимальная скорость передачи данных составляет 0,9 кбит/с.

Для увеличения срока службы батареи в узле и оптимизации пропускной способности сети сервер сети LoRa управляет скоростью передачи данных и мощностью передатчика каждого узла с учётом расстояния от шлюза. Управление выполняется с использованием алгоритма адаптации скорости передачи данных ADR (Adaptive Data Rate).

ADR – метод, при котором скорость передачи данных регулируется так, чтобы обеспечить надежную доставку пакетов и обеспечить оптимальную производительность сети. Узлы, расположенные ближе к шлюзу, задействуют меньшую выходную мощность сигнала, передают данные на более высокой скорости и занимают сеть меньшее время. Наиболее удаленные точки имеют минимальную скорость передачи данных и максимальную выходную мощность передатчика. Технология ADR может динамически вносить изменения в соответствующие настройки, компенсируя потери при передаче сигнала.

Сеть LoRa может быть развернута с минимальными инвестициями в инфраструктуру и с емкостью, необходимой для конкретного проекта. Если развернуто много шлюзов, технология ADR будет увеличивать скорость передачи данных, что обеспечит масштабирование емкости сети в 6 - 8 раз.

Протокол LoRaWAN формально определяет набор возможных скоростей передачи данных, но конкретная микросхема, работающая на 1-м (физическом) уровне сетевой модели OSI, может обеспечить больший диапазон скоростей. Например, Semtech SX1272 поддерживает скорости передачи данных от 0,3 до 37,5 кбит/с, а SX1276 от 0,018 до 37,5 кбит/с.

Для защиты от несанкционированного доступа, искажения или перехвата данных, передаваемых узлами, в сетях LoRaWAN используется обязательное двухуровневое шифрование данных двумя разными ключами AES-128 (Advanced Encryption Standard, симметричный алгоритм блочного шифрования с размером блока 128 бит и размером ключа 128/192/256 бит, объявленный стандартом шифрования с 2002 г. и настолько широко используемый, что его аппаратная реализация введена компанией фирмой Intel в семейство процессоров x86 начиная с Intel Core i7-980X Extreme Edition, а затем в процессоры семейства Sandy Bridge).

Конфиденциальность данных в сети обеспечивается при прохождении всех промежуточных устройств, поэтому содержимое пакета доступно только узлу-отправителю и получателю (программному приложению на сервере приложений). Управляющий сервер сети обрабатывает зашифрованные данные, производит аутентификацию и проверяет целостность каждого пакета, но не имеет доступа к содержимому пакета, т.е. к информации от подключенных к узлу датчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сообщество GitHub [Электронный ресурс]: <https://github.com/Lora-net/LoRaMac-node> (дата обращения: 23.11.2016).

2. Исследовательский центр компании IBM [Электронный ресурс]: <http://www.research.ibm.com/labs/zurich/ics/lrsc/lmic.html> (дата обращения: 23.11.2016).

УДК 621.431.74:621.436

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ

С. Ф. Самонов, к.т.н, доцент,

О. В. Глазева, к.т.н., доцент,

В. А. Дубовик, ст. преподаватель,

В.Б. Власов, ст. преподаватель

Национальный университет «Одесская морская академия»

Электроэнергия на современных судах вырабатывается электромашинными генераторами, для приведения во вращение которых используется механическая энергия, получаемая с помощью тепловых двигателей. Затраты на производство электроэнергии, влияющие на эффективность работы судна в целом, зависят от того, каким образом получена необходимая для этого механическая и тепловая энергия.

В качестве электрогенерирующих устройств на судах наиболее широко распространены отдельные вспомогательные агрегаты генераторов с дизелем

или турбиной, работающие на судовом топливе. Альтернативой им являются перспективные источники непосредственного преобразования энергии на основе: ядерных реакторов, топливных ячеек, магнитогидродинамических и термоэлектрических генераторов, находящиеся для флота в стадии экспериментальных разработок и образцов [1].

Широкое распространение на судах получили системы с отбором механической энергии от гребного вала – валогенераторы, значительно снижающие стоимость электроэнергии. В простейшем случае, на судах со среднеоборотным главным дизелем, вал валогенератора механически соединен с валом дизеля или гребным валом непосредственно либо через разобщающую муфту, либо через редуктор (мультипликатор). Для работы синхронного валогенератора на судовую сеть при этом требуется постоянство частоты вращения вала главного дизеля. Параллельная работа валогенератора со вспомогательными дизель-генераторами требует дополнительных мероприятий.

На судах с малооборотным главным дизелем валогенератор механически соединен с гребным валом через мультипликатор либо механический или гидравлический вариатор и, может использоваться, либо только при постоянной частоте вращения главного дизеля, либо в узком диапазоне изменения ее. Для расширения рабочего диапазона частот вращения приводного вала апробированными на судах вариантами являются: использование последовательно с валогенератором силового полупроводникового инвертора [1,2] либо редуктора с суммирующим дифференциалом, к которому механически подсоединена, так называемая, силовая газовая турбина, работающая на части объема отработавших газов главного дизеля [2, 3, 4]. Наиболее перспективным для установок с малооборотным дизелем является валогенератор, ротор которого находится непосредственно на гребном валу. Электроэнергия в судовую сеть или от нее поступает через силовое полупроводниковое устройство, в состав которого входит ведомый сетью (зависимый) инвертор. В такой системе валогенератор может использоваться также и как электродвигатель, преобразующий электроэнергию судовой электростанции в дополнительный регулируемый вращающий момент, прилагаемый к гребному валу. Для этого силовое полупроводниковое устройство переводится в режим частотного преобразователя, питающего электродвигатель.

Значительная доля – около 25% от общего количества тепловой энергии, получаемой при сгорании топлива в главных судовых дизелях – заключена в отработавших газах. Поэтому обязательной в современных энергетических установках является ее утилизация, в том числе, для выработки электроэнергии. Наряду с известным способом, заключающемся в оснащении судна паровым утилизационным турбогенератором [1, 2], разработчиками внедрен перспективный вариант непосредственного соединения вала генератора с валом газотурбоагнетателя главного дизеля [5, 6]. Важным достоинством такой схемы является возможность использования генератора в двигательном режиме за счет силового полупроводникового устройства. Этим обеспечивается эффективная подача необходимого для качественного рабочего процесса главного дизеля количества продувочного воздуха при пониженной мощности. При этом также

отпадает необходимость во вспомогательных электроприводных воздуходувках, устанавливаемых на главных дизелях [4, 9].

Еще одним перспективным вариантом является использование в качестве привода генератора отдельной силовой газовой турбины, работающей на части объема отработавших газов главного дизеля [6,7].

Кроме вышеперечисленных вариантов утилизации на судах с главными дизелями большой мощности нашли применение комбинированные схемы [5, 6, 7, 8], которым характерны существенные преимущества по отношению к простейшим. Для глубокой утилизации тепловой энергии в широком диапазоне режимов главного дизеля используется привод синхронного генератора через редуктор параллельно от паровой утилизационной турбины и от силовой газовой турбины. Разработчики этих схем указывают на достигнутую значительную экономию расхода топлива, около 5%, а также снижение вредных выбросов в окружающую среду таких веществ, как окислы углерода, серы и азота.

Международными и государственными морскими организациями узаконены все возрастающие требования по повышению эффективности работы судовых энергетических установок и оборудования путем снижения удельного (на единицу перевозимого груза на милю и на единицу произведенной энергии) расхода топлива и вредных выбросов в окружающую среду. Одним из определяющих факторов этого направления является снижение затрат на выработку электроэнергии на борту судна.

Перечисленные выше варианты электрогенерирующих систем дают возможность решать указанную проблему на основе внедрения новых принципов утилизации, применения силовой полупроводниковой техники и высокоавтоматизированных технологий управления на базе компьютеров и их сетей. Совокупность перечисленных составляющих позволяет построить гибкую многофункциональную электрогенерирующую систему, интегрированную в энергетический комплекс судна в качестве неотъемлемой его части. В состав структуры такой системы входят: главный дизель, как основной источник тепловой и механической энергии, часть которой преобразуется в электрическую во время его работы благодаря схемам утилизации тепла отработавших газов и отбору части дешевой механической энергии от гребного вала либо от вала газотурбо-нагнетателя; отдельные вспомогательные дизель- или турбогенераторы, необходимые для электроснабжения судна в различных эксплуатационных режимах с утилизацией, в свою очередь, тепловых потерь в их рабочем процессе; турбо- и валогенераторы с силовыми полупроводниковыми устройствами, использующие энергию отработавших газов главного дизеля и часть механической энергии, передаваемой гребным валом. Особое внимание при разработке должно уделяться автоматизации управления всем энергетическим комплексом, включая: подсистемы сбора и обработки измерительной информации, согласованное управление отдельными преобразовательными устройствами: генераторами и их системами возбуждения, силовыми полупроводниковыми и коммутационными устройствами, разнообразными механизмами и их регуляторами, взаимосвязанными на разных иерархических уровнях. Кроме того, электрогенерирующая система должна удовлетворять часто противоречивым требованиям, вы-

текающим из назначения судна и особенностей его использования, а также быть надежной и ремонтпригодной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. – СПб.: Судостроение, 2005. – 528 с.
2. Маслов В.В. Утилизация теплоты судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1990. – 144 с.
3. A.M. Noor, R.C. Puteh, S. Rajoo. Wast Heat Recovery Technologies In Turbocharged Automotive Engine. – Journal of Modern Science and Technology. – Vol. 2, No. 1, March 2014, Pp. 108 – 119.
4. B. Sendyka, J. Soczowka. Recovery of Exhaust Gases Energy by Means of Turbocompound. Politechnika Krakowska.
5. Y. Ichiki, K. Shiraishi, T. Kanaboshi, Y. Ono, Y. Ohta. Development of Super Waste-Heat Recovery System for Marine Diesel Engines. – Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 48, No. 1, March 2011.
6. K. Shiraishi, Y. Ono, Y. Yamashita, M. Skamoto. Energy Savings through Electric-assist Turbocharger for Marine Diesel Engines. - Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 52, No. 1, March 2015.
7. P. Shoemaker. Discovering Electric Turbo Compounding (ETC). – Bowman Power Group Ltd.
8. S. Fischer. Energy Efficient Hydraulic System for Large Engines. – MTZ Industrial. Special Edition. October 2013.
9. Самонов С.Ф., Дубовик В.А. Усовершенствование системы управления электроприводной воздуходувки главных малооборотных двухтактных дизелей. – Восточно-Европейский журнал передовых технологий «Электротехнические и компьютерные системы». – Автоматизированные электромеханические системы. – Вып. № 15. – Одесса: - 2014

УДК 004.032.26

НЕЙРОСЕТЕВАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Е.В.Вербицкая, к.т.н.

Национальный университет «Одесская морская академия»

В различных прикладных исследованиях часто возникает задача получения экспериментальных данных. Она связана с необходимостью определения неизвестных параметров исследуемого объекта или процесса на основании доступных для измерения параметров или отклика на внешнее воздействие.

Обычно экспериментальные данные представляются в табличном либо графическом виде. Графики являются самым простым средством когнитивного представления экспериментальных данных, которые позволяют наглядно оценить качественные особенности процесса, несмотря на помехи, погрешности измерений, неполноту данных и другие искажения. Отображения одного и того же процесса могут существенно отличаться друг от друга масштабами, количеством использованных измерений, уровнем помех. В то же время особенности

формы кривой графика характеризуют параметры отображаемого объекта или процесса.

Пусть y – это доступная для измерения выходная характеристика объекта в момент времени x . Тогда исходной задачей будем называть аппроксимацию функции $y = f(x)$.

В данной работе, для решения поставленной задачи предлагается использовать нейросетевой подход. Для этого могут быть использованы однослойные и многослойные перцептроны, а также сети на основе радиально-симметричных функций. Входы и выходы таких сетей – нормализованные аналоговые сигналы. Исследовалась нейронная сеть прямого распространения сигнала и обратного распространения ошибки, т.к. она обладает хорошей обобщающей способностью, что позволит уменьшить влияние помех и неполноту данных.

Общая постановка задачи: имеется выборка экспериментальных данных, представляющая собой множество из 23 примеров (опытов). Каждый пример – это вектор значений входных переменных и соответствующих им значений выходов. Требуется получить нейросетевую модель, позволяющую с нулевой или наименьшей из возможных погрешностью, описать многосвязную зависимость выходов от входов в пределах изменения независимых переменных модели, соответствующих диапазонам их изменения в экспериментальной выборке. При этом в аппроксимированном векторе требуется получить 78 значений.

Рассмотрим результаты аппроксимации экспериментальных данных (рис. 1) при различном количестве нейронов в скрытом слое нейронной сети: синяя линия – исходные экспериментальные данные (неполные), красная линия – аппроксимированные данные.

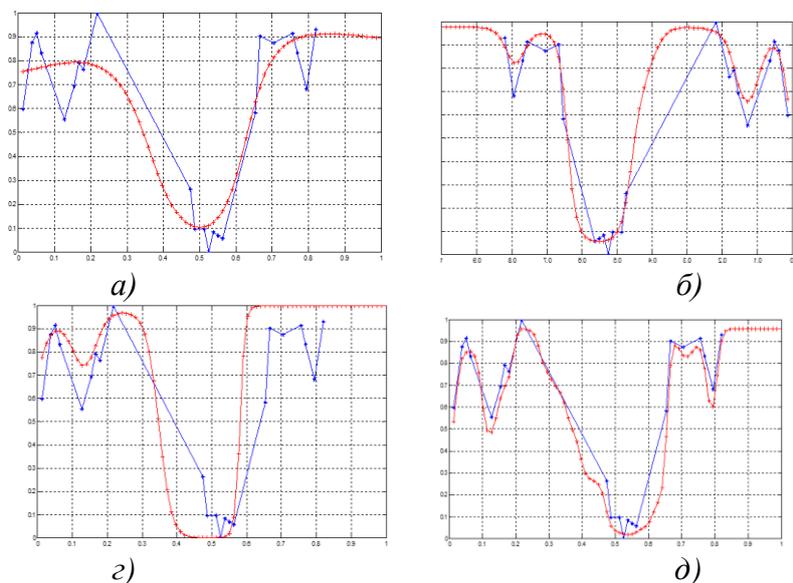


Рисунок 1 – результаты аппроксимации экспериментальных данных
а) 5, б) 10, в) 15, д) 20 нейронов в скрытом слое

Входные данные нормировались к 1 (деление на 78), выходные также нормировались к 1, т.к. целью было получить форму кривой, а не конкретные значения. Для того чтобы получить точные значения параметров достаточно

просто произвести денормировку. Оптимальный результат был достигнут при 20ти нейронах в скрытом слое нейронной сети прямого распространения сигнала. Результаты при более чем 20ти нейронах в скрытом слое не рассматривались, т.к. при 25 уже присутствует эффект переобучения нейронной сети.

Качество полученной модели оценивалось путем расчета средней относительной ошибки в нормализованном и исходном масштабах для обучающей и тестовой выборки.

Главное преимущество нейросетевого подхода при решении задач аппроксимации данных заключается в возможности получения единственной модели, полностью описывающей множественные взаимные связи между ее выходными и входными переменными, в том числе и в случае высокой нелинейности этих связей. Поэтому можно рекомендовать нейросетевой подход для аппроксимации экспериментальных данных, в том случае, когда функция исследуемого процесса не известна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейронные сети. Полный курс. С. Хайкин. 2-е изд. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
2. Основные концепции нейронных сетей. Р. Каллан. – Москва, Санкт-Петербург, Киев: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 287 с
3. Нейронные сети: основные модели. И. В. Заенцев. – Воронеж: Изд-во Воронежского госуд. ун-та, 1999. – 76 с.
4. Нейронные сети для обработки информации. С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 343 с.

УДК 629.546.2.064.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕГУЛЬОВАНОГО АСИНХРОННОГО КРАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ БАЛКЕРА

В. С. Петрушин, д.т.н., професор

В. Е. Загоруйко, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

У даний час для суден типу балкер, які мають крани, використовується асинхронний електропривод (ЕП). В даному дослідженні буде модернізуватися привод підйому крану. Також, до складу приводу входить редуктор. Пропонується використовувати частотний перетворювач та асинхронний двигун з фазним ротором, обмотка якого закорочена (рис. 1). Для рішення цієї задачі потрібно виконання моделювання існуючого ЕП з фазним ротором. Моделювання виконується на максимальне навантаження. Окрім того, потрібно вибрати необхідний перетворювач частоти з номенклатури провідних світових виробни-

ків. Був вибраний перетворювач частоти фірми Mitsubishi Electric FR-A840-03610 з номінальною потужністю 185 кВт. Необхідні конструктивні параметри двигуна були взяті із довідника. Після формування інформаційної моделі було виконано тестування двигуна, тобто зіставлення параметрів, отриманих в результаті моделювання в програмі DimasDrive з результатами з довідника. Розрахунок необхідної потужності дозволяє вибрати двигун, відповідний до навантаження на валу. В якості АД використовується двигун 4АНК280М4УЗ, який має номінальну потужність 160кВт.

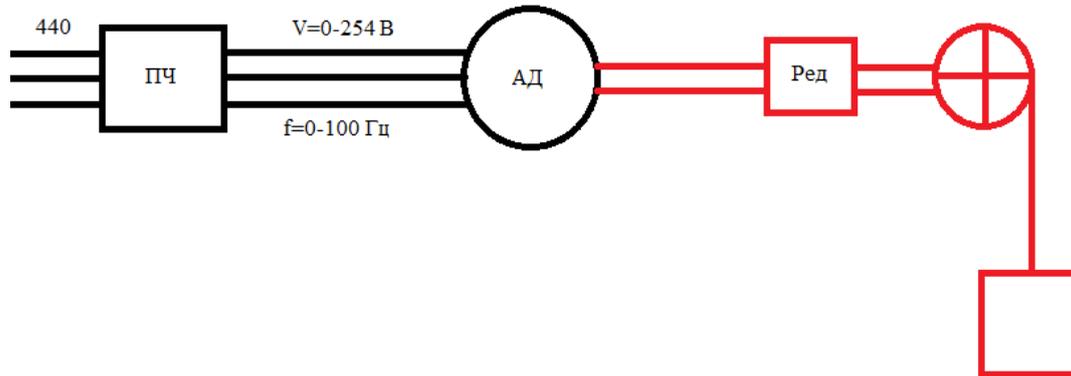


Рисунок 1 – Структурна схема електроприводу

Експлуатаційні показники серійних АД при роботі їх у складі регульованих ЕП знижуються у зв'язку зі змінами величини та частоти напруги живлення двигунів при регулюванні швидкості, а в ряді випадків і з наявністю напруги живлення вищих тимчасових гармонік. За деякими оцінками при використанні серійних АД у частотному приводі знижується їх ККД і потребується завищення їх установленої потужності на 15-20% при роботі в сталих режимах до 40-45% при роботі в динамічних режимах. Через наявність вищих гармонік на виході деяких перетворювачів частоти на 5-6% зростають втрати у двигуні.

Висновок: Потрібно на основі базового двигуна з фазним ротором знайти кращі варіанти приводу, використовуючи структурно-параметричні зовнішню та внутрішню оптимізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/А90 А. Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В. И. Афонин, В. А. Соболенская. Энергоиздат, 1982. 504 с
2. „Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе”: Учеб. пособие. // Петрушин В.С. – Одесса, ОГПУ. – 2006. – 320 с.
3. Петрушин В.С., Рябинин С.В., Якимец А.М. Программный продукт “DIMAS Drive”. 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.
4. <https://ru3a.mitsubishielectric.com/fa/ru/products/drv/inv/local/a800>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СУДОВЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент

Е.А. Босый, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Введение. Большую опасность для всех элементов СЭЭС представляет ненормальный режим, вызванный возникновением короткого замыкания в какой-либо точке системы. Короткое замыкание может иметь место при нарушении изоляции между токоведущими частями любого электротехнического устройства вследствие ее старения или механического повреждения, при обрыве провода (жилы) одной полярности и замыкания его на провод другой полярности, при скоплении токопроводящей жидкости между проводами (детальями) различной полярности и т. п. Точка короткого замыкания, характеризуемая нулевым значением сопротивления, образует в системе отдельную электрическую цепь, по которой протекает ток короткого замыкания (КЗ). Значение тока КЗ ограничивается только внутренним сопротивлением источника и сопротивлением токопроводов (шин, кабелей, коммутационных аппаратов) и может в сотни раз превышать номинальное значение токов элементов, которые составляют электрическую цепь короткого замыкания.

Защита СЭЭС от к.з. должна быть избирательной (селективной), т. е. производить отключение только поврежденного или оказавшегося в ненормальном режиме элемента СЭЭС. Защита должна обладать чувствительностью, т. е. срабатывать при определенных показателях (параметрах) ненормального режима и не производить никаких действий во время нормальных для эксплуатации режимов (не допускать ложных действий). Время действия защиты должно быть несколько меньше допускаемой продолжительности ненормального режима.

Постановка задачи. По мимо традиционных способов защиты с помощью автоматических выключателей, в береговых сетях, в отличие от судовых широко применяют специальные токоограничивающие реакторы, включаемые в цепь потребителя последовательно к.з с помощью быстродействующих коммутационных аппаратов.

Ведутся интенсивные поиски новых решений для повышения эффективности действия защитных устройств. Повышенный интерес исследователей и изобретателей объясняется более жесткими требованиями к надежности работы электроприборов в современном производстве и возможностями, которые открываются при появлении новых электротехнических материалов.

Однако, несмотря на развитие технологий защиты от к.з., большинство устройств защиты отключают ток к.з. после первого его прохождения через ноль с момента к.з., при этом ударный ток проходящий через электрические аппараты, часто приводит к их разрушению.

Ставится задача добиться ограничения тока КЗ менее чем за половину периода синусоиды (рис.1). Для этого предлагается использовать защитные устройства, которые реагируют не только на сигналы пропорциональные величине отклонения тока КЗ, но и сигналы пропорциональные его первой и второй производной.

Такие устройства защиты в начальный момент появления КЗ измеряют скорость и ускорение изменения амплитуды тока и отключают объект задолго до достижения максимальных значений токов КЗ.

В качестве быстродействующих выключателей предлагается использовать традиционные тиристорные ключи (SCR) или полупроводниковые устройства со способностью запираания (например, GTO, IGCT, IGBT).

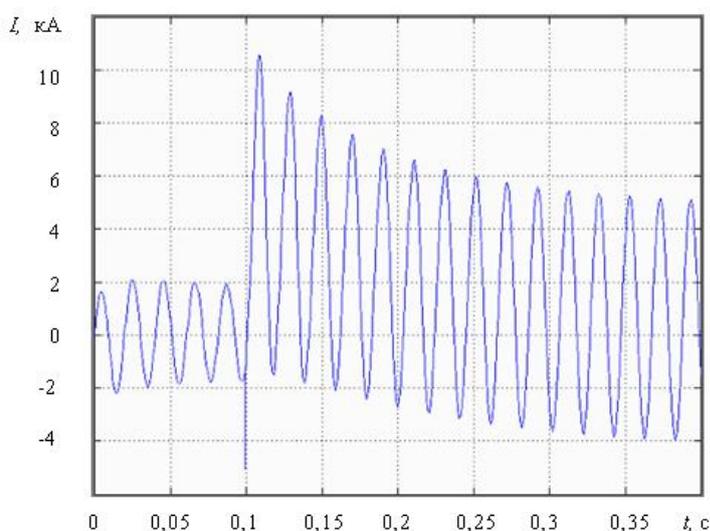


Рисунок 1 – График изменения тока в сети при внезапном КЗ

Выводы. Решения поставленной задачи позволит:

-Предотвращать воздействия ударного тока и его последствия, тем самым увеличивая время эксплуатации судового электрооборудования.

-Снизить затраты на замену поврежденных или вышедших из строя элементов оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дикань С.В., Намитоков К.К. Аппараты систем бесперебойного электроснабжения. - К.: Техника, 1989. – 174 с.

2. Луковцев В.С., Кодров А.А. Повышение эффективности защиты судовой электроэнергетической системы от токов короткого замыкания // Судовые энергетические установки: Науч.-техн. сб. – 2006. – Вып. – Одесса: ОНМА. – С. 17-18.

3. Невретдинов Ю.М., Карпов А.С., Фастий Г.П. Совершенствование защиты линий связи от влияния токов в высоковольтной сети. – Вестник МГТУ, т.12, №1, 2009 г. – С.65- 69.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ

В.В. Бушер, д.т.н., профессор

С.А. Перерва, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Возрастание контейнерных грузоперевозок в мире и в Украине ведет к увеличению затрат времени участников процесса. Грузоподъемные краны являются неотъемлемой частью транспортно-перегрузочного потока (например, в контейнерных терминалах) и оказывают существенное влияние на производительность работ. Автоматизация идет в направлении создания систем, которые способны выполнять необходимые функции без участия человека, что позволяет повысить производительность труда, предоставив человеку решение задач подготовки исходных данных, выбора оптимального алгоритма (метода решения) и анализа полученных результатов. Большинство кранов представляет собой сложные электромеханические многомассовые системы. Наиболее широким классом являются краны с гибким подвесом груза. При большой длине каната эти механизмы характеризуются относительно продолжительными переходными процессами из-за колебаний груза, что приводит к снижению производительности [1]. В причальных и тыловых контейнерных перегружателях при длине подвеса 20...50 m механизмы горизонтального перемещения характеризуются относительно продолжительными переходными процессами из-за колебаний подвешенного на канате груза – на успокоение колебаний может затрачиваться 20...30 s. При регламентированной длительности цикла погрузки/разгрузки 2...2,5 min операции перемещения занимают основную часть времени и поэтому определяют производительность работ.

Поэтому демпфирование колебаний груза является важной задачей. Успешное решение этой задачи требует применения таких законов управления, которые допускают одновременную работу нескольких механизмов (горизонтального перемещения и подъема груза), а также наименее чувствительны к ошибкам измерения параметров груза и воздействию случайных возмущений [2].

Причальные и тыловые перегружатели, которые входят в состав контейнерных терминалов, выполняют технологические операции линейного горизонтального перемещения по одной или двум ортогональным координатам соответственно. Одним из известных способов устранения колебаний при линейном движении является управление скоростью точки подвеса груза по определенному закону, что позволяет исключить влияние на поведение груза соотношения масс подвижной части крана и груза [3]. Этот способ основан на изменении угла α в течение трех временных интервалов по закону, описываемому непре-

рывной периодической функцией, характеризующейся нулевыми начальными и конечными условиями, включая и первую производную:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_m \left(1 - \cos \left(\frac{t}{T_G} \right) \right) \forall t \leq t_1, \\ 2\alpha_m \forall t_1 < t \leq t_1 + t_2, \\ \alpha_m \left(1 - \cos \left(\frac{t - t_2}{T_G} \right) \right) \forall t_1 + t_2 < t \leq 2t_1 + t_2, \end{cases} \quad (1)$$

где α_m – половина угла максимального отклонения каната от вертикали,

$T_G \geq \sqrt{\frac{Lm_1}{2g(m_1 + m_2)}}$ – постоянная времени, обратная заданной угловой частоте колебаний груза, $t_1 = \pi T_G$ – длительность первого и третьего интервалов,

$t_2 = \frac{V_E - V_0}{2a} - \pi T_G$ – длительность второго интервала, полученная, исходя из

максимально допустимых усилий, развиваемых приводом перемещения F_{\max} ,

$a = \alpha_m g = \frac{F_{\max}}{2(m_1 + m_2)}$ – линейная составляющая ускорения на первом и третьем

интервалах, m_1, m_2 – массы механизма и груза, V_E, V_0 – заданные конечная и начальная скорости механизма, L – длина подвеса.

Использование предложенного метода демпфирования колебаний подвешенного груза позволяет обеспечить позиционирование груза в заданной точке при совмещении всех технологических перемещений.

Путь, пройденный механизмом в течение переходных процессов пуска и торможения (рис. 1) вычисляется по формуле:

$$s = \begin{cases} V_E (2\pi T_G + t_3) = 2\pi T_G a (2\pi T_G + t_3) \forall t_2 = 0 \\ V_E \left(\frac{V_E}{2a} + \pi T_G + t_3 \right) \forall t_2 > 0, \end{cases} \quad (2)$$

где t_3 – длительность движения с установившейся скоростью V_E .

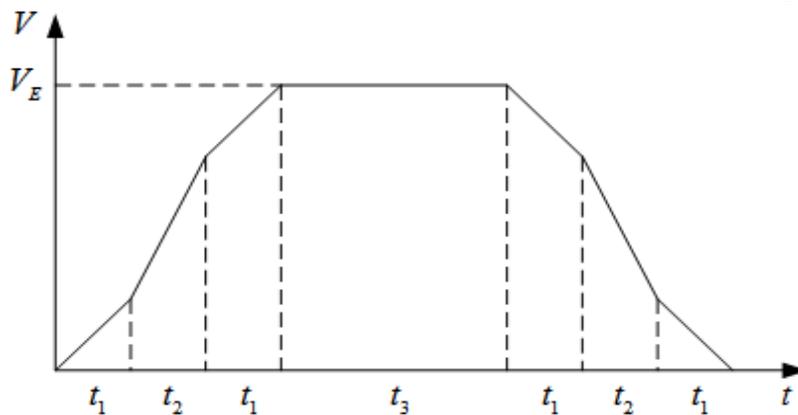


Рисунок 1 – Диаграмма линейных составляющих скоростей при позиционировании

Для реализации такого управления необходимо связать все исполнительные устройства в соответствии с функциональной схемой (рис.2).

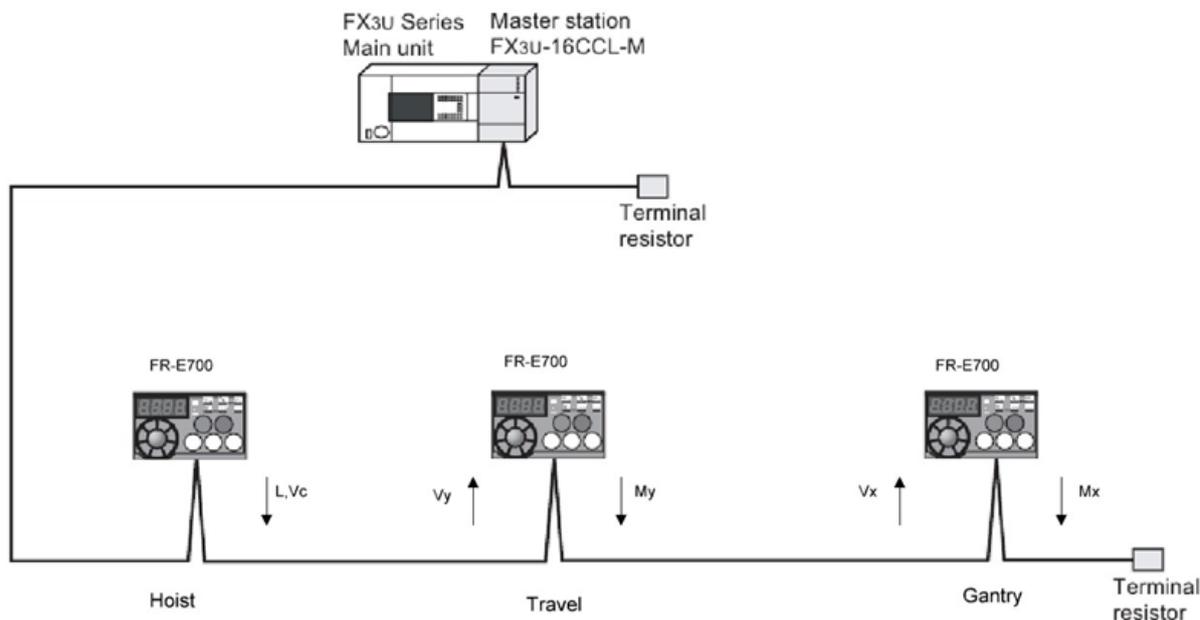


Рисунок 2 – Функциональная схема системы согласованного управления электроприводами крана

Целью работы является разработка автоматизированной системы управления контейнерным перегружателем на базе SCADA Citect, в которой будут реализованы методы ручного и автоматического управления краном с применением метода согласованного управления механизмами горизонтального перемещения и подъема груза, обеспечивающего эффективное подавление колебаний, что позволит включать перегружатель в состав автоматизированных контейнерных терминалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимьяк Р. П. Электроприводы и системы управления крановых механизмов: уч. пособие. / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер, А. Г. Калинин. – Одесса. Наука и Техника, 2014. – 202 с.
2. Бушер В. В. Анализ и сравнение различных способов демпфирования колебаний подвешенного на канате груза [Текст] / В. В. Бушер, Л. В. Мельникова // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ. – Кременчуг: КГПИ, 2000. – Вып. 1/ 2000 (8). – С. 236–240.
3. Бушер В. В. Оптимизация управления электроприводами контейнерного перегружателя при совместной работе механизмов / Бушер В. В., Мельникова Л. В., Шестака А. И. // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса: Наука и Техника, 2015. – №17(93). – С. 23–28.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В.Г.Донской, доцент
П.О.Почивалов, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Важной задачей в производстве электрической энергии на судне при параллельной работе нескольких дизель-генераторов является распределение реактивной мощности между ними.

Реактивная составляющая возникает в цепях, содержащих реактивные элементы (индуктивности и емкости) и расходуется на бесполезный нагрев проводников, из которых составлена эта цепь. Реактивная нагрузка характеризуется тем, что за определенный период времени реактивные элементы цепи накапливают электрическую энергию, получаемую от источника питания. Затем за определенный момент времени они отдают накопленную энергию обратно в источник. Таким образом энергия перекачивается то в одну сторону то в другую между источником и потребителем, что является вредоносным процессом в цепи поскольку влияет на полезную доставку электроэнергии от производителя к потребителю. Так же это приводит к потерям на нагрев кабелей и обмоток электрических машин. Регулирование реактивной мощности позволяет повысить перегрузочную способность устройств, поддержать постоянство напряжения в сети и обеспечить устойчивую и экономичную работу систем электропитания.

Потери на реактивную мощность связаны с коэффициентом мощности $\cos(\varphi)$ который является отношением потребляемой потребителем активной мощности к полной мощности, который показывает насколько сдвигается по фазе переменный ток, протекающий через нагрузку, относительно приложенного к ней напряжения. Угол φ играет ключевую роль при регулировании реактивной мощности поскольку он является углом между векторами тока и напряжения (см.рис.1), что используется при амплитудно-фазовом компаундировании в системе возбуждения генератора, которая на прямую отвечает за регулировку реактивной мощности в генераторе. Чем выше коэффициент мощности, тем меньше будут потери мощности в цепи поскольку напряжение и ток не будут отставать друг от друга по фазе.

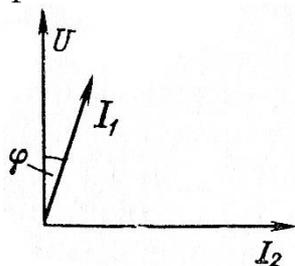


Рисунок 1 – Угол между векторами тока и напряжения.

Проблема состоит в том, что после вывода генератора из холодного резерва с последующим подключением его на параллельную работу изменяется температура обмоток генератора в следствии чего изменяется их сопротивление. При этом происходит провал напряжения возбуждения, что негативно сказывается на распределении реактивной мощности между параллельно работающими генераторами. В таком случае реактивная мощность будет распределяться не равномерно, что вызовет чрезмерный и неоправданный нагрев проводников и ухудшение качества передачи энергии в судовой сети.

Данные зависимости можно проследить из формул:

$$Q = UI\sin\varphi, \quad U = IR, \quad R = \frac{l \cdot k_B T}{SDZ^2 e^2 C}$$

где Q – реактивная мощность; S – площадь сечения проводника; T – температура проводника; D – коэффициент диффузии носителей заряда; Z – количество электрических зарядов носителя; e – элементарный электрический заряд; C – Концентрация носителей заряда; k_B – постоянная Больцмана.

Для решения этой проблемы необходимо модернизировать систему управления возбуждением генераторов, включив в нее подсистему способную считывать показатели температуры и сопротивления обмоток, а также измерять реактивную мощность. После обработки результатов измерений системе будет необходимо рассчитать ток возбуждения для создания оптимального баланса реактивных мощностей между генераторами.

Основываясь на вычислении падения напряжения на обмотках генераторов, система будет корректировать заранее ток возбуждения, что позволит повысить точность регулировки возбуждения тем самым улучшив качества распределения реактивной мощности.

Такая система будет способна обеспечить более качественное распределение реактивной мощности между параллельно работающими генераторами с учетом температур обмоток, их параметрами сопротивления и выполнять свои функции при изменении характера нагрузки и состояния систем электропитания в дальнейшей эксплуатации.

Вывод: представленное решение проблемы способно в целом повысить точность системы управления и распределения реактивной мощности, а также оказать существенное влияние на процесс распределение в момент нагрева обмоток подключаемого генератора после синхронизации. Актуальность такого метода растет при увеличении числа генераторов, их мощностей, а также при частом изменении режима работы систем электропитания судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев Г.С. Судовые электро-энергетические системы. Л.: Судостроение, 1967. — 387 с.
2. Аполлонский С.М., Леонтьев В.В. Электротехника и электроника. Трехфазные электрические цепи: Учебное пособие. - СПб.: СЗТУ, 2002. - 59 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

И.М.Гвоздева, д.т.н., профессор

В.А. Мягков, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Введение. Особенностью современных судовых электроэнергетических систем (СЭЭС), которые относятся к классу автономных энергосистем, является динамичность и напряженность протекающих в них процессов. Увеличение мощности потребителей СЭЭС может привести к кратковременному провалу напряжения при пуске мощных потребителей. В этом случае защита минимального напряжения производит отключение электроприводов, в том числе ответственных судовых механизмов. Такое отключение нарушает нормальную работу главной энергетической установки. Поэтому актуальной научно-прикладной задачей является усовершенствование алгоритмов работы средств судовой автоматики, обеспечивающих бесперебойность работы электроприводов ответственных судовых механизмов [1,2].

Основная часть. Одним из важнейших мероприятий, обеспечивающих повышение надежности и эффективности функционирования потребителей в наземных электроэнергетических системах при кратковременном провале напряжения, является применение автоматического повторного включения (АПВ) приводов ответственных механизмов и отключение асинхронных двигателей (АД), входящих в состав электроприводов менее ответственных потребителей.

Вопросам экспериментальных исследований динамических процессов в автономных электроэнергетических системах, в частности, в СЭЭС, возникающих при групповом АПВ асинхронных приводов ответственных механизмов уделено недостаточно внимания.

Основной целью экспериментальных исследований является получение и анализ динамических характеристик асинхронных двигателей, на примере асинхронного двигателя АО2-32-4.

Экспериментальные исследования выполняются по следующей методике:

- 1) Снимаются показания тахометра на холостом ходу ($N = 1430$ об / мин).
- 2) Снимаются осциллограммы мгновенных значений напряжения при отключении двигателя от сети.
- 3) Снимаются показания осциллографа (мгновенное значение ЭДС) при отключении двигателя от сети.
- 4) Снимаются показания напряжения при включении двигателя.
- 5) Снимаются показания тахометра при отключении двигателя от сети (характер падение оборотов ротора).

Осциллограмма падения напряжения при отключении асинхронного двигателя от сети, полученная экспериментальным путем с использованием цифрового осциллографа TDS1001B Tektronix представлена на рис. 1.

Эксперимент проводился 16 ноября 2016 года при следующих климатических условиях: температура помещения: + 18 ° С, влажность воздуха 60%, количество проведенных экспериментов – 14.

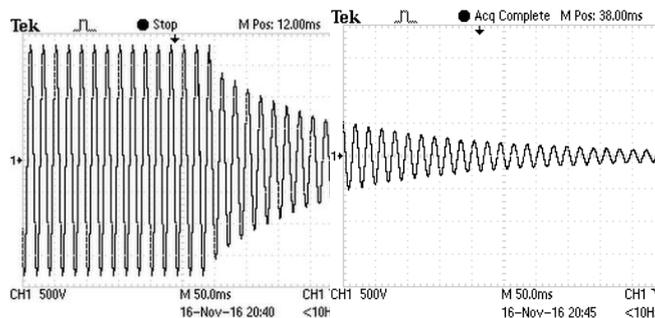


Рисунок 1 – Осциллограмма мгновенного значения напряжения при отключении двигателя от сети

На рисунке осциллограмма приведена в относительных единицах. Как видно из рис.1 ЭДС в момент отключения составляет 0.9 от напряжения сети и в дальнейшем затухает значительно быстрее, чем происходит снижение угловой скорости. Так, через 0.5 с после отключения скорость составляет 0.9, а ЭДС - 0.47 от номинального значения. Проведенный эксперимент подтверждает теоретические данные [3]. Таким образом, при внезапном отключении двигателя от сети, напряжение на выводах статора затухает по экспоненциальному закону. При этом на интервале времени от 0 - 0.5 с значение ЭДС двигателя позволяет провести АПВ асинхронного электродвигателя при возобновлении питания.

Выводы. Полученные динамические характеристики асинхронного двигателя АО2-32-4 подтверждают известные теоретические результаты. Направлением дальнейших исследований будет изучение динамических характеристик судовых асинхронных двигателей при групповом выбеге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А.А. Электрическая часть станции и подстанции / Васильев А.А. и др. – М.: Энергия, 2010. – 566 с.
2. Гвоздева И.М. Волошин А.А. Исследование динамических режимов при повторном включении асинхронных двигателей /Материалы научно – методической конференции “Актуальные вопросы судовой электротехники и радиотехники” (Одесса, 11-12 декабря 2013 г.). – Одесса, 2013. – С. 27.
3. Голоднов Ю.М. Самозапуск электродвигателей. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 133 с.
4. Мещанинов П.А. Автоматизация судовых электроэнергетических систем. – Л.: Судостроение, 1970. – 368 с.
5. <http://ingsvd.ru/main/articles/767-naznachenie-i-obschee-primeneniye-rele-samozapuska.html>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ РЕГУЛЬОВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОМПРЕСОРА РЕФРЕЖЕРАТОРНОГО КОНТЕЙНЕРА

В. С. Петрушин, д.т.н., професор

О. В. Омелянченко, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Сучасні вантажні перевезення неможливо уявити без використання рефрижераторних контейнерів. Вони використовуються для транспортування риби, м'ясопродуктів, овочів, фруктів, квітів, інших різноманітних рослин, продуктів глибокої заморозки, медичних і лікарських препаратів, парфумерії, деяких видів хімічних речовин та інше. При цьому рефрижераторні контейнери забезпечують оптимальні умови зберігання вантажу під час транспортування, захист його від несприятливих зовнішніх впливів, запобігання викраденню. Їх використання також дуже зручне тим, що вони швидко та легко встановлюються на будь-який вид вантажного транспорту.

В холодильному агрегаті рефрижераторного контейнера, що розглядається, використовується двоступеневий поршневий компресор. У якості приводу компресора застосовується електропривод з асинхронним короткозамкненим двигуном та перетворювачем частоти. Основними перевагами поршневих компресорів, в порівнянні з іншими типами, є їх низька ціна, простота конструкції, здатність працювати в агресивних середовищах і важких умовах експлуатації при часто повторюваних короткочасних навантаженнях. Вони характеризуються наступними основними параметрами: продуктивність, кінцевий тиск, споживана потужності та потужність електродвигуна компресора, механічний коефіцієнт корисної дії. Діапазон регулювання частоти обертання приводного двигуна, в нашому випадку, складає 750 – 2900 об/хв, що відповідає необхідному діапазону зміни продуктивності компресора.

Регулювання продуктивності зміною частоти обертання валу приводного двигуна призводить до значної економії електроенергії порівняно з іншими способами регулювання (дроселювання, вмикання/вимикання та ін.). За допомогою перетворювача частоти регулюється тиск нагнітання з високою точністю. Цей метод регулювання є найбільш перспективним в наш час. Він і розглядався в роботі.

Для детального аналізу роботи регульованого електроприводу компресора в програмі DIMAS_DRIVE було створено комплексну математичну модель. Вона включає в себе моделі розрахованого навантаження, перетворювача частоти, приводного електродвигуна. В результаті були отримані регульовальні характеристики, що представляють залежності електричних, теплових та енергетичних величин від частоти обертання в заданому діапазоні регулювання.

В ході зовнішньої параметричної оптимізації були вибрані налаштування перетворювача частоти, які відповідають поставленим вимогам. Крім того, була

виконана внутрішня структурно-параметрична оптимізація асинхронного двигуна. На рисунках, наведених нижче, зіставляються характеристики базового електроприводу та характеристики модернізованого варіанту.

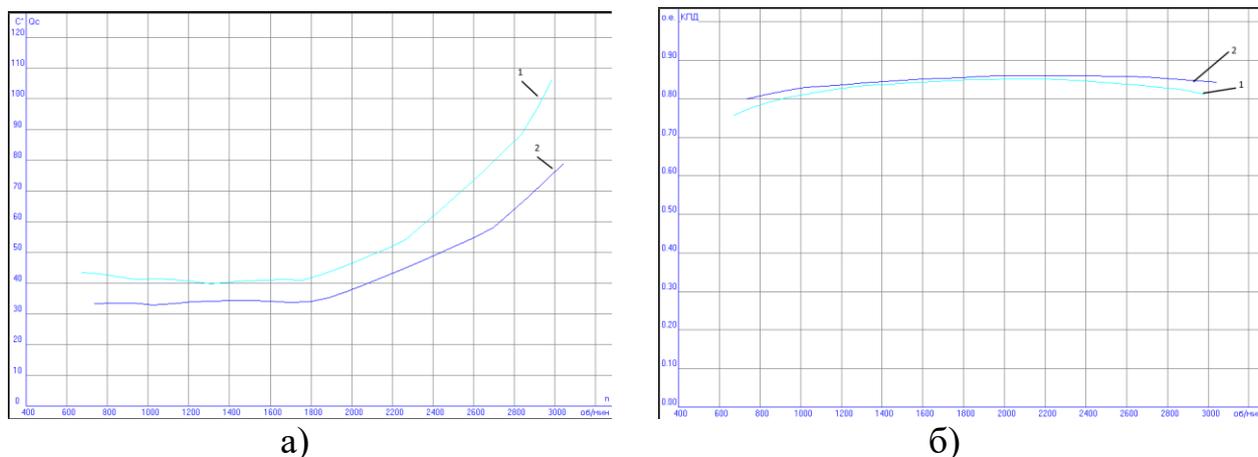


Рисунок 1 – Зіставлення характеристик базової моделі (1) та результату оптимізації (2).
 де а) – залежність температури обмотки статора (град. Цельсія) від частоти обертання валу приводного ЕД (об./хв.);
 б) – залежність коефіцієнту корисної дії ЕД (відносні одиниці) від частоти обертання валу ЕД (об./хв.).

В результаті внутрішньої структурної оптимізації, було підвищено ККД приводного електродвигуна на 1,61 відсотка зі значення 0,8328 до значення 0,8461. Зовнішня параметрична оптимізація дала змогу підвищити ККД додатково на 0,05 відсотка до значення 0,8467 у відносних одиницях.

Також оптимізація дала змогу зменшити температуру нагріву обмотки статора ЕД у необхідному діапазоні в середньому на 10 – 20 градусів Цельсія.

ЛІТЕРАТУРА

1. Петрушин В.С. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе: Учеб. пособие/ – О.: Наука и техника, 2006.
2. Поршневые компрессоры / Б. С. Фотин и др. – СПб. : Машиностроение, 1987.
3. Петрушин В.С. Проектирование модификаций асинхронных короткозамкнутых двигателей для систем полупроводникового электропривода / В.С. Петрушин, С.В. Рябинин, А.М. Якимец // Проблемы автоматизированного привода. Вестник Харьковск. гос. политехн. ун-та. – 1999. – Вып. 61.
4. INTELLIGENT COMPRESSOR BITZER – верное решение!
http://bitzer.ru/Intelligent_compressor_BITZER_-_vernoe_reshenie_

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ И ЕЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С СЭЭС

И.М. Гвоздева, д.т.н., профессор

В.О. Берест, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Актуальность. Современная судовая электроэнергетическая система (СЭЭС) представляет собой электростанцию с комплексом вспомогательных устройств и сложной автоматикой управления и контроля, от нормального функционирования которой зависит жизнеспособность судна. Качество производимой электрической энергии должно соответствовать требованиям регистра. Одним из недостатков СЭЭС остается ее зависимость от использования углеродосодержащих энергоносителей в качестве топлива. Истощение природных ресурсов усугубляется загрязнением окружающей среды [1].

Данный этап развития судовой энергетики характеризуется появлением различных программ, направленных на использование альтернативных источников энергии, все чаще возникает вопрос о гибридации регистровых судов с использованием так называемых возобновляемых (нетрадиционных) видов получения энергии. Одной из альтернатив традиционного электроснабжения могут служить фотоэлектрические системы (ФЭС) судового базирования.

В общем случае ФЭС состоит из системы фотоэлектрических преобразователей (СФЭП), системы наведения СФЭП на Солнце, контроллера заряда аккумуляторной батареи, аккумуляторных батарей (АКБ), инвертора переменного тока и коммутирующих устройств. К преимуществам СФЭП следует отнести: относительно небольшую массу системы, простоту конструкции, надежность в работе, удовлетворительный КПД преобразования солнечной энергии в электрическую и т.д. [2 – 4].

Известно применение дискретных маломощных ФЭС на малогабаритных паромах, прогулочных катерах и яхтах, совместно с дизель-электрогенераторами для электроснабжения светодиодных светильников, вентиляторов, отдельных приборов и в качестве резервного источника заряда аккумуляторных батарей. Это не только позволяет снизить экологическую нагрузку на экосферу, но и является экономически выгодным [5].

Реализация ФЭС как резервного источника электроэнергии на регистровых судах остается в настоящее время нерешенной задачей. При внедрении ФЭС на морских регистровых судах возникают дополнительные задачи, связанные с необходимостью оценки эффективности её работы, возможностью предсказания её мощности, сравнения эффективности использования различных материалов в составе ФЭП и т.д.

Цель работы: исследование возможности применения ФЭС в качестве резервного источника электроэнергии на судах типа RoRo, исследование взаимодействия с СЭЭС в различных режимах работы.

Основная часть. В зависимости от технологии изготовления ФЭП, известны различные их типы: многослойные, органические, кремниевые, аморфные (нанокристаллический кремний), тонкие пленки халькопиритов, фотохимические. ФЭП производятся из псевдоквадратных монокремниевых или квадратных поликремниевых ФЭП, покрытых антиотражающим покрытием. Исследовательские лаборатории во всем мире разрабатывают новые ФЭП с более высоким КПД (до 45%) [6].

Тонкопленочная технология обладает рядом преимуществ таких, как низкий расход материала (в ФЭП первого поколения толщина слоя абсорбера составляет 100-150 мкм, в то время как у тонкопленочных она составляет 1,5-2,5 мкм), что приводит к сокращению затрат на их производство. Нанесение тонкопленочных элементов возможно на поверхности любой конфигурации. Такие виды ФЭП обладают способностью эффективно воспринимать рассеянное солнечное излучение. Технология основана на сочетании таких элементов как медь, индий, галлий и селен, что дает КПД до 20% [7].

Известны также ФЭП, созданные на основе графена. Графен проводит электричество и богат электронами, которые могут свободно перемещаться по всему слою, при его взаимодействии с дождевыми каплями, возникающая при этом разность потенциалов дает возможность вырабатывать напряжение и ток. Покрытие представляет собой двумерную форму углерода, в котором атомы связаны в виде сот [8].

ФЭП из аморфного кремния производят путем вакуумного напыления полупроводников на тонкопленочную подложку. ФЭП, изготовленные из аморфного кремния, при работе не требуют облучения прямым потоком солнечного света, им достаточно рассеянного света. В результате этого такие батареи за год вырабатывают на 10 – 15% больше электроэнергии, чем традиционные кремниевые батареи. Они работают при большой запыленности воздуха или при насыщении его аэрозолями [9].

Для повышения энергетической эффективности ФЭП ученые и инженеры из компании MicroLink, придумали способ многократного соединения отдельных элементов, формирующий так называемый «сэндвич». Известно четырехслойное соединение, выращенное на подложке из фосфида индия (InP), имеющее максимальную ширину запрещенной зоны в 1,8 электрон-вольт (соединение так называемых «четверных сплавов» InAlAsSb) [10].

Таким образом обзор существующих ФЭС позволяют выдвинуть гипотезу о повышении надежности работы СЭЭС и живучести судна в целом при использовании ФЭС как резервного источника электроэнергии.

Заключение. Перспективы дальнейших исследований использования СФЭП на регистровых судах типа RoRo заключается в изучении особенностей функционирования СФЭП как источников резервного энергоснабжения, разработка их математических моделей, их исследование и моделирование.

Изучение применения ФЭС на различных судах типа RoRo и её взаимодействие с СЭЭС в различных режимах работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный ресурс: <http://www.transportenvironment.org/publications/air-pollution-ships-0>.
2. Безруких П.П. Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики // Электрика – М.: Наука и технологии, 2008. № 9. – С. 3–10.
3. Российский морской регистр судоходства// Санкт-Петербург: Федеральное автономное учреждение Российский морской регистр судоходства 2005, Т.1
4. Ионов В.С. Солнечная энергетика уже давно не экзотика // Электронный ресурс: <https://www.abok.ru/?controller=articleAuthorView&id=1271>.
5. Баранов Н.Н. Прямое преобразование энергии для автономной энергетики // Энергия: экономика, техника, экология. – 2000. – № 8. – С. 23–34.
6. Нго Сян Кыонг Анализ конструктивных схем электромеханических систем солнечных батарей/ Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Тульский государственный университет, 2013, – Вып. 1. – С. 322–325.
7. Гарифулина М. Р. Модель элемента солнечной батареи типа CIGS / М. Р. Гарифулина, А. И. Власов, В. В. Макаручук, Н. Адамовик // Инженерный вестник – М.: ФГБОУ ВПО «Московский технический университет им. Н.Э. Баумана», 2012. – № 08. Электронный ресурс: <http://engsi.ru/doc/479044>.
8. Lianwei Wang, Jinchuan You, Jing Shi, Bobo Peng, and Paul K. Chu. Improving solar-cell efficiency // Newsroom. Hong Kong, China, 2008. – Электронный ресурс: <http://spie.org/newsroom/2540-improving-solar-cell-efficiency>.
9. Электронный ресурс: <http://solarb.ru/solnechnye-batarei-iz-amorfnogo-kremniya>.
10. L. C. Olsen, P. Eschbach and S. Kundu, Role of buffer layers in CIS-based solar cells 29th IEEE Photovoltaic specialists conference, New Orleans, 2002. – Электронный ресурс: <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2010/468147>.

УДК 621.313.322-027.236(042)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ СУДОВЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент

Н.О. Кулиш, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Актуальность темы. На теплоходах «Унан Аветисян» и «Лубны» [1,2,3] в ходовом не санкционированные отключения от сети одного из двух работающих в параллель синхронных генераторов. При этом возникали аварийные ситуации, сопровождающиеся одинаковыми процессами. Вся нагрузка отключившегося генератора перекидывалась на оставшийся в работе ДГ, который начинал работать с нагрузкой свыше 110%, которая по истечению 2-4 сек.

снижалась до уровня 100-105%. Защита от перегрузки не срабатывала, в результате устанавливался режим, при котором ДГ работал с частотой вращения 350 об/мин вместо 500 об/мин с максимальной топливоподачей и напряжением около 320В. ДГ оставшийся в работе перегревался, обгорала краска на цилиндрах, выгорело масло резервного ДГ запустился, но включиться не смог.

На т/х «Унан Аветисян» аварийная ситуация была ликвидирована с помощью точной синхронизации резервного ДГ при частоте сети 35 Гц. На т/х «Лубны» ситуация вышла из под контроля, что привело к более тяжелой аварии - столкновение судов.

После обоих случаев была проведена проверка устройств топовой защиты от активной мощности, которая показала их полную исправность. Таким образом было зафиксировано, что при внезапной одномоментной перегрузке ДГ свыше 10% исправная защита от перегрузки не обеспечивает разгрузку работающего генератора путем отключения второстепенных потребителей первой и второй ступни. Дополнительная защита СЭЭС от работы на пониженной частоте на судах, построенных под наблюдением Российского Регистра, не предусмотрена (см. таблицу 1)

На морских судах, построенных под наблюдением, при снижении частоты ниже допустимой такая защита имеется (табл.1), однако это ведет к отключению генераторов от сети и обесточиванию судна, что является нежелательным, особенно при плавании в стесненных условиях, где возможны столкновения судов.

Поэтому в данной работе ставится задача исследовать процессы, происходящие в СЭЭС, при пониженной частоте и напряжении и с целью выявления причины не срабатывания защиты СЭЭС от перегрузки и дальнейшего повышения ее эффективности.

Задача. Исследовать процесс работы асинхронного двигателя при пониженных частоте и напряжении, чтобы выявить причину несрабатывания защит от перегрузки.

Методы, средства: Поставленную задачу предлагается решить следующими методами: метод моделирования с помощью уравнений Парка Горева; метод планирования эксперимента.

Таблица 1 – Требования Классификационных обществ к защите ДГ по напряжению и частоте.

№	Контролируемый параметр	Русский морской регистр судоходства		Германский Лойд	
		Индикация, АПС	Автоматическая защита	Индикация, АПС	Автоматическая защита
1	Напряжение	снижение напряжения	отключение генератора	сигнализация напряжения	отключение генератора
2	Частота тока	снижение частоты тока	нет защиты	сигнализация частоты тока	отключение генератора

Гипотеза. В качестве рабочей гипотезы выдвинуто: обеспечить надежную работу защиты дизель-генератора от перегрузки, возможно дополнив имеющуюся систему защиты каналом частотной разгрузки.

Выводы.

Имеющиеся системы защиты дизель-генераторов от перегрузки не обеспечивают эффективную и надежную работу

Защита ДГ от перегрузки путем отключения от сети с помощью защиты от пониженной частоты имеет существенный недостаток – ведет к обесточиванию судна.

Для повышения эффективности защиты от перегрузки ДГ возможно осуществить добавлением к имеющейся защите канала частотной разгрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Судовождение: Технические причины аварии теплохода Лубны /Луковцев В.С./Сборник научных трудов/ ОГМА Вып. 4. – Одесса: Латстар, 2002. – с. 58
2. Судовождение: Работа энергосистемы в асинхронном режиме/Луковцев В.С./ «Международный журнал» Вып. 9-10. – Одесса: ОНМА, 2004. – с.15
3. Судовождение: Аварийное отклонение частоты в судовой электросети/Луковцев В.С./ «Международный журнал» Вып. 4-6. – Одесса: ОНМА, 2004. – 25 с.
4. Германский Лойд: «Правила постройки и классификации/ Глава 3/ Электрическое оборудование» - 1998.
5. Русский морской регистр судоходства: «Правила постройки и классификация морского регистра» Вып. Т2. – Часть 15, 2007. – 619 с.
6. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электро-энергетические системы – Изменение напряжения и частоты в судовых электроэнергетических системах: Учебное издание. – М. Транспорт, 1988. – 328 с.
7. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. - М.: Энергоиздат, 1984. - 240 с.

УДК 629.5.064.5: 621.372.542

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ-ФИЛЬТРОВ В МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ СУДОВЫХ СИСТЕМАХ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А.О. Дранкова, к.т.н., доцент
А.И. Шестака, ст. преподаватель
О.П. Синюченко, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

В настоящее время проблема повышения качества судовой электроэнергии и надежности системы электропитания выдвигается на одно из первых мест. Задачи подавления помех от мощного судового электронного оборудования находятся на переднем плане, поскольку их наличие приводит к значитель-

ным экономическим потерям, а в некоторых случаях к возникновению сбоев в системах управления ответственными энергетическими процессами и потере безопасности мореплавания.

С возрастающим количеством электроники в судовой электроэнергетической сети, высокие гармоники становятся серьезной проблемой. Причиной гармоник есть коммутационные процессы, а также нелинейная нагрузка сети, например: флуоресцентные лампы, блоки бесперебойного питания, преобразователи частоты, и другое.

На сегодняшний день широкое распространение в судовом ЭП получили VFD. По структуре VFD состоит из выпрямителей. Процесс управления выпрямителем приводит к повышению коэффициентов несинусоидальности как тока, так и напряжения. Основные проблемы, которые возникают при управлении выпрямителем, это: искажение формы питающего напряжения, падение напряжения в распределительной сети, резонансные явления на частотах высших гармоник, наводки в телекоммуникационных и управляющих сетях, повышенный акустический шум в электромагнитном оборудовании, вибрация в электромашинных системах, снижение электрического и механического КПД нагрузок, ухудшение характеристик защитных автоматов, завышению требуемой мощности автономных электроэнергетических установок, нагрев и дополнительные потери в трансформаторах и электрических машинах, нагрев конденсаторов, нагрев кабелей распределительной сети.

Поэтому, для уменьшения вредного влияния гармоник необходима установка фильтров помех. Существует три типа фильтров: пассивные, активные, смешанные.

В работе будет рассмотрено использование активных выпрямителей-фильтров (AFE) для повышения энергоэффективности судовой сети.

Стандартные 6-импульсные выпрямители, которые используются в большинстве приводов, создают гармоники (например, 5-я, 7-я и т.д.), которые могут генерировать от 30 до 100 процентов искажений тока, 12-ти пульсные выпрямители позволяют снизить искажения до 12 процентов, а при использовании AFE – 2-4 процента. AFE используется для минимизации количества гармонических искажений отраженных от энергосистемы, создавая почти синусоидальный ток от сети.

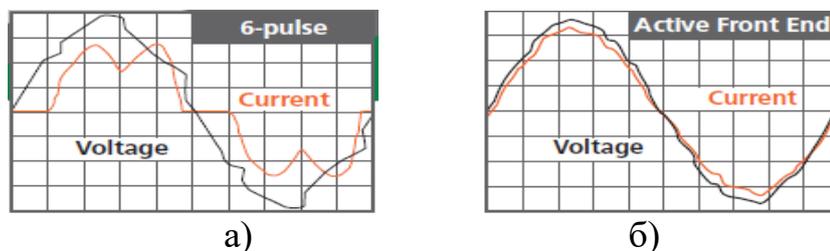


Рисунок 1 – Искажение тока без использования активного выпрямителя (а), и с ним (б)

Такие выпрямители комплектуются полностью управляемыми вентилями с обратными диодами. С помощью широтно-импульсной модуляции реализуются режимы принудительного формирования сетевого тока. Форму тока при-

ближают к синусоидальной с регулируемой начальной фазой, что и обеспечивает желаемый результат (форму кривой тока и коэффициент мощности).

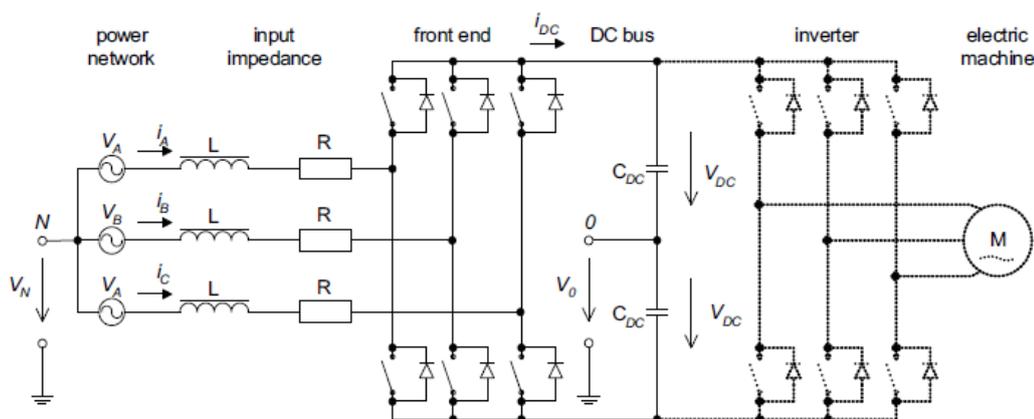


Рисунок 2 – Общая структура AFE

При возникновении гармоник (I_{har}), AFE генерирует противодействующие гармоники (I_{act}), которые эффективно устраняют созданные ранее помехи ($I_{har} = -I_{act}$).

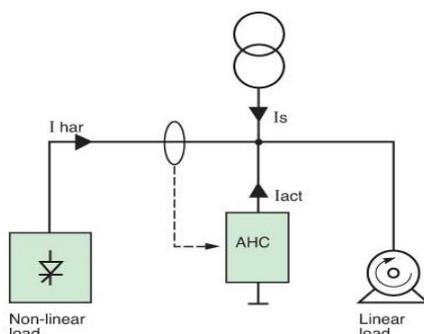


Рисунок 3 – Принцип работы AFE

При использовании AFE коэффициент нелинейных искажений THD(i) преобразователя частоты становится меньше 4%.

AFE устанавливаются не только индивидуально с одним ПЧ, но и могут использоваться для построения многоинверторной структуры с общим звеном постоянного тока (ЗПТ).

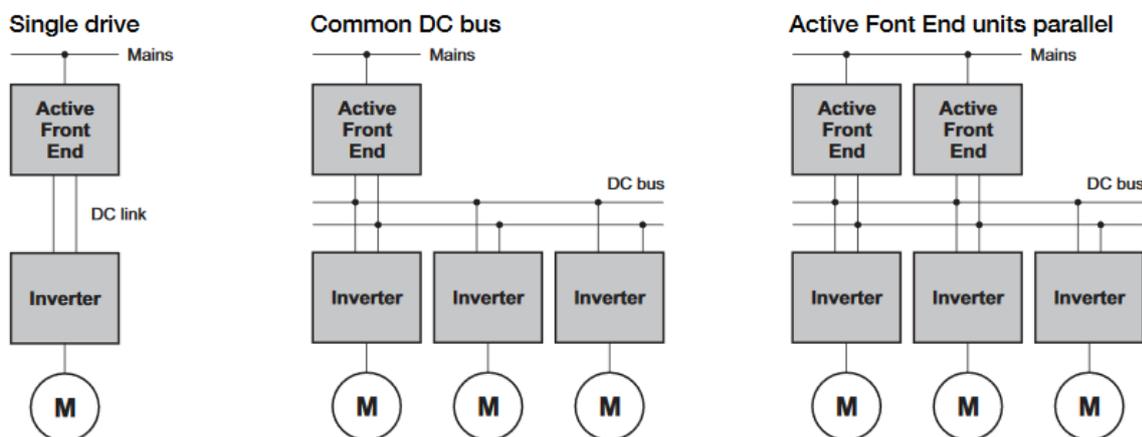


Рисунок 4 – Варианты подключения AFE

Благодаря выпрямителям-инверторам АФЕ позволяет осуществлять рекуперативное торможение для экономии энергии и исключения тормозных резисторов. Рекуперативная технология помогает снизить эксплуатационные расходы за счет повторного использования энергии торможения двигателя.

Кроме того, АФЕ контролирует коэффициент мощности независимо от скорости двигателя и нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Luis Moran, Jose Espinoza, Mauricio Ortiz, Jose Rodriguez, Juan Dixon, “Practical Problems Associated with the Operation of ASDs Based on Active Front End Converters in Power Distribution Systems”, IEEE Transactions on Industrial Applications, 2004.
2. “Guidance Notes on the Control of Harmonics in Electrical Power Systems”, American Bureau of Shipping, May 2006.
3. Mariusz Szweda, Tomasz Tarasiuk, “An assessment of distortions of supply voltage waveform in All-Electric Ship Power Network – Case Study”, 9th International Conference, Electrical Power Quality and Utilization, Barcelona, Oct. 2007.
4. Janusz Mindykowski, Tomasz Tarasiuk, Mariusz Szweda, Ian C Evans, “Electric Power Quality Measurements on an All-Electric Ship with AC Active Front End Propulsion Drives”, PRS Technical Report No. 68, Feb. 2007.
5. Active Front End SIMOVERT MASTERDRIVES, Siemens Automation & Drives, МК.МС.30МАСТ.52.2.03 WS11013.
6. Anthony Hoevenaars. “Advantages of 6-Pulse VFD with Lineator AUHF vs Active Front End (AFE) Drives”. Mirus International Inc. [2015-08-20].
7. Методы повышения качества питающего напряжения судовой электростанции: монография / В.В. Исакова, Н.Н. Портнягин. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012. – 104 с.

УДК 621.313.333.2

МОДЕЛЮВАННЯ ГРЕБНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗМІННОГО СТРУМУ З ТРЬОХОБМОТКОВИМ ТРАНСФОРМАТОРОМ ГІДРОГРАФІЧНОГО СУДНА

В. С. Петрушин, д.т.н., професор

П. І. Куємжи, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Розглядаються гребні електричні установки (ГЕУ) змінного струму для спеціалізованих суден. В ГЕУ потужність від головних двигунів передається до гребного гвинта за допомогою електропередачі. Електрична передача дозволяє забезпечити виконання однієї з основних вимог, що пред'являються до енергетичної установки - збереження сталості потужності головного двигуна при змінах моменту на гребному гвинті.

Раціональним рішенням для гідрографічного судна є використання ГЕУ з перетворювачем частоти (ПЧ), що працює на асинхронні двигуни (АД). ГЕУ має виконання з двома двигунами. Головною особливістю цієї ГЕУ є використання для живлення ПЧ трьох обмоткових трансформаторів (ТВ), що дозволяє використовувати двохмостові схеми випрямління. Завдяки цьому покращується робота ГЕУ, а також зменшується спотворення суднової напруги за рахунок виключення гармонік відповідних нумерацій.

Розрахунок необхідної потужності на вінту дозволяє вибрати двигун, відповідний до навантаження на валу двигуна. Було розглянуто два варіанта в якості гребного електродвигуна (ГЕД): двигун 4А355М12, який має номінальну потужність 90 кВт і двигун 4А315М6 – має номінальну потужність 132 кВт. Обертний момент на гребні гвинти передається за допомогою редукторів. Для ГЕУ з двигуном 4А355М12 використовується редуктор з передаточним числом $i=2$, для ГЕУ з двигуном 4А315М6 – $i=4,4$.

Згідно технічного завдання оберти гребного вала змінюються в діапазоні від 0 – 200 об/хв., що здійснюється за допомогою ПЧ (f змінюється від 0 до 45 Гц).

Розглянуті два варіанта схем:

- 1) з трифазними АД (рисунок 1);
- 2) з шестифазними АД (рисунок 2).

На рисунках 3, 4, 5, 6 представлені регульовальні характеристики для двох схем, що розглядаються.

На нижче наведених рисунках(3,4,5,6) криві зображені у наступному порядку:

- 1 – регульовальні характеристики з трифазним АД 4А315М6
- 2 – регульовальні характеристики з шестифазним АД 4А315М6
- 3 – регульовальні характеристики з трифазним АД 4А355М12
- 4 – регульовальні характеристики з шестифазним АД 4А355М12

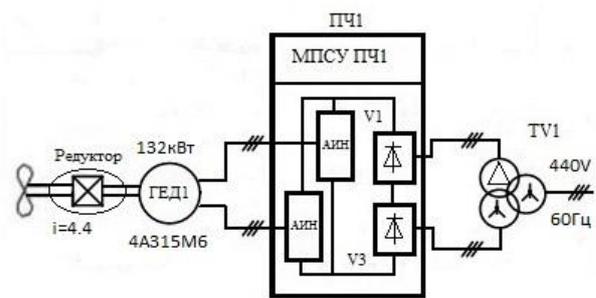
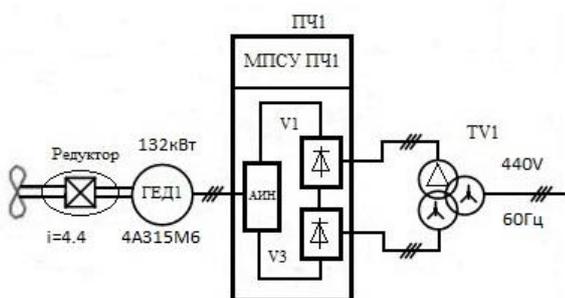
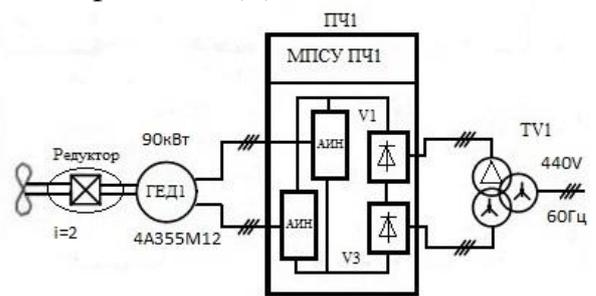
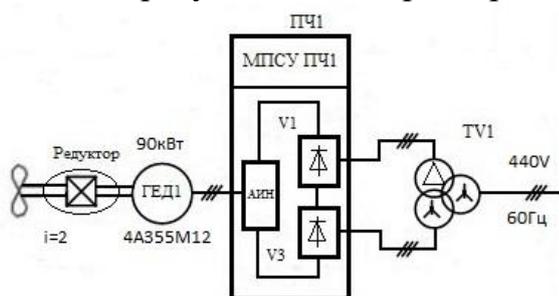


Рисунок 1 – Схеми з трифазними АД

Рисунок 2 – Схеми з шестифазними АД

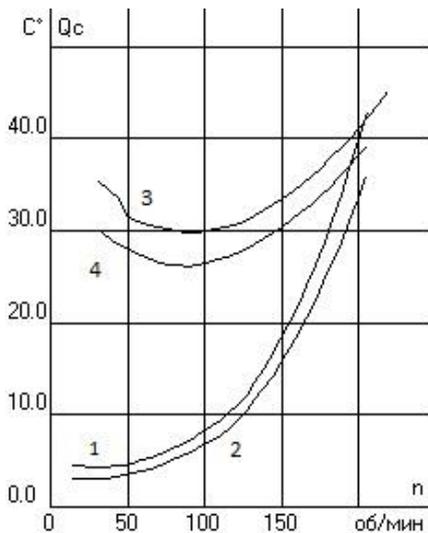


Рисунок 3 – Теплові характеристики

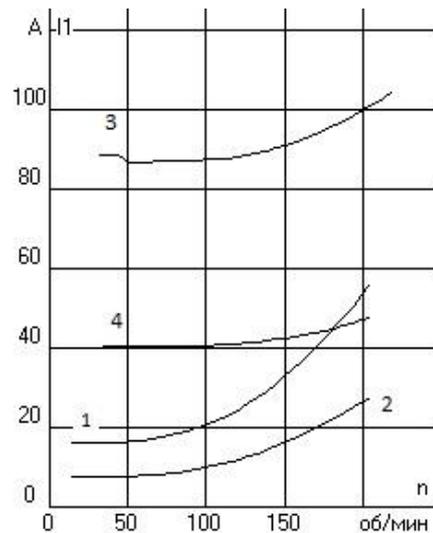


Рисунок 4 – Токові характеристики

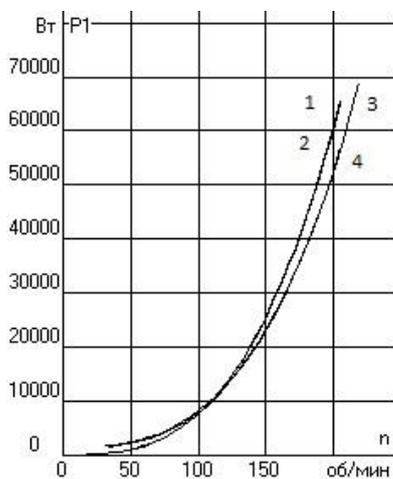


Рисунок 5 – Потужність

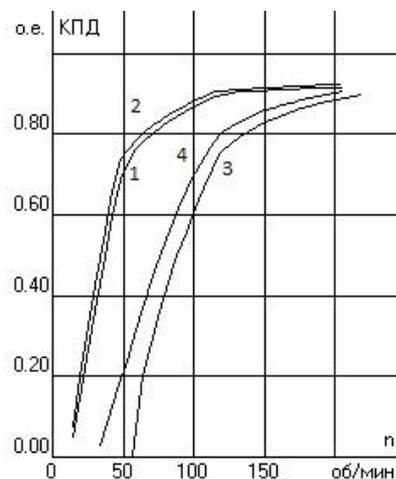


Рисунок 6 – ККД

Згідно з отриманих регулювальних характеристик при використанні у ГЕУ шестифазного АД 4А315М6 спостерігається менші значення температури перегріву обмотки статора, току обмотки статора, а також збільшені значення діапазонного ККД двигуна, $\eta=0,799$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васин И.М. Диссертация «Создание перспективных электротехнических и энерготехнических комплексов судовых единых электроэнергетических систем». Санкт – Петербург 2011. – 445 с.
2. Петрушин В.С. Учебное пособие «Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе» / Одесса: Наука и техника, 2006. – 320 с.
3. 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, 26.03.2011.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЯМОГО УПРАВЛІННЯ МОМЕНТОМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПІДРУЛЮЮЧОГО ПРИСТРОЮ НА ЛАБОРАТОРНІЙ УСТАНОВЦІ

А.В. Рябошапко, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Частотний асинхронний електропривод з векторним управлінням по керованості відповідає електроприводу з двигуном постійного струму з незалежним збудженням (ДПС НЗ), який має канали незалежного управління магнітним потоком і електромагнітним моментом. У зв'язку з цим всі системи векторного управління електродвигунами змінного струму будуються так, щоб вони мали такі ж властивості по керованості, як і ДПС НЗ. Однак при створенні систем векторного керування асинхронного двигуна (АД), який має переваги перед ДПС НЗ щодо розмірів, ККД, максимальної швидкості, надійності, вартості і т.д., виникають складності, так як АД має динамічну модель, яка описується рівнянням 6-го порядку. Крім того, для векторного керування АД потрібно перетворювач частоти (ПЧ), вартість якого в 3-5 разів перевищує вартість самого двигуна [1,2].

Для детального аналізу роботи електроприводу підрулюючого пристрою (ПП) в програмі simulink MATLAB було створено комплексну математичну модель для розрахунку моменту опору на валу АД, яка наведена на рис. 1. На базі цієї моделі були отримані механічні характеристики ПП судна, що представляють залежності струму та моменту від частоти обертання в заданому діапазоні регулювання частоти обертання ПП (рис. 2).

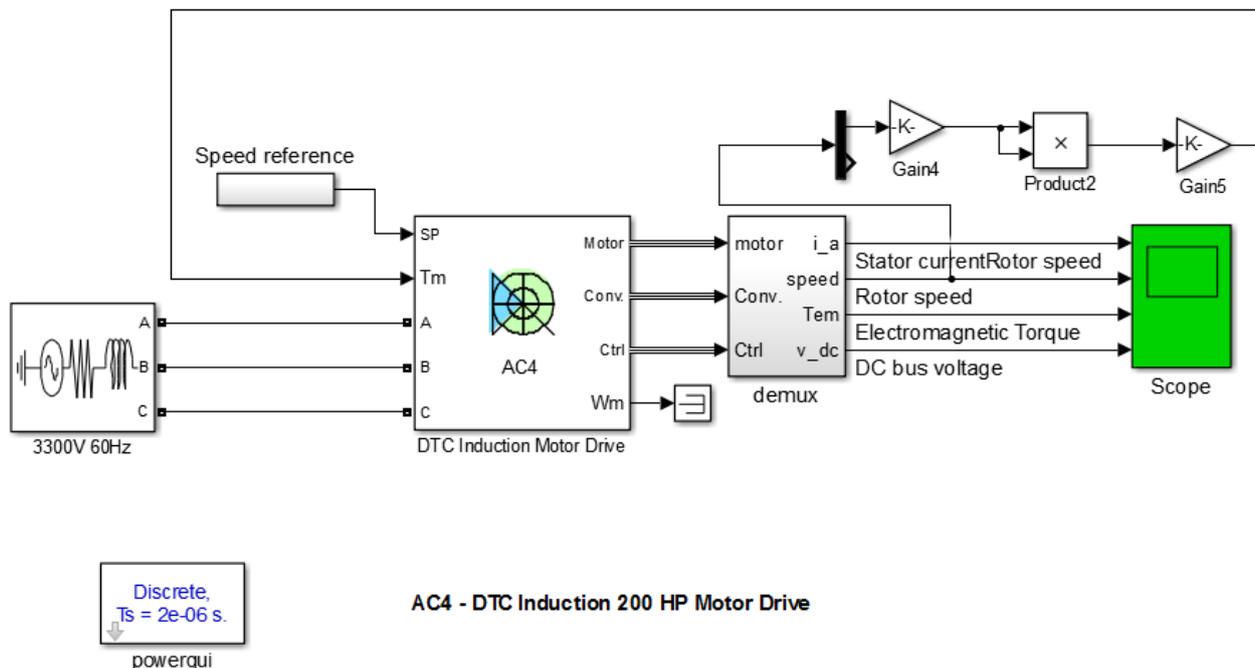


Рисунок 1 – Модель електроприводу ПП

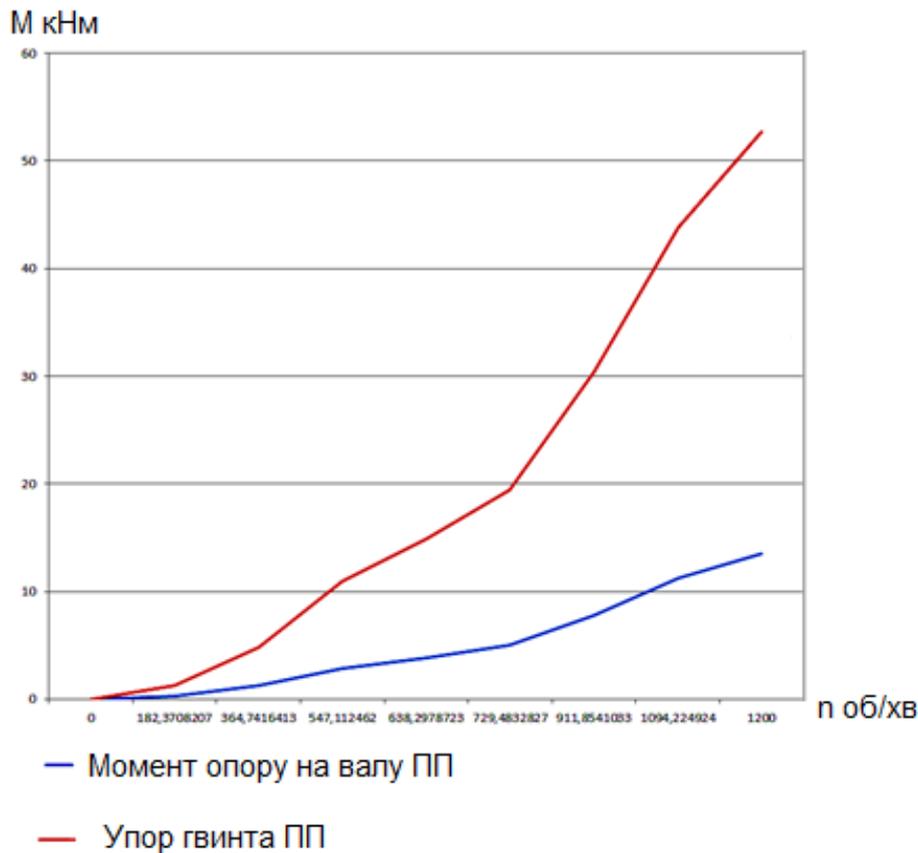


Рисунок 2 – Механічні характеристики ПП

Мета всієї роботи полягає в розробці частото-керуючого електроприводу підрулюючого пристрою судна з реалізацією функції енергозбереження [4]. В даній роботі приведені результати експериментальних досліджень прямого управління моментом (DTC - управління) АД ПП на лабораторній установці.

При проведенні лабораторних випробувань електроприводу з перетворювачем частоти ставилися завдання аналізу динамічних режимів роботи електроприводу з навантаженням, оцінки ергономічних характеристик і управління.

В ході експерименту навантаження АД забезпечувалося двигуном постійного струму, що працює в режимі рекуперативного гальмування. На екран персонального комп'ютера за допомогою датчика струму LA-55P, датчика напруги LV-25 і тахогенератора ТП-80 виводилися значення фазного струму, швидкості електродвигуна і напруги в його фазі. Одночасно на екран за допомогою стандартного вимірювального шунта з вихідною напругою $U_{\text{вих}} = 75 \text{ мВ}$. виводилося значення навантаження (струм електродвигуна постійного струму). На екран панелі управління перетворювачем частоти виводилися значення частоти вихідної напруги перетворювача в герцах (Frequency), обертального моменту в % (TORQUE) і струму статора асинхронного двигуна в амперах (CURRENT). Моделювалися такі режими роботи: пуск, зупинка електродвигуна, реверс двигуна при 100% навантаження при різних швидкостях електродвигуна. Так як відмінністю досліджуваного типу перетворювача є наявність DTC - управління, експериментальні дослідження проводилися з використанням цього алгоритму. Осцилограми результатів експерименту для швидкостей 1500 об / хв і 750 об / хв наведені на рис. 3-5.

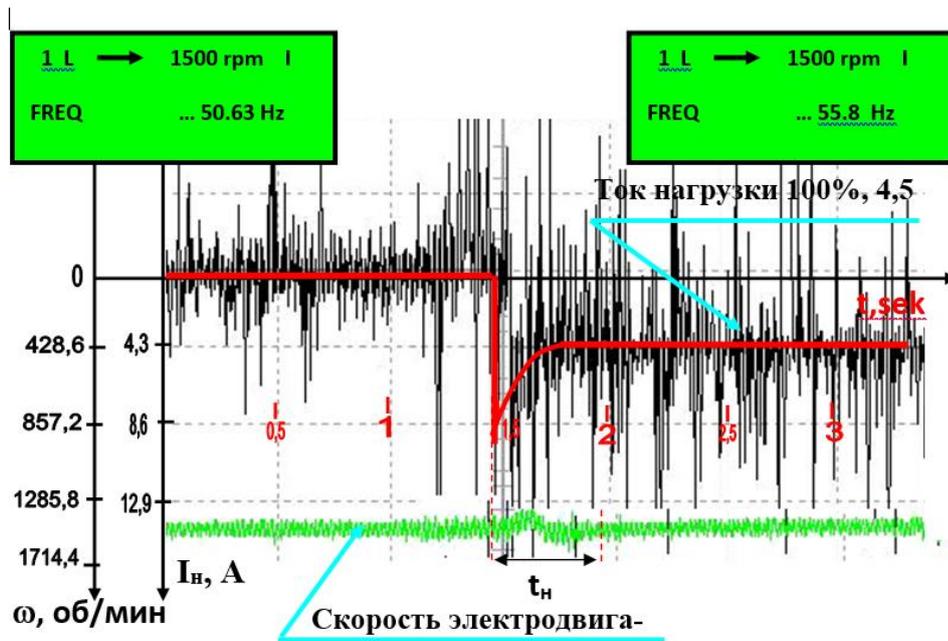


Рисунок 3 – Осцилограма зміни швидкості електродвигуна АІР 71В4УЗ при набиранні 100% навантаження (швидкість електродвигуна 1500 об / хв).

Форма і якість осцилограм при експериментальних дослідженнях визначається характеристиками датчиків і комп'ютерного осцилографа (плата 6ES7235-OKD20-OXAO). Форми струму і напруги залежать від смуги пропускання датчиків і вимірювальних пристроїв і, з огляду на характер формування вихідної напруги перетворювача частоти (час перемикання режимів ключів інвертора не більше 25 мкс.), осцилограми напруги (рис. 5) можуть служити тільки для якісної оцінки процесів, а по осцилограмам струму можна судити тільки про загальні тенденції зміни струму в досліджуваних режимах. Фактичний вимір значень струмів і моменту виконувався за даними вбудованих в перетворювач інформаційних пристроїв (на осцилограмах наведені значення вимірних величин).

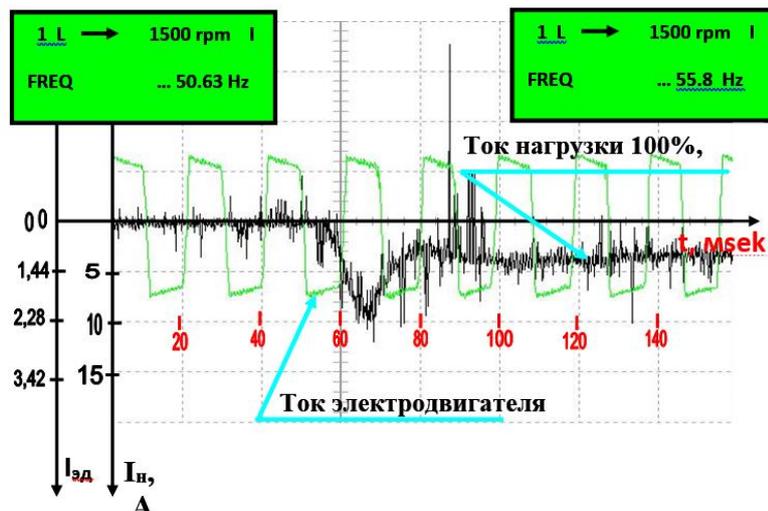


Рисунок 4 – Осцилограма зміни струму електродвигуна АІР 71В4УЗ при 100% набиранні навантаження (швидкість електродвигуна 1500 об / хв).

Осцилограми струму і напруги залежать від наявності або відсутності фільтрів на вході і виході перетворювача частоти. При проведенні експериментів фільтри були відсутні. Осцилограми струму навантаження з шунта навантажувальної ланцюга постійного струму слід оцінювати по сталому значенню струму (без урахування високочастотних перешкод). Спеціальний фільтр для фільтрації перешкод не вводився.

В деяких публікаціях системи DTC ідентифікуються як скалярні системи управління електроприводом змінного струму, яким притаманні властивості векторних систем. В кожному з шести секторів (рис. 6.) нерухокої системи координат (a-b) існує певний набір векторів напруги для всіх можливих комбінацій необхідних знаків зміни модуля потокозчеплення і електромагнітного моменту. В результаті, не дивлячись на те, що векторні перетворення в DTC в явному вигляді відсутні, а використовуються тільки скалярні регулятори, обертання вектора потокозчеплення статора забезпечується з необхідною частотою при підтримці модуля вектора потокозчеплення на заданому рівні, [2].

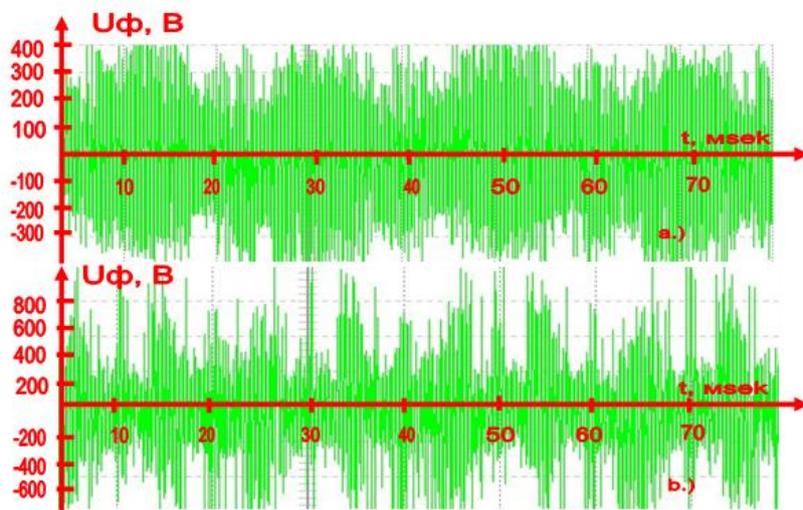


Рисунок 5 – Осцилограма фазної напруги AIP 71B4У3 електродвигуна при 75% навантаженні (a - швидкість електродвигуна 750 об / хв; b – швидкість електродвигуна 1500 об / хв)

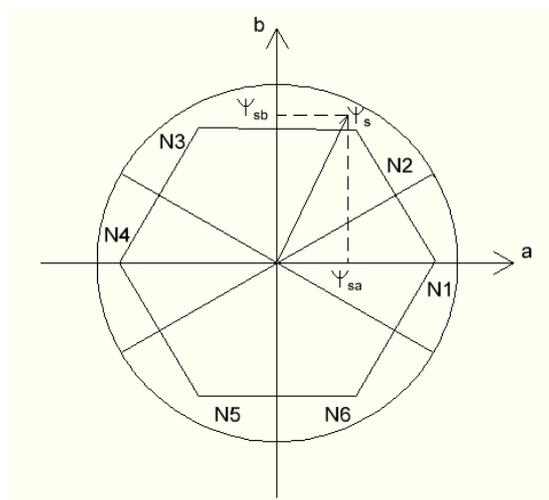


Рисунок 6 – Положення вектору потокозчеплення статора на фазовій площині і його проекції на осі a і b.

Висновки. У технічних характеристиках перетворювачів частоти серії Altivar 1200 [5] наводяться дані по відпрацюванню 100% завдання по моменту за час <5 мс. в розімкнутій або замкнутій системі. За результатами експериментів час перехідних процесів по струму не перевищив значення 0,72 с при реверсі з навантаженням. Статична похибка при регулюванні швидкості в розімкнутій системі не перевищила 10% від номінального ковзання електродвигуна. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що принцип «прямого керування моментом» забезпечує високу якість управління навіть без використання датчика зворотного зв'язку по швидкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фираго Б.И. Векторные системы управления электроприводами: Учеб. Пособие / Б.И. Фираго, Д.С. Васильев. – Минск: Вышэйшая школа, 2016.- 159с. : ил.
2. Козярук А.Е., Рудаков В.В. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов – М.: Санкт-Петербургская Электротехническая компания. – 2004. – 127.
3. Ключев В.И. Теория электропривода Учеб. Для вузов. 2-е изд. Перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат. – 2001. – 560 с.
4. М.Й.Муха, А.В.Рябошапко Енергоєфективне управління електроприводом підрулюючого пристрою самовивантажуючого балкера дедвейтом 72000 тон / Матеріали науково-методичної конференції «Актуальні питання суднової електротехніки і ра-діотехніки» 15.12.2015 – 16.12.2015 – Одеса: ОНМА. – 2015. – С. 48-51.
5. Преобразователь частоты Altivar 1200: Каталог/ Schneider Electric. – 2015. – 56с.

УДК 621.311.61

ПРОСТОЕ ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В.Б. Власов, ст. преподаватель
И.С. Слободянюк, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Очень быстрое развитие электроники, совершенствование ее элементной базы привели к появлению специализированных микросхем зарядных устройств, способные автоматически обеспечить заряд аккумуляторной батареи по заданному алгоритму и предназначенные для заряда аккумуляторов любого типа. Зарядные устройства быстро совершенствуются, стремительно дешевеют, появляются новые функции, например, некоторые типы микросхем помимо за-

ряда обеспечивают измерение емкости аккумулятора или аккумуляторной батареи и степени ее разряда.

Если рассматривать зарядные устройства, не учитывая типа аккумуляторов или аккумуляторных батарей, для заряда которых они предназначены, для них можно сформировать общие принципы построения:

- источник питания зарядного устройства должен обеспечивать достаточные выходные напряжение и ток;
- зарядное устройство должно обеспечивать ручную установку или автоматическую регулировку напряжения и тока заряда; для некоторых типов аккумуляторов их значения должны быть стабилизированы в пределах допусков;
- автоматические зарядные устройства должны иметь основную и дублирующие схемы отключения батареи по окончании заряда;
- должны быть предусмотрены устройства защиты от короткого замыкания, перегрева аккумуляторной батареи.

Построение схемы зарядного устройства требует реализации двух принципов заряда: заряд с ограничением тока и заряд с ограничением напряжения. Принцип заряда с ограничением тока применяется при заряде никель-кадмиевых и никель-металлгидридных аккумуляторов, а принцип с ограничением напряжения заряда — при заряде свинцово-кислотных и литий-ионных аккумуляторов.

Одноэлементные литий-ионные батареи широко применяются в качестве элементов питания долговременной памяти многих электронных устройств таких как пожарной сигнализации, успокоители качки и элементы аварийно-предупредительной сигнализации. Рассмотрим схему простейшего зарядного устройства, построенного на микромощном стабилизаторе напряжения LP2951 с очень малым током потребления около 75 мА, разработанном фирмой National Semiconductor. Диод D1 может быть любым из серии 1N00х. Он защищает стабилизатор LP2951 от обратного тока из аккумулятора, который возникает, когда питание схемы выключено.

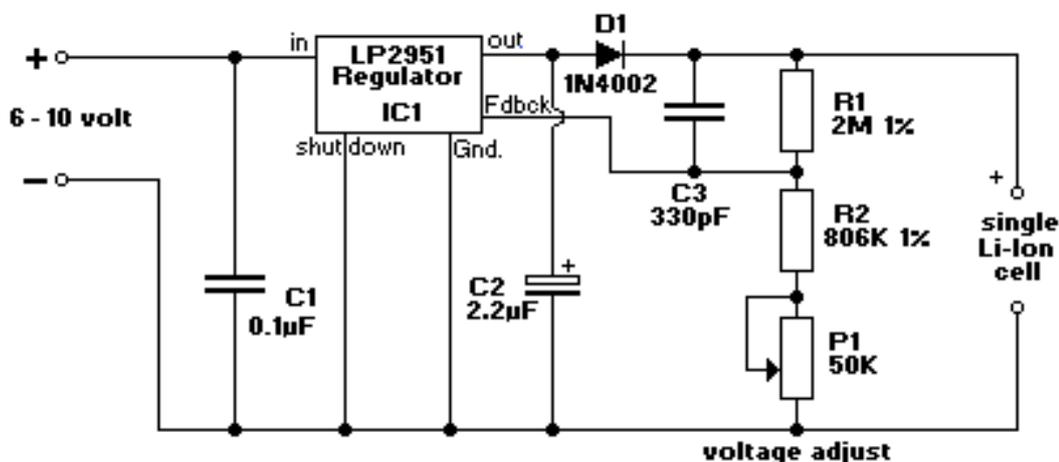


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная зарядного устройства

Зарядный ток составляет примерно 100 мА, это внутреннее ограничение максимального тока в стабилизаторе LP2951. На удивление, зарядное

устройство совместимо с любым литий-ионным аккумулятором, состоящим из одного элемента, в большинстве случаев, допускающим зарядный ток до 1С (т.е. зарядный ток в миллиамперах эквивалентный емкости батареи в миллиампер часах). Меньший зарядный ток приведет лишь к большему времени заряда. 100 мА это небольшой ток, но достаточный, чтобы за ночь зарядить типичный одноэлементный литий-ионный аккумулятор.

В схеме используются резисторы с большим сопротивлением, чтобы ток в выключенном состоянии был как можно меньшим, порядка 2 мкА. Для точной установки выходного напряжения допуск резисторов не должен превышать 1%. Подстроенный резистор 50 кОм позволяет регулировать выходное напряжение в диапазоне от 4.08 до 4.26 В, позволяя таким образом делать калибровку, а также выбор напряжения заряда 4.1 или 4.2 В, в зависимости от заряжаемого аккумулятора. Конденсаторы используются для обеспечения устойчивости схемы, в особенности С2, который предотвращает генерацию на выходе.

Выводы. Устройство может быть использовано в судовых электронных платах памяти при выходе из строя штатного зарядного устройства.

Вопрос обеспечения их аварийной подзарядки вполне уместен и актуален, с учетом того, что схема разработана, протестирована и рекомендована солидной фирмой разработчиком National Semiconductor.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shipboard electrical power systems. Mukund R. Patel
2. Electricity and electronics Rex Miller
3. National semiconductors data books

УДК 629.5.064.5:621.311.027.5

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СУДНОВОЇ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ МЕРЕЖІ З НЕЛІНІЙНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

А.О. Дранкова, к.т.н., доцент
А.І. Шестака, ст. викладач
І.І. Красовський, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Однією з причин погіршення якості електроенергії є нелінійне навантаження суднової силової мережі. Широке введення статичних силових перетворювачів, частотно-регульованого електроприводу, енергозберігаючих систем освітлення призводить до змін характеру електричних навантажень багатьох споживачів. При цьому, споживання електроенергії низької якості, в свою чергу призводить до інжекції в суднову силову мережу електромагнітних спотворень, а саме, погіршення форми струму та напруги силової мережі.

Провали та кидки напруги, несинусоїдальна форма напруги та струму є причиною збоїв у роботі чутливих електронних елементів та приладів. Проблема несинусоїдальної форми напруги та струму призводить до збільшення втрат, швидкому старінню ізоляції і зменшенню терміну служби електричних приладів. Таким чином, підтримка високої якості електроенергії є актуальною задачею для усіх систем електроживлення суднової силової мережі.

В роботі розглядається суднова високовольтна силова мережа 3300 В з навантаженням у вигляді комплектного електроприводу підрулюючого пристрою потужністю 1,5 МВт.

Огляд методів фільтрації в системі «Автономне джерело – ЧП – АД – навантаження» показує, що універсальний спосіб підтримки якості електроенергії є застосування спеціальних компенсуючих пристроїв – силових фільтрів (СФ). На ряду з ослабленням високочастотних гармонік струмів і напруг вони виконують функції компенсації реактивної потужності та регулювання напруги в точці приєднання [1,2].

СФ класифікуються за такими ознаками:

за схемою включення в мережу – паралельні, послідовні та комбіновані структури;

за типом елементів – пасивні, активні та гібридні структури;

за числом фаз – однофазні та трифазні структури.

Для проведення досліджень були використано чотири наступні моделі: «Автономне джерело з нелінійним навантаженням»; «Автономне джерело – пасивний фільтр – нелінійне навантаження»; «Автономне джерело – активний фільтр – нелінійне навантаження»; «Автономне джерело – гібридний фільтр – нелінійне навантаження». Гармонійний аналіз струмів і напруги проведено в пакеті Simulink MATLAB. В якості нелінійного навантаження виступає високовольтний частотний перетворювач з векторним управлінням Altivar 1200 фірми Schneider Electric з діапазоном потужностей 315-16200 кВт, який працює на електропривод підрулюючого пристрою [3].

На рис.1 зображено модель «Автономне джерело з нелінійним навантаженням», нижче – осцилограми спотворених форм напруги та струмів (рис.2).

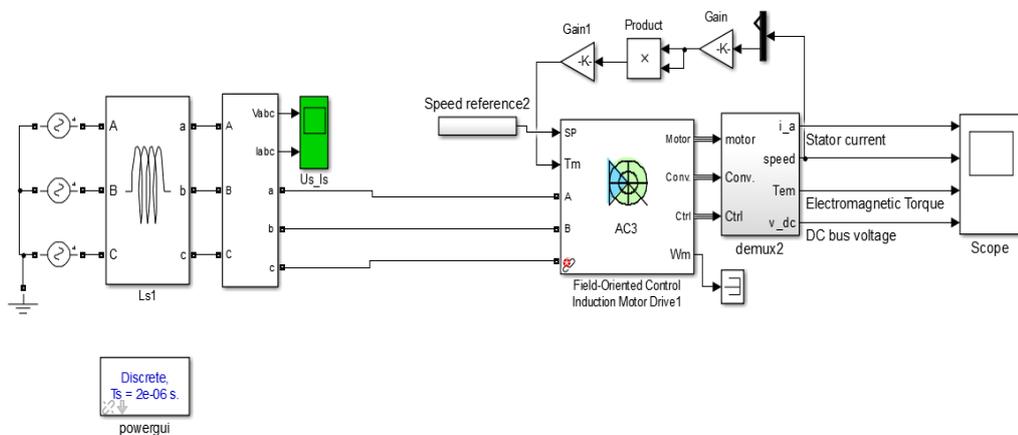


Рисунок 1 – Модель «Автономне джерело з нелінійним навантаженням»

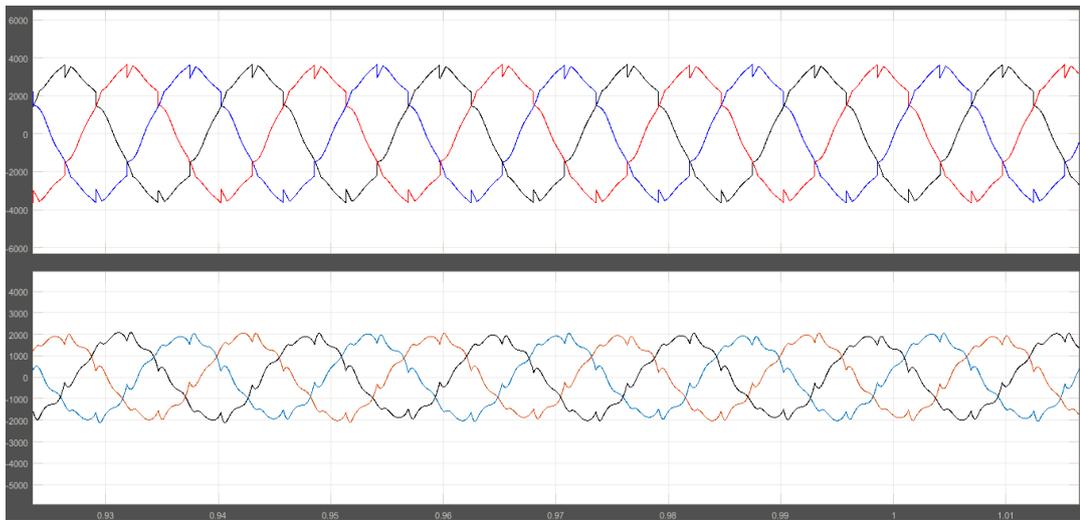


Рисунок 2 – Осцилограми напруги та струму

По розрахункам отримані середні коефіцієнти гармонічних спотворень THD струму та напруги, які складають 26% та 6% відповідно, що є недопустимим для суднової силової мережі.

Традиційний метод ослаблення вищих гармонік струмів і напруг в мережах електропостачання, це застосування пасивних фільтрів гармонік (ПФГ). Пасивний фільтр являє собою частотно-резонансне коло, що забезпечує ослаблення налаштованої високочастотної гармоніки, за рахунок створення шляху з найменшим опором [1,2,3,5].

В моделі «Автономне джерело – пасивний фільтр – нелінійне навантаження» (рис.3) застосовано ПФГ С-типу третього порядку. Найважливіша перевага ПФГ С-типу полягає в тому, що вони забезпечують малі втрати на основній гармоніці. Схема пасивного фільтру С-типу для 3-фазної силової мережі зображена на рис.4. У табл.1 наведено параметри фільтрів.

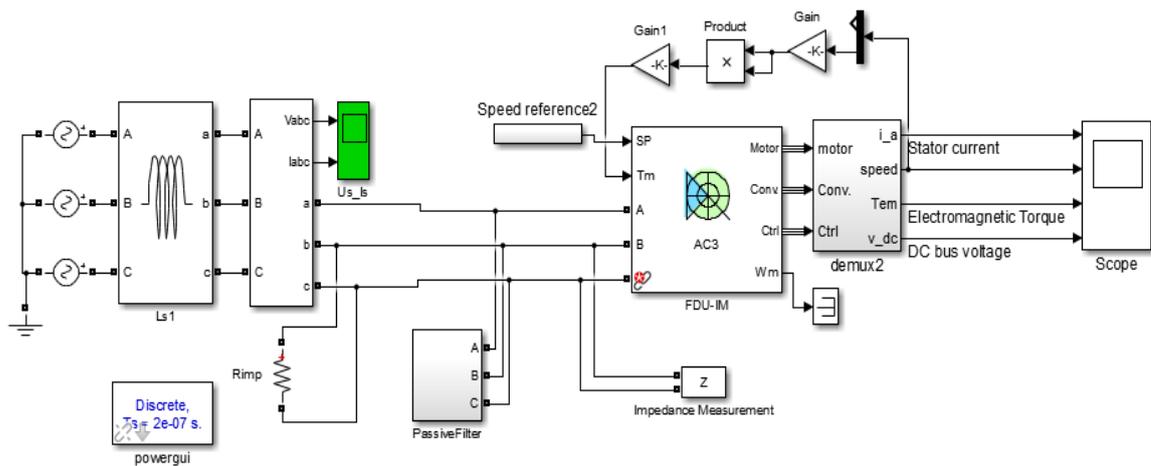


Рисунок 3 – Модель «Автономне джерело – пасивний фільтр – нелінійне навантаження»

Розрахунок ПФГ С-типу виконано для компенсації 5-ї, 7-ї, 11-ї, 13-ї гармонік. Задаємося деякими параметрами мережі і фільтра: напруга мережі $U=3300$ В, частота мережі $f=60$ Гц, індуктивність мережі $L_S = 0,1$ мГн, а також реактивна потужність фільтра $Q_F = 1$ Мвар ($Q_F \approx Q_{сп}$), коефіцієнт розподілення

гармонік $k = 1,5$, кратність гармонік $n_g = 5,7,11,13$ та значеннями їх циклічних частот [11].

Лінія L_2C_2 налаштована на резонансну частоту вищої гармоніки

$$L_2 = \frac{1}{\omega_1^2 C_2} \quad (1)$$

Вираз для резонансної частоти фільтра $\omega_r = n_g \omega_1$ має наступний вигляд

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_2 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} \rightarrow C_2 = C_1 (n_g^2 - 1) \quad (2)$$

Реактивна потужність фільтра на основній гармоніці задається наступним співвідношенням:

$$Q_F = -\frac{U^2}{\text{Im}(Z_F(\omega_1))} \rightarrow C_1 = \frac{Q_F}{\omega_1 U^2} \quad (3)$$

Демпферний опір

$$R_d = \frac{U^2}{n_g^3 Q_F^2 k \omega_1 L_s} \sqrt{U^4 - n_g^4 Q_F^2 k \omega_1^2 L_s^2} \quad (4)$$

Таблиця 1 – Параметри ПФГ С-типу

Номер гармоніки	Параметри			
	C_1 , мФ	C_2 , мФ	L_2 , мГн	R_d , Ом
5 (300 Гц)	0.24	5.84	1.21	6289.54
7 (420 Гц)	0.24	11.71	0.63	2255.37
11 (660 Гц)	0.24	29.24	0.24	510.61
13 (780 Гц)	0.24	40.93	0.17	251.32

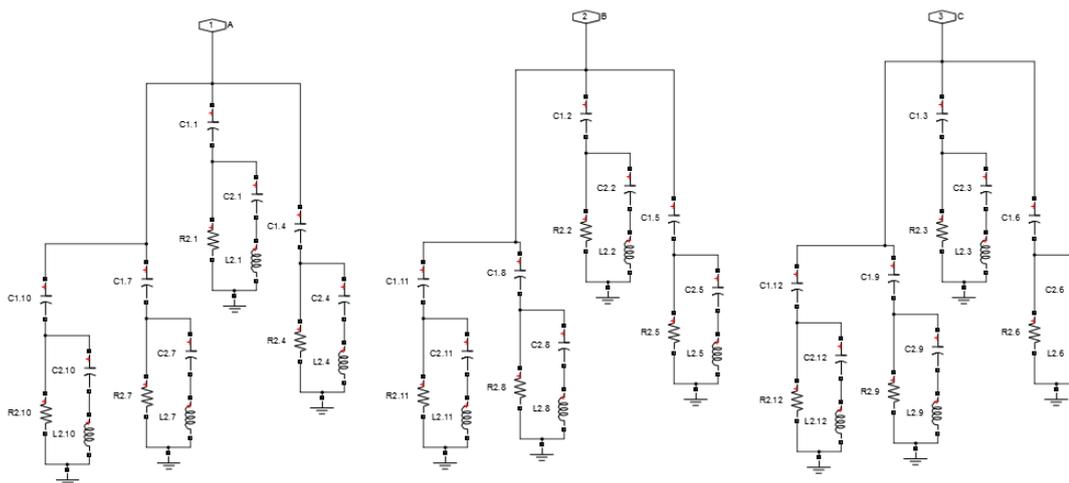


Рисунок 4 – Блок ПФГ С-типу

Як видно з осцилограм (рис.5), підключення ПФГ паралельно силової мережі покращує форми напруги та струмів. THD складає 2% для напруги та 4% для струму.

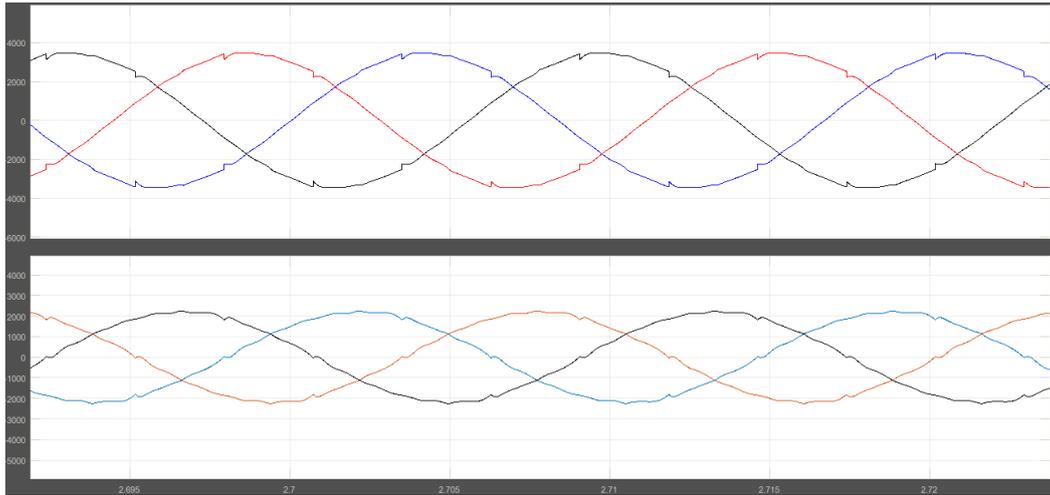


Рисунок 5 – Осцилограми напруги та струму з ПФГ С-типу

З літературного аналізу відомо, що ПФГ є статичними пристроями, ефективність яких зменшується за рахунок зміни гармонійного складу струмів і напруг в мережі, а також при – зміні імпедансу мережі. Ще один недолік це ймовірність резонансу в паралельному коливальному контурі, утвореному пасивним фільтром і індуктивністю мережі живлення, на частотах, близьких до частот високочастотних гармонік [6,7,8].

Альтернативою ПФГ є активні фільтри гармонік (АФГ). Це комутаційні пристрої, які виконують відразу безліч функцій: усунення вищих гармонік струму і напруги, корекція коефіцієнта потужності і т.п. [13]. АФГ за своєю структурою можуть бути паралельні та послідовні. Паралельний АФГ призначений для компенсації вищих гармонік струму, а послідовний АФГ - для компенсації вищих гармонік напруги. Для дослідження була використана модель паралельного активного фільтру (рис.6).

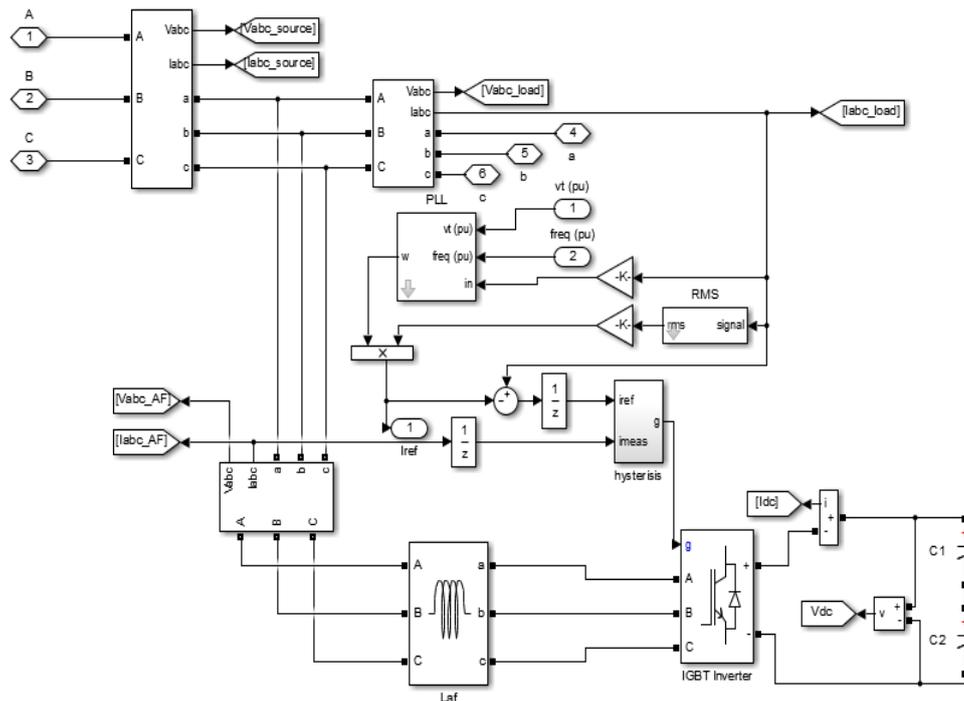


Рисунок 6 – Модель паралельного АФГ

На рис.7 зображена модель «Автономне джерело – паралельний АФГ – нелінійне навантаження», відповідні осцилограми – рис.8. Середнє зазначення спотворення THD напруги дорівнює 1%, а струму – 2%.

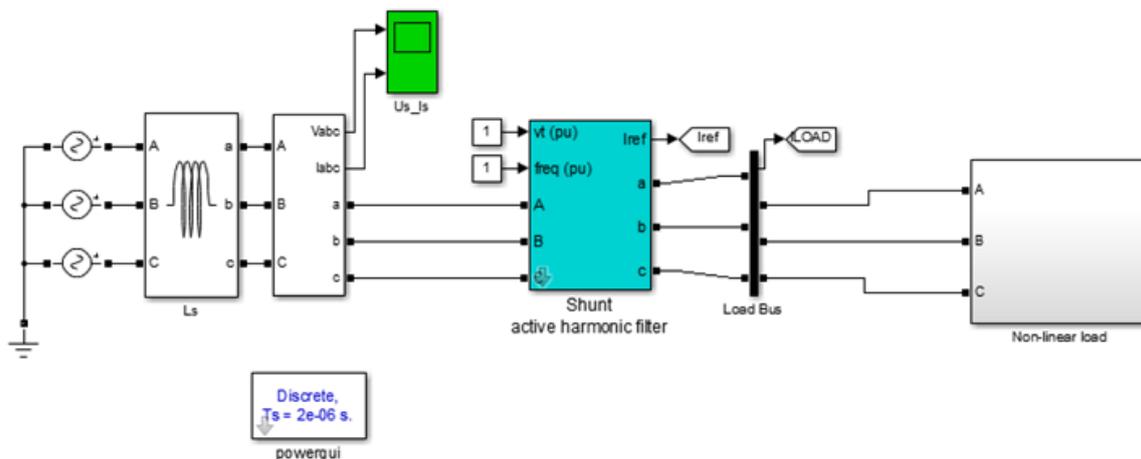


Рисунок 7 – Модель «Автономне джерело – паралельний АФГ – нелінійне навантаження»

Гібридні силові фільтри (ГСФ) вищих гармонік є комбінація пасивних та активних фільтрів, які підключаються паралельно мережі. Елементи пасивного фільтра розраховані так, що значення його імпедансу мінімально для заданих високочастотних гармонік (5-ої, 7-ої, 11-ої, 13-ої). Завдання АФГ, як правило, прибрати з мережі живлення гармоніки більш вищих порядків.

Переваги ГСФ полягають у тому, що вони мають значно менші розміри активної частини, в порівнянні з АФГ. У той же час вони дають можливість значно знизити потужність активного фільтра і завдяки цьому зменшити вартість всього фільтра. Порівняно з пасивними фільтрами збільшується ефективність компенсації нелінійних спотворень при зміні параметрів нелінійного навантаження [12,13].

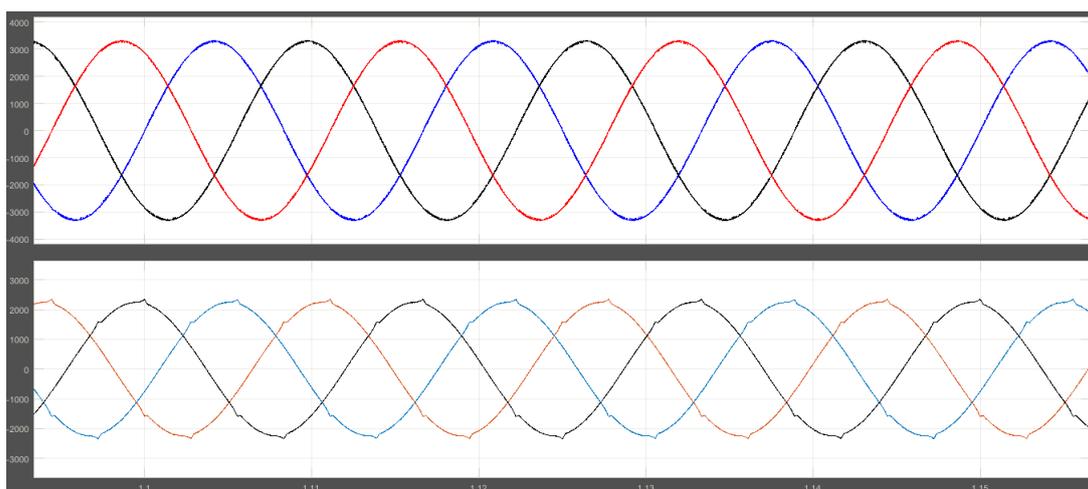


Рисунок 8 – Осцилограми напруги та струму з АФГ

На рис.9 зображена модель «Автономне джерело – ГСФ – нелінійне навантаження», відповідні осцилограми – рис.10. Середнє зазначення спотворення THD напруги має значення менш 1%, а струму – 1%.

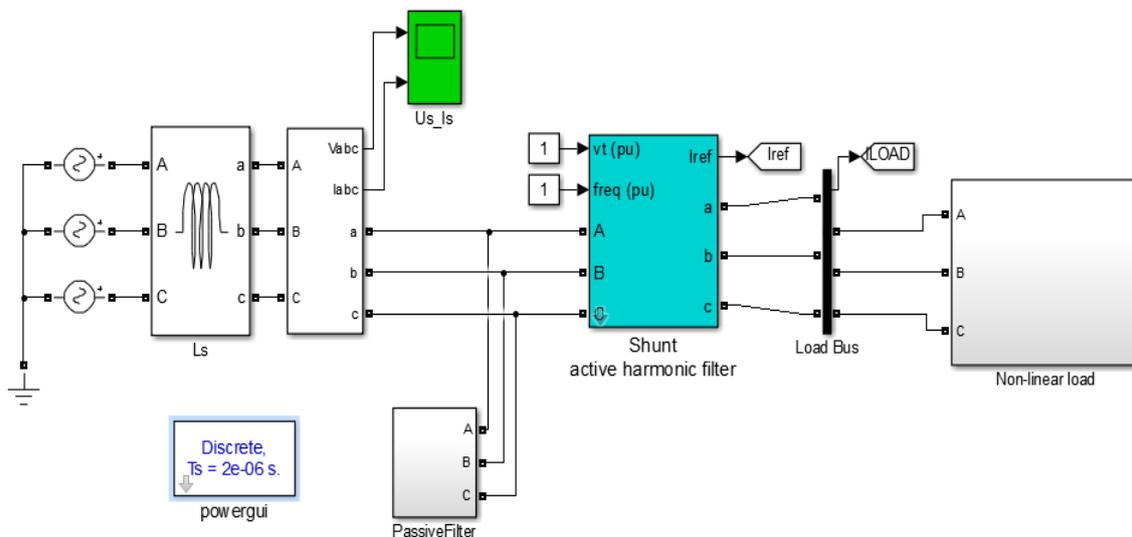


Рисунок 9 – Модель «Автономне джерело – ГСФ – нелінійне навантаження»

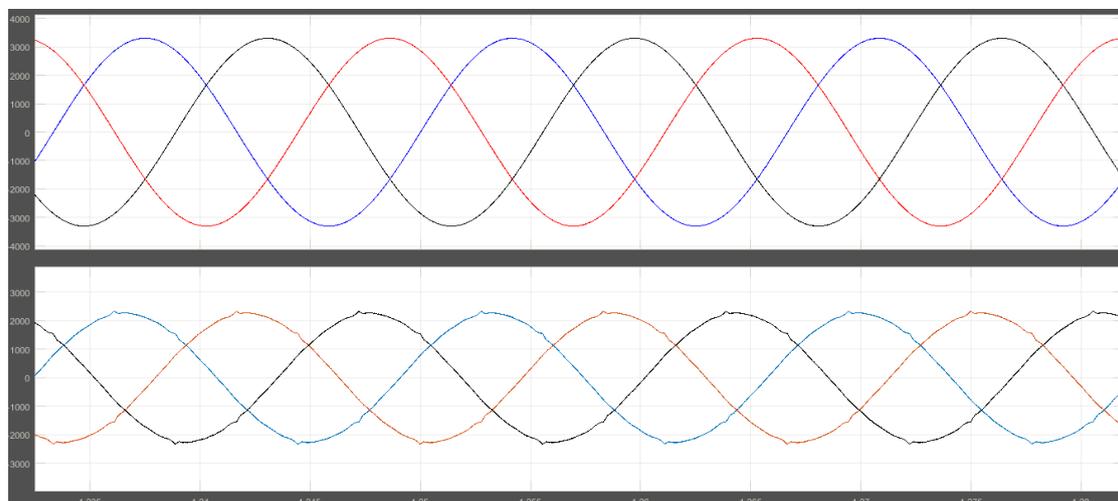


Рисунок 10 – Осцилограми напруги та струму з ГСФ

Порівняльний аналіз THD напруги та струму при застосуванні різних фільтрів (табл.2) дає змогу зробити висновок, що для суднової силової мережі з потужним нелінійним навантаженням найбільш доцільно використання гібридних фільтрів.

Таблиця 2 – THD напруги та струму

Тип фільтра	THD напруги, %	THD струму, %
Пасивний	2	4
Активний	0,9	1,54
Гібридний	0,1	1,2

Подальше дослідження полягають у розробці рекомендацій по використанню пасивних, активних та гібридних фільтрів для навантажень різної потужності, їх налаштуванню, а також удосконаленню системи управління ними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Куско, А. Качество энергии в электрических сетях / Куско А., Томпсон М.: пер. с англ. – М.: Додэка - XXI, 2008. – 336 с.
2. Akagi H. Active harmonic filters. – Proceedings of the IEEE. Vol. 93, 2005, No. 12, pp. 2128-2141.
3. А.О.Дранкова, І.І.Красовський Способи підвищення якості електроенергії в автономних енергетичних системах / Матеріали науково-методичної конференції «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки» 15.12.2015 – 16.12.2015 – Одеса: ОНМА. – 2015. – С. 45-48.
4. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
5. Kale M., Ozdemir E. Harmonics and reactive power compensation with shunt active power filter under non-ideal mains voltage // Electric Power Syst. 2005. Res. 77. P. 363–370.
6. Розанов Ю. К., Рябчицкий М. В. Современные методы улучшения качества электроэнергии. Электротехника. – 1999. № 4 с. 28-32.
7. Розанов Ю. К. Силовая электроника: учебник для вузов/ Ю. Розанов, М. В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. Изд. 2-е. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.
8. Das J. Passive filters – potentialities and limitations. – IEEE trans. on industry applications. Vol. 40, No. 1, January/February, 2004, pp. 232-241.
9. Nassif A. D., Xu W., Freitas W. An investigation on the selection of filter topologies for passive filter applications. – IEEE transactions on Power Delivery, Vol. 24, No. 3, 2009, pp. 1710-1718.
10. Renewables 2012. Global Status Report. Online document [электронный ресурс]/ Режим доступа: http://www.map.ren21.net/GSR/GSR2012_low.pdf.
11. I. Zamora, P. Egura, A.J. Mazon, E. Torres, K.J. Sagastabeitia /Using active filters to reduce THD in traction systems // Department of Electrical Engineering University of the Basque Country.
12. M. Gholamrezaei, M.A.S. Masoum, M. Kalantar / Parallel combination of passive and hybrid power filters for harmonic mitigation// 18th International power system conference. – p. 7-15.
13. Modern active and traditional passive filters / H. Akagi // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences. – 2006, vol. 54, no. 3. – p. 255-269.

УДК 629.5.064.5

АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛОВОЙ СЕТИ ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРОХОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ПРОПУЛЬСИВНОЙ УСТАНОВКИ

С.С. Михайков, аспирант
А.О. Дранкова, к.т.н., доцент
Национальный университет «Одесская морская академия»

В данной работе для анализа гармонических составляющих токов и напряжений рассмотрена силовая сеть дизель-электрохода водотоннажностью 37000 тонн [1,2]. Силовая установка представлена 4-мя дизель-генераторами (ДГ), которые работают на напряжение 6,6кВ с частотой 60Гц и имеют следующие мощности: ДГ1 – 2925кВА; ДГ2, ДГ3, ДГ4 – 4400кВА. Низковольтная

часть сети имеет напряжение 440В, питаемая через два понижающих трансформатора (6600В/440В). Пропульсивный двигатель (ПД) представляет собой синхронную двух-обмоточную электрическую машину мощностью 10МВт. ПД управляется двумя частотными преобразователями (ПЧ) со звеном постоянного тока, которые запитаны от понижающих трансформаторов (6600В/1500В), соединённые «звезда-треугольник» и сдвинутые по фазе на 30°. Обычный режим работы ПД обеспечивается 12-ти пульсной системой управления, а аварийный – 6-ти пульсной. Однолинейная силовая сеть дизель-электрохода представлена на рис.1.

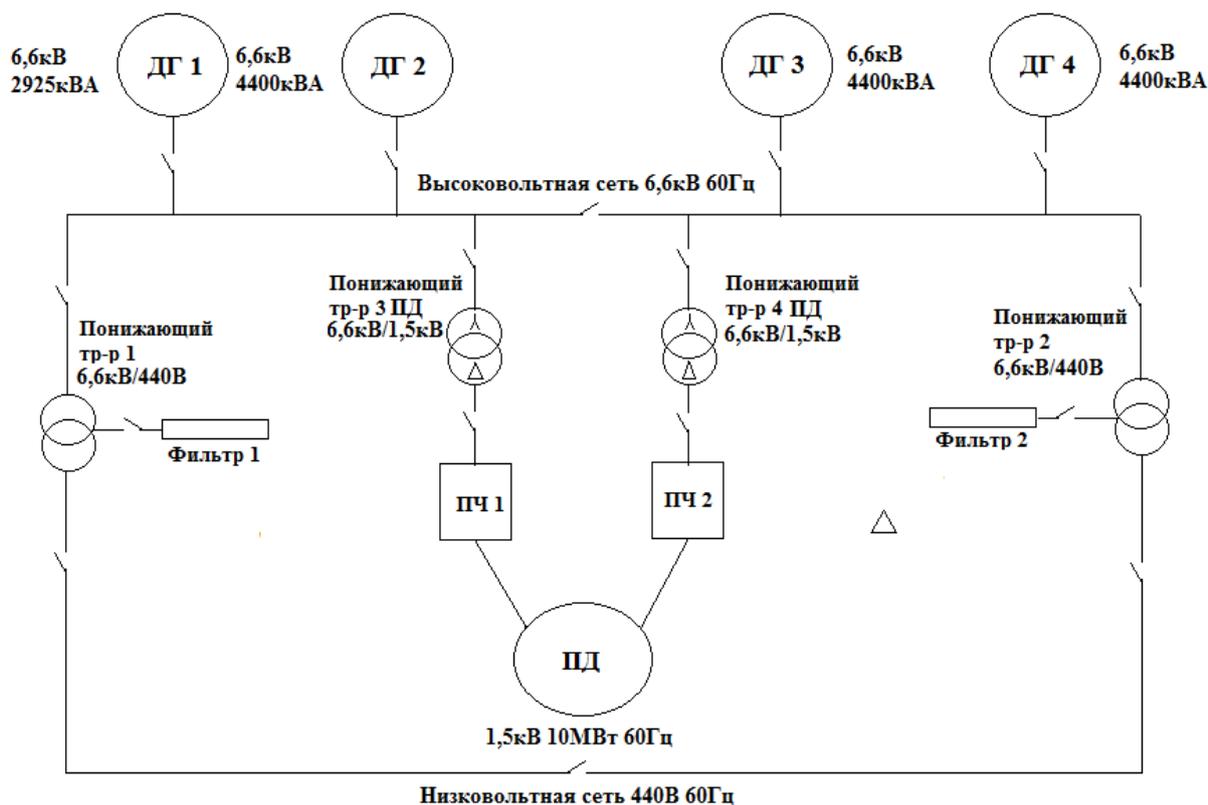


Рисунок 1 – Однолинейная силовая сеть дизель-электрохода

Компенсация высших гармоник токов и напряжений в силовой сети обеспечивается пассивной фильтрацией (Фильтр 1 и Фильтр 2) [3]. Схема подключения пассивных фильтров на одну фазу представлена на рис.2.

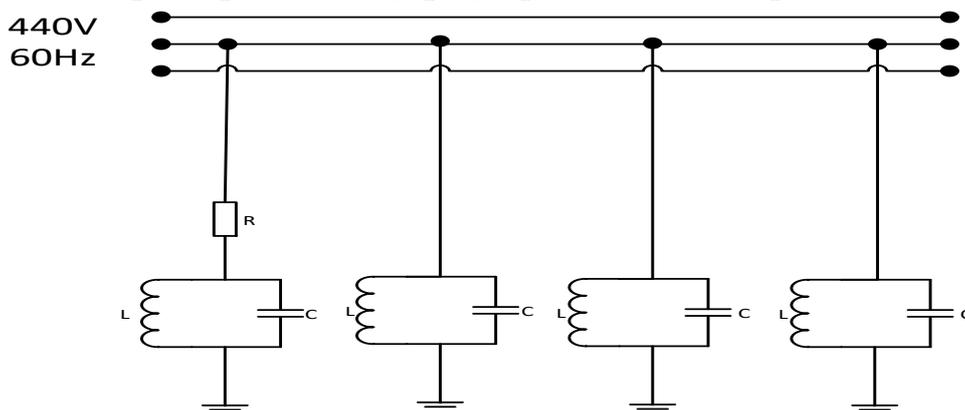


Рисунок 2 – Подключение пассивных фильтров на одну фазу силовой сети

Пассивные фильтры рассчитаны с учетом общей реактивной нагрузки, которая составляет 683кВар, и представляют собой четыре батареи, настроенные на 3,3-ю, 5-ю, 7-ю и 11-ю гармоники. Электрические параметры пассивных фильтров для каждой гармоники представлены в таб.1.

Таблица 1 – Электрические параметры фильтров

Номер гармоники	Реактивная мощность (кВар)	Индуктивность (мкГн)	Ёмкость (мФ)	Сопротивление (Ом)
3.3	144	376.51	1.716	0.94
5	240	103.85	3.003	-
7	101	131.41	1.287	-
11	198	21.3	2.574	-

Для анализа были выбраны следующие режимы работы ПД:

- навигационный режим,
- аварийный режим,
- режим разгона.

Режимы работы ПД обеспечиваются соответствующей конфигурацией пропульсивной установки (рис.3).

Навигационный режим

DDG number	4
Converter number	2
Pulse number	12
Motor Speed (p.u.)	1
DC Current (p.u.)	1

Режим разгона

DDG number	2
Converter number	2
Pulse number	12
Motor Speed (p.u.)	0.86
DC Current (p.u.)	0.72

Аварийный режим

DDG number	2
Converter number	1
Pulse number	6
Motor Speed (p.u.)	0.77
DC Current (p.u.)	1
Torque (p.u.)	0.5

Скорость ЭД: 1 p.u.=1164 rpm

Постоянный ток в ПЧ: 1p.u.=2757A DC

Рисунок 3 – Конфигурации пропульсивной установки в соответствующих режимах работы

Результаты судового эксперимента по анализу гармонических составляющих силовой сети в различных режимах работы пропульсивной установки представлены на рис.4.

В соответствии с требованиями классификационных обществ, в частности DNV GL, показатель нелинейных искажений сети (THD) допускается в пределах 5% от основной частоты питающей сети. Кроме того, завод-изготовитель заявляет и подтверждает проведенными тестами, что фильтры могут обеспечить до 10% THD, при этом, не перегружая фильтр, настроенный на параллельный резонанс. Использование 6-пульсного управления влечет к определению параметров фильтров настроенных на гармоники 3,3, 5, 7 порядка, а использование 12-пульсного управления – на гармоники 11 и 13 порядка.

Навигационный режим

Harmonic order	Converters Total Harmonic Currents on the 6.6 kV level (A)	Harmonic Voltages (%)		
		With 2 connected filters		
		On both 6.6 kV and 440 V sides (*)	On the 6.6 kV side	On the 440 V side
1	1 045	100	100	100
5	ε	ε	ε	ε
7	ε	ε	ε	ε
11	70	11.8	6.5	0.6
13	50	10.1	6.3	1.3
17	ε	ε	ε	ε
19	ε	ε	ε	ε
23	8.3	3	2	0.8
25	6	2.4	1.6	0.6
THD (%)		16.8	10	3.2
Contractual THD (%)		-----	-----	5

Режим разгона

Harmonic order	Converters Total Harmonic Currents on the 6.6 kV level (A)	Harmonic Voltages (%)		
		With 2 connected filters		
		On both 6.6 kV and 440 V sides	On the 6.6 kV side	On the 440 V side
1	755	100	100	100
5	ε	ε	ε	ε
7	ε	ε	ε	ε
11	60	20	7.5	0.6
13	42	16.6	7.4	1.5
17	ε	ε	ε	ε
19	ε	ε	ε	ε
23	16.5	11.6	6	2.4
25	14	10.8	5.6	2.3
THD (%)		31	13.8	4.9
Contractual THD (%)		-----	-----	5

Аварийный режим

Harmonic order	Converters Total Harmonic Currents on the 6.6 kV level (A)	Harmonic Voltages (%)		
		With 2 connected filters		
		On both 6.6 kV and 440 V sides	On the 6.6 kV side	On the 440 V side
1	521	100	100	100
5	109	16.7	8.7	3.6
7	57	12.1	7.2	4
11	35	11.9	4.5	0.4
13	26	10.1	4.6	0.9
17	15	7.5	3.7	1.3
19	12	6.6	3.3	1.3
23	4.5	3.2	1.7	0.7
25	4	2.8	1.5	0.6
THD (%)		28.9	14.3	7.2

Рисунок 4 – Результаты судового эксперимента

Анализ гармонических составляющих силовой сети пропульсивной установки показал, что коэффициент нелинейных искажений сети (THD) находится в допустимых пределах, около 5% от основной частоты питающей сети, в следующих режимах работы: в навигационном режиме и режиме разгона при полной и частичной нагрузке сети и 12-пульсном управлении ПД. Уровень THD в аварийном режиме, когда используется 6-пульсное управление ПД, все еще остаётся не желательным, около 8%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ship manual: Stolt Parcel Tankers Inc. Harmonic Calculation Report 1996.-16с.
2. DNV GL – 10/03/2014 No.2013-1632, Rev.V1.0 – www.dnvgl.com.
3. А.О. Дранкова, С.С.Міхайков, А.П. Новицький Підвищення якості електроенергії суднової електромережі засобами активної фільтрації / Матеріали науково-методичної конференції «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки» 10.12.2014 – 11.12.2014 – Одеса: ОНМА. – 2015. – С.50-53.

УДК: 629.5.064.5: 621.311

СПОСОБ ВЕРИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОАГРЕГАТНОЙ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ

В.А. Шевченко, к.т.н, доцент

Б.О. Печевистый, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

На современных специализированных и пассажирских судах с целью обеспечения надежности электрического снабжения и по критериям экономичности используются многоагрегатные электрические станции. Так, например,

на пассажирских судах с электродвижением электрическая станция состоит не менее, чем из шести генераторных агрегатов (ГА). Поэтому решение задач, связанных с управлением судовыми электрическими станциями при изменении нагрузки и технического состояния агрегатов, является важным.

Надежность работы судовой электрической станции (СЭС) определяется надежностью работы ее силовой части и системы управления. В свою очередь, надежность работы системы управления СЭС определяется надежностью аппаратной части и программного обеспечения. Совершенствование и той и другой части требует от разработчиков постоянного внимания. Современные технологии обеспечивают высокую надежность аппаратной части, выпускаемой в виде контроллеров, предназначенных для работы в различных условиях окружающей среды и устойчивых к влиянию вредных технологических процессов. Кроме того, аппаратная часть является «видимой» и доступной, как для разработчиков, так и для эксплуатационников, в то время как программная остается «невидимой» и, в большинстве случаев, недоступной в силу ее защищенности конкретными производителями. В этой связи разработку программного обеспечения для каждого отдельного объекта, ввиду отсутствия программного аналога, приходится начинать при «нулевых условиях», с поиском эффективных методов верификации задач и синтеза функциональных алгоритмов.

Задачей данной работы является разработка способа верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией с целью обеспечения бесперебойного электроснабжения и повышения экономичности ее работы. Верификация состоит из трех этапов: построение графа состояний; описание при помощи переключательных функций состояний системы и условий переходов между ними; синтез логических схем алгоритмов работы системы управления СЭС.

Сочетание графа-автомата и ЛСА является функционально полным набором верификации для программиста, достаточный для разработки программного обеспечения с учетом спецификации аппаратной части.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головки С. В. Моделирование автоматической системы управления судовой электростанции с учетом состояния оборудования / С. В. Головки // Вестник Астраханского государственного технического университета: научн. журнал. – Вып. 3 – Астрахань, 2014. – С. 58 – 63.
2. Пипченко А. Н., Толстов А. А. Проблемы оптимизации судовых электростанций. – Л.: Судостроение, 1985, №6.
3. Пипченко А. Н., Пономаренко В. В. О некоторых методологических аспектах построения рациональных структур микропроцессорных систем в судовой энергетике. – Электрооборудование и автоматизация установок и систем. Сб. науч. тр. Николаев, НКИ, 1988.

УДОСКОНАЛЕНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ БАШТОВОГО КРАНУ

В.В. Бушер, д.т.н., професор

М.З. Волков, студент

Одеський національний політехнічний університет

Вступ. Значну частину навантажувально-розвантажувальних робіт виконують баштові крани, які включають в себе механізм повороту стріли і механізм зміни радіусу за рахунок пересування візка по стрілі. При великій довжині каната з підвішеним вантажем ці механізми характеризуються відносно тривалими перехідними процесами, які виникають від коливань вантажу.

Враховуючи, що операції переміщення займають значну частину часу перевантаження, то демпфування коливань вантажу є важливим завданням. Успішне рішення цієї задачі вимагає застосування таких законів управління, які дозволяють одночасну роботу декількох механізмів (горизонтального переміщення і підйому вантажу), а також найменш чутливі до помилок виміру параметрів вантажу і дії випадкових обурень. Рішення задачі може бути досягнене за рахунок формування спеціальних діаграм руху точки підвісу [1, 2], а компенсація збурень та помилок визначення параметрів – шляхом використання підтягуючих тросів, дія яких еквівалентна гнучкому зворотному зв'язку за відхиленням канату від вертикалі [3].

Мета роботи. Розробка удосконаленої моделі баштового крану з урахуванням одночасного руху всіх технологічних механізмів і особливостей роботи електроприводів цих механізмів для перевірки ефективності методів узгодженого керування електроприводами крану.

Матеріали та результати досліджень. Модель баштового крану, на підставі якої створено методи узгодженого керування технологічними механізмами (рис.1), включає механізм повороту стріли радіусом r_1 і швидкістю повороту ω_1 , візок із закріпленим в точці O канатом завдовжки L з вантажем G , який може переміщатися по стрілі Z_1O зі швидкістю v_{1y} , а також закріплені в точках $1 \dots 4$ по кутах візка підтягуючі приводи, які розташовано на відстанях $base_x, base_y$ від центру O .

Відхилення канату OG на кут α може бути визначено через складові по вісях x і y $-\alpha_x, \alpha_y$, а кути відхилення підтягуючих тросів $\beta_1 \dots \beta_4$ – відповідно $\beta_{1x} \dots \beta_{4x}$, $\beta_{1y} \dots \beta_{4y}$.

При роботі механізму підйому довжина канату змінюється зі швидкістю v_L , а підтягуючих тросів – $v_{L1} \dots v_{L4}$. Для успішної компенсації коливань вантажу необхідно узгоджувати швидкості механізмів обертання крану і руху візка з урахуванням центробіжної та коріолісової сил, а також підтягуючих тросів так,

щоб швидкості неробочого руху $v_{L10 \dots v_{L40}}$ відповідали заданому алгоритму роботи приводів горизонтального руху і підйому.

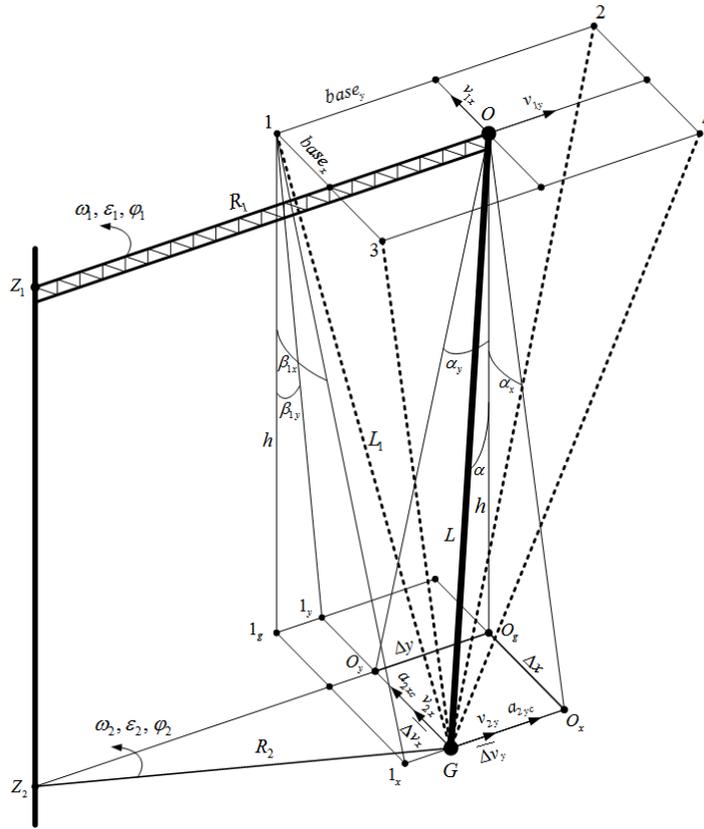


Рисунок 1 – Розрахункова схема баштового крану

Для реалізації такого керування в систему включено наглядачі механізмів пересування і підтягуючих тросів, які функціонують відповідно до моделі крану:

за віссю x

$$a_{2xc} = 2\omega_2 v_{2y},$$

$$\varepsilon_2 = \frac{g \sin(\alpha_x) + a_{2xc}}{R_2},$$

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \varepsilon_2, \quad \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2,$$

$$\omega_1 = \frac{\alpha_x L}{R_2} + \omega_2, \quad \Delta v_x = (\omega_1 - \omega_2) R_2,$$

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1(t), \quad \Delta x = (\varphi_1 - \varphi_2) R_2,$$

$$v_{1x} = \frac{\omega_1(t)}{R_1(t)},$$

$$\Delta x = \frac{L \tan \alpha_x}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha_x + \tan^2 \alpha_y}},$$

за віссю y

$$a_{2yc} = \omega_2^2 R_2,$$

$$a_{2y} = g \sin(\alpha_y) + a_{2yc},$$

$$\frac{dv_{2y}}{dt} = a_{2y},$$

$$\frac{dR_2}{dt} = v_{2y},$$

$$R_1 = \alpha_y L + R_2,$$

$$\Delta y = R_1 - R_2,$$

$$v_{1y}(t) = \frac{dR_1}{dt},$$

$$\Delta y = \frac{L \tan \alpha_y}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha_x + \tan^2 \alpha_y}}.$$

Відповідно отримаємо

$$\left\{ \begin{aligned} \beta_{ix} &= \arctan \frac{base_x \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_x + \tan^2 \alpha_y} \begin{pmatrix} + \forall i=1,2 \\ - \forall i=3,4 \end{pmatrix} L \tan \alpha_x}{L}, \\ \beta_{iy} &= \arctan \frac{base_y \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_x + \tan^2 \alpha_y} \begin{pmatrix} - \forall i=1,3 \\ + \forall i=2,4 \end{pmatrix} L \tan \alpha_y}{L}, \\ v_{L10} &= \Delta v_x \sin \beta_{1x} + \Delta v_y \sin \beta_{1y}, \\ v_{L20} &= \Delta v_x \sin \beta_{2x} - \Delta v_y \sin \beta_{2y}, \\ v_{L30} &= -\Delta v_x \sin \beta_{3x} + \Delta v_y \sin \beta_{3y}, \\ v_{L40} &= -\Delta v_x \sin \beta_{4x} - \Delta v_y \sin \beta_{4y}. \end{aligned} \right.$$

Але в запропонованій моделі не враховується поворот системи координат. Для підвищення точності розрахунків в пакетах SimMechanics і SimPowerSystem створено модель баштового крану, в якій враховано взаємодія всіх механічних компонентів крану і особливості роботи перетворювачів частоти, які використовуються в більшості сучасних кранів (рис. 2).

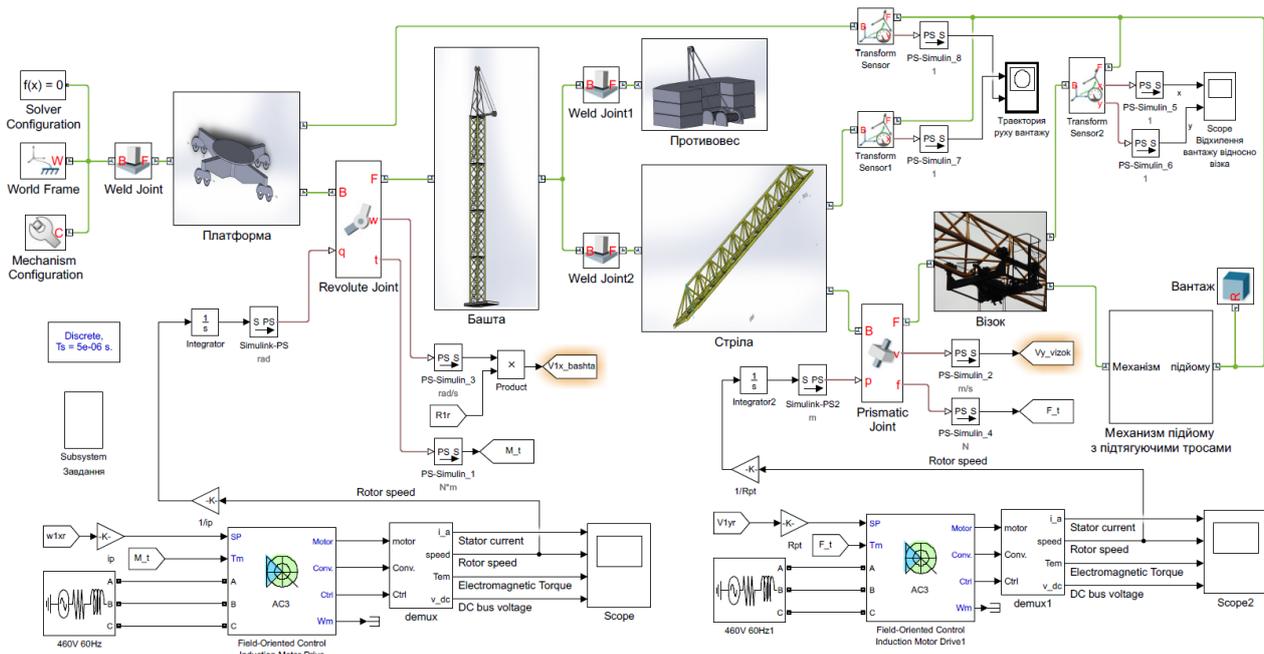


Рисунок 2 – Комбінована модель баштового крану

Розрахунки у створеній моделі дозволили визначити параметри електроприводів з урахуванням динамічних навантажень, обумовлених взаємодією механізмів, задати необхідну жорсткість механічної характеристики приводів підтягуючих тросів.

Висновки. Результатом виконаної роботи є створення удосконаленої моделі баштового крану, яка враховує взаємодію механічних компонентів і електроприводів крану з використанням оптимізованих методів керування.

Розроблена модель у Simulink MATLAB дозволяє підвищити швидкість виконання розрахунків у 5-10 разів, отримувати як графіки перехідних процесів всіх механізмів крану, так і 3D-відображення поведінки крану і вантажу.

Найважливішим результатом роботи стало розуміння, що спрощена модель (рис.1) і відповідні до неї методи демпфування коливань вантажу мають обмеження – лінійне прискорення точки підвісу внаслідок руху крану і візка не повинно перевищувати $0.1 \dots 0.15 \text{ м/с}^2$. При більших прискореннях ефективне демпфування коливань забезпечують підтягуючи троси, але потужність їх електроприводів необхідно збільшувати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бушер, В. В. Оптимизация управления электроприводами контейнерного перегружателя при совместной работе механизмов [Текст] / В. В. Бушер, Л. В. Мельникова, А. И. Шестака // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса: Наука и Техника, 2015. – №17(93). – С. 23–28.
2. Бушер, В. В. Математическая модель башенного крана с механизмами подтягивающих тросов [Текст] / В. В. Бушер, Н. З. Волков // Подъемно-транспортная техника. – Одесса: ОНПУ, 2015. – №2(46). – С. 13–22.
3. Герасимьяк, Р. П. Электроприводы и системы управления крановых механизмов [Текст]: уч. пособие. Рек. УС ОНПУ 2014 г. / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер, А. Г. Калинин. – Одесса: Наука и Техника, 2014. – 202 с.

УДК 629.5.065.2

3D-SCADA КЕРУВАННЯ ТИЛОВИМ КОНТЕЙНЕРНИМ ПЕРЕВАНТАЖУВАЧЕМ

В. В. Бушер, д.т.н., професор
Ю. В. Єрємін, студент
Одеський національний політехнічний університет

Вступ. Контейнерні перевезення є найбільш сучасним видом транспортування вантажів, як у внутрішньому, так і у міжнародному сполученні, і виконуються різними видами сухопутного, водного, повітряного транспорту. Контейнерні перевантажувачі, зокрема тилові, відіграють значну роль у цьому технологічному процесі.

Розвиток конструкцій і характеристик тилових контейнерних перевантажувачів спрямований на підвищення інтенсивності обробки суден-контейнеровозів. Але збільшення продуктивності шляхом підвищення їх робочих швидкостей обмежується супутнім негативним збільшенням амплітуди розхитування контейнера (спредера).

Мета роботи. Удосконалення прототипу SCADA тилового контейнерного перевантажувача з урахуванням оптимізованих законів керування переміщенням вантажу, які забезпечують демпфування коливань при одночасній ро-

боті механізмів, та елементами 3D-візуалізації для підвищення продуктивності та комфорту при роботі перевантажувача.

Матеріали та результати досліджень. Для керування технологічними механізмами тилового перевантажувача використано метод демпфування коливань, який оснований на керуванні кутом відхилу канату від вертикалі за прийнятим законом, за рахунок зміни швидкості точки підвісу вантажу у три етапи [2]. У законах керування можна виділити три складові: лінійну, гармонійну і пов'язану з довжиною канату, нелінійну і пов'язану з роботою механізму підйому. Перша складова не потребує високої швидкодії та її параметри визначаються алгоритмом позиціонування відповідно до табл. 1, дві останні складові потребують високої швидкодії. Тому прийнято рішення розподілити задачу: за позиціонування і лінійну складову відповідає SCADA на комп'ютері, за інші – контролер.

Використання формул з табл. 1 найкраще пристосовано для автоматичної роботи, що добре відповідає умовам роботи тилового перевантажувача: контейнери по території терміналу розташовано на точно визначених позиціях з координатами (x, y, z) відповідно стандартним розмірам контейнерів.

Тому в SCADA передбачено умовне розподілення зони обслуговування одного перевантажувача с фіксованими кроками dx, dy, dz та реалізовано 3D відображення процесу роботи з позиції, координату x якої прив'язано перевантажувача. Тому відображається рух контейнерів вздовж екрану, візка по мосту в косокутній ізометричній проекції, та вертикальний рух спредера.

Таблиця 1 – Параметри при переміщеннях у різних областях

<p>Малі переміщення з 4-х інтервалів $t_1 - t_1 - t_1 - t_1$: $0 < s < 4\pi^2 T_G^2 a_{\max}$, $a < a_{\max}$, $t_2 = 0$, $t_3 = 0$, $t_{\Sigma} = 4\pi T_G$, Для забезпечення заданого переміщення необхідно задати величину прискорення a: $a = \frac{s}{4\pi^2 T_G^2}$</p>	<p>Середні переміщення з 6-и інтервалів $t_1 - t_2 - t_1 - t_1 - t_2 - t_1$: $4\pi^2 T_G^2 a_{\max} < s < \frac{V_{E\max}^2}{2a_{\max}} + V_{E\max} \pi T_G$, $a = a_{\max}$, $t_3 = 0$. Необхідно задати величину кінцевої швидкості і тривалість другого інтервалу: $V_E = \left(\sqrt{\pi^2 T_G^2 + \frac{2s}{a_{\max}}} - \pi T_G \right) a_{\max}$, $t_2 = \frac{V_E}{2a_{\max}} - \pi T_G$, $t_{\Sigma} = 4\pi T_G + 2t_2 = \pi T_G + \sqrt{\pi^2 T_G^2 + \frac{2s}{a_{\max}}}$.</p>	<p>Великі переміщення з 7-и інтервалів $t_1 - t_2 - t_1 - t_3 - t_1 - t_2 - t_1$: $s > \frac{V_{E\max}^2}{2a_{\max}} + V_{E\max} \pi T_G$, $a = a_{\max}$, $V_E = V_{E\max}$. Необхідно вибрати наступні параметри діаграми швидкостей: $t_2 = \frac{V_{E\max}}{2a_{\max}} - \pi T_G$, $t_3 = \frac{s}{V_{E\max}} - \frac{V_{E\max}}{2a_{\max}} - \pi T_G$, $t_{\Sigma} = \pi T_G + \frac{V_{E\max}}{2a_{\max}} + \frac{s}{V_{E\max}}$.</p>
--	--	---

Підготовку графічних примітивів (металоконструкцій, огорожень, візка, спредера, контейнерів) виконано в SolidWorks, але надалі прозорі фрагменти дорацьовано безпосередньо у SCADA. Для підвищення вірогідності відобра-

ження вирішено питання багат шарової побудови зображення з адекватним розподілом елементів.

В результаті отримано головний екран SCADA, який показано на рис. 1.

Окремою задачею, яку необхідно вирішити в SCADA, є відображення процесу переміщення контейнеру з одної позиції на іншу. Цю задачу вирішено за рахунок присвоєння окремим контейнерам змінної, яка відповідає за видимість об'єкту, та створення програмного коду, який забезпечує відображення функції захвату контейнера спредером та захист від заборонених ситуацій (захват в позиції, віддаленої від контейнеру, розблокування спредеру під час руху).

Висновки. Результатом виконаної роботи є створення прототипу системи керування тиловим контейнерним перевантажувачем в Citect SCADA з елементами 3D-візуалізації.

Вирішено питання:

- реалістичного відображення перевантажувача і контейнерів під час руху технологічних механізмів у косокутній ізометричній проекції за рахунок побудови багат шарового зображення;

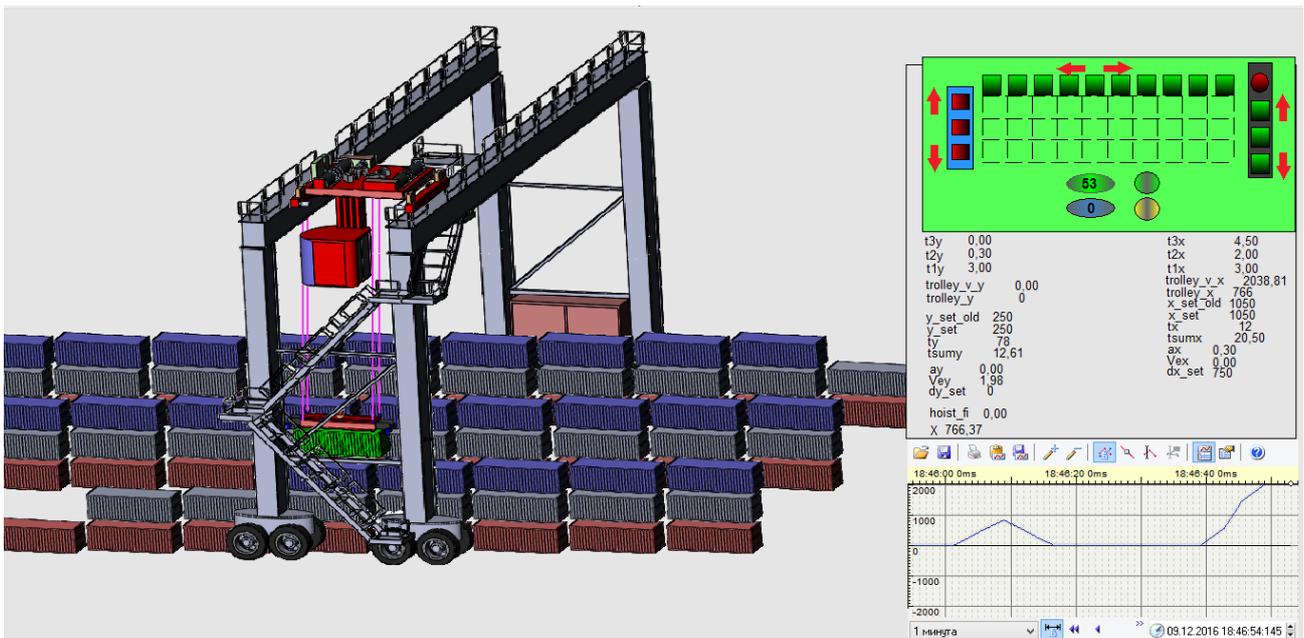


Рисунок 1 – Відображення роботи перевантажувача в SCADA

- переміщення контейнеру з одної позиції до іншої з фіксацією процесу у базі даних;

- автоматичного позиціонування крану в заданих ділянках терміналу з урахуванням алгоритмів демпфування коливань вантажу при можливості одночасної роботи усіх технологічних механізмів.

Головну програму створено у Cicode Citect, що дозволяє перенести та узгодити необхідні частини програмного коду з будь-яким стандартним промисловим контролером.

ЛІТЕРАТУРА

1. Давыдов, В. Г. Система супервизорного управления Vijeo Citect 7.30 SP1. Базовый курс [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Г. Давыдов. – СПб: гос. политехн. ун-т.
2. Бушер, В. В. Оптимизация управления электроприводами контейнерного перегружателя при совместной работе механизмов [Текст] / В. В. Бушер, Л. В. Мельникова, А. И. Шестака // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса : Наука и Техника, 2015. – №17(93). – С. 23–28. doi: 10.15276/etks.17.93.2015.3
3. Герасимьяк, Р. П. Электроприводы и системы управления крановых механизмов [Текст] : уч. пособие. Рек. УС ОНПУ 2014 г. / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер, А. Г. Калинин. – Одесса: Наука и Техника, 2014. – 202 с.

УДК: 621.313.33: 629.5.064.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ ГРУЗОВОГО КОМПРЕССОРА ТАНКЕРА-ГАЗОВОЗА

С.Ф. Самонов, к.т.н., доцент

В.А. Муница, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Особенностью электроэнергетической установки рассматриваемого танкера-газовоза является наличие в ней четырех электроприводов (ЭП) с асинхронными электродвигателями (АД) мощностью до 500 кВт, запуск которых производится с помощью устройств плавного пуска (УПП) – софтстартеров. В силовой части ЭП двух грузовых компрессоров применены емкостные фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ), обеспечивающие компенсацию реактивной мощности и подключаемые в систему питания после запуска АД на время его работы.

Электропитание названных ЭП производится от синхронных генераторов судовой электростанции: двух дизель-генераторов мощностью по 1050 кВт и двух валогенераторов мощностью по 1600 кВт. Поэтому мощность каждого из названных ЭП следует рассматривать как соизмеримую с ограниченной мощностью источника электропитания.

УПП предназначены для постепенного бесступенчатого разгона и, при необходимости, торможения электродвигателя путем регулирования величины подводимого напряжения. Этим достигается уменьшение броска пускового тока и вращающего момента, а также снижение падения напряжения в судовой сети, вызванные запуском электродвигателя.

Применению УПП в рассматриваемой системе присущи следующие недостатки. Регулирование подводимого к АД напряжения в широком диапазоне за счет силовых полупроводниковых ключей – тиристоров УПП приводит к

возникновению значительных гармонических искажений напряжения и тока как в судовой сети, так и в электродвигателе. Величины этих искажений ограничены жесткими рамками международных стандартов и требованиями классификационных обществ. В особенности это касается применяемого на судне взрывозащищенного электрооборудования, включая АД.

Наличие в системе электропитания емкостных ФКУ может приводить к возникновению резонансных явлений, отрицательно влияющих на срок службы и надежность работы самих конденсаторов ФКУ, АД и других судовых потребителей за счет перенапряжений и всплесков тока отдельных гармоник при требуемой значительной, до 30 секунд и более, продолжительности пуска. Опыт применения УПП показал, что при пониженном напряжении во время пуска АД амплитуды тока 5-ой гармоники могут превышать действующее значение тока основной гармоники на 30 и более процентов.

Для пуска – страгивания из остановленного состояния ЭП со значительным фрикционным начальным моментом (к которым относится грузовой компрессор, запускаемый по технологическим требованиям при 50 % нагрузке) используют как повышенный уровень первоначально прилагаемого напряжения (40 – 60 % от номинального), так и короткий (до 1 секунды) скачок (100% номинального) с последующим пониженным возрастающим напряжением, изменяемым по определенному закону. При этом в АД возникает переходный процесс, включающий две составляющие момента – вынужденную (возрастающую) и знакопеременную, амплитудные значения которой могут в несколько раз превышать значения основного момента. В отдельных случаях такие колебания вращающего момента оказывались недопустимыми по прочностным соображениям, что приводило к поломкам, люфтам и другим отказам механизмов и передач, и, даже, невозможности использования УПП для мощных высоковольтных АД. Поэтому согласно рекомендациям классификационных обществ, при разработке ЭП с УПП должны обязательно учитываться особенности, связанные с характером изменения создаваемого АД вращающего момента, вносимыми гармоническими искажениями токов и напряжений питающей сети и электромагнитной совместимостью оборудования.

Целью настоящей работы является повышение качества электроэнергии судовой электроэнергетической системы и надежности работы ее компонентов за счет применения УПП и ФКУ. Предмет исследований – электромеханические процессы в ЭП грузового компрессора при плавном пуске мощного АД с учетом наличия емкостного ФКУ в системе электропитания ограниченной мощности. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: выбор и обоснование модели, описывающей процессы в ЭП при плавном пуске АД; исследование с помощью принятой модели характеристик напряжения, тока и момента электродвигателя, определение их гармонического состава и соответствия требованиям стандартов и классификационных обществ; проведение сравнительного анализа эффективности применения емкостного ФКУ для улучшения показателей качества электроэнергии путем исследования процессов на физической модели объекта; разработка рекомендаций по

настройке УПП и использованию ФКУ в электроприводе грузового компрессора.

К настоящему моменту авторами проведен обзор литературных источников, опубликованных научных работ и рекомендаций фирм-изготовителей электрооборудования по применению и опыту эксплуатации УПП и ФКУ, ведется подготовка исходных данных и построение модели процессов в среде МАТЛАБ и подготовка к исследованиям на физической модели ЭП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арриллага Дж. и др. Гармоники в электрических системах: Пер. с англ./Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П.Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.: ил.
2. Климов В.П., Москалев А.Д. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания // Практическая силовая электроника. Науч.-техн.сб./Под ред. Малышкова Г.М., Лукина А.В.– М.: АОЗТ "ММП-Ирбис", 2002. Вып. 5 – С.53
3. Воршевский А.А., Гальперин В.Е. Электромагнитная совместимость судовых технических средств / А.А. Воршевский, В.Е.Гальперин; СПбГМТУ. – СПб., 2006. – 317 с.
4. Электромагнитная и электромеханическая совместимость в электротехнических системах с полупроводниковыми преобразователями: Конспект лекций /В.И. Вершинин, Э.А. Загривный, А.Е.Козярук, Санкт-Петербургский горный ин-т.СПб, 2000. – 67с.
5. В.П. Дьяконов MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink 5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.: ил.

УДК 656.614.3.073.235

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ КОНТЕЙНЕРНОГО КРАНА ПРИ КЕРУВАННІ МОМЕНТОМ

М.Й. Муха, к.т.н., доцент

А.І. Шестака, ст. викладач

О.О. Голубенко, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Вантажні операції – це технологічний процес, керування яким буває і ручним, і автоматизованим. На практиці потрібно керувати даними операціями як в ручному режимі, так і в автоматичному в залежності від поставленої задачі та умов роботи, а також від організації вантажних робіт в цілому.

Як правило, всі транспортні операції характеризуються переміщенням вантажу підйомно-транспортними механізмами. Цей фрагмент технологічного процесу призводить до розкачування підвішеного на канаті вантажу в процесі пуску і гальмування механізмів переміщення. Очікування заспокоєння коливань суттєво впливає на збільшення часу обробки вантажів, знижуючи якість та продуктивність процесу в цілому.

В роботі пропонується розробка системи керування крановими механізмами поступального руху на основі формування оптимального закону керування моментом асинхронного двигуна приводу візка за умови використання сучасних частотних перетворювачів, які допускають режим роботи з безпосереднім керуванням моментом на валу в режимі Field Oriented Control (FOC).

Однією з задач роботи є визначення закону зміни моменту на валу привідного двигуна, який зможе забезпечити гарантоване гасіння коливань підвішеного вантажу в динамічних процесах розгону і гальмування за алгоритмом:

- початок і кінець процесу розгону-гальмування характеризуються нульовим кутом відхилення α вантажу від вертикалі;
- в середині динамічного процесу α досягає свого максимуму, котрий визначається технологічно заданим часом розгону-гальмування;
- перехід до руху з усталеною швидкістю здійснюється при умові $\alpha=0$, після чого рух візка з усталеною швидкістю здійснюється за відсутності динамічного моменту, коли момент на валу двигуна дорівнює моменту статичного навантаження.

Таким чином керування двигуном механізму переміщення в динамічному режимі виконується при управлінні моментом, а при досягненні заданої усталеної швидкості пересування – в режимі стабілізації швидкості. Останній може бути реалізований сучасними частотними перетворювачами навіть без датчику швидкості візка при використанні режиму розширеного векторного управління (AD MFVC – Advanced Magnetic Flux Vector Control для перетворювачів виробництва Mitsubishi Electric).

В роботі розглянуто процеси пересування вантажів в напрямку судно-берег для причального контейнерного перевантажувача, які характеризуються коливаннями вантажу в декартовій системі координат. Отримані результати переходом до полярної системи координат досить просто можуть бути розширені для процесів з використанням палубних і офшорних кранів.

Для вирішення поставленої задачі в цілому необхідно виконати наступні етапи роботи:

- провести дослідження процесу коливань підвішеного вантажу, пояснити можливі варіанти руху з підвішеним вантажем в двохмасовій системі;
- визначити закон керування моментом, який буде забезпечувати гасіння коливань з урахуванням довжини підвісу за заданий час розгону-гальмування;
- оцінити вплив різноманітних факторів на характер протікання і тривалості оптимальних динамічних процесів;
- пояснити і обґрунтувати використання сучасних частотно-регульованих приводів з переключенням режимів керування моментом та керуванням (стабілізацією) швидкістю;
- розробити типові алгоритми для конкретних варіантів контейнерних перевантажувачів.

Для забезпечення безпосереднього керування моментом асинхронного двигуна пропонується використати сучасний перетворювач частоти Mitsubishi Electric FR A701, в якому передбачено керування моментом по аналоговому входу (0-10) V, як це показано на рис.1. При керуванні моментом даний тип ча-

стотного перетворювача працює в режимі FOC та визначає характер роботи двигуна при якому кут відхилення вантажу в динамічному режимі буде детермінований, що забезпечить гасіння коливань вантажу в момент часу, коли здійснюється перехід від динамічного до статичного режиму роботи. Окрім керування моменту також частотний перетворювач володіє такими необхідними для кранових механізмів властивостями, як:

- рекуперація енергії;
- повномасштабне векторне управління за допомогою двигуна з енкодером (опція FR-A7AP);

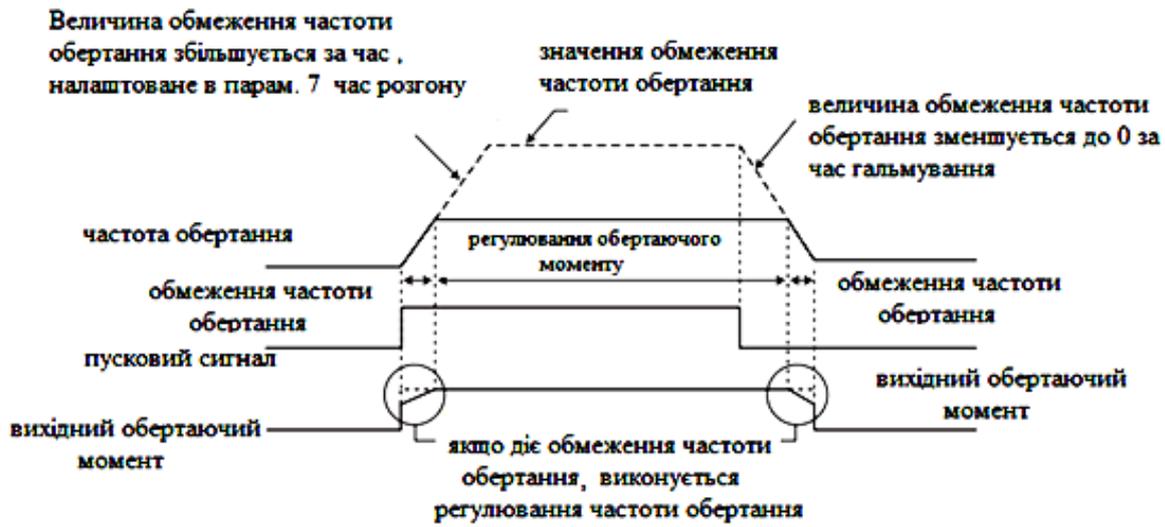


Рисунок 1 – Графік регулювання обертаючого моменту для FR A701

- підтримання заданого моменту при малих обертах;
- управління позиціонуванням.

Для аналізу роботи двохмасової механічної системи розглянемо процес пуску механізму руху візка з підвішеним вантажем, описуючи його відомими диференційними рівняннями. На рис.2 представлено механізм в вигляді двох поступально рухомих мас: m_1 – візок; m_2 – вантаж, підвішений на гнучкій нитці довжиною l ; S_1, S_2 – шлях переміщення відповідно візка та вантажу.

Пуск виконується завдяки дії зусилля двигуна F і залежної від маси вантажу сили статичного опору F_T , що являє собою проекцію на горизонтальну вісь сили натягнення тросу.

Нехтуючи втратами при деформації нитки, а також приймаючи до уваги ряд допущень, зумовлених малим значенням кута відхилення тросу від вертикалі α , рух такої системи можна описати диференційними рівняннями:

$$F - F_T = m_1 \frac{d^2 S_1}{dt^2}; \quad (1)$$

$$F_T = m_2 \frac{d^2 S_2}{dt^2}, \quad (2)$$

звідки

$$F - F_r = m_1 a_1;$$

$$a_1 = \frac{F - F_r}{m_1};$$

де a_1 – прискорення першої маси (візка).

Оскільки горизонтальна складова сили натягнення тросу пропорційна куту відхилення α і

$$F_r = m_2 g \alpha = m_2 g \frac{S_1 - S_2}{l} = m_2 g \frac{\Delta S}{l}, \quad (3)$$

то

$$m_2 g \alpha = m_2 \frac{d^2 S_2}{dt^2};$$

$$g \alpha = a_2;$$

де a_2 – прискорення другої маси (вантажу).

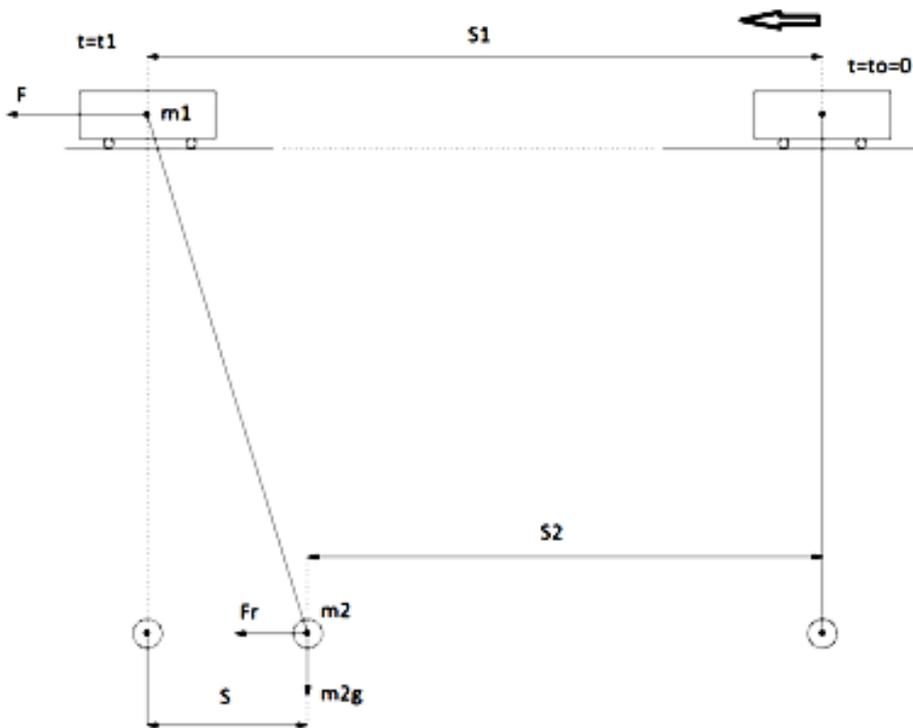


Рисунок 2 – Процес пуску механізму пересування

Таким чином

$$F_r = m_2 \frac{d^2 S_2}{dt^2};$$

$$F_r = m_2 g \alpha;$$

звідки

$$\frac{d^2 S_2}{dt^2} = g \alpha; \quad (4)$$

Крім того,

$$\frac{S_1 - S_2}{l} = \alpha;$$

тому

$$S_1 = l \alpha + S_2;$$

З урахуванням зазначеного і рівняння (4) отримаємо:

$$\frac{d^2 S_1}{dt^2} = l \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{d^2 S_2}{dt^2} = l \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + g \alpha; \quad (5)$$

Тоді (1) прийме вигляд $F - F_r = m_1 \frac{d^2 S_1}{dt^2}$;

Останній запис надає можливість визначити F наступним чином:

$$F = F_r + m_1 \frac{d^2 S_1}{dt^2};$$

а з урахуванням (3) і (5)

$$F = m_2 g \alpha + m_1 l \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + m_1 g \alpha;$$

або

$$F = m_2 g \alpha + m_1 l \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + m_1 g \alpha;$$

$$m_1 l \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + g(m_1 + m_2) \alpha = F;$$

Таким чином отримано закон для керування зусиллям F :

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{g}{l} \frac{m_1 + m_2}{m_1} \alpha = \frac{F}{m_1 l}, \quad (6)$$

або

$$\alpha'' + \Omega^2 \alpha = \frac{F}{m_1 l}; \quad (7)$$

В останньому Ω – власна частота коливань двохмасової системи:

$$\Omega = \sqrt{\frac{g}{l} \frac{m_1 + m_2}{m_1}} = \Omega_0 \sqrt{\gamma_1};$$

де $\Omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$ – власна частота коливань математичного маятника з довжиною l ;

$\gamma_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1}$ – коефіцієнт відношення мас.

Тобто, маємо неоднорідне лінійне диференціальне рівняння другого порядку (6), загальне рішення якого має вигляд:

$$\alpha = e^{0t} (C_1 \cos \Omega t + C_2 \sin \Omega t) = C_1 \cos \Omega t + C_2 \sin \Omega t ;$$

Очевидно, зазначеним вище умовам зміни кута відхилення вантажу на протязі періоду розгону-гальмування можуть відповідати різні гладкі неперервні функції, що диференціюються. Зокрема, зміщена косинусоїда:

$$\alpha = l - \cos 2\pi t / T_{acc.}; \quad (8)$$

де T_{acc} – час розгону (гальмування) вантажу.

Вирішення рівняння (6) з урахуванням (8) відносно зусилля F дозволить визначити характер вхідного сигналу на завдання моменту для частотного перетворювача. При цьому будуть виконані умови нульового відхилення вантажу на початку і в кінці динамічного періоду.

Оскільки технологічно заданий час розгону-гальмування складає близько трьох секунд, припустимо розглядати частотний перетворювач в вигляді пропорційної ланки, а привідний асинхронний двигун – в вигляді аперіодичної ланки першого порядку, як це зображено на рис.3. Тут механізм пересування вантажу представлено у вигляді електромеханічної системи (ЕМС) з двох масовою механічною частиною (ДМЧ).

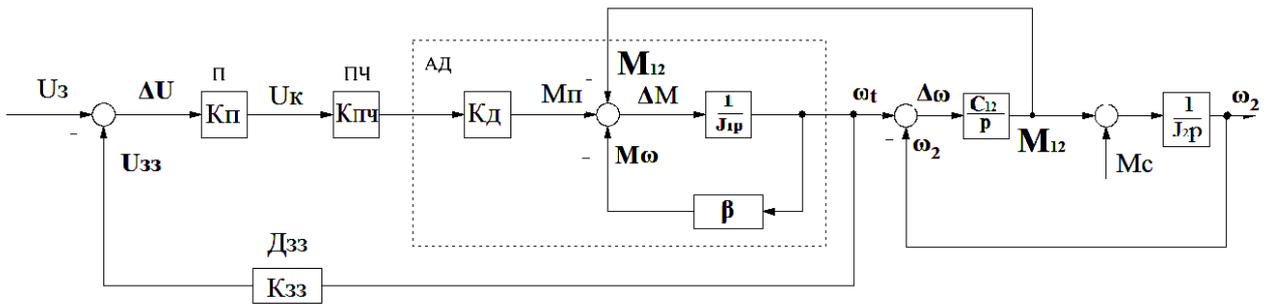


Рисунок 3 – Структурна схема ЕМС з ДМЧ

До складу електричної частини входить перетворювач ПЧ і електрична частина асинхронного двигуна АД (електромеханічний перетворювач), на виході якої присутній електромагнітний момент. Механічна частина – це друга частина двигуна (ротор), на виході якої кутова швидкість.

ДМЧ складається з двох ланок. На їх виході присутні момент пружної ланки (трос) і приведена кутова швидкість другої маси з відповідними внутрішніми зв'язками. Для випадку використання зворотного зв'язку по усталеній швидкості на структурній схемі також показано внутрішній зворотній зв'язок, який і забезпечує певний нахил (жорсткість) механічної характеристики двигуна.

На рис. 4 приведена блок-схема розробленої в середовищі MATLAB Simulink моделі електропривода ПЧ-АД, яка, в свою чергу ґрунтується побудована на структурній схемі Рис. 3.

Результати моделювання підтвердили коректність запропонованого методу гасіння коливань вантажу шляхом керування моментом двигуна.

Задача гасіння коливань згідно до обраного закону зміни кута відхилення шляхом розрахунку відповідного сигналу на завдання моменту має бути покладена на програмований логічний контролер (ПЛК), в пам'ять якого повинні бути занесені такі параметри як бажаний закон зміни кута відхилення вантажу, незмінна маса візку, технологічно заданий час розгону-гальмування.

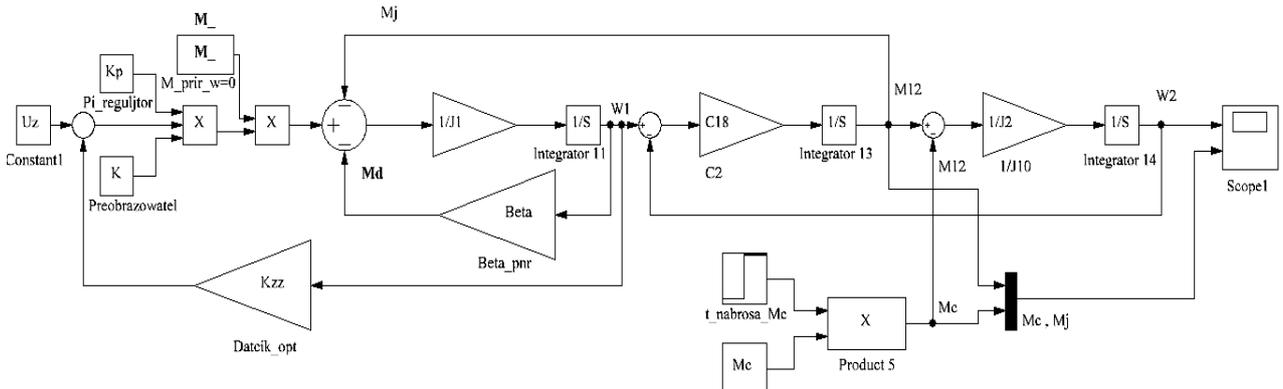


Рисунок 4 – Блок-схема моделі електропривода ПЧ-АД

Окрім цих констант ПЛК має постійно отримувати з відповідних датчиків інформацію щодо маси вантажу разом з вантажозахватним пристроєм, а також щодо довжини тросу, яка буде змінною при суміщенні операцій пересування та підйому-спуску вантажу. Крім зазначеної фонові задачі ПЛК має переводити

частотний перетворювач з режиму керування моментом в режим стабілізації досягнутої заданої швидкості з нульовим відхиленням вантажу наприкінці динамічного періоду. Також ПЛК може вирішувати обернену задачу позиціонування: розрахунок необхідної точки початку гальмування за умови точної зупинки в заданому місці з нульовим кутом відхилення вантажу. Така операція є характерною складовою технологічного процесу тилових перевантажувачів. Додаткова точність операцій автоматичного позиціонування досягається завдяки використанні додаткових датчиків кута відхилення від вертикалі, датчиків розташування візка, навігаційних датчиків GPS, датчиків наближення, сигнали з яких відповідним чином обробляються в ПЛК з метою коректування розрахованого сигналу на завдання моменту двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Смахов А.А., Ерофеев Н.И.: Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами - 1975, 239 с
2. Черноусько Ф.Л., Ананьевский И.М., Решмин С.А. : Методы управления нелинейными механическими системами - 2006, 328 с.
3. R. Krishnan. Electric Motor Drives. Modeling, Analysis and Control. ISBN 0-13-091014-7; Prentice Hall, 2001; 652 p.
4. Benjamin Biegel, Allan Hansen, Morten Juelsgaard, Peter P. Koldkjær : Anti Sway System of Ship to Shore Crane - 2009 , 202 p.
5. Nenad Zrnić, Zoran Petković, Srđan Bošnjak: Automation of Ship-To-Shore Container Cranes: A Review of State-of-the-Art – 2005 , 120 p.
6. Inverter FR-A701. Instruction Manual. Mitsubishi Electric – Industrial Automation; Art.No: 235836; 01-08-2008; Version C.
7. www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ug/simulating-an-ac-motor-drive.html?requestedDomain=www.mathworks.com

УДК 629.5.064.5

ФИЛЬТРЫ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛНОФАЗНЫХ И НЕПОЛНОФАЗНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТИ

В.Н.Захарченко, д.т.н., профессор

О.В.Глазева, к.т.н., доцент

Ю.В. Панин, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Из основных параметров качества электрической энергии, оказывающих наибольшее влияние на работу электрооборудования, можно выделить следующие:

- установившееся отклонение напряжения;
- несимметрия напряжения;

- колебания напряжения;
- несинусоидальность напряжения.

Причин несимметрии напряжений много, но основная из них — это несимметрия токов в сети, что обусловлено неравенством нагрузки по фазам. Значительная часть судовых электроприемников имеют одно- или двухфазное исполнение и присоединяются к сетям 380 В. Несимметрия напряжений в сетях 6 – 10 кВ является результатом несимметрии нагрузки в сетях 380 В. Еще одна причина несимметрии напряжений — это неполнофазные режимы в сетях с изолированной нейтралью.

Для расчета и анализа работы электрических цепей в несимметричных режимах используют метод симметричных составляющих. Сущность этого метода состоит в том, что любую несимметричную систему векторов можно искусственно заменить суммой трех симметричных трехфазных систем векторов: прямой (\dot{U}_1), обратной (\dot{U}_2) и нулевой (\dot{U}_0) последовательности (рис.1).

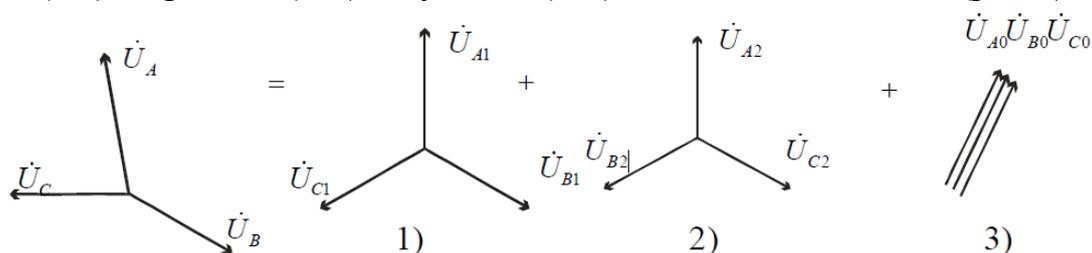


Рисунок 1 – Представление несимметричной системы напряжений суммой трех симметричных трехфазных систем векторов.

Системы прямой и обратной последовательности являются уравновешенными, то есть сумма векторов трех фаз равна нулю. Система нулевой последовательности – неуравновешенная, сумма векторов равна утроенному значению одного вектора. Напряжения исходной системы $\dot{U}_A; \dot{U}_B; \dot{U}_C$ будут определяться как сумма соответствующих симметричных составляющих

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}; \\ \dot{U}_B &= \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} + \dot{U}_{B0}; \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C0}.\end{aligned}\tag{1}$$

В системе нулевой последовательности все напряжения имеют одинаковую фазу, поэтому $\dot{U}_{A0} = \dot{U}_{B0} = \dot{U}_{C0} = \dot{U}_0$.

Используя матрицу Фортескью уравнения (1) для расчета $\dot{U}_A; \dot{U}_B; \dot{U}_C$ через симметричные составляющие $\dot{U}_1; \dot{U}_2; \dot{U}_0$ можно записать следующим образом, где $a = e^{j120}$ – комплексный множитель:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_0 \end{bmatrix}$$

Отсюда следует:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_0; & \dot{U}_0 &= \frac{1}{3}(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C); \\ \dot{U}_B &= a^2 \dot{U}_1 + a \dot{U}_2 + \dot{U}_0; & \dot{U}_1 &= \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a \dot{U}_B + a^2 \dot{U}_C); \\ \dot{U}_C &= a \dot{U}_1 + a^2 \dot{U}_2 + \dot{U}_0. & \dot{U}_2 &= \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a^2 \dot{U}_B + a \dot{U}_C). \end{aligned}$$

Симметричные составляющие несимметричных систем напряжений или токов можно определить не только аналитически или графически, но и экспериментально при помощи электрических схем, получивших название фильтров симметричных составляющих. Напряжения и токи, выделяемые фильтрами симметричных составляющих, используются на практике в релейной защите и автоматике для защиты от несимметричных режимов или в сигнализации о возникшем несимметричном режиме электрической сети. Степень асимметрии системы токов и напряжений не должна превосходить известных пределов, т.е. составляющие нулевой и обратной последовательностей системы напряжений и токов при нормальных режимах должны быть меньше некоторых наперед заданных величин, определяемых для каждой конкретной установки индивидуально.

Возможность выделить при помощи электрических схем отдельные симметричные составляющие позволяет осуществить воздействие любой из них на приборы, защищающие установку, которые, будучи соответствующим образом отрегулированы, отключают или всю установку, или ее часть, как только величина соответствующей составляющей превысит допустимый предел. В качестве измерительных преобразователей в первичной цепи применяются трансформаторы тока и напряжения. При этом, нормальными режимами работы для трансформаторов тока является режим короткого замыкания, а для трансформаторов напряжения - режим холостого хода.

На рисунок 2ке 2 в качестве примера приведены фильтры нулевой последовательности линейных токов и фазных напряжений. В схеме (рисунок 2а) вторичные обмотки трансформаторов напряжения включены последовательно и поэтому вольтметр определяет сумму фазных напряжений, т.е. утроенную составляющую нулевой последовательности системы фазных напряжений.

В схеме (рисунок 2б) вторичные обмотки трансформаторов тока включены параллельно и поэтому амперметр измеряет сумму линейных токов, т.е. утроенную составляющую нулевой последовательности линейных токов.

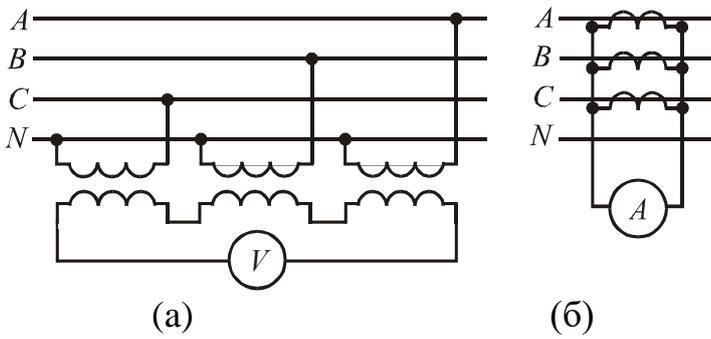


Рисунок 2 – Фильтры нулевой последовательности

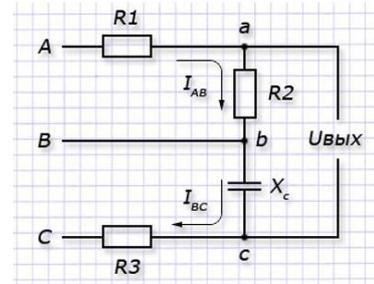


Рисунок 3 – ФНОП

Рассмотрим принцип работы фильтра напряжения обратной последовательности (ФНОП), который реализован схемой рис.3 при следующих соотношениях между параметрами элементов:

$$R_1 = R_2 = R_3 = \sqrt{3} \cdot X_c$$

Напряжение на отдельных участках схемы с учетом заданных соотношений между параметрами элементов:

$$\underline{U}_{ab} = \underline{I}_{AB} \cdot R_2 = \frac{\underline{U}_{AB} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2} \underline{U}_{AB};$$

$$\underline{U}_{bc} = \underline{I}_{BC} \cdot (-jX_c) = \frac{\underline{U}_{BC} \cdot (-jX_c)}{R_3 - jX_c} = \frac{\underline{U}_{BC}}{1 + j \frac{R_3}{X_c}} = \frac{\underline{U}_{BC}}{2e^{j60^\circ}} = \frac{1}{2} \underline{U}_{BC} \cdot e^{-j60^\circ}.$$

$$\text{Выходное напряжение фильтра: } \underline{U}_{\text{вых}} = \underline{U}_{ab} + \underline{U}_{bc} = \frac{1}{2} (\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{BC} \cdot e^{-j60^\circ}).$$

Преобразуем формулу для напряжения обратной последовательности (\underline{U}_2) путем добавления и вычитания члена $a\underline{U}_B$:

$$\begin{aligned} \underline{U}_2 &= \frac{1}{3} (\underline{U}_A + a^2 \cdot \underline{U}_B + a \cdot \underline{U}_C) = \frac{1}{3} (\underline{U}_A + a^2 \cdot \underline{U}_B + a \cdot \underline{U}_C + a \cdot \underline{U}_B - a \cdot \underline{U}_B) = \\ &= \frac{1}{3} [(\underline{U}_A + (a^2 + a) \cdot \underline{U}_B - a \cdot (\underline{U}_B - \underline{U}_C))] = \frac{1}{3} [(\underline{U}_A - \underline{U}_B) + e^{-j60^\circ} \cdot (\underline{U}_B - \underline{U}_C)] = \\ &= \frac{1}{3} (\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{BC} e^{-j60^\circ}). \end{aligned}$$

Используя полученное выражение можно записать: $\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{BC} e^{-j60^\circ} = 3\underline{U}_2$, тогда

$$\underline{U}_{\text{вых}} = \frac{3}{2} \underline{U}_2 = k_{\phi 2} \cdot \underline{U}_2,$$

где $k_{\phi 2}$ - коэффициент фильтра обратной последовательности.

Для пояснения работы фильтра воспользуемся векторными диаграммами. Для упрощения рассмотрим фильтр в режиме холостого хода. Векторная диаграмма напряжений фильтра показана на рис.4а – для симметричной системы напряжений прямой последовательности, и на рис.4б – для симметричной системы напряжений обратной последовательности. Из рис.4а следует, что векторы напряжений на сопротивлениях \underline{U}_{R2} и \underline{U}_{Xc2} , геометрическая сумма которых образует выходное напряжение ФНОП, в данном случае равны по величине и противоположны по направлению, т.е. их геометрическая сумма равна нулю. Следовательно, при подведении к ФНОП системы напряжений прямой

последовательности $\underline{U}_{\text{вых}} = 0$. Такая же ситуация будет и при подключении ко входам фильтра напряжения нулевой последовательности. И только при подведении обратной последовательности напряжения $\underline{U}_{\text{вых}} = \frac{3}{2}\underline{U}_2$.

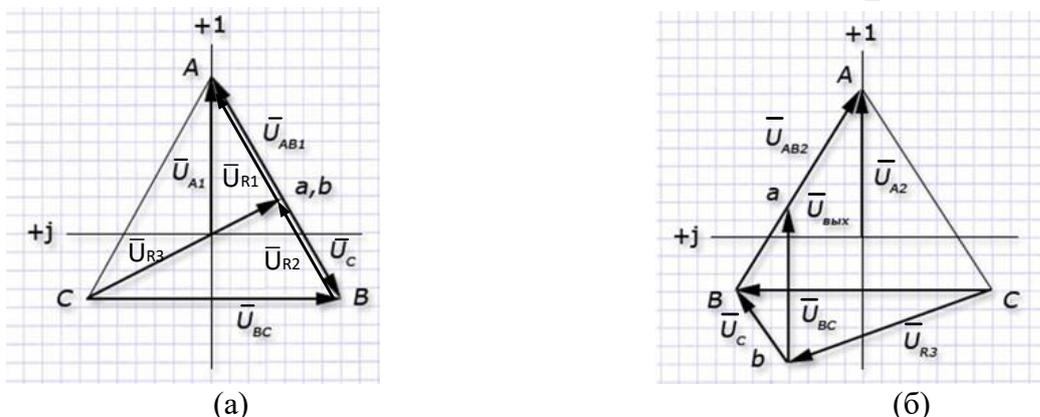


Рисунок 4 – Векторная диаграмма ФНОП для прямой последовательности напряжения (а)

$\underline{U}_{\text{вых}} = 0$; для обратной последовательности напряжения (б) $\underline{U}_{\text{вых}} = \frac{3}{2}\underline{U}_2$.

Так как системы прямой и обратной последовательностей отличаются только порядком следования фаз, то из этого следует, что фильтр, выделяющий напряжение одной из этих последовательностей превращается в аналогичный фильтр для выделения напряжений другой последовательности путем перестановки любых двух фаз местами. Таким образом, при замене фаз А и С местами, на выходе фильтра мы увидим напряжение в полтора раза превышающее напряжение прямой последовательности.

Фильтр напряжения нулевой последовательности представляет симметричную нагрузку, включенную звездой.

На рис.5 показаны модели фильтров напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей реализованные в программе NI Multisim 12.

В таблице 1 приведены результаты моделирования работы фильтров напряжения при асимметрии источника питания.

Таблица 1 – Результаты моделирования работы фильтров напряжения

Несимметрия входного напряжения $\underline{U}_A = 180e^{j0}В$; $\underline{U}_B = 200e^{j220}В$; $\underline{U}_C = 150e^{j110}В$.									
а) симметричная нагрузка, схема звезда без нейтрального провода									
$U_1 = \frac{U_v}{1,5}$	$U_2 = \frac{U_v}{1,5}$	U_0	U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	U_{Nn}
В	В	В	В	В	В	А	А	А	В
174,7	31,8	0	188,2	196,6	143,4	3,76	3,93	2,87	9,16
б) симметричная нагрузка, схема звезда без нейтрального провода, обрыв фазы А									
174,7	31,8	94,1	282,3	144,1	144,1	0	2,88	2,88	102,44
в) симметричная нагрузка, схема звезда с нейтральным проводом									
$U_1 = \frac{U_v}{1,5}$	$U_2 = \frac{U_v}{1,5}$	U_0	U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	I_N
В	В	В	В	В	В	А	А	А	А
174,7	31,8	9,16	180	200	150	3,6	4	3	0,549

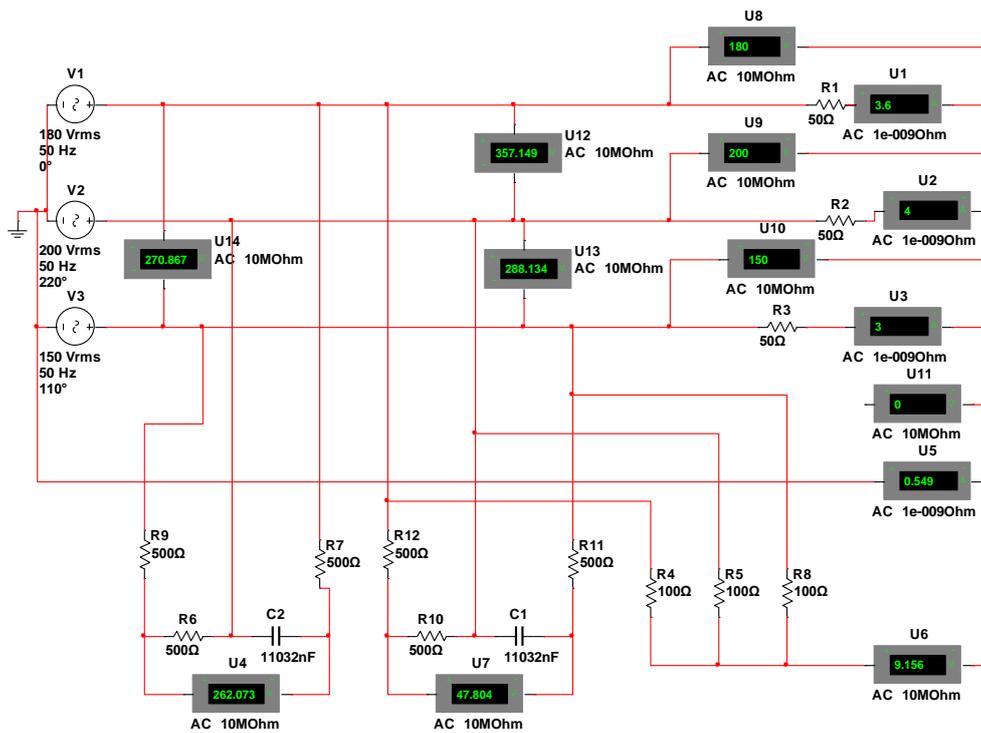


Рисунок 5 – Модель фильтров напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Модель фильтра симметричных составляющих тока представлена на рис.6. В ней для трансформации тока вместо трансформаторов тока, применяемых в реальных фильтрах, используем источники тока, управляемые током, с идеальной линейной характеристикой.

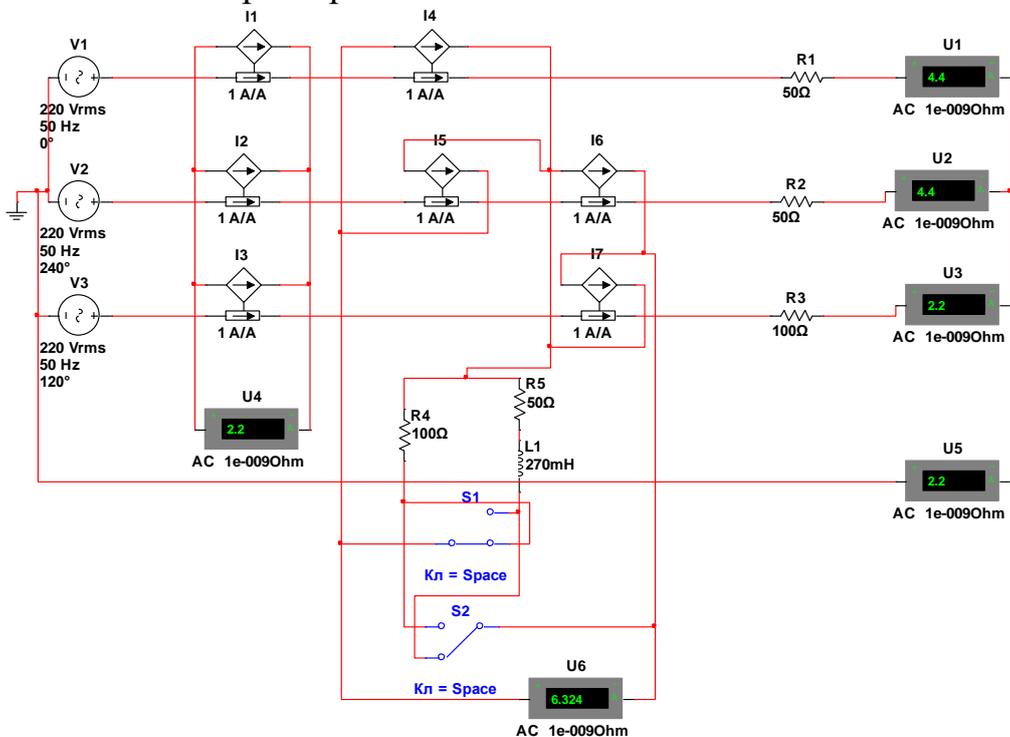


Рисунок 6 – Фильтры тока прямой, обратной и нулевой последовательности в схеме звезда с нейтральным проводом, несимметричная, однородная нагрузка.

В таблице 2 приведены результаты моделирования работы фильтров тока прямой, обратной и нулевой последовательностей при различных видах несимметрии нагрузки. В таблице 2: I_{A1} - показания амперметра в положении 1 ключа; I_{A2} - показания амперметра в положении 2 ключа.

Для подтверждения правильности полученных результатов моделирования, рассмотрим, например, один из видов поперечной несимметрии – двухфазное короткое замыкание (КЗ) или междуфазное КЗ, см. рис.7. Уравнения при поперечной несимметрии записывают для напряжений $\dot{U}_A; \dot{U}_B; \dot{U}_C$ и токов $\dot{I}_A; \dot{I}_B; \dot{I}_C$ фаз в месте несимметрии относительно земли.

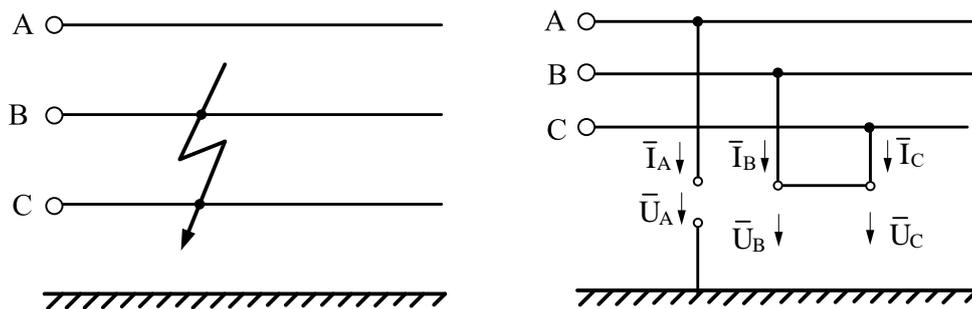


Рисунок 7 – Двухфазное (междуфазное) КЗ

Фазы В и С замкнуты между собой и имеют относительно земли равные потенциалы, фаза А связи с землей не имеет, поэтому граничные условия для двухфазного замыкания запишутся в виде:

$$\begin{aligned}\bar{I}_A &= 0 \\ \bar{I}_B &= -\bar{I}_C \\ \bar{U}_B - \bar{U}_C &= 0.\end{aligned}$$

Поскольку система токов уравновешенная, т.е. $\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0$, то $\bar{I}_0 = 0$.

Следовательно, выражение (1) можно записать так:

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{A1} + \bar{I}_{A2} = 0$$

откуда

$$\bar{I}_{A1} = -\bar{I}_{A2}.$$

Выразим \bar{U}_B и \bar{U}_C через симметричные составляющие напряжения фазы А.

Тогда получим:

$$\begin{aligned}a^2 \bar{U}_{A1} + a \bar{U}_{A2} + \bar{U}_0 - a \bar{U}_{A1} - a^2 \bar{U}_{A2} - \bar{U}_0 &= 0 \\ (a^2 - a)(\bar{U}_{A1} - \bar{U}_{A2}) &= 0,\end{aligned}$$

откуда, напряжения прямой и обратной последовательностей в месте короткого замыкания будут равны: $\bar{U}_{A1} = \bar{U}_{A2}$.

Токи поврежденных фаз в месте короткого замыкания легко выразить через \bar{I}_{A1} , т.е. $\bar{I}_B = a^2 \bar{I}_{A1} + a \bar{I}_{A2} = (a^2 - a) \bar{I}_{A1} = -j\sqrt{3} \bar{I}_{A1}$

Согласно формуле (2) $\bar{I}_C = j\sqrt{3}\bar{I}_{A1}$.

Фазные напряжения в месте короткого замыкания составляют:

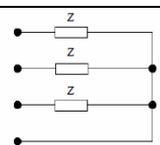
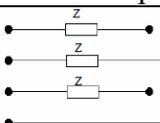
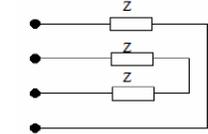
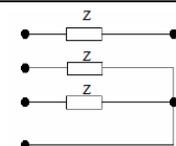
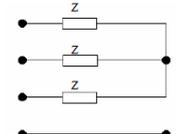
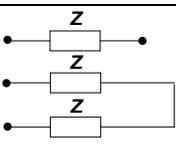
$$\bar{U}_A = \bar{U}_{A1} + \bar{U}_{A2} = 2\bar{U}_{A1};$$

$$\bar{U}_B = \bar{U}_C = a^2\bar{U}_{A1} + a\bar{U}_{A2} = -\bar{U}_{A1} = \frac{-\bar{U}_A}{2}.$$

Таким образом, используя данные таблицы 2, действительно получаем:

$$\bar{I}_{A1} = -\bar{I}_{A2} = 2,2 \text{ А}, \quad \bar{I}_0 = 0.$$

Таблица 2– Результаты моделирования работы фильтров тока

Режимы работы цепи $U_{Л} = 380 \text{ В}; U_{\phi} = 220 \text{ В}.$	$I_1 = \frac{I_{A1}}{\sqrt{3}}$	$I_2 = \frac{I_{A2}}{\sqrt{3}}$	$I_0 = \frac{I_A}{3}$	I_A	I_B	I_C	I_N
	А	А	А	А	А	А	А
 трёхполюсное короткое замыкание на землю генератора с заземлённой нейтралью							
Симметричная нагрузка	4,4	0	0	4,4	4,4	4,4	0
Несимметричная нагрузка	3,7	0,73	0,73	4,4	4,4	2,2	2,2
 однополюсное замыкание на землю генератора с заземленной нейтралью							
	1,47	1,47	1,47	0	4,4	0	4,4
 однополюсное замыкание на землю генератора с заземлённой нейтралью при одновременном замыкании двух оставшихся фаз между собой							
	3,63	0,75	1,47	4,4	3,81	3,81	4,4
 двухполюсное короткое замыкание на землю							
	2,9	1,47	1,47	0	4,4	4,4	4,4
 трёхполюсное короткое замыкание генератора без замыкания на землю							
Симметричная нагрузка,	4,4	0	0	4,4	4,4	4,4	-
Несимметричная нагрузка	3,5	0,84	0	4,03	4,03	2,64	-
Симметричная нагрузка, КЗ фазы В	8,7	4,33	0	7,62	13,2	7,62	-
 междуфазное (двухфазное) короткое замыкание без замыкания на землю							
	2,2	2,2	0	0	3,8	3,8	-

Особенно это наглядно видно из векторной диаграммы, для ее построения воспользуемся программой, разработанной группой «Проект РЗА». На рис.8 изображена лицевая панель программы, на которой показана симметричная система токов и ее симметричные составляющие (в случае симметрии, составляющая тока одна – прямая последовательность, а обратная и нулевая равны нулю). Токи указаны в относительных единицах.

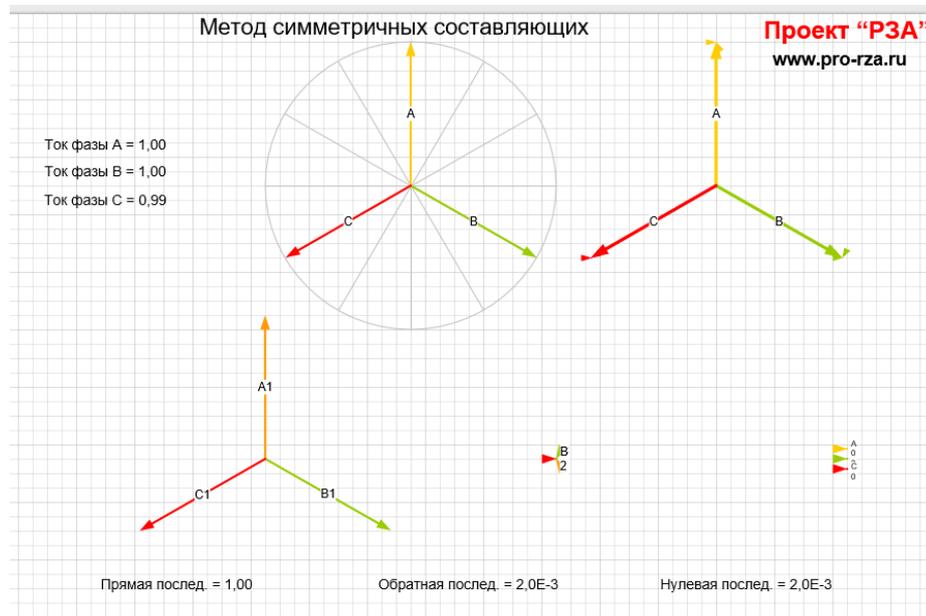


Рисунок 8 – Панель программы с изображением симметричной системы токов

На рис.9 изображены прямая, обратная и нулевая последовательности несимметричной системы токов при рассмотренном выше междуфазном коротком замыкании и показано построение векторов $\bar{I}_B = -\bar{I}_C$, как геометрической суммы разных последовательностей согласно уравнениям (1).

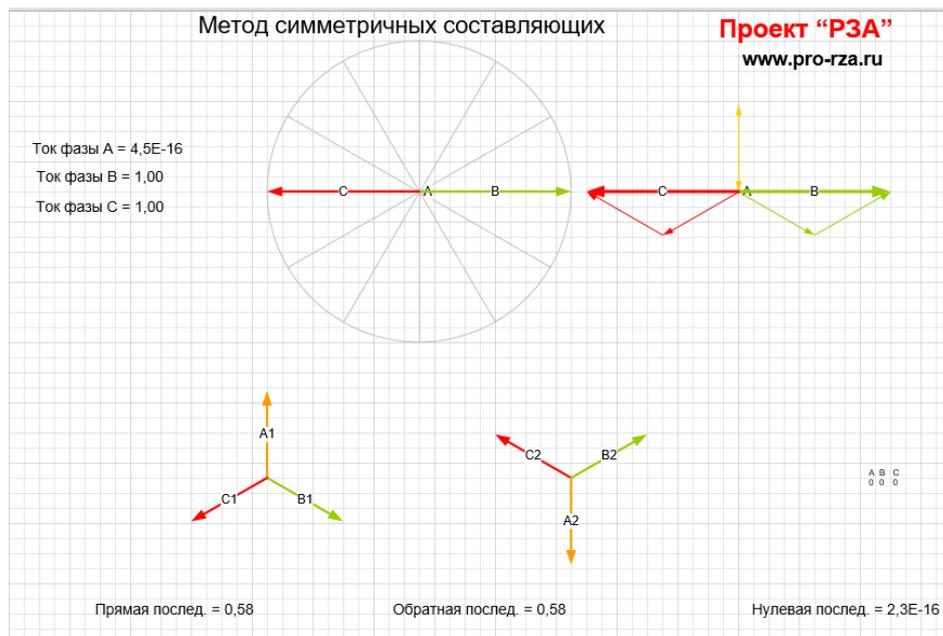


Рисунок 9 – Векторные диаграммы токов прямой, обратной и нулевой последовательностей при междуфазном коротком замыкании

Также из построения видно, что если принять длину вектора $\bar{I}_B = -\bar{I}_C = 3,8 \text{ A}$ за единицу (результаты измерений см. таблицу 2), то длины векторов прямой и обратной последовательностей $\bar{I}_{A1} = -\bar{I}_{A2} = 2,2 \text{ A}$ действительно будут равны $0,58 \cdot \bar{I}_B = 0,58 \cdot 3,8 = 2,2 \text{ A}$, что говорит о правильности работы фильтров тока.

Если в разложении несимметричной системы присутствуют все составляющие последовательностей – прямая, обратная и нулевая, то диаграмма будет выглядеть следующим образом (рис.10).

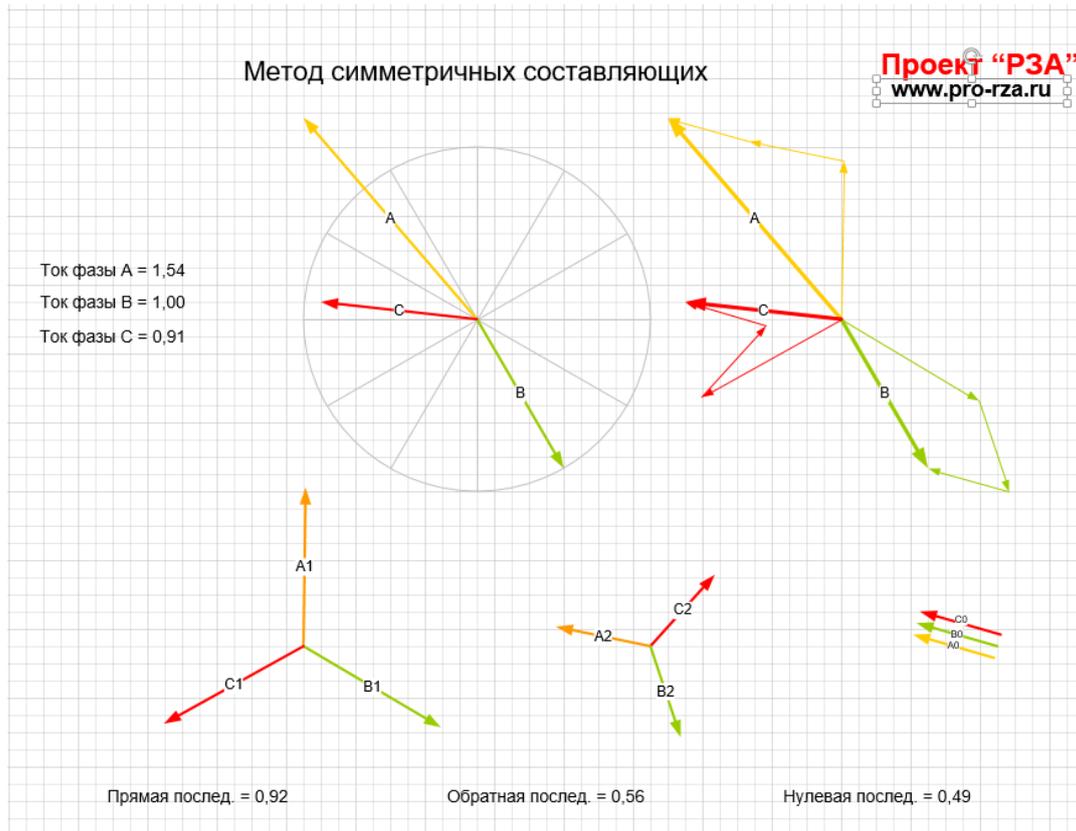


Рисунок 10 – Векторные диаграммы токов прямой, обратной и нулевой последовательностей при несимметричной системе токов



Рисунок 11-Анализатор качества электроэнергии FLUKE

Изображение токов и напряжений в виде векторных диаграмм носит не только теоретический, но и практический характер. Анализ аварийных режимов при возникающих нарушениях выполняется намного быстрее и становится нагляднее при их использовании, т.к. для оценки этих нарушений важны не только значения токов и напряжений но и угловые соотношения между этими величинами. Не случайно, в широко распространенных сейчас цифровых регистраторах аварийных процессов помимо записи осциллограмм отображаются векторные диаграммы (рис.11).

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что прямая последовательность является основной составляющей напряжения (тока), которая определяет направление вращения поля (чередование фазных (междуфазных) напряжений) и величину рабочего (номинального) напряжения сети.

Несимметрия трехфазной системы напряжений приводит к возникновению токов и напряжений обратной последовательности \bar{I}_2 , а в четырехпроводных сетях – токов нулевой последовательности \bar{I}_0 . Таким образом, обратную последовательность \bar{I}_2 можно считать признаком или информативным параметром наступления несимметрии или неполнофазного режима работы цепи (КЗ, обрыв).

Проведенные исследования показывают, что фильтры симметричных составляющих являются важным компонентом для непрерывной оценки технического состояния отдельных контролируемых элементов электроэнергетических систем, реагирующих на возникновение повреждений и аварийных режимов, что важно для повышения надежности и точной настройки элементов селективной релейной защиты.

Так как у электрических машин с вращающимся ротором не соблюдается принцип взаимности, то есть характер влияния фаз друг на друга определяется не только их пространственным расположением, но и направлением вращения ротора, действующего на распределение магнитного поля в машине, то особый интерес представляет исследование процессов при полнофазном и неполнофазном режимах с помощью фильтров симметричных составляющих, а также анализ степени несимметрии как при пуске, так и в установившихся режимах при полной и частичной нагрузке двигателя, зависимости этих составляющих от скольжения и направления вращения электрической машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. - М., Л.: Госэнергоиздат, 1957. - 344 с. (Аналог - С.79-98, фиг.: 4-1, 4-3, 4-9 и 4-10, таблицы: 4-2 и 4-5).
2. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. - М.: Высш. шк., 1991. - 496 с. (Прототип - С.58-59, рис.1.18.).
3. Коковин В.Е. Фильтры симметричных составляющих в релейной защите. М., «Энергия», 1968.
4. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Учебник для электротехнических и энергетических вузов и факультетов. М., «Энергия», 1970.
5. Удрис А.П. Векторные диаграммы и их использование при наладке и эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики (часть 2). – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2006. – 64 с.; ил.
6. Качество электрической энергии на судах: Справочник /В.В.Шейникович, О.Н.Климанов, Ю.И. Пайкин, Ю.Я.Зубарев. – Л.: Судостроение, 1988. – 160 с., ил.
7. Ушакова, Н.Ю. Метод симметричных составляющих. [Текст]: методические указания к самостоятельному изучению раздела курса ТОЭ и к выполнению расчетно-графического задания / Н.Ю.Ушакова, Л.В.Быковская; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2010. – 59 с.

УДК 681.518.5

МОДЕЛИ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА В РАДИОТЕХНИКЕ

В.А.Завадский, к.т.н., професор
Н.Ю.Бубнова, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Развитие современной науки и техники связано с созданием новых и постоянным совершенствованием существующих научных и технологических процессов. Основой их разработки и оптимизации является эксперимент.

Цель планирования эксперимента – нахождение таких условий и правил проведения опытов, при которых удастся получить надежную и достоверную информацию об объекте с наименьшей затратой труда. Кроме того, можно представить эту информацию в компактной и удобной форме с количественной оценкой точности.

Использование теории планирования эксперимента является одним из путей существенного повышения эффективности многофакторных экспериментальных исследований. В планировании экспериментов применяются в основном планы первого и второго порядков. Планы более высоких порядков используются в инженерной практике редко. В связи с этим далее приводится краткое изложение методики составления планов эксперимента для моделей первого и второго порядков. Под планом первого порядка понимают такие планы, которые позволяют провести эксперимент для отыскания уравнения регрессии, содержащего только первые степени факторов и их произведения:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i,u=1 \\ i \neq u}}^k b_{iu} x_i x_u + \sum_{\substack{i,j,u=1 \\ i \neq j}}^k b_{iju} x_i x_j x_u + \dots$$

Планы второго порядка позволяют провести эксперимент для отыскания уравнения регрессии, содержащего и вторые степени факторов:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{\substack{i,u=1 \\ i \neq u}}^k b_{iu} x_i x_u + \dots$$

Нахождение уравнения регрессии методом планирования экспериментов состоит из следующих этапов:

- выбор основных факторов и их уравнений;
- планирование и проведение собственного эксперимента;

- определение коэффициентов уравнения регрессии;
- статистический анализ результатов эксперимента.

При исследовании характеристик и параметров радиотехнических схем в работе обоснована необходимость их точного соблюдения.

Выводы. Под планированием эксперимента понимают процедуру выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Основные преимущества активного эксперимента связаны с тем, что он позволяет:

1. Минимизировать общее число опытов;
2. Выбирать четкие логически обоснованные процедуры, последовательно выполняемые экспериментатором при проведении исследования;
3. Использовать математический аппарат, формализующий многие действия экспериментатора;
4. Одновременно варьировать всеми переменными и оптимально использовать факторное пространство;
5. Организовать эксперимент таким образом, чтобы выполнялись многие исходные предпосылки регрессионного анализа;
6. Получать математические модели, имеющие лучшие в некотором смысле свойства по сравнению с моделями, построенными из пассивного эксперимента;
7. Рандомизировать условия опытов, то есть многочисленные мешающие факторы превратить в случайные величины;
8. Оценивать элемент неопределенности, связанный с экспериментом, что дает возможность сопоставлять результаты, полученные разными исследователями.

В планировании экспериментов радиотехнического направления применяются в основном планы первого и второго порядков. В работе проведен анализ и примеры применения таких планов в усилительных и генераторных схемах. Планы более высоких порядков используются в инженерной практике редко.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спирин Н.А., Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекции Н.А. Спирина – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. – 257 с.
2. Налимов В.Н. Логические основания планирования эксперимента: учебник Е.А. Шальгина -2-е изд. – М.: Колос, 2001.
3. Планирование эксперимента – Режим доступа: URL: [http:// opds. sut.ru / electronic _ manuals /pe/f053.htm](http://opds.sut.ru/electronic_manuals/pe/f053.htm).

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

В.А.Завадский, к.т.н., профессор
К Р. Штомпель, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

При **имитационном моделировании** реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени. Имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени.

Основным преимуществом имитационных моделей по сравнению с аналитическими является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют легко учитывать наличие дискретных или непрерывных элементов, нелинейные характеристики, случайные воздействия и др. Основным средством реализации имитационного моделирования служит ЭВМ, позволяющая осуществлять цифровое моделирование систем и сигналов.

В связи с этим определим словосочетание «**компьютерное моделирование**», которое все чаще используется в литературе. Будем полагать, что **компьютерное моделирование** - это математическое моделирование с использованием средств вычислительной техники. Соответственно, технология компьютерного моделирования предполагает выполнение следующих действий:

- 1) определение цели моделирования;
- 2) разработка концептуальной модели;
- 3) формализация модели;
- 4) программная реализация модели;
- 5) планирование модельных экспериментов;
- 6) реализация плана эксперимента;
- 7) анализ и интерпретация результатов моделирования.

При **имитационном моделировании** используемая ММ воспроизводит алгоритм («логику») функционирования исследуемой системы во времени при различных сочетаниях значений параметров системы и внешней среды. Примером простейшей аналитической модели может служить уравнение прямолинейного равномерного движения. При исследовании такого процесса с помощью имитационной модели должно быть реализовано наблюдение за изменением пройденного пути с течением времени.

Очевидно, в одних случаях более предпочтительным является аналитическое моделирование, в других - имитационное (или сочетание того и другого). Чтобы выбор был удачным, необходимо ответить на два вопроса.

С какой целью проводится моделирование?

К какому классу может быть отнесено моделируемое явление?

Ответы на оба эти вопроса могут быть получены в ходе выполнения двух первых этапов моделирования.

Имитационные модели не только по свойствам, но и по структуре соответствуют моделируемому объекту. Недостатком имитационного моделирования является большое время решения задачи для получения хорошей точности.

Результаты имитационного моделирования работы стохастической системы являются реализациями случайных величин или процессов. Чаще всего в этом случае применяется разновидность имитационного моделирования - **статистическое моделирование**.

Заключительный этап статистического моделирования основан на математической обработке полученных результатов. Здесь используют методы математической статистики (параметрическое и непараметрическое оценивание, проверку гипотез). Среди непараметрических методов большое распространение получил **метод гистограмм**.

В задачах статистического моделирования обработка реализаций случайных процессов необходима не только для анализа выходных процессов. Эта задача часто формулируется как **задача проверки гипотез**.

Общей тенденцией моделирования с использованием ЭВМ у сложных управляемых систем является стремление к уменьшению времени моделирования, а также проведение исследований в реальном масштабе времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1982. – 304 с.
2. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» Ю.П. Гришин, В.П.Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; Под ред. Ю.М. Казаринов. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
3. Воронин А.В. Моделирование технических систем: учебное пособие / А.В. Воронин: Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 130 с.

УДК 61.3.010

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ НА МОРСКОМ ФЛОТЕ

С.А.Михайлов, д.т.н., профессор
К.Р. Штомпель, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

В течение многих десятилетий радиолокационная станция (РЛС) или, как принято в англоязычной литературе, «радар», является полезным помощником и даже другом для штурмана. Радар является нашими глазами в условиях огра-

ниченной видимости и позволяет нам видеть и распознавать удаленные цели. Он не зависит от корректной работы внешних систем, таких как, например, система спутниковой навигации GPS – и именно поэтому мы доверяем ему.

Радар нашел своё место на торговом флоте после Второй мировой войны как электронное средство, позволяющее осуществлять раннее предупреждение об опасностях. Хотя степень его использования росла довольно медленно.

В последние десятилетия технические характеристики радаров были значительно улучшены, за счет широкого применения фильтров для помех, более эффективной автоматической настройки, цветных дисплеев и использования преимуществ новых диапазонов радиоволн радаров S-Band. Для многих мореплавателей, тем не менее, основным преимуществом является то, что РЛС в значительной степени автономны.

Многие судовые системы текущей навигации (GPS, GNSS, Loran, АИС и т.д.) зависят от внешних источников информации, связь с которыми может быть прервана, умышленно, намеренно или непреднамеренно. В таких ситуациях, информации от радара все еще можно доверять, так как радиоимпульс порожден собственным судном и отражен от встречного реального судна, такая реализация на практике доказала свою высокую достоверность и надежность получаемой информации.

Современный радар отражает точные образы целей и может быть улучшен с множеством дополнительных инструментов, таких как пробные маневры, АИС, диаграмма наложения испытанный и проверенный аварийный радиобуй ARPA.

Комплексное понимание функциональности и надежности РЛС и эти усовершенствования крайне важны для мореплавателей. Радар является важным инструментом для обеспечения безопасности судоходства и повышения ситуационной осведомленности. Его использование должно быть совмещено и сбалансировано с визуальным наблюдением (другими словами, глядя в иллюминатор), электронными картами ЭКНИС и многими другими доступными средствами навигации.

Следует, однако, иметь в виду, также независимость и надежность РЛС. Радар может быть лучшим другом при плохой видимости. Поэтому необходимо изучить, как использовать его эффективно, насколько можно доверять ему и как сбалансировать использование со всеми другими средствами навигации.

Плохая ручная настройка представляет собой реальную опасность, как и неправильная калибровка радара при изменяющихся условиях. Лучшей морской практикой является постоянная проверка настроек всех элементов управления РЛС.

Выводы. Радар является надежным навигационным средством. Радар заработал свое место в качестве проверенного "лучшего друга" штурмана благодаря своей надежности и независимости от внешних систем, таких как GPS.

1. Два по цене одного

Два основных применения РЛС предназначены для предотвращения столкновений и для навигации. Профессиональные штурманы должны знать, как использовать радар эффективно для обеих задач.

2. Знайте свои инструменты

Современный радар имеет множество сложных функций и опций.

Штурманы должны знать, как использовать эти инструменты, их ограничения и как работать без них, если это будет необходимо.

3. Настройки радара

Автоматические настройки могут быть удобными и полезными. Тем не менее, штурман должен знать, как и когда использовать ручную настройку. Функции по настройке должны быть проверены каждый час.

4. Знакомство с радаром

Вне зависимости от того, насколько хорошо вы знаете радары, понимание того, как использовать радар требует обучения и ознакомления. Когда вы попадаете на новое судно важно ознакомиться с бортовым радиолокационным оборудованием.

ЛИТЕРАТУРА

1. David Patraiko. Inspiring professionalism in marine navigator. The navigator,- № 6, June 2014. Radar. - p 5.

УДК 681.518.5

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ СРЕДСТВАМИ ПАКЕТА VISION

В.А.Завадский, к.т.н., профессор

И.И.Мустипан, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

В настоящее время нельзя назвать область человеческой деятельности, в которой в той или иной степени не использовались бы методы моделирования. Программный комплекс Model Vision Studium (MVS) предназначен для моделирования сложных динамических систем. MVS является представителем подхода к решению проблемы моделирования сложных динамических систем.

Карта поведений - это ориентированный граф, в котором узлам приписываются некоторые локальные поведения, а дуги интерпретируются как переходы от одного поведения к другому. В каждый момент времени один из узлов является текущим. Один из узлов должен быть помечен как начальный, он становится текущим при создании карты состояний. Смена текущего узла происходит в результате срабатывания переходов. Локальные поведения являются экземплярами соответствующих классов. Когда узел становится текущим, создается экземпляр приписанного ему локального поведения, который уничтожается, когда узел перестает быть текущим. Начальное поведение проявляется

при создании экземпляра блока. Карта поведения представляет собой простую и наглядную форму визуального представления смены поведений.

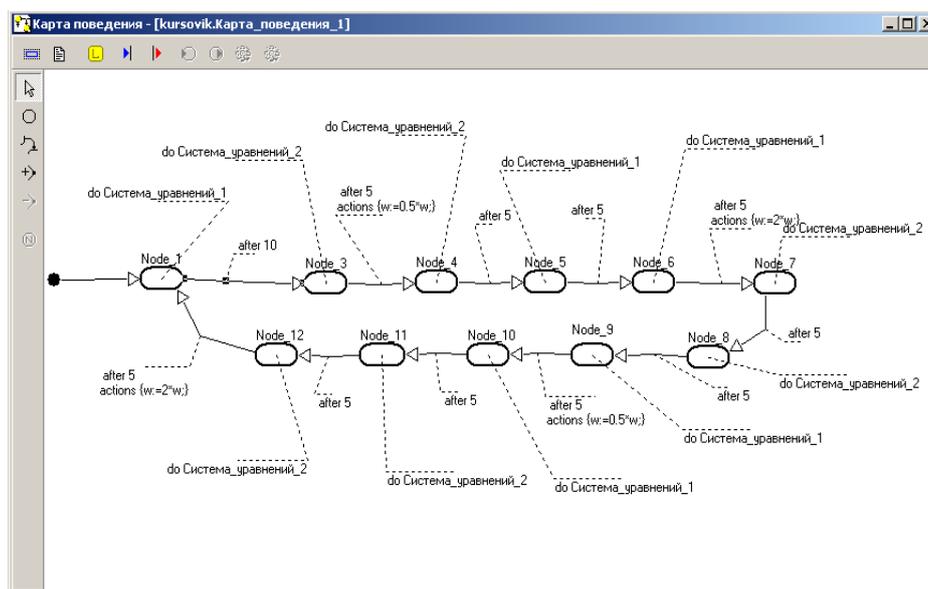


Рисунок 1 – Карта поведения системы

Для описания модели разработан специальный язык - Model Vision Language (MVL). Он имеет как графическую, так и текстовую формы. Все переменные этого языка должны быть явно описаны.

Выводы. Model Vision Studium - это интегрированная графическая оболочка для быстрого создания интерактивных визуальных моделей сложных динамических систем и проведения вычислительных экспериментов с ними.

Пакет предназначен для численного моделирования гибридных систем. Гибридная система - это специальная математическая модель реальных объектов, обладающих одновременно "непрерывными" и "дискретными" свойствами. Такие системы достаточно трудно формализовать, так как необходим единый язык для описания как непрерывных и так и дискретных аспектов поведения, но еще труднее корректно численно решить возникающую при этом математическую задачу.

Моделирование является основным методом исследований во всех областях знаний и научно обоснованным методом оценок характеристик сложных систем, используемым для принятия решений в различных сферах инженерной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасевич, Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование / Тарасевич, Ю.Ю. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 152с.
2. Бойко В., др. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства; БХВ-Петербург - Москва, 2004. - 506 с
3. Кузнецов, Ю. Н. Математическое программирование / Ю.Н. Кузнецов, В.И. Кузубов, А.В. Волощенко. - М.: Высшая школа, 1980. - 320 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЕЕСПОСОБНОСТИ ВАХТЕННОГО ПОМОЩНИКА (СКДВП)

В.А.Завадский, к.т.н., профессор
И.И. Мустипан, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

TSS/Watch Alarm — СКДВП система контроля дееспособности вахтенного помощника

Система TSS/WATCH ALARM предназначена для контроля за функционированием главного поста управления судном и выявления недееспособности вахтенного помощника капитана, которая может привести к аварии.

Система TSS/Watch Alarm состоит из двух панелей:

Панель включения и выбора режима системы КДВП предназначена для:

- включения СКДВП в работу и выбора режима работы – ручного или автоматического;
- выбора времени пассивности – 6 мин, 9 мин, 12 мин;
- регулирования яркости световой сигнализации панелей в пульте управления (световой сигнализации 1-го уровня);
- индикации неисправности системы КДВП;
- звуковой и световой сигнализации 1-го уровня;
- проверки звуковой и световой сигнализации 1-го уровня;
- квитирования звуковой и световой сигнализации

Панель сигнализации системы КДВП предназначена для: световой и звуковой сигнализации 1-го уровня:



а



б

Рисунок 1 – Внешний вид панели включения и выбора режима системы КДВП (а), внешний вид панели сигнализации системы КДВП (б).

Панель устанавливается в каютах и общественных помещениях судна. С лицевой стороны панели расположены: лампа световой сигнализации, зуммер и кнопка проверки лампы и зуммера. С обратной стороны панели расположены разъемы для подключения кабеля

Система контроля дееспособности вахтенного помощника может находиться в одном из трех режимов работы:

- система выключена;

- система включена;
- автоматический режим работы.

Выводы. Важным вопросом в современном мореплавании является обеспечение безопасности судна, что ведет за собой сохранность груза, целостность судна, здоровье экипажа. Показано, что безопасность реализуется целым комплексом организационных и технических мер, в том числе и системой КДВП, обеспечивающей контроль за деятельностью на мостике. Благодаря системе ведется непрерывный контроль за судовым оборудованием и за дееспособностью членов экипажа на мостике во избежание несчастных случаев и халатного отношения к выполнению своих функциональных обязанностей.

Целью системы КДВП является мониторинг рулевой рубки и обнаружение недееспособности вахтенного офицера, что может привести к аварийным ситуациям. Система контролирует действия вахтенного помощника и автоматически предупреждает капитана или другого офицера если по любой причине вахтенный становится неспособен выполнить свои обязанности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна /Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – 3-е изд.- Одесса: Фенікс, 2007. – 396 с.
2. Балов А.В. Радионавигация настоящее и будущее // А.В. Балов / Гироскопия и навигация. – ЦНИИ «Электроприбор». – 2009. № 4. – с. 84-102.

УДК 681.518.5

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РТС СРЕДСТВАМИ ПАКЕТА MATLAB

В.А.Завадский, к.т.н., профессор
С.В. Курочкин, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Современное состояние и необходимость моделирования радиотехнических систем (РТС) требует знания средств вычислительной техники и умения обращения с современными программно-техническими комплексами. Эффективное использование компьютеров для решения инженерных и научных задач невозможно без знаний основных методов построения математических моделей, написания эффективного программного обеспечения на языке программирования математического пакета Matlab, использования математических систем.

MATLAB (сокращение от англ. «Matrix Laboratory», в русском языке произносится как Матлаб) — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, используемый в этом пакете.

Цель данной работы – разработка и расчёт математической модели в среде MATLAB.

Simulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы.

Интерактивная среда Simulink, позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени.

Простейшая S-функция

Одним из самых простых примеров S-функций, поставляемых с пакетом MATLAB, является функция `timestwo` (файл `timestwo.m`). Данная S-функция выполняет умножение входного сигнала на коэффициент 2 (рис.1).

Модель дискретной системы, описываемой уравнениями пространства состояния, дана в файле `csfunc.m` (рис.2). Данная S-функция моделирует дискретную систему с двумя входами, двумя выходами и двумя переменными состояниями.

Параметры модели (значения матриц A , B , C , D) задаются в теле S-функции и передаются в callback-методы через их заголовки в качестве дополнительных параметров. Пример модели с S-функцией `dsfunc` приведен на рис.3.

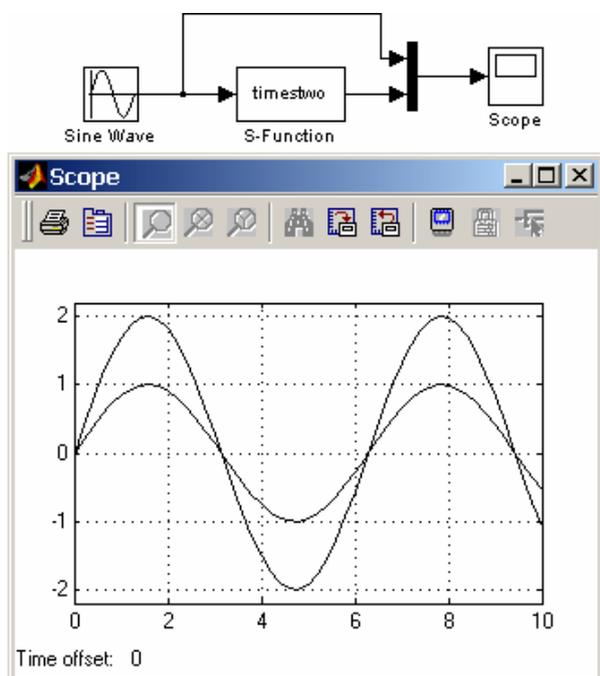


Рисунок 1 – Модель с S-функцией `timestwo`

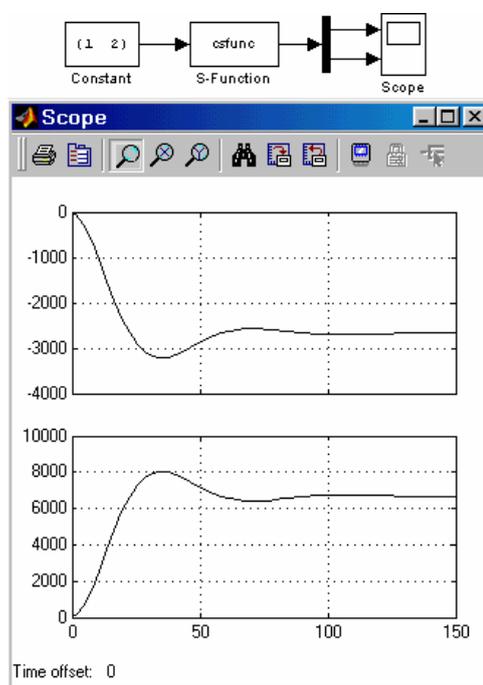


Рисунок 2 – Модель с S-функцией `csfunc`

Модель гибридной системы (комбинации непрерывной и дискретной системы) приведена в файле `mixedm.m` на рис.4. Рассматриваемая S-функция моделирует систему, состоящую из последовательно включенных интегратора ($1/s$) и блока задержки ($1/z$). Особенность S-функции для гибридной

системы в том, что вызов callback-методов для расчета дискретной части системы выполняется в те же моменты времени, что и для непрерывной ее части, поэтому пользователь, при написании S-функции, должен предусмотреть проверку правильности вызова callback-методов, расчитывающих дискретную часть системы.

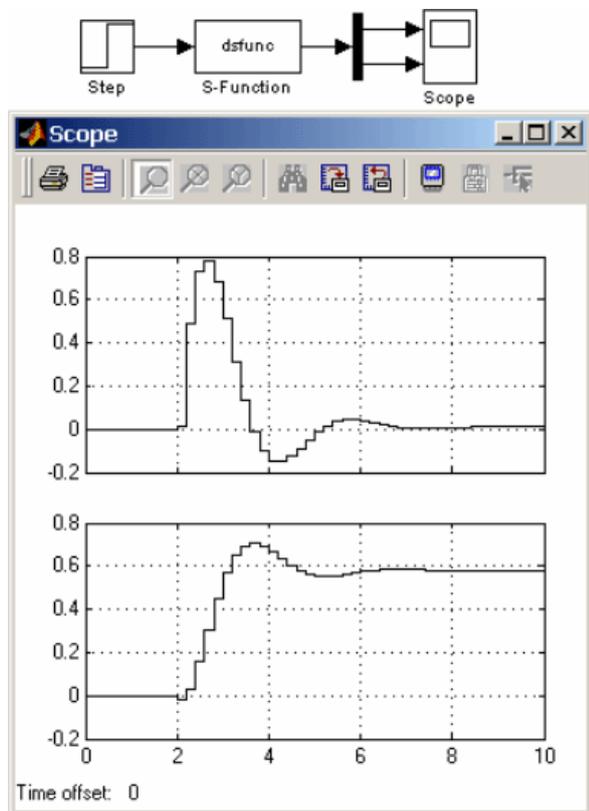


Рисунок 3 – Модель с функцией dsfunc

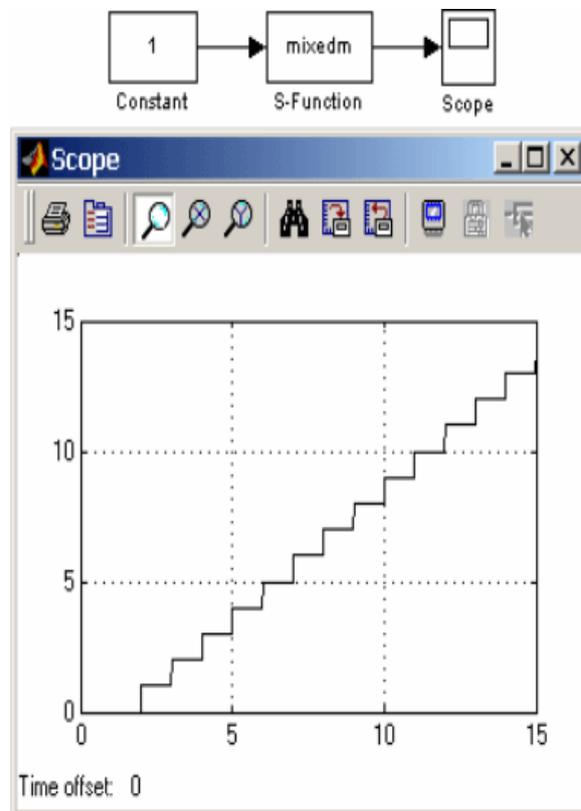


Рисунок 4 – Модель с S-функцией mixeddm

Выводы. Таким образом наиболее простой и быстрый путь создания S-функции – это запись ее на языке MATLAB с использованием файла-шаблона. И хотя создание S-функций на языке MATLAB имеет некоторые ограничения (например, MATLAB S-функция может иметь только по одному входному и выходному порту, а также передаваемые и принимаемые данные через эти порты могут быть только скалярами и векторами типа double), этот способ является наилучшим с точки зрения изучения механизма работы S-функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Половко А.М. Matlab для студентов. 2005. – 319 с.
2. Гулятьев А.В. Визуальное моделирование в среде Matlab. Учебник для вузов. – СПб. Санкт-Петербург. 2006. – 440 с.
3. Дьяконов В.И. Matlab: учебный курс. – СПб. Санкт-Петербург. 2001. – 592с.
4. Методические указания и задания к курсовому проектированию для студентов специальности 140607 «Электрооборудование автомобилей и тракторов». Могилев 2010г. Сост. К.В. Овсянников – Могилев: Белорус. – Рос. ун-т, 2010. – 13 с.

ОБЗОР СУДОВОЙ АППАРАТУРЫ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

С.А.Михайлов, д.т.н., профессор

Н.Ю.Бубнова, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Цифровой избирательный вызов (ЦИВ или DSC – Digital Selective Calling) – это всемирно принятая система связи общего назначения для избирательного вызова в направлениях «судно – берег», «судно – судно» и «берег – судно». Система используется в УКВ/ПВ/КВ-диапазонах на специально выделенных частотах, как для целей безопасности мореплавания, так и для организации общественной связи.

Главное назначение ЦИВ – это оповещение о бедствии, прием/передача вызовов с приоритетом срочности или безопасности. Цифровой избирательный вызов – это также простой и надежный способ установления рутинной связи между двумя объектами морской подвижной службы и лучше всего его можно сравнить с обычным пейджером. ЦИВ также позволяет войти в международную телефонную сеть в автоматическом режиме через береговую станцию при условии, что последняя предоставляет такой сервис.

Каждый контроллер ЦИВ, зарегистрированный в системе глобальной морской связи при бедствии (ГМССБ), получает свой 9-значный номер – MMSI (Maritime Mobile Selective-call Identity), имеющий следующую структуру:

- идентификатор береговой станции 00MIDXXXX, где 00 – отличительные цифры береговой радиостанции;
- MID (Maritime Identification Digits) – код страны, которой принадлежит данная станция;
- XXXX – регистрационный индивидуальный номер станции. Например, ЦИВ-идентификатор береговой радиостанции Владивостока – 002734412 (выбирается из справочника List of Coast Stations).

Идентификатор судовой станции MIDXXXXXX, где MID – три цифры, обозначающие код страны, под флагом которой находится судно (код России – 273); XXXXXX – индивидуальный номер, присвоенный данному судну.

Идентификатор группы судов 0MIDXXXXX, где 0 – отличительная цифра группового номера; MID – код страны, которой принадлежат суда; XXXXX – номер, присвоенный конкретной группе судов.

Радиотелексная связь используется в ГМССБ в диапазонах средних, промежуточных и коротких волн. В сравнении с радиотелефоном несомненным преимуществом радиотелекса является документирование сообщений и сохранение их на бумаге и магнитных носителях в виде текстовых файлов информации. Особенно преимущества радиотелекса проявляются в коротковолновом диапазоне, когда радиотелефонная связь является неустойчивой из-за различных помех и особенностей прохождения радиоволн. В радиотелексе же влияние этих помех может быть практически сведено к минимуму и раздражающие за-

мирования, пропадания связи, характерные для радиотелефона, незаметны для оператора при радиотелексной связи. Это достигается применением специальных методов кодирования информации, позволяющих обнаруживать и исправлять ошибки.

Первоначально для радиотелексной связи между судами или судами и береговыми станциями использовался режим прямого буквопечатания, при котором в радиоканале применялся Международный телеграфный код МТК-2. В данном коде каждый передаваемый знак представлен пятью двоичными элементами. Режим прямого буквопечатания характеризуется низкой достоверностью передачи информации, так как код МТК-2 не обеспечивает помехозащищенность информации. Вхождение в связь осуществляется в ручном режиме.

С 70-х годов 20 века началось внедрение новой аппаратуры **узкополосной буквопечатающей телеграфии (УБПЧ)** с использованием усовершенствованных методов кодирования информации. В соответствии с требованиями МККР в радиотелексе применяется 7-элементный синхронный код с постоянным отношением числа «единиц» к числу «нулей» равным 3/4. Каждый передаваемый символ представляется семью двоичными цифрами - битами, причем используются только комбинации стрема «единицами» и четырьмя «нулями».

ЛИТЕРАТУРА

1. Винокуров В. И. и др. Морская радиолокация., Л. Судостроение, 1986, 185 с.
2. Варакин Л. Е.. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985, 384 с.
3. Кук Ч. Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. - М.: Сов. Радио, 1971, 252с.

УДК 681.518.5

ОСОБЕННОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ МОРСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ НАВИГАЦИОННО- ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

С.А.Михайлов, д.т.н., профессор
С.В.Курочкин, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

В судовождении все более широкое распространение получают высокоэффективные навигационно-информационные компьютерные системы с электронными картами. Среди них выделяют в настоящее время два вида систем: ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), ECS (Electronic Chart System). В ECDIS реализуются последние достижения в области информационной техники, и они обладают обширными возможностями.

Эксплуатационные требования к ECDIS, требования к ее аппаратуре и программному обеспечению определены авторитетными для торгового мореплавания международными организациями: ИМО - международной морской организацией (ИМО - International Maritime Organization), МГО - международной гидрографической организацией (International Hydrographic Organization), МЭК - международной электротехнической комиссией (IEC - International Electrotechnical Commission).

Важно отметить, что электронно-картографическая система представляет собой навигационную или навигационно-информационную компьютерную систему с электронными картами, не удовлетворяющую в полной мере требованиям к ECDIS, она не может быть использована без применения официальных бумажных карт. ECDIS - это электронно-картографическая навигационно-информационная компьютерная система (ЭКНИС), которая удовлетворяет специальным требованиям, что позволяет судоводителям официально использовать её для прокладки на электронной карте вместо прокладки курса на бумажных картах. Такой статус ECDIS определен правилом V/20 международной конвенции ИМО по безопасности жизни на море (SOLAS-74). Согласно этому правилу, все суда должны быть снабжены приведенными на уровень современности картами, наставлениями для плавания, пособиями по огням, знакам, радиотехническим средствам, извещениями мореплавателям, таблицами приливов и другими специальными публикациями, необходимыми на предстоящий рейс. Требуемые карты могут быть обеспечены также путем их представления на экране ECDIS. Это касается и других необходимых на рейс навигационных пособий, информация которых также может быть отображена на экране ECDIS.

Таким образом, ECDIS может быть использована как эквивалент бумажных навигационных карт и пособий для плавания. Это означает не физическую эквивалентность прокладки намеченного курса на электронной и бумажных картах, а юридическое признание использования ECDIS без применения бумажных карт на предстоящий рейс.

Корректурa электронных карт в ECDIS может осуществляться автоматически через спутниковые каналы связи и, в частности, через всемирную компьютерную сеть Интернет. Таким путём можно заказывать и получать также новые электронные карты и другую навигационную информацию.

В результате применения ECDIS судоводитель на ходовой вахте освобождается от выполнения многих рутинных операций. Его основными функциями становится наблюдение за окружающей обстановкой, контроль ECDIS и других средств судовождения, управление их работой для получения информации, предопределенной окружающей обстановкой, оценка получаемой информации и принятие решений по управлению судном. ECDIS способна предоставлять судоводителю в интегрированном виде информацию, характеризующую различные стороны процесса судовождения, что позволяет ему уверенно и обоснованно принимать решения. Применение ECDIS повышает результативность деятельности судоводителя, обеспечивает использование большего объема и номенклатуры данных, увеличивает скорость их обработки, улучшает точ-

ность и достоверность результатов, повышает безопасность мореплавания и приводит к улучшению финансовых показателей работы судна.

Выводы. Приводятся основные понятия об электронных картах и навигационно-информационных компьютерных системах (ECDIS, ECS), в которых прокладка намеченного курса выполняется на электронных картах. Рассмотрены техническое, информационное, лингвистическое обеспечения навигационных систем с электронными картами, охарактеризованы их функциональные возможности, освещены требования ИМО к ECDIS. Особое внимание уделено ограничениям и недостаткам ECDIS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Proposal for simplification of VHF DSC radiocommunication and increasing DSC efficiency. Submitted by Ukraine / SUB-COMMITTEE ON RADIOCOMMUNICATIONS AND SEARCH AND RESCUE. 14th session, Agenda item 7. COMSAR 14/7, 27 October 2009.

2. Recommendation ITU-R M.493 “Digital Selective-Calling System for Use in the Maritime Mobile Service”.

3. Simplification of DSC equipment and procedures. Submitted by Finland / SUB-COMMITTEE ON RADIOCOMMUNICATIONS AND SEARCH AND RESCUE COMSAR 8/4/1, 27 November 2003.

4. ETSI EN 300698-1. Radio telephone transmitters and receivers for the maritime mobile service operating in the VHF bands used on inland waterways; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement.

5. Шишкин А. В. Идентификация радиотелефонных передач в УКВ диапазоне морской радиосвязи / А. В. Шишкин // Изв. вузов – Радиоэлектроника. – 2012. – Т. 55. – № 11. – С. 11–20.

6. Proposal for modernization of ECDIS for VHF radiocommunication. Submitted by Ukraine / SUB-COMMITTEE ON NAVIGATION. 59th session, NAV 59/12/2, 2 September 2013.

УДК 61.3.010

МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОВ МОСТИКА (BRIDGE RESOURCE MANAGEMENT)

С.А.Михайлов, д.т.н., профессор

И.И. Мустипан, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Система менеджмента ресурсов мостика (Bridge Resource Management) [1] предназначена гарантировать эффективное использование судового оборудования персоналом, для снижения ошибок или оплошностей процедур мостика посредством простой системы контроля и доверия. Bridge Resource Management - предусматривает координированные усилия среди персонала мостика для надежного, уверенного и безопасного управления судном.

Современная версия курса «Менеджмент морских ресурсов» - MRM (Bridge Resource Management - Менеджмент ресурсов мостика) включает принципы из Руководства в отношении организации несения вахты на судне и менеджмента ресурсов мостика (BRM) Международного Кодекса STCW с учетом Манильских поправок, и вскоре становящихся обязательными [2]. Его цель - гарантировать, что надежная практика менеджмента ресурсов поддерживается ежедневными практическими действиями. Обеспечивающие эту цель принципы включают: значимость смысла хорошего менеджмента и командной работы; готовность членов экипажа менять поведение в нужном направлении; осознание важности использования, изучения и знания общей терминологии.

Подобно всем знаниям, основанным на практике, несение вахты на ходовом мостике с выполнением всех необходимых требований судовождения основано на приобретении практических навыков, поддержании полученных знаний на должном уровне и постоянном их совершенствовании.



Рисунок 1 - Менеджмент ресурсов мостика

Управление ресурсами (BRM) является командным подходом, где все доступные материалы и человеческие ресурсы используются для того, чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию. Члены команды тренируются, чтобы быть готовыми к ответственности, и узнать требования рабочих нагрузок, других факторов риска, быть в состоянии справиться с любой ситуацией. BRM уменьшает этот риск, помогая экипажу судна предпринимать и правильно реагировать на изменения и положение своего судна.

Естественно возникает вопрос: как установить барьер на пути навигационной аварийности? Как предупредить неправильные или несвоевременные действия экипажа и, в первую очередь, персонала ходовой навигационной вахты? Очевидно, что наряду с повышением уровня профессиональной подготовки экипажей судов и техническими мерами, необходимы мероприятия организационного характера.

Успешное управление и использование всех имеющиеся ресурсов - человеческих и технических, обеспечивает безопасное завершение рейса. В противном случае, неверное управление может привести к многим бедам. Наиболее распространенные ошибки включают в себя [3]:

- ✓ незначительные технические проблемы;
- ✓ недостаточный контроль;
- ✓ неспособность делегировать задачи, назначать и распределять обязанности;
- ✓ неспособность распознавать проблемы и обрабатывать незначительные недостатки в своих навыках;
- ✓ неспособность использовать имеющиеся данные;
- ✓ невозможность обнаружения отклонений от стандарта;
- ✓ операционные процедуры;
- ✓ неспособность установить приоритеты.

О каких бы системах менеджмента и их качестве ни говорили, речь в любом случае сводится к системам менеджмента ресурсов, важнейшим и первым элементом которых является развитие и совершенствование человека в целом, либо отдельных его составляющих. То есть, все фокусируется на системах менеджмента обучения и подготовки персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Paul Armitage. Pulling together on the bridge / Navigator, - № 13, October 2016. – p. 4-5.
2. David Patraiko. Managing expectations / Navigator, - № 7, October 2016. – p. 3- 5.
3. Building bridges for best practice / Navigator, № 7, October 2016. - p. 6-7.

УДК 681.321;322:621.395

ДОСЛІДЖЕННЯ АНАЛІЗУ РІВНЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ КІБЕРБЕЗПЕКИ СУДНОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Ю.С. Шевцов, к.т.н., доцент

Г. Швець, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Оцінка стану та рівня експлуатаційної інформаційної кібербезпеки (аудит інформаційної безпеки) здобуває важливе значення для суднових інформаційних систем. До них можна віднести, в першу чергу, електронні карти (ECDIS), автоматичні ідентифікаційні системи (AIS), навігаційне обладнання, реєстратор даних рейса VDR («чорний ящик»). Ці та інші суднові комплекси є комп'ютерними інформаційними системами, об'єднаними між собою локальною інформаційною мережею з можливістю виходу на глобальну інформаційну мережу Internet і, отже, доступні для дії на них з боку всіх небезпек і кібератак ззовні і усередині цих мереж.

Аудит проводиться на судні, яке є об'єктом інформаційної діяльності (ОІД), який, у свою чергу, є складною системою, що включає технічну й інфокомунікаційну інфраструктуру з її документацією та персонал, який використовує цю інфраструктуру для досягнення цілей ОІД. Оцінка роботи екіпажу, а та-

кож судових інформаційних систем з електронними обчислювальними машинами (ЕОМ), з'єднаними у системи та мережі, можлива лише методами аудиту.

Питання, які вирішуються в даній роботі були розглянуті в роботах [1, 2], де проведено аналіз та опис безперервного аудиту. Проте аналіз показує, що в алгоритмі аудиту не розглянути питання реакції на інциденти.

В телекомунікаційних мережах безперервний аудит інформаційної безпеки впроваджується згідно міжнародних Рекомендацій X.800 та X.816 [4, 5]. Участь операторів у процесі аудиту передбачається на двох рівнях. Аудит-адміністратор здійснює загальне управління аудитом, а оперативне управління покладається на адміністратора тривожних повідомлень.

Функціями аудита є тільки аналіз подій та виявлення й реєстрація тривожних повідомлень. Це є недостатнім для забезпечення надійного захисту тому що не здійснює функцію боротьби з несанкціонованою подією - інцидентом. Для рішення даного завдання передбачається ввести додаткову функцію - реакція на інцидент, в алгоритм безперервного аудиту. Що спричинить розширення обов'язків адміністратора тривожних повідомлень або створення нового підрозділу по адмініструванню і реакції на інциденти (ПАРІ).

Щоб зрозуміти роль обробки інциденту і організації по реагуванню на інциденти усередині певної організації, рекомендується використовувати структуру обробки інциденту. Ця структура дає огляд перебіг інциденту, описуючи виникнення інциденту, дії/міри з метою обмеження інциденту, відновлення й перевірку виконання.

Структура (рис.1) показує, що всі події, інциденти, інциденти безпеки і кризи виникають із нормального стану, тобто з нормально функціонуючої справи.

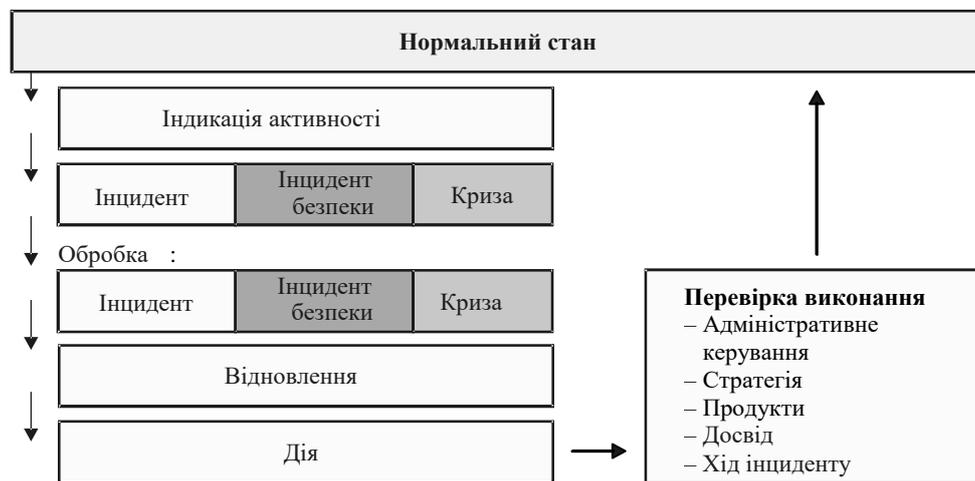


Рисунок 1 – Структура обробки інцидента

Коли виявлена індикація активності, що може привести до інциденту або інциденту безпеки, вона обробляється постійною організацією, як описується нижче. Час між індикацією й появою інциденту або інциденту безпеки може бути дуже коротким. Типом індикації окремого інциденту може бути вірус на одному робочому місці, помилка в мережі і т.д. Що стосується інцидентів безпеки, їхні індикатори можна знайти в реєструємих файлах, фільтрах брандмау-

ера і т.д. Індикаціями можуть бути аварійні сигнали, що також спрацьовують, індикації від камер спостереження та інші.

Дії/міри, що вживаються відповідають установленій методиці або стандартній процедурі. У випадку серйозних інцидентів безпеки або криз міри будуть залежати від області дії і наслідків такого інциденту. Міри здійснюються групою безпеки або групою реагування на інциденти.

Під час відновлення приймаються міри для повернення до нормальної діяльності. Залежно від виниклої події це може означати перезапуск комп'ютерних або мережних систем, повторну установку програм, відновлення резервних ресурсів. Такі міри можуть охоплювати установку аварійних сигналів у вихідне положення, відновлення ушкодженої властивості і т.д.

Важлива перевірка виконання тієї роботи, що вироблялася під час обробки інциденту і інциденту безпеки, а також при кризі. Метою перевірки виконання є поліпшення стандартних операцій і процедур, щоб запобігти повторній появі інциденту і мінімізувати будь-які наслідки і витрати.

Звіт про перевірку виконання може привести до зміни процесів обробки інциденту, зміни продуктів і стратегії. Керівникам надаються короткі відомості про інциденти, що відбулися, і інцидентах безпеки, їхньої області дії, наслідках і витратах. Ці відомості повинні також включати ефективність роботи організації по обробці інцидентів. Варто створити файл витягнутих уроків/досвіду, щоб мати можливість порівнювати різні інциденти з метою знаходження більше ефективних методів і практики виявлення й обробки інцидентів і інцидентів безпеки.

При появі інциденту приступає до відповідної реакції підрозділ ПАРІ. Підрозділ реагування є віртуальною групою, що формується під час інциденту безпеки. Хазяїн інциденту повідомляє про інцидент безпеки у ПАРІ, що відповідає за підрозділ реагування, у якому буде виконуватися правильна оцінка і ініціюватися контакт із відповідальними підрозділами.

Хазяїн інциденту – це особа, що відповідальна за порушене відділення, або власник порушеної системи. Хазяїн інциденту є особою, що повинна взяти на себе відповідальність за втрати і витрати.

Хазяїн інциденту в консультації з ПАРІ ініціює і створює віртуальну і тимчасову групу реагування на інцидент. Вибирається також керівник по інциденту. Це може бути будь-яка особа з порушених підрозділів підтримки, групи спостереження або ПАРІ. Група реагування на інцидент формується з урахуванням відповідних осіб і їхніх умінь і навичок. Алгоритм адміністрування і реакції на інциденти представлений на рис. 2.

Одержаний алгоритм дозволяє не тільки виявляти небезпечні події, а і проводити відновлення інформації та аналіз ефективності методів захисту судових інтегрованих систем містка, всього комп'ютеризованого комплексу навігаційного обладнання, у т.ч. електронних карт, автоматичних ідентифікаційних систем, навігаційного обладнання, реєстратора даних рейса та інших судових інформаційних систем.

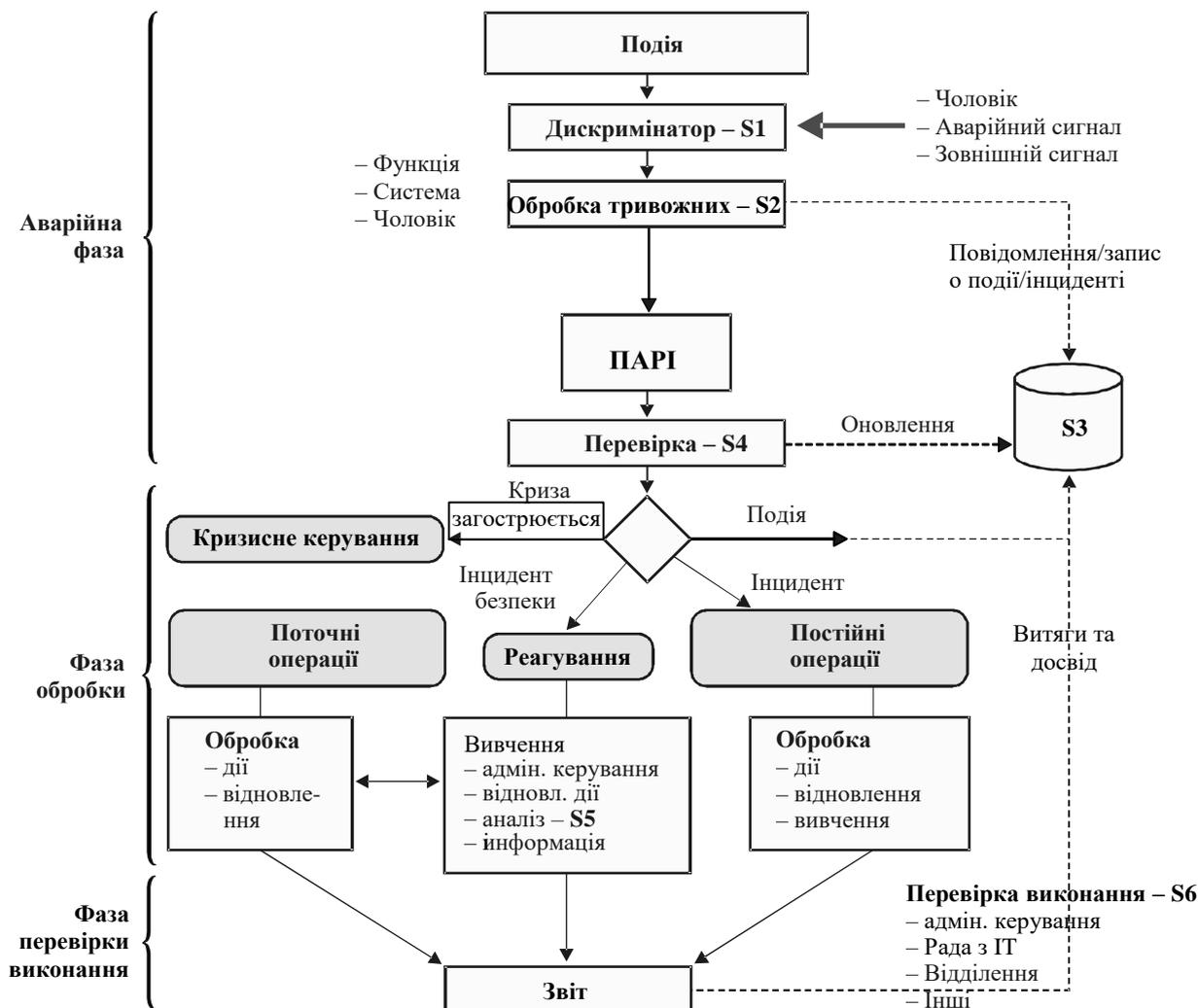


Рисунок 2 – Алгоритм адміністрування і реакції на інциденти

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлов С.А., Шевцов Ю.С. Нові функції аудиту та моніторингу у забезпеченні кібербезпеки підприємств. – Інформатика та математичні методи в моделюванні. - Одеса, - ОНПУ, 2011, том 1, № 3. – С. 243-247с.
2. Михайлов С.А., Шевцов Ю.С. Методи аналізу рівня експлуатаційної кібербезпеки суднових інформаційних систем. - Судовождение: Сб. науч. трудов / НУ "ОМА", - Вып. 26. – Одесса: ВидавІнформ, 2016. – С. 166-176.
3. Шевцов Ю.С. Функції керування кібербезпекою на морському транспорті // В кн.:"Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки". - Національний університет «Одеська морська академія», 2016, - с. 101-104.
4. ITU-T Recommendation X.800. Security architecture for Open Systems Interconnection for CCITT applications. – Geneva, 1991. – 48 с. – Режим доступу: <http://www.itu.int/net/home/index.aspx>.
5. ITU-T recommendation X.816. Information technology – Open System Interconnection – Security frameworks for Open systems: Security audit and alarms framework.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ТА РОЗРОБКА ПРОТОКОЛУ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ УКХ ЦВВ НА БАЗІ ЕКНІС

В.М. Кошевий, д.т.н., професор
С.В. Курочкін, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

З'єднання систем УКВ ЦВВ і АІС-ЕКНІС може бути реалізовано через окремий інтерфейсний блок, що підключається до апаратури ЦВВ будь-яких виробників обладнання. При цьому не потрібна заміна апаратури ЦВВ. Відповідна схема представлена на рис. 2. З'єднання апаратури УКХ ЦВВ і ЕКНІС здійснюється за допомогою двонаправленого інтерфейсу. Дана пропозиція повністю вписується в стратегічний напрямок розвитку електронної навігації, яке передбачає новий підхід у використанні існуючих засобів радіозв'язку і навігації, а також впровадження сучасних цифрових інформаційних технологій в судноводіння та управління судном. Роль ЕКНІС для безперечного судноплавства незаперечна, тим не менш, її потенціал у цьому напрямі далеко не вичерпаний. Функціональні можливості сучасної ЕКНІС забезпечуються взаємодією окремих суднових навігаційних систем: ГНСС (ГЛОНАСС, GPS), РЛС, ЗАРП, АІС, інших навігаційних датчиків. Інтегрування різних систем дозволяє оптимізувати управління судном, усунути можливі промахи і невірні рішення оператора-судноводія.

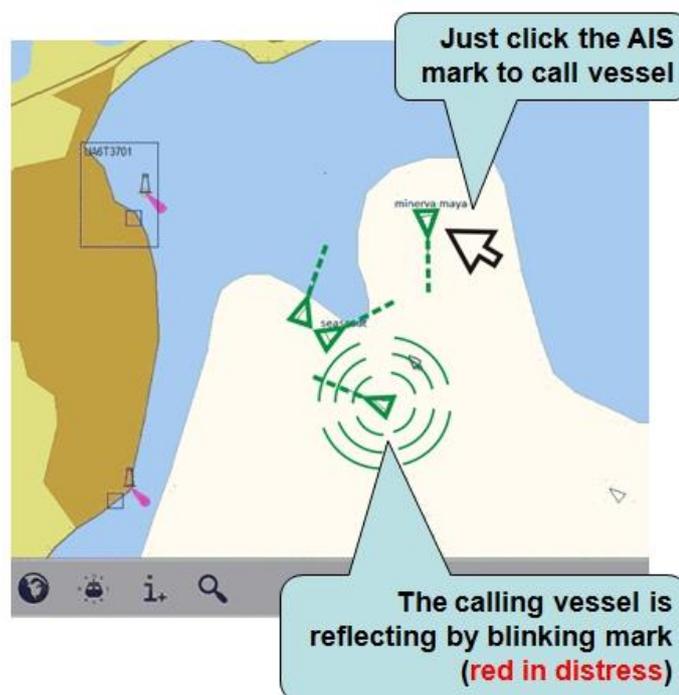


Рисунок 1 – Спрощений інтерфейс

За допомогою пакету прикладних програм MATLAB можна закодувати символи від 0 до 127, відповідно до технічного формату ЦВВ виклику та клас-

ти відповідну послідовність . За допомогою написаної програми кодування можна провести в автоматичному режимі. В програмі закодовую 9 – ти значний MMSI викликаємого судна (123456789) і навпаки (987654321) . На даний момент це найважливіші дані ,які потрібні для вирішення поставленої задачі . За допомогою написаної програми послідовність символів , яка необхідна для установлення зв'язку в напрямі судно – судно (послідовність А),переводимо спочатку в двійковий бінарний код . Наступним етапом є здвиг бінарної послідовності на 4 розряди вправо . Далі об'єдную дві послідовності в одну матрицю ,після чого матрицю складаю в ряд з відповідним здвигом. Отриману послідовність закодовую в код (-1 ,1). В результаті розрахунку програми отримуємо звуковий файл , який можна передати на установку УКХ. В звуковому файлі буде міститися інформація, яку було закодовано (MMSI). Інтегрування УКХ ЦВВ в АІС-ЕКНІС не вносить жодних змін в існуючі експлуатаційні процедури радіозв'язку. При цьому зберігаються всі штатні функції формування та перегляду ЦВВ. Інтегрування УКХ ЦВВ в АІС-ЕКНІС дозволяє забезпечувати подальше підвищення безпеки мореплавання за допомогою спрощення інтерфейсу судноводія з обладнанням радіозв'язку та навігації, і прискоренням дій оператора. Пропонована інтеграція забезпечить швидку та однозначну ідентифікацію судна з прив'язкою до поточної навігаційної обстановки .

У роботі розроблений пристрій для автоматичного керування контролером цифрового вибіркового виклику УКХ радіозв'язку в ГМЗЛБ. З'єднання стандартного УКХ ЦВВ контролера з електронною картографічною навігаційною системою (ЕКНІС) за допомогою розробленого пристрою дозволяє усунути складну та затратну за часом довготривалу процедуру ручного формування ЦВВ виклику судноводієм та замінити процес вибору необхідного для зв'язку судна на екрані ЕКНІС.

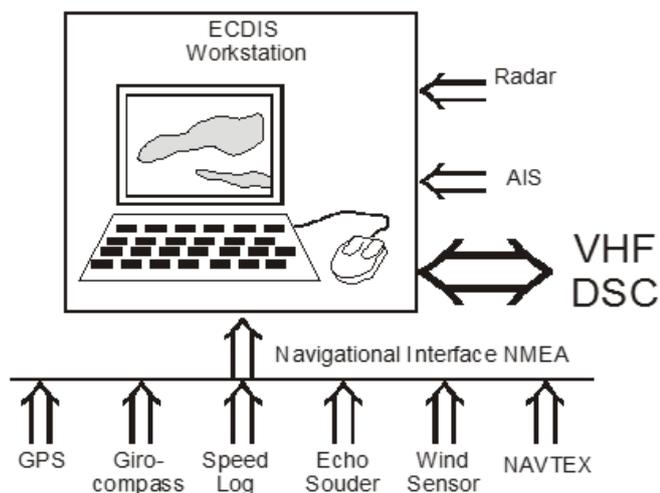


Рисунок 2 – Інтегрування систем

Розробка базується на застосуванні запропонованої в НУ"ОМА" інтегрованої системи УКХ ЦВВ — ЕКНІС для спрощення процедур УКХ зв'язку з використанням ЦВВ.

Пристрій забезпечує оперативний адресний зв'язок і автоматичну ідентифікацію станції, що передає. Система, розроблена на основі конвенційних суднових засобів навігації і зв'язку, не потребує заміни діючого суднового обладнання і процедур радіозв'язку, має повну сумісність зі штатним судновим обладнанням. Дана пропозиція повністю вписується в стратегічний напрямок розвитку електронної навігації, який передбачає новий підхід у використанні існуючих засобів радіозв'язку та навігації, впровадження сучасних цифрових інформаційних технологій у судноводіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.В. Шишкин, В.И. Купровский, В.М. Кошевой Глобальная морская связь для безопасности мореплавания. – Одесса.: ОНМА 2007. – 314с.
2. Руководство по радиосвязи морской подвижной службы и морской подвижной спутниковой службы (сборник нормативных актов Международного союза электросвязи) – М.: Мортехинформреклама.
3. Proposal for simplification of VHF DSC radiocommunication and increasing DSC efficiency. Submitted by Ukraine / SUB-COMMITTEE ON RADIOCOMMUNICATIONS AND SEARCH AND RESCUE. 14th session, Agenda item 7. COMSAR 14/7, 27 October 2009.
4. Recommendation ITU-R M.493 “Digital Selective-Calling System for Use in the Maritime Mobile Service”.
5. Simplification of DSC equipment and procedures. Submitted by Finland / SUB-COMMITTEE ON RADIOCOMMUNICATIONS AND SEARCH AND RESCUE COMSAR 8/4/1, 27 November 2003.
6. ETSI EN 300698-1. Radio telephone transmitters and receivers for the maritime mobile service operating in the VHF bands used on inland waterways; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement.
7. Шишкин А. В. Идентификация радиотелефонных передач в УКВ диапазоне морской радиосвязи / А. В. Шишкин // Изв. вузов – Радиоэлектроника. – 2012. – Т. 55. – № 11. – С. 11–20.
8. Proposal for modernization of ECDIS for VHF radiocommunication. Submitted by Ukraine / SUB-COMMITTEE ON NAVIGATION. 59th session, NAV 59/12/2, 2 September 2013.

УДК 621.391

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СКРЫТНОСТИ ПЕРЕДАЧИ НЕРАВНОВЕРЯТНОГО АЛФАВИТА

А.В. Кочетков к.т.н., доцент
Национальный университет «Одесская морская академия»

При расшифровке полученного при несанкционированном доступе к передаваемому сообщению чаще всего используется статистический метод распознавания передаваемого символа, основанный на вероятностях использования отдельных символов в первичном тексте.

В работе предлагается метод кодирования неравновероятного первичного

алфавита в кодовое множество с максимальной энтропией, обеспечивающего равновероятную передачу в канале.

Количество информации $I(x_i)$, содержащейся в событии x_i происходящем с вероятностью $P(x_i)$ определяется [1, 5]:

$$I(x_i) = \log_2 \frac{1}{P(x_i)}. \quad (1)$$

Для полного ансамбля событий: $X = \left(\begin{matrix} x_1; & x_2; & x_3; & \dots & x_n \\ P(x_1); & P(x_2); & P(x_3); & \dots & P(x_n); \end{matrix} \right)$

среднее значение $\bar{I}(x)$ информации по всему ансамблю событий [2]:

$$\bar{I}(x) = M[I(x_i)] = H, \quad (2)$$

называется энтропией сообщения (H) и измеряется в двоичных единицах на сообщение:

$$H = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 [P(x_i)]. \quad (3)$$

Воспользуемся основным свойством энтропии [3]: при заданном числе “ n ” символов энтропия максимальна и равна:

$$H(x) = \log_2 n, \quad (4)$$

лишь тогда, когда $P(x_1) = P(x_2) = \dots = P(x_n) = 1/n$. (5)

Для примера возьмем алфавит русского языка. В табл. 1 приведены $n = 32$ символа русского языка (x_i) (в том числе и символ (пр) – пробел), вероятности их появления $P(x_i)\%$ (в процентах) [6], и вероятности появления $P(x_i)\%$ округленные до ближайшего целого большего значения в процентах $E^+[P(x_i)\%]$.

С целью обеспечения в канале равновероятной передачи всех символов с точностью до одного процента предлагается для каждого подлежащего передаче символа x_i выделить количество различных кодовых комбинаций равное числу $E^+[P(x_i)\%]$.

Общее число различных комбинаций для алфавита русского языка $\sum E^+[P(x_i)\%] = 116$ кодовых слов. Превышение общего числа комбинаций больше 100% является следствием округления вероятностей $P(x_i)$ до ближайшего большего целого числа процентов (табл. 1).

Все комбинации, относящиеся к конкретному символу x_i зациклены и передаются по очереди при появлении данного символа в передаваемом тексте.

Таким образом, для возможности обеспечения равновероятной передачи по каналу различных кодовых конструкций, передатчик должен содержать для каждого символа x_i “банки” различных кодовых слов в количестве $E^+[P(x_i)\%]$. Для алфавита русского языка таких “банков” будет 32 (по количеству передаваемых символов) с общей памятью 116 кодовых слов.

Тогда отличие частоты передачи различных кодовых слов будет в пределах одного процента, что создает невозможным применение статистического декодирования шифрограммы.

Именно равновероятность появления символов на приеме не позволяет различать их статистическим анализом и делает такие сообщения трудно де-

шифруемые.

Таблица 1 – Вероятностные параметры символов русского языка

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_i	пр	А	Б	В	Г	Д	Е,Ё	Ж	З	И	Й
$P(x_i)\%$	17,5	6,2	1,4	3,8	1,3	2,5	7,2	0,7	1,6	6,2	1
$E^+[P(x_i)\%]$	18	7	2	4	2	3	8	1	2	7	1
№ п/п	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
x_i	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф
$P(x_i)\%$	2,8	3,5	2,6	5,3	9	2,3	4	4,5	5,3	2,1	0,2
$E^+[P(x_i)\%]$	3	4	3	6	9	3	4	5	6	3	1
№ п/п	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
x_i	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ,Ь	Ы	Э	Ю	Я	
$P(x_i)\%$	0,9	0,4	1,2	0,6	0,3	1,4	1,6	0,3	0,6	1,8	
$E^+[P(x_i)\%]$	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	
$\sum_{i=1}^n E^+[P(x_i)\%] = 116$											

При этом, для увеличения скорости передачи (в полтора раза больше скорости передачи позиционным кодом) предлагается воспользоваться таймерными сигналами [1]. Принцип построения таймерных сигнальных конструкций (ТСК) представлен в [2].

Предложенный метод вторичного кодирования передаваемого неравновероятного первичного алфавита позволяет обеспечить равновероятную передачу символа в канале с точностью до одного процента. Определено количество различных кодовых комбинаций («банк» кодовых слов символа) обеспечивающих равновероятную передачу кодовых слов. Также использование таймерного кодирования сигналов.

Таким образом предложен метод вторичного кодирования передаваемого неравновероятного первичного алфавита с целью обеспечения равновероятной передачи символа в канале с точностью до одного процента. Определено количество различных кодовых комбинаций («банк» кодовых слов символа) обеспечивающих равновероятную передачу кодовых слов. Для уменьшения времени передачи предложено использование таймерных сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективные системы передачи информации / Н.В. Захарченко, Е.М. Рудый, А.А. Вараксин, М.А. Мамедов, М.М. Гаджиев; под ред. Н.В. Захарченко. – Баку: ЭЛМ. – 2007. – 568 с.
2. Захарченко М.В. Системы передавания даних Том 1. Завадостійке кодування/ М.В. Захарченко – Одеса.: Фенікс 2009. – 447 с.
3. Захарченко Н.В. Теоретические основы оптимизации узлов и сетей/ Захарченко Н.В., Мамедов М.А., Гаджиев М.М.; под ред. Н.В. Захарченко.– Баку:ЭЛМ. – 2007.– 272 с.
4. Захарченко М. В. та ін. Математичні основи оптимізації телекомунікаційних си-

стем: підручник. За заг. ред. Захарченко М.В. - Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 240 с.

5. Фельдбаум А.А и др. Теоретические основы связи и управления. М.: Физматгиз – 1963. – 932 с.

6. Захарченко Н.В. Сети и системы телекоммуникаций / Н.В. Захарченко, Г.С. Гайворонская, А.И. Ещенко и др. – Киев: Техника, 2000. – Т.1. – 304 с.

УДК 681.518.5

РОЗРОБКА ІМІТАТОРА ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА AVR.

С.М. Дранчук, к.т.н., доцент

С.С. Ліщенко, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

В склад будь якій автоматичної системи входить вимірювальний датчик, який перетворює необхідну фізичну величину у аналоговий сигнал, якій є пропорціональним фізичної величини, яка діє на датчик. Цей аналоговий сигнал для послідуочей обробки в мікроконтролері повинен бути переведеним у цифровий вигляд. Досить поширеним є перетворення його в частотний сигнал, з послідуочим вимірюванням частоти [1]. Такий підхід має ряд переваг: високий захист від перешкод, можливість суміщення каналу передавання даних та каналу живлення, що дозволяє використовувати тільки два дроти для підключення перетворювача «напруга-частота», можливість інтегрування небажаних коливань вимірювальної системи і ін. (рис.1 а).

Зміна такого частотного сигналу у часі задається оператором при завданні режиму дозування, вихідними управляючими сигналами вимірювального пристрою (в залежності від програми мікроконтролера), інерційністю виконавчих механізмів дозатора та суб'єктивним впливом самого оператора.

Якість дозування такої системи в значній мірі залежить від досконалості програмного забезпечення мікроконтролера вимірювального пристрою. Час від часу таке програмне забезпечення потребує деякий переробки згідно вимогам заказчика. Але перевірка такого програмного забезпечення на реальному об'єкті займає значний час та значно ускладнена. Тому на першому етапі використовують імітатори дозуючій системи, які повинні забезпечити зміну у часі частотного сигналу в залежності від умов дозування.

Такий імітатор був розроблений на основі AVR мікроконтролера типу Atmega128, структурна схема якого наведена на рис.1 б. Він має клавіатуру, двохстрічний РКІ, вихідні виконавчі сигнали, інтерфейс RS-485, перетворювач USART-USB, та вихідний частотний сигнал, значення якого у часі буде залежить від завдання режиму дозування, заданих параметрів управляючої системи та зовнішніх дій оператора. В роботі розроблений алгоритм та програма на мові асемблеру такого пристрою, що дозволило значно спростити та скоротити час на удосконалення програмного забезпечення даного автоматичного об'єкту.

Приклад вихідного сигналу імітатора наведений на рис.1 в. Програмне забезпечення пристрою дозволяє імітувати різні типи демпфування частотного сигналу при різкій його зміні (рис.1 г).

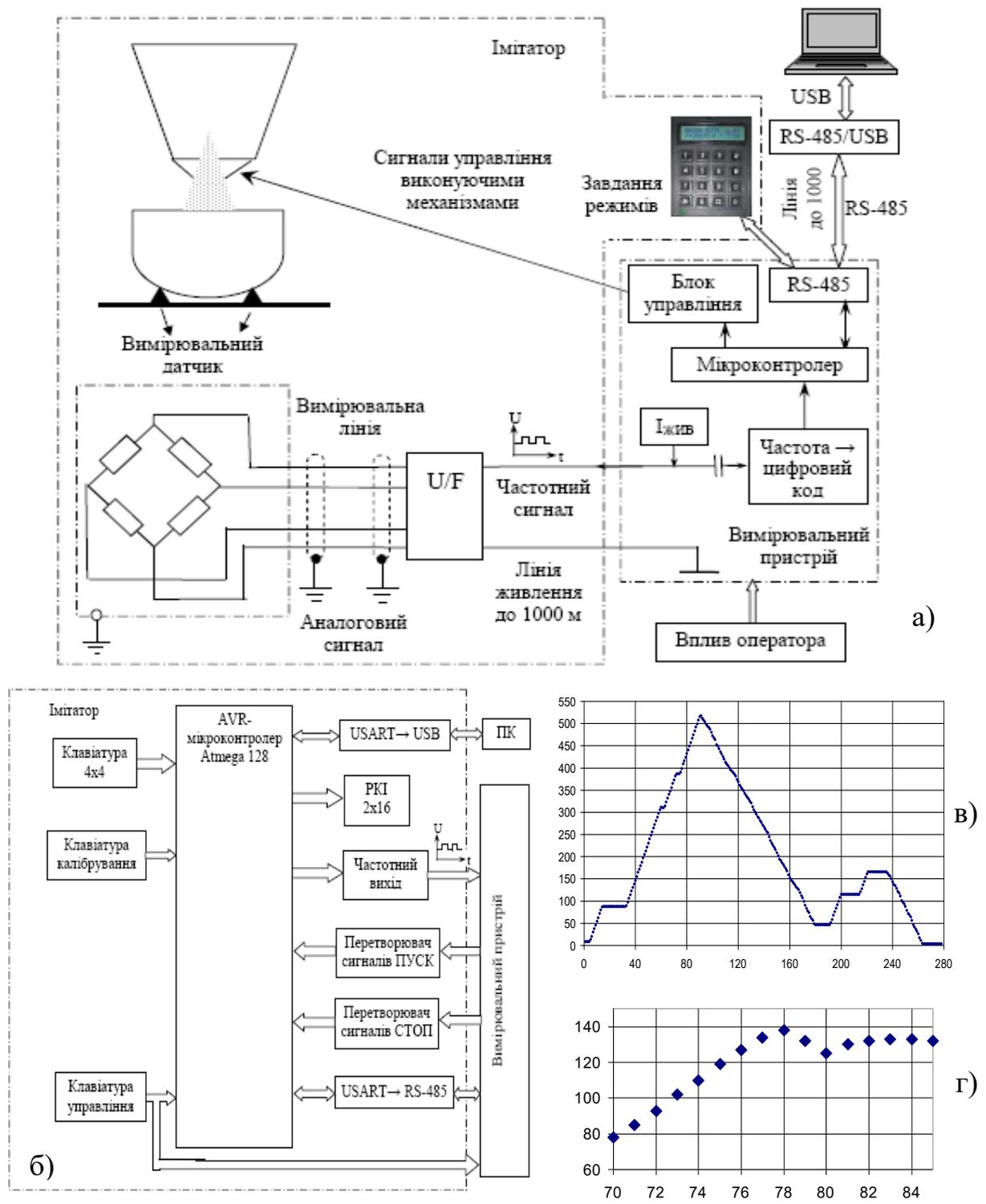


Рисунок 1 – Імітатор для тестування тензOMETричного обладнання на основі мікроконтролера AVR

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А.С. Автоматическая обработка сигналов частотных датчиков. – М.: Энергия, 1966. – 120 с.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАТЧИКІВ НАБЛИЖЕННЯ В СИСТЕМІ ОХОРОНИ СУДНА

В.А.Завадський, к.т.н., професор

Т.В.Жекова, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Основними тенденціями розвитку сучасних систем безпеки є процеси автоматизації, інтеграції та інформатизації на основі штучного інтелекту. Найбільш повно ці тенденції проявляються в розвитку сучасних датчиків тривожної сигналізації для систем безпеки.

Головна складова частина системи сигналізації - засоби виявлення (датчики, детектори, сповіщувачі, сенсори).

Датчик – це елемент вимірювального, сигнального, регулюючого або такого, що управляє пристроєм, що перетворює контрольовану величину (температуру, тиск, частоту, силу світла, електричну напругу, струм і т. д.) в сигнал, зручний для вимірювання, передачі, зберігання, обробки, реєстрації, а іноді і для впливу на керовані процеси. Або простіше, датчик - це пристрій, що перетворює вхідний вплив будь-якої фізичної величини в сигнал, зручний для подальшого використання.

За типом виявлення об'єкта і явища - датчики поділяються на датчики контролю простору (периметрові), датчики контролю приміщення (проникнення, присутності, руху), датчики приближення (положення), датчики відкритого полум'я, датчики джерела надлишкового тепла, датчики задимленості і т. п.

Датчики приближення спрацьовують при наближенні стороннього предмета на відносно невеликі відстані до об'єкта, що охороняється і застосовуються на другому або третьому рубежі захисту.

Безконтактні датчики приближення - це пристрої, що приводяться в дію при наближенні зовнішнього об'єкта впливу без механічного контакту, що забезпечує високу надійність систем. Такі датчики використовуються в різних системах автоматичного керування для визначення положення виконавчих механізмів, в системах третього рубежу охорони судна для визначення положення водонепроникних і протипожежних перегородок, кришок люків, дверей сейфа і т. п.

Найбільш поширеними датчиками приближення є індуктивні та ємнісні датчики.

Індуктивні датчики приближення спрацьовують тільки на метали і не чутливі до решти матеріалів. Це збільшує захищеність індуктивних датчиків від перешкод, наприклад, введення в зону чутливості вимикача рук оператора не призведе до помилкового спрацьовування.

Згідно зі статистикою 90% дискретних датчиків положення - індуктивні

датчики. Це пояснюється високими експлуатаційними характеристиками, надійністю і низькою вартістю індуктивних датчиків порівняно з іншими типами датчиків. Використовувані схеми індуктивних датчиків наближення бувають двох типів: генераторні та резонансні.

У генераторному датчику наближення основою є генератор коливань з двохобмотувальним індуктивним чутливим елементом. Перевага генератора - у здатності до коливань в дуже широкому діапазоні живлячих напруг. Звідси і виходить широкий діапазон допустимих напруг живлення у багатьох індуктивних датчиків.

В резонансних індуктивних датчиках наближення чутливим елементом є котушка з сердечником, яка, разом з конденсатором, становить паралельний резонансний контур. Резонансна схема датчиків наближення володіє хорошою термостабільністю, що дозволяє використовувати такі датчики в широкому діапазоні оточуючих температур.

На відміну від індуктивних датчиків ємнісні датчики наближення спрацьовують не тільки на наближення металевих об'єктів, але і діелектричних, таких як папір, пластмаси, гума, дерево, вода, рука людини. Принцип роботи ємнісного датчика заснований на самозбудженні генератора синусоїдальних або прямокутних імпульсів при зміні частотозадаючої ємності генератора, зазвичай побудованого за схемою ємнісної точки.

Особливо слід відзначити вплив води на ємнісні датчики, що пов'язане з наявністю великої кількості води в людському тілі. За рахунок значного ступеня дисоціації води на іони H^+ і OH^- , значення діелектричної проникності води дуже велика, і тому ємнісні датчики добре відчують наближення людської руки і можуть застосовуватися як датчики третього рубежу охорони.

Висновки. Забезпечення безпеки життєдіяльності на судні включає в себе широку сферу діяльності, спрямовану на захист від різного виду погроз, джерелом яких можуть виступати три основні частини: людина, природа і техногенне середовище.

Датчики охоронних систем дуже різноманітні і можуть бути класифіковані за різними ознаками.

Індуктивні та ємнісні датчики наближення широко використовуються на третьому і другому рубежах охорони, для контролю за станом водонепроникних, і протипожежних перегородок, люків, ілюмінаторів, дверей і т. п.

Від правильного вибору і розміщення датчика багато в чому залежить надійність всієї системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Завадський В.А., Дранчук С.М. Електронні засоби і системи охорони судна. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса-2012.-163 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ В ГМССБ

А.В. Шишкин, к.т.н., доцент

Д.С.Семенюк, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Обнаружение ошибок в технике связи - операция, направленная на контроль целостности данных при передаче по линиям связи. Исправление ошибок (коррекция ошибок) - процедура восстановления информации после чтения её из устройства хранения или канала связи.

Для обнаружения ошибок используют коды обнаружения ошибок, для исправления - корректирующие коды (коды, исправляющие ошибки, коды с коррекцией ошибок, помехоустойчивые коды).

В процессе хранения данных и передачи информации по сетям связи неизбежно возникают ошибки. Контроль целостности данных и исправление ошибок - важные задачи на многих уровнях работы с информацией (в частности, физическом, канальном, транспортном уровнях сетевой модели OSI).

В системах связи возможны несколько стратегий борьбы с ошибками:

- обнаружение ошибок в блоках данных и автоматический запрос повторной передачи повреждённых блоков. Этот подход применяется, в основном, на канальном и транспортном уровнях;

- исправление ошибок сразу же при приеме с использованием избыточной передаваемой информации (англ. forward error correction) - применяется на физическом уровне.

В ГМССБ наиболее показательным примером применения корректирующих кодов является аппаратура узкополосной буквопечатающей телеграфии (УБПЧ) с использованием усовершенствованных методов кодирования информации. В соответствии с требованиями МККР в радиотелексе применяется 7-элементный синхронный код с постоянным отношением числа «единиц» к числу «нулей» равным 3/4. Каждый передаваемый символ представляется семью двоичными цифрами - битами, причем используются только комбинации стрема «единицами» и четырьмя «нулями». Общее число таких комбинаций равно числу перестановок из трех 1 и четырех 0:

$$C_7(3,4) = \frac{7!}{3!4!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} = 35$$

Этих 35 комбинаций достаточно для представления всех 32-х символов кода МТК-2. Код с отношением 3/4 не требует стартового и стоповых битов, т.к. является синхронным. Не требуется также дополнительный бит проверки на четность в силу постоянного отношения числа 1 к числу 0.

В части обнаружения ошибок новый код эффективнее кода МТК-2. Так же как и код МТК-2 он обнаруживает все одиночные ошибки (типа замен 1 на 0

и наоборот) и большинство двойных ошибок, в то время, как МТК-2 не обнаруживает двойные ошибки вообще. Обнаружение ошибки осуществляется по нарушению отношения 3/4 при приеме. Необнаруживаемые ошибки, при которых это отношение сохраняется, очень редки.

Для исправления ошибок в радиотелексе используется повторная передача испорченного блока.

Для защиты от ошибок используются два основных режима: ARQ и FEC.

Режим ARQ (Automatic Repetition Request - автоматический запрос повторения) предусматривает повторную передачу информации при обнаружении ошибки на приемном конце. Передающая сообщение станция называется ведущей (Master), а принимающая - ведомой (Slave) станцией. Ведущая станция передает блок из трех символов. Ведущая станция проверяет отношение 3/4 для каждого символа в блоке. После приема каждого блока ведомая станция передает подтверждение о правильности (или ошибке). Если все три символа приняты правильно, ведомая станция передает знак подтверждения и готовности к приему следующего блока. Если же хотя бы для одного из символов отношение 3/4 не выполняется, ведомая станция дает запрос на повторение блока. Повторная передача блока может повторяться до 32 раз.

Данный режим характеризуется следующими особенностями:

- практически гарантируется безошибочная передача сообщений, если только связь вообще возможна;
- связь возможна только между двумя станциями;
- обеспечивается защита от несанкционированного приема телекса;
- ведомая станция должна использовать передатчик.

Режим FEC (Forward Error Correction - прямое исправление ошибок) является режимом без запроса повторной передачи. Передающая станция передает сообщение с повторением каждого символа дважды. Приемная станция проверяет каждый символ на отношение 3/4; если это отношение выдерживается хотя бы для одного из двух символов, принятый символ выводится на печать; если отношение 3/4 не выдерживается для обоих символов, вместо него печатается звездочка (или знак подчеркивания). Если отношение 3/4 выдерживается для обоих символов, но они отличаются друг от друга, вместо символа также печатается звездочка. Таким образом, в режиме FEC обеспечивается практически только обнаружение ошибок. Режим FEC характеризуется следующими особенностями:

- Сообщение адресуется одновременно всем станциям, которые могут его принимать;
- принимающая станция работает с выключенным передатчиком;
- подтверждение в приеме сообщения отсутствует;
- нет активного исправления ошибок;
- нет защиты от неразрешенного приема сообщений.

В режиме FEC возможна передача одной конкретной станции (избирательный вызов – SEL/FEC) путем передачи телексного кода принимающей станции. Только станция, имеющая такой номер, примет сообщение. Все другие станции проигнорируют его.

Режим FES используется, как правило, для циркулярных передач всем станциям. В этом режиме работает система НАВТЕКС. Режим FES является идеальным режимом для передачи информации судам, которые стоят в портах и не имеют возможности работать на передачу.

Каждой судовой станции, работающей в режиме УБПЧ, присваивается пятизначный номер избирательного вызова в соответствии с Приложением 38 Регламента радиосвязи или девятизначный идентификатор морской подвижной службы (ИМПС) в соответствии с Приложением 43 РР. Каждой береговой станции, работающей в режиме УБПЧ, присваивается четырехзначный опознавательный номер в соответствии с Приложением 38 РР или девятизначный ИМПС в соответствии с Приложением 43 РР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гепко И.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. – К.: «ЕКМО», 2009. – 672 с.
2. Кошевий В.М., Купровський В.І., Шишкін О.В. Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування (GMDSS): Підручник для студентів вищих навчальних закладів – Одеса : Екологія, 2011. – 248 с., іл.

УДК 621.396.969.3

РАЗРАБОТКА ПОВЕДЕНЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ VHDL

В.А. Завадский, к.т.н., профессор

А.Г. Швец, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

В работе рассмотрена возможность разработки поведенческих моделей на языке VHDL для их верификации методами моделирования. Приведен пример анализа временных диаграмм для микросхемы КП11.

Микросхема КП11 (рис. 1) состоит из четырех двухвходовых селекторов – мультиплексоров с тремя состояниями на выходе. Каждый из четырех мультиплексоров имеет по два входа данных. Для их выбора служит вход выбора данных SED. Если на входе SED подано напряжение низкого уровня, то выбираются входы DNA одновременно всех четырех мультиплексоров, а если на вход SED подано напряжение высокого уровня, то выбираются входы DNB всех четырех мультиплексоров одновременно. Информация на вход микросхемы передается без инверсии. Если на вход разрешения состояния высокого импеданса EZ подано напряжение низкого уровня, то данные проходят на выход, а если на вход EZ подано напряжение высокого уровня, то выходы переводятся в третье состояние. Такой способ реализации ЛЭ может дать экономию при использовании микросхем.

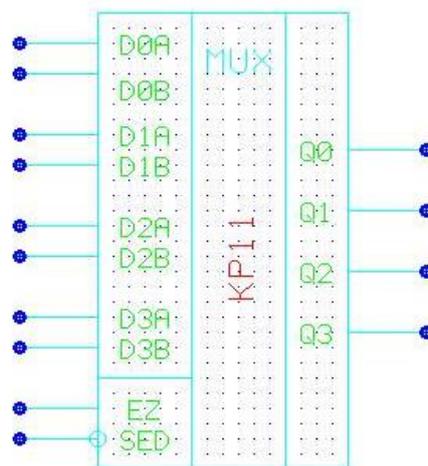


Рисунок 1 – Микросхема КП11

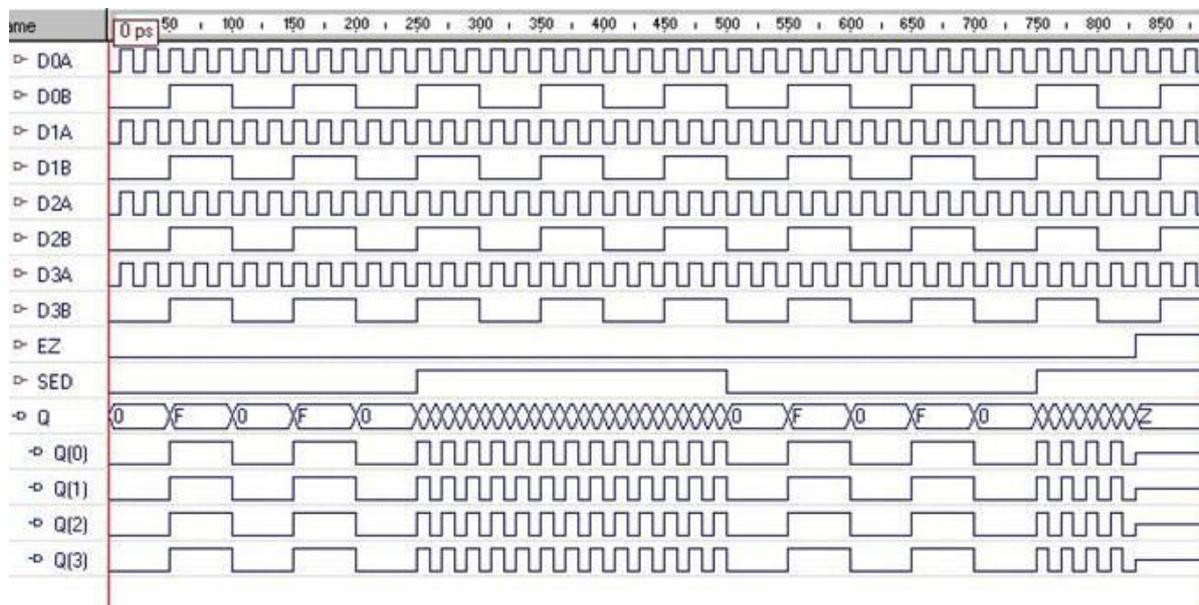


Рисунок 2 - Временные диаграммы, полученные в пакете VHDL.

Выводы: Программный продукт, достаточно новый, представляет из себя оболочку, в которой на языке VHDL нужно описать обрабатываемую схему, позволяющую не делать пользователю много обязательной, но рутинной работы. Обладает очень удобным интерфейсом. Этот продукт ориентирован под Windows, улучшает работу с ним, достаточно нагляден, в нем просто и удобно разобраться даже «с нуля».

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасевич, Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование / Тарасевич, Ю.Ю. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 152с.
2. Шалагинов А. В. «Его величество Рсад», Новосибирск, 1994
3. Шалагинов А. В. “Моделирование”, Новосибирск, 1998

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ МНОГОФАЗНЫХ СИГНАЛОВ НА ПОВЕДЕНИЕ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор

Е.Л. Пашенко, ассистент

Национальный университет «Одесская морская академия»

Одной из важных задач морской радиолокации является разработка судовых радиолокационных станций (РЛС), характеризующихся пониженной пиковой мощностью излучения. Это важно как для обеспечения электромагнитной совместимости, так и для уменьшения вредного воздействия высокочастотного поля на экипаж судна. Выбор соответствующего зондирующего сигнала и методов его обработки во многом влияет на решение указанной задачи. Для этих целей целесообразно применять широкополосные сигналы с большой базой, разновидностью которых являются составные многофазные сигналы [1].

Важным параметром, определяющим свойства сигнала, является их функция неопределенности (ФН). Таким образом, целью данной работы является изучение поведения ФН составных многофазных сигналов с/без дополнительной амплитудной модуляцией (АМ). Также важным является изучение эффективности использования АМ составных многофазных сигналов. Влияние регулируемого пик-фактора весовой функции на корреляционные свойства сигнала.

Составной многофазный сигнал представляет собой сигнал с квадратичным изменением фаз составляющих последовательность [1].

Рассмотрены два апериодических составных многофазных сигнала длиной $N=324$ ($N_B=18$, $N_V=18$) со следующими значениями коэффициентов:

1) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B^2$. В работе [1] показано, что сигнал с такими параметрами имеет максимальное значение отношения площади свободной области (СО) вокруг центрального пика (ЦП) ФН к площади топографического сечения ЦП по нулевому уровню.

2) $\alpha'=-1/N_B$, $\beta'=1/N_B$. За счет применения данного набора коэффициентов уровень боковых лепестков (БЛ) в СО увеличивается, но при этом он самый низкий по всей длине автокорреляционной функции. Также следует отметить, что уменьшается СО вокруг ЦП ФН [2].

Сигналы с дополнительной АМ можно описать следующим выражением:

$$s_n^{am} = s_n * v_n$$

$$v_n = v_{n-E[n/N_B]N_B}^b * v_{E[\frac{n}{N_V}]+1}^v, \quad n = \overline{0 \div N - 1}, \quad (1)$$

где s_n^{am} - составной многофазный сигнала с дополнительной АМ; s_n - комплексная огибающая сигнала; v_n^b , v_n^v – весовые коэффициенты определяющие характер АМ для базовой и внешней последовательности[3].

Выражение для аperiodической ФН составного многофазного сигнала с дополнительной АМ примет вид:

$$\chi_{ss}(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n^{am} * s_{n+k}^{am} e^{i \frac{2\pi \Delta f n}{4N}} \quad (2)$$

где k - дискретные значения задержки с выбранным шагом T_0 , l - дискретное значение частоты.

Для исследования составных многофазных сигналов с дополнительной АМ введем такой параметр как пик-фактор, который определяется как отношение максимальной амплитуды сигнала (s_{max}^{am}) к среднеквадратичному значению всех его амплитуд:

$$\xi = \frac{|s_{max}^{am}|^2 N}{\sum_{n=0}^{N-1} |s_n^{am}|^2} \quad (3)$$

В работе предложено несколько законов изменения весовых функций, за счет которых можно контролировать поведение ФН. Их преимущество заключается в том, что при изменении параметров функции, мы можем управлять пик-фактором сигнала и как следствие уровнем БЛ ФН. В качестве одной из возможных взята весовая функция \sin [4]:

$$\begin{aligned} v_n^B &= \sin \left[\pi \left(\frac{y_B}{N_B + 1} + \frac{n}{N_B + z_B} \right) \right], n = 0 \div N_B - 1 \\ v_n^V &= \sin \left[\pi \left(\frac{y_V}{N_V + 1} + \frac{n}{N_V + z_V} \right) \right], n = 0 \div N_V - 1 \end{aligned} \quad (4)$$

где y_B, y_V - натуральное число для базовой и внешней последовательности соответственно, изменяется в пределах $1 \leq y_B < \frac{N_B + 1}{2}, 1 \leq y_V < \frac{N_V + 1}{2}$; z_B, z_V - переменные для базовой и внешней последовательности соответственно, $z_B = \frac{2y_B N_B - (N_B + 1)}{N_B + 1 - 2y_B}$, $z_V = \frac{2y_V N_V - (N_V + 1)}{N_V + 1 - 2y_V}$. В работе также исследовано влияние весовой функции \sin^2 .

Можно сделать вывод, что наилучший пик-фактор имеет сигнал, полученный с помощью весовой функции \sin . Он составил 3,59. В сечениях по оси частот ($l=0,1,2,3$) самый низкий уровень БЛ в СО вокруг ЦП при $\alpha' = -1/N_B$, $\beta' = 1/N_B^2$, $y_v = y_B = 1$ (рассогласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin^2 и составляет -30 дБ. Для сигнала при $N=324$ ($N_B=18, N_V=18$) $\alpha' = -1/N_B$, $\beta' = 1/N_B^2$, $y_v = y_B = 1$ (рассогласованная обработка) с применением весовых коэффициентов \sin уровень БЛ равен -22 дБ. Самые малые потери в отношении сигнал/шум при рассогласованной обработке составили $\rho = 0.65$.

Таким образом, наилучшие результаты по критерию уровень БЛ и ЦП ФН показала согласованная обработка составного многофазного сигнала с дополнительной АМ. В данном случае потери в отношении сигнал/шум отсутствуют. Наименьшее значение пик-фактора $\xi=3,59$ показал сигнал с дополнительной АМ, который был получен с помощью весовой функции \sin . Но самый низкий уровень БЛ имеет сигнал с дополнительной АМ, полученный по функции \sin^2 . Уровень БЛ близок к нулевому уровню. При этом у составных многофазных сигналов с дополнительной АМ сохраняется многопиковая струк-

тура, но увеличивается площадь топографического сечения ЦП по нулевому уровню на 2%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевой В.М. Синтез составных многофазных сигналов// Изв. высш. учебн. заведений. Радиоэлектроника.-1988.-Том 31, № 8.- с.56-58.
2. Кошевой В.М., Купровский В.И. Исследование свойств составных многофазных сигналов// Изв. высш. учебн. заведений. Радиоэлектроника.-1991. - №8.- с. 63-66.
3. В.М.Кошевой, Е.Л.Пашенко. Анализ эффективности обработки составных многофазных сигналов с дополнительной амплитудной модуляцией. ОНМА. Одесса. Тезисы. Конференция: "Практичні проблеми розвитку радіозв'язку і радіонавігації" 2015.
4. V.Koshevyu, O.Pashenko. Signal Processing Optimization in the FMCW Navigational Radars// TransNav.Activities in Navigation. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. CRC Press. Taylor & Francis Group – 2015.- pp.95-99.

УДК 621.37

ВЛИЯНИЕ ПАМЯТИ ФИЛЬТРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЯ НА КОМПЛЕМЕНТАРНЫЕ СВОЙСТВА СИГНАЛОВ И ФИЛЬТРОВ

В.М. Кошевой, д.т.н. профессор
В.С. Попова, аспирант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Судовые средства связи, а также судовые РЛС обеспечивают безопасность мореплавания, позволяют решать разнообразные задачи, возлагаемые на суда и различные морские объекты. Морские условия существенно влияют на работу связной и радиолокационной аппаратуры. Переотражения от поверхности моря, а также от различных метеорологических объектов влияют на эффективность работы средств связи и радиолокационной аппаратуры. Для уменьшения этого влияния, необходимо уменьшить боковые лепестки взаимной функции неопределенности, применительно к задачам связи, так и к РЛС. Это связано с тем, что уменьшение уровня боковых лепестков позволяет бороться с помехой типа мешающей отражения [1].

Используется последовательность пар сигналов и рассогласованных фильтров с комплементарными свойствами Голея. В отличие от согласованной пары сигнал/фильтр Голея, рассогласованная пара сигнал/фильтр с комплементарными свойствами существует для всех N (количество импульсов в сигнале). Используя соответствующую форму фильтра, можно обеспечить малую чувствительность к доплеровскому смещению принятого сигнала. Указанное свой-

ство вместе с хорошим подавлением уровня боковых лепестков по дальности, является привлекательным для использования в морских радарах.

В общем случае сигнал на входе связного или РЛС приемника можно представить в виде:

$$Y(t) = AS(t)e^{i\varphi} + X(t) \quad (1)$$

где $Y(t)$ - суммарный сигнал, $X(t)$ - помеха, представляемая собой смесь сигналopodobной помехи и белого шума с корреляционной функцией $R(t_1, t_2)$, $S(t)$ - полезный сигнал, A, φ - случайная амплитуда и начальная фаза сигнала поступающего на вход приемника[1]

$$R(t_1, t_2) = N_o \delta(t_1 - t_2) + \int_{-\infty}^{+\infty} \int \sigma(\tau, f) s(t_1 - \tau) s^*(t_2 - \tau) e^{i2\pi f(t_1 - t_2)} d\tau df \quad (2)$$

где N_o - спектральная плотность теплового шума, $\sigma(\tau, f)$ - распределение мешающих отражений по времени задержки и частоте.

Для дискретных сигналов фильтра:

$$S(t) = \sum_{n=1}^N S_n \psi_n^S(t) \quad (3)$$

$$W(t) = \sum_{m=1}^M W_m \psi_m^W(t) \quad (4)$$

где $\psi_n^S(t)$ ($n = \overline{1, N}$), $\psi_m^W(t)$ ($m = \overline{1, M}$) - системы базисных функций, позволяющие произвольным образом фиксировать соотношения между временными и частотными свойствами оптимизируемых сигналов и фильтров[1].

Отношение сигнал / (помеха + шум) на выходе фильтра в общем случае записано в виде матричного выражения:

$$\Sigma = \frac{|W * S|^2}{W * [N_o I + D] W} \quad (5)$$

где S - вектор сигнал, N_o - спектральная плотность теплового шума, W - вектор фильтр, D - корреляционная матрица помехи, W^* - комплексно-сопряженный транспонированный вектор фильтра.

Используя алгоритм максимизации отношения сигнал/(помеха+шум) (5) с помощью специальным образом сконструированной матрицы D [2,3] можно рассчитать векторы фильтров, обеспечивающие комплементарные свойства для заданных векторов сигналов при различных значениях памяти фильтра (числа элементов вектора фильтра W) [2,3].

Взаимнокорреляционная функция сигнала и фильтра (сигнал на выходе фильтра) [4,5]:

$$R^{SW}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} W_n^* S_{n+k} \quad (6)$$

где $R^{SW}(k)$ - функция корреляции в дискретных точках, W_n - элемент вектора фильтра W , S_{n+k} - элементы вектора сигнала.

Расчеты производились с использованием программы, которая реализуется на основе формулы 6, позволяющая рассчитать функцию корреляции ком-

элементарных сигналов, боковые лепестки которых в сумме дают 0 для случаев:

- 1) $S1=[1 \ -1 \ -1]$, $W1=[1 \ -0,5 \ -0,5]$; $S2=[1 \ 1 \ 1]$, $W2=[1 \ -0,5 \ 0,5]$ (см.рис.1,2);
- 2) $S3=[1 \ -1 \ -1]$, $W3=[-0,1190 \ 0,2381 \ -0,2143 \ -0,0952 \ 0,0476]$; $S4=[1 \ 1 \ 1]$, $W4=[-0,1190 \ 0,2381 \ 0,0238 \ 0,1905 \ -0,0476]$ (см.рис.3,4).

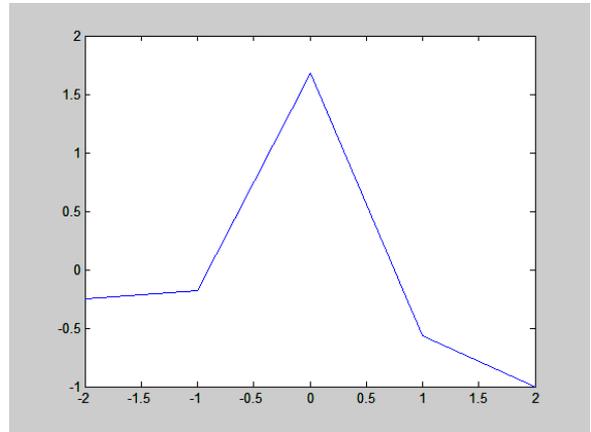
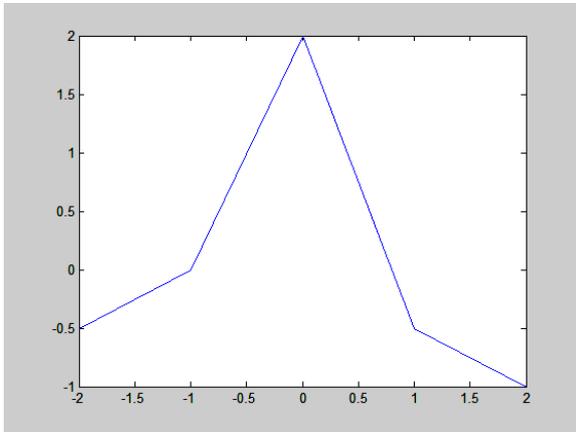


Рисунок 1 – «Взаимная функция корреляции сигнала S1/фильтраW1 при отсутствии доплеровского смещения(L=0) и при нем (L=1)»

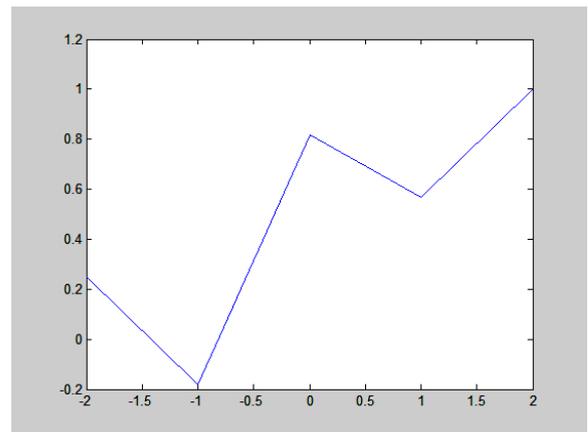
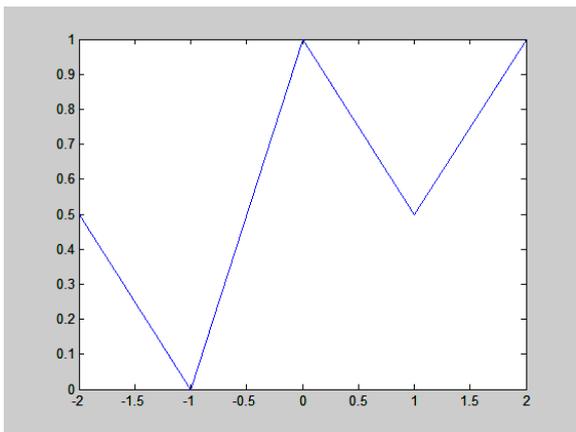


Рисунок 2 – «Взаимная функция корреляции сигнала S2/фильтраW2 при отсутствии доплеровского смещения(L=0) и при нем (L=1)»

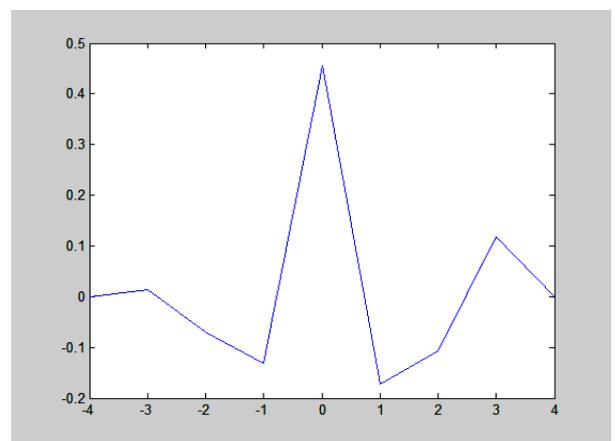
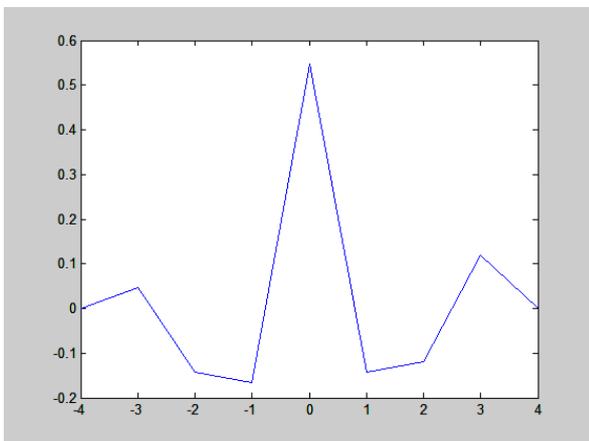


Рисунок 3 – «Взаимная функция корреляции сигнала S3/фильтраW3 при отсутствии доплеровского смещения(L=0) и при нем (L=1)»

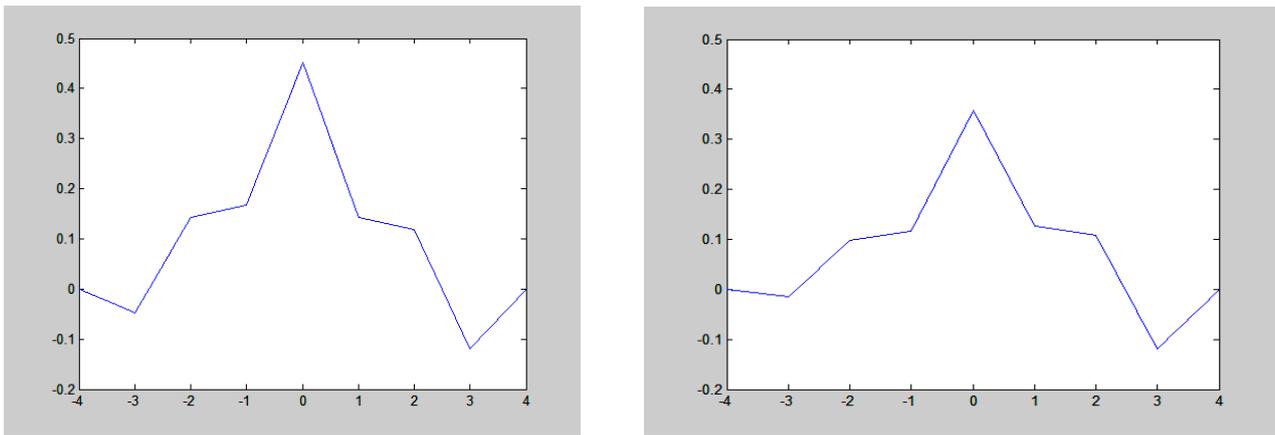


Рисунок 4 – «Взаимная функция корреляции сигнала S4/фильтраW4 при отсутствии доплеровского смещения(L=0) и при нем (L=1)»

Из приведенных расчетов, видно, что для случаев, когда память фильтра равняется длительности сигнала и память фильтра больше длительности сигнала, комплементарные свойства сохраняются. Расчеты ρ показали, что $\rho = 0.5$ в случае, когда память фильтра равняется длительности сигнала и $\rho = 0.7$ в случае, когда память фильтра больше длительности сигнала. Заметим что, чем ближе ρ к 1, тем меньше потери в отношении сигнал/шум. Поэтому из приведенных расчетов следует, что потери в отношении сигнал/шум можно уменьшить за счет увеличения памяти фильтра и это совпадает с результатами, полученными в [3].

Выводы: При увеличении памяти фильтра, комплементарные свойства сохраняются, а потери в отношении сигнал/шум уменьшаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М. Кошевой. Совместная оптимизация сигналов и фильтров при дополнительных ограничениях. Киев УМК ВО 1990.
2. V.M. Koshevyu. Synthesis of Waveform-Filter pairs under Additional Constraints with Group-Complementary Properties. IEEE, Radar Conference 2015, May 2015, Arlington, VA (USA), pp.0616-0621.
3. V.M. Koshevyu. Efficiency of Filter Synthesis under Additional Constraints with Group-Complementary Properties. UkrMiCo'2016, Kiev (Ukraine) 2016, IEEE Xplore Digital Library, pp.978-981.
4. Ч.Кук, М.Бернфельд. Радиолокационные сигналы. Пер. с английского под ред. В.С.Кельзона. М.Изд-во «Советское радио», 1971, стр.568, тир.8000 экз.
5. Винокуров В.И. Изд-во «Судостроение», Ленинград, 1986.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ И ФИЛЬТРОВ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор

И.Я. Горишная, аспирант

Национальный университет «Одесская морская академия»

Понятие функции неопределенности было введено П. М. Вудвордом, он использовал эту функцию для решения задачи, связанной с преобразованием отраженного сигнала (эхо) фильтром, настроенным на излучаемый сигнал.

Сигналы представляли собой функции времени запаздывания и частоты. Благодаря существованию отношения между частотно-временным представлением и функцией неопределенности, последняя играет важную роль при исследовании сильно модулированных по фазе и частоте сигналов [1]. 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 ($\rho_{p, \max} \geq 1/N$). 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 [2]. Рассматривается согласованная и рассогласованная фильтрации.

Для использования сигналов, типа M-последовательности, в радиолокации важное значение приобретает снижение уровня боковых лепестков взаимной функции неопределенности, а точнее обеспечение нулевого уровня боковых лепестков. С помощью специальной весовой обработки (несогласованной фильтрации) обеспечивается сколько угодно малый уровень боковых лепестков при контролируемых потерях в отношении сигнал/шум. Результатом работы стали графики зависимости корреляционных функций на выходе согласованного и несогласованного фильтров от доплеровского сдвига сигналов $N=3$ [1; 1; 1], $N=7$ [1; 1; 1; 1; 1; 1; -1], $N=9$ [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; -1], $N=12$ [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1].

С помощью формулы (1) были рассчитаны весовые коэффициенты оптимального фильтра:

$$W = R^{-1}S, \quad (1)$$

где R - корреляционная матрица сигналподобной помехи.

Графики сигнала $s = [1; -1; -1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1]$ на выходе фильтра при согласованной и рассогласованной обработке приведены ниже:

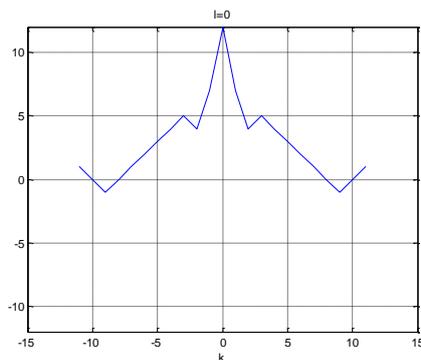


Рисунок 1 - Аперiodический сигнал $N=12$ на выходе согласованного фильтра при сечении $l=0$.

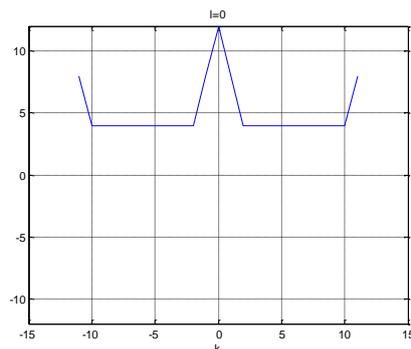


Рисунок 2 - Периодический сигнал $N=12$ на выходе согласованного фильтра при сечении $l=0$.

Значения в случае в случае рассогласованной обработки для аперiodического сигнала при $N=12$ $w = [0.1595, -0.1612, -0.1648, 0.1139, -0.0077, 0.1068, -0.0103, 0.0704, -0.0189, 0.0618, -0.0362, 0.0267]$ и $p = 0.4573$.

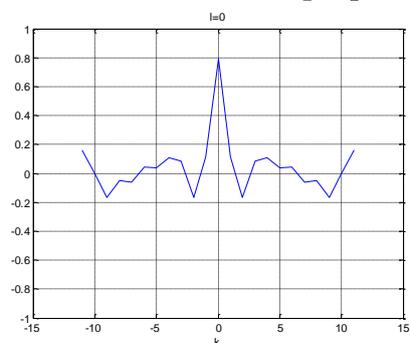


Рисунок 3 - Аперiodический сигнал $N=12$ на выходе рассогласованного фильтра при сечении $l=0$.

Оптимальный фильтр, рассчитанный для периодического случая, также позволяет получать частичное подавление боковых лепестков для аперiodического случая.

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.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор

Н.Ю.Бубнова, курсант

Национальный университет «Одесская морская академия»

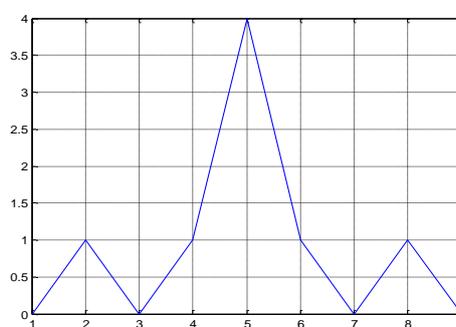
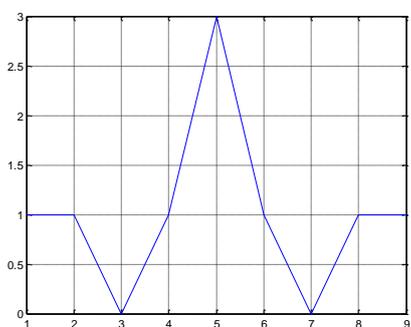
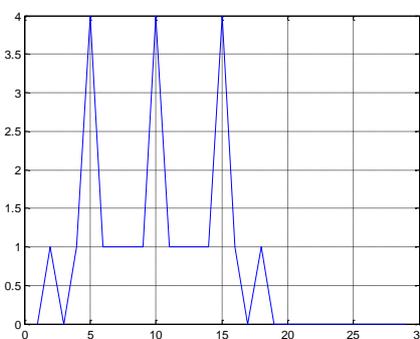
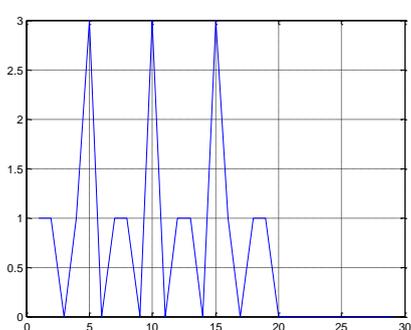
Целью работы является исследование эффективности оптимальной обработки троичных кодовых последовательностей для задач радиолокации и связи.

Используем 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. Следовательно, функцией синтеза является построение троичных последовательностей, обладающих не только идеальной периодической АКФ, но и малым числом нулей на периоде.

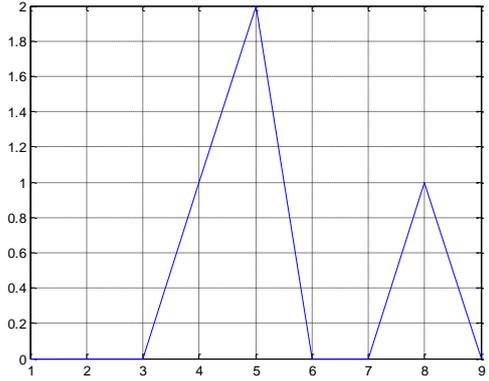
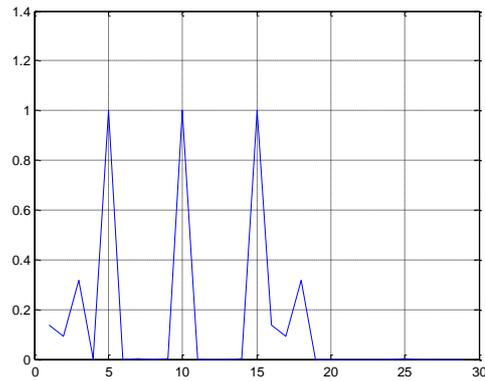
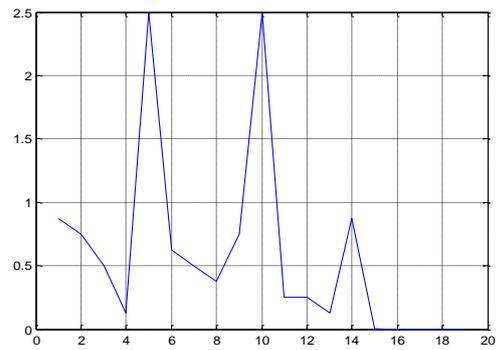
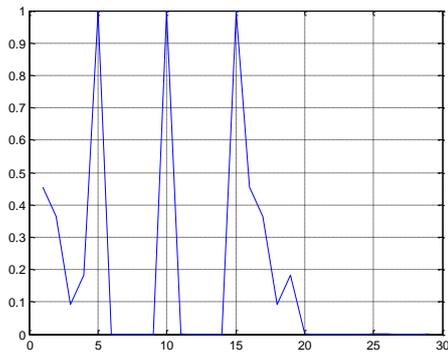
Для троичных кодовых последовательностей проведено исследование периодической и аperiodической функции неопределённости, а также функции корреляции. Результаты приведены на графиках ниже.

Проведены расчеты периодической и аperiodической ФН для полного класса троичных кодовых последовательностей $N=5$.

Сигнал на выходе с согласованной периодической и аperiodической обработки. $N=5$; $s[1\ 0\ 0\ -1\ -1]$; $w[1\ 0\ 0\ -1\ -1]$; $s[1\ -1\ -1\ -1\ 0]$; $w[1\ -1\ -1\ -1\ 1]$



Сигнал на выходе рассогласованной периодической и аperiodической обработки. $N=5$; $s[1\ 0\ 0\ -1\ -1]$; $s[1\ -1\ -1\ -1\ 0]$



При фильтрации уровень боковых лепестков равен 0. Но при этом появляются потери в отношении сигнал/шум.

В таблице 1 представлены результаты расчетов отношения сигнал\помеха при согласованной и рассогласованной обработки в отношении сигнал/шум, по сравнению с согласованной обработкой.

Таблица 1

N=5	σ_{ss}	σ_{sw}	ρ_{ss}	ρ_{sw}
[1 0 0 -1 -1]	0.81	1	1	0.73
[1 0 0 -1 -1]	0.75	2.5	1	0.71
[1 -1 -1 -1 0]	0.8	1	1	0.73
[1 -1 -1 -1 0]	0.9	2	1	0.5

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 ФИЛЬТРА В КЛАССЕ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор
К.Р. Штомпель, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Эффективность обработки дискретных сигналов определяется соотношением сигнал/помеха.

Дискретный сигнал – это сигнал представляющий собой последовательность отсчетов взятых с некоторым шагом во времени:

$$S(t) = \sum_{n=0}^{N-1} S_n P_n(t)$$

$$P_n(t) = p(t - nT_0)$$

Дискретный фильтр:

$$W(t) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n p_n(t)$$

Необходимо оптимизировать весовой коэффициент фильтра. Воспользуемся уравнением Винера –Хопфа:

$$S(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau, t) w(\tau) d\tau$$

Необходимо вместо функции $w(\tau)$ подставить его выражение:

$$S(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau, t) \sum_{n=0}^{N-1} w_n p_n(\tau) d\tau = \sum_{n=0}^{N-1} w_n \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau, t) p_n(\tau) d\tau =$$

Теперь умножаем правую и левую часть на одну и ту же функцию $p_0(t)$ и интегрируем по t

$$= \int_{-\infty}^{\infty} s(t) p_0(t) dt = \sum_{n=0}^{N-1} w_n \int_{-\infty}^{\infty} p_0(t) r(\tau, t) p_n(\tau) d\tau dt$$

Теперь рассмотрим сигнал в дискретном виде:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} s_n p_n(t) p_0(t) dt$$

Сумму выносим за интеграл:

$$\sum_{n=0}^{N-1} s_n \int_{-\infty}^{\infty} p_n(t) p_0(t) dt \left\{ \begin{array}{l} m = 0; S_0 \int_0^{T_0} 1 dt = S_0 T_0 \\ n = 1; S_1 \int_{-\infty}^{\infty} p_1(t) p_0(t) dt = 0 \\ n \geq 1; 0 \end{array} \right.$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} p_n(t)p_m(t) = \begin{cases} T_0; n = m \\ 0; n \neq m \end{cases}$$

$$S_0 T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n \iint_{-\infty}^{\infty} p_0(t)r(\tau,t)p_n(\tau) dt d\tau$$

где $\iint_{-\infty}^{\infty} p_0(t)r(\tau,t)p_n(\tau) dt d\tau = r_{0n}$

$$S_0 T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n r_{0n}$$

Для того чтобы получить второе уравнение необходимо обе части умножить на $p_1(t)$:

$$S_1 T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n r_{1n}$$

Для того чтобы получить третье уравнение необходимо обе части умножить на $p_2(t)$:

$$S_2 T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n r_{2n}$$

$$S_{N-1} T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n r_{N-1 n}$$

Получаем систему n-уравнений с n- неизвестными:

$$r_{0n} w_0 + r_{0n} w_1 + \dots + r_{N-1n} w_n = T_0 S_{N-1}$$

$$r_{1n} w_0 + r_{1n} w_1 + \dots + r_{N-1n} w_n = T_0 S_{N-1}$$

$$\dots$$

$$r_{nn} w_0 + r_{nn} w_1 + \dots + r_{N-1n} w_n = T_0 S_{N-1}$$

Можем записать это уравнение в матричном виде:

$$\begin{matrix} r_{00} & r_{01} & \dots & r_{0n} & w_0 & T_0 S_n \\ r_{10} & r_{11} & \dots & r_{1n} & w_1 & T_0 S_n \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} & w_n & T_0 S_n \end{matrix} \times$$

$$S = RW$$

Получаем формулу для расчета весовых коэффициентов фильтра: $W = R^{-1}S$ - этот фильтр обеспечивает самое большое значение сигнал/помеха.

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

Цифровые фильтры на сегодняшний день применяются практически везде, где требуется обработка сигналов, в частности в спектральном анализе, обработке изображений, обработке видео, обработке речи и звука и многих других приложениях.

В состав современных вычислительных устройств, обрабатывающих информацию технологических процессов, часто входят блоки программно или аппаратно реализованных цифровых фильтров. По виду переходного процесса

ЦФ делятся на КИХ (с конечной импульсной характеристикой) и БРПХ (с бесконечной импульсной характеристикой) фильтры

Для оптимизации фильтра используем следующий алгоритм, который мы сделали с помощью программы MATLAB.

```
X=[]
s_0=[1 -1 1]
s_1=[-1 1 -1]
% s_2=[1 -1 1]
% s_3=[1 -1 1]
s0=s_0.'
s1=s_1.'
% s2=s_2.'
% s3=s_3.'
N=length(s_0)
R=s0*conj(s_0)+s1*conj(s_1)%+s2*conj(s_2)+s3*conj(s_3)
N0=10^(-3)
I=eye(N)
P2=R+I*N0
K=inv(P2)
W=K*s0
P1=R*K
S=fliplr(s_0)
W=W.'
X=[X;cconv(W,S,N)]
X=X
figure(1);plot(X)
```

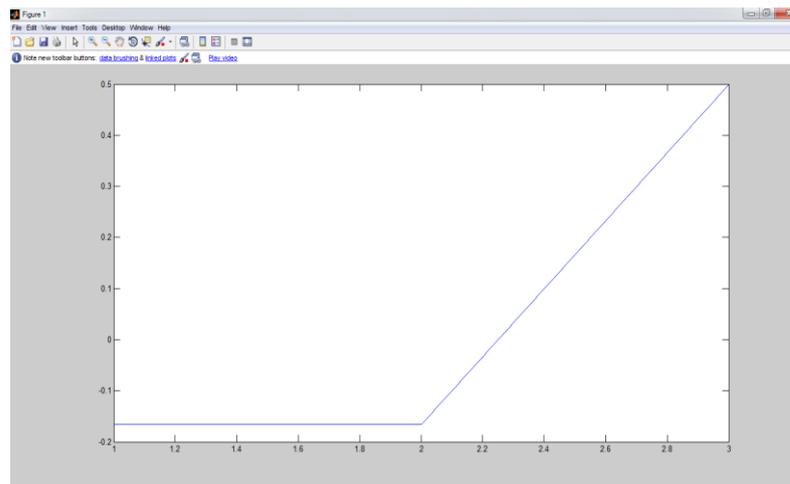


Рисунок 1 – Взаимная корреляционная функция

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М.Кошевой. Совместная оптимизация сигналов и фильтров при дополнительных ограничениях. Киев УМК ВО 1990.

THE JOINT WAVEFORM AND FILTER DESIGN FOR MARINE RADAR TASKS

V.M. Koshevyy, professor
I.Y Gorishnaya, graduate student
National university «Odessa maritime academy»

Waveforms, constructed on the base of m -Sequences, have good perspectives for being used in continuous wave radar of new generation. However, the side-lobe level of their ambiguity function does not always satisfy the requirements for separation of target vessels from other reflective objects. Therefore, along with m -Sequences it is necessary to consider other classes of waveforms with discrete modulation having the better properties of side-lobes suppression. In this paper has presented the basis of a continuous waveform with discrete modulation and filter design capable of achieving range side-lobe levels of better than in the case of m -Sequences with additional ability of clutter rejection for a given area on the Doppler-range plan, suitable for use in marine radar. Possibilities of such kind of joint waveform and filter design have been investigated.

РАСЧЕТ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ФИЛЬТРА ПРИ РАВНОМЕРНОЙ И НЕРАВНОМЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ПАРЦИАЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор
А.А. Шевченко, аспирант
Национальный университет «Одесская морская академия»

В [1] описывался метод построения системы защиты от различного рода помех в случае, когда система управляется только двумя (первым и последним) перестраиваемыми весовыми коэффициентами. Описываемый метод 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 (θ_1, θ_2) .

Выражения, описывающие приемную антенную решетку $G(\theta)$ в этом случае могут быть записаны в следующей форме:

$$\mathbf{G}(\theta) = \mathbf{G}_{N-2}(\theta) - \gamma_1(\theta) \cdot \mathbf{G}_{N-2}(\theta_1) - \gamma_2(\theta) \cdot \mathbf{G}_{N-2}(\theta_2) = \sum_{i=1}^N \mathbf{w}_i \cdot e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta} \quad (1)$$

где $G_{N-2}(\theta)$ – парциальная диаграмма направленности,

$$G_{N-2}(\theta) = \sum_{i=2}^{N-1} W_i \cdot e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta} \quad (2)$$

$$\gamma_1(\theta) = \frac{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta}}{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}; \quad \gamma_2(\theta) = \frac{e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta} - e^{-j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}} \quad (3)$$

$\varphi = 2\pi\frac{d\sin\theta}{\lambda}$ – фаза сигнала; λ – длина волны; d – расстояние между элементами антенной, θ – угол между нормалью к антенне и направлением прихода сигнала.

$(N-2)$ фиксированных весовых коэффициентов выбираются из условия соответствующего обеспечения подавления среднего уровня боковых лепестков диаграммы направленности (2) с возможным расширением главного пика антенной решетки (1).

Таким образом, общее число коэффициентов, описывающих диаграмму направленности, равно N .

Выражение для фиксированных весовых коэффициентов имеет вид [4]:

$$W_f = D^{-1} \cdot \mathbf{1} \quad (4)$$

где D^{-1} – обратная матрица; $\mathbf{1}$ – единичный вектор-столбец, состоящий из всех единиц;

Матрица D формируется следующим образом:

$$D = \sum_{L_1}^{L_2} \mathbf{1} \cdot Q_i \cdot \mathbf{1}' \cdot Q_i^* \quad (5)$$

где Q_i – диагональная матрица:

$$Q_i = \begin{bmatrix} e^{j2i2\pi\frac{d}{\lambda}\sin\Delta\theta} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j3i2\pi\frac{d}{\lambda}\sin\Delta\theta} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & e^{j(N-1)2\pi\frac{d}{\lambda}\sin\Delta\theta} \end{bmatrix}$$

$\Delta\theta_f$ – расстояние между подавляемыми точками пространственной диаграммы $G_{N-2}(\theta)$; $\mathbf{1}'$ – транспонированная матрица; L_1, L_2 – верхняя и нижняя границы подавляемых точек.

Выражения для перестраиваемых весовых коэффициентов записываются в следующем виде:

$$W_1 = \frac{G_{N-2}(\theta_2) \cdot e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1} - G_{N-2}(\theta_1) \cdot e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2}}{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}; \quad (6)$$

$$W_N = \frac{G_{N-2}(\theta_1) - G_{N-2}(\theta_2)}{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}. \quad (7)$$

На рисунке (1-a,b) показаны результаты построения парциальной ДН линейной антенной решетки, рассчитанные по формуле (5). Из рисунков видно, что в случае неравномерной коррекции происходит небольшое расширение главного пика диаграммы направленности. Для случая равномерной коррекции для расчетов принималось: $L_1 = 0, L_2 = (N - 2), N = 10$. Для случая не равномерной коррекции для расчетов принималось: $L_1 = 3, L_2 = (2N - 3), N = 10$.

В результате расчетов были получены следующие значения для фиксированных весовых коэффициентов: $W_2 = 8.0191, W_3 = 3.7902, W_4 = 3.7902, W_5 = 3.1111, W_6 = 3.1111, W_7 = 3.7902, W_8 = 3.7902, W_9 = 8.0191$.

Сравнив полученные графики с графиками, полученными в [1], очевидно, что предложенный алгоритм подавления боковых лепестков ДН в заданных точках эффективен и требует дальнейших расчетов.

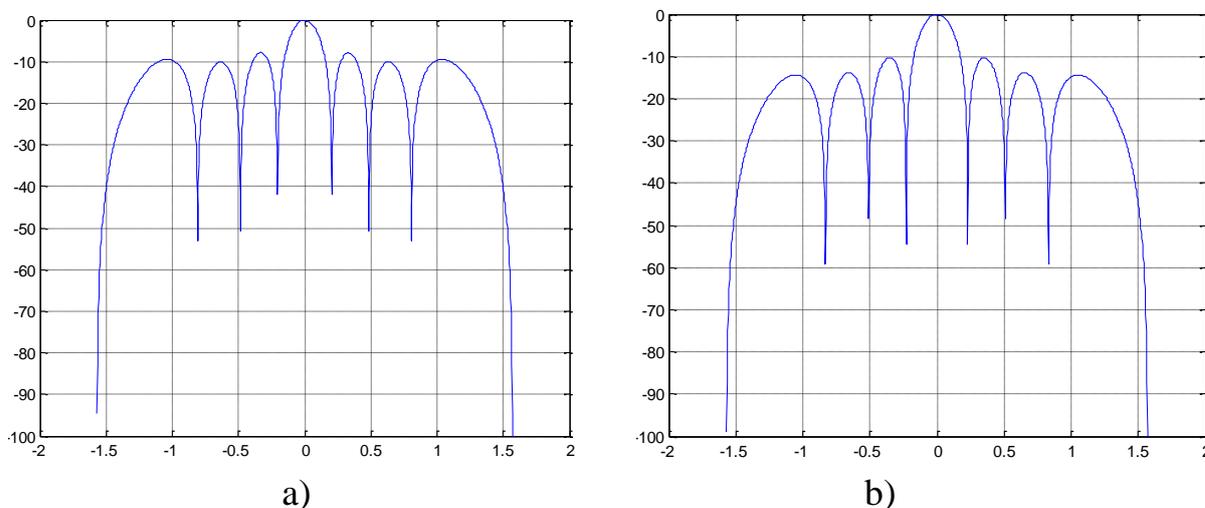


Рисунок 1 – Парциальная диаграмма направленности линейной антенной решетки ($N=10$): а – равномерная коррекция, б – неравномерная коррекция

ЛИТЕРАТУРА

1. V. Koshevyy, A. Shershnova, 2013, The formation of zero levels of Radiation Pattern linear Antennas Array with minimum quantity of controlling elements, Proc. 9 Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT-13), Odessa, Ukraine, pp.264-265.
2. Кошевой В.М., Свердлик М.Б. О возможностях подавления боковых лепестков взаимной функции неопределенности в заданной области. – «Радиотехника и электроника», 1974, 19, №9.
3. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. М., «Советское радио», 1974
4. 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
5. В.М. Кошевой, Синтез систем селекции движущихся целей при ограничениях на размер обрабатываемой матрицы – Том XXV, №3 Известия ВУЗов СССР – Радиоэлектроника 1982.

КОМПЛЕКС ЗАХОДІВ КІБЕРБЕЗПЕКИ ДЛЯ «ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

С.А.Михайлов, д.т.н., професор
Д.А.Салабутина, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Морська навігація в даний час сильно залежить від супутникових навігаційних систем, таких, як глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) GPS, ГЛОНАСС, Galileo та інші. Можна сказати, що електронна навігація пропонує морякам переваги в ширших масштабах, ніж сама навігація, так як пропонує більш ефективні канали зв'язку. Її переваги є одним з найсильніших аргументів для впровадження інноваційних технологій при вирішенні питань електронної навігації, так як при цьому вельми високий потенціал економічного зростання.

Можливо, однією з найбільш цікавих і перспективних інновацій, пропонованих технологіями електронної навігації для задоволення виникаючих потреб мореплавців, є «морська хмара».

«Морська хмара» складається з стандартів, інфраструктури і прикладів реалізації послуг, що разом з управлінням дозволяють ефективно обмінюватися інформацією між кваліфікованими морськими службами через спільні інформаційні послуги, використовуючи високо автоматизовані інтерфейси для різних варіантів зв'язку, підвищення загальної комунікації, пов'язаних «причал з причалом» навігації і пов'язаних з ним послуг охорони і безпеки на морі, а також захисту морського середовища.

З появою інформаційних технологій на перший план вийшли питання забезпечення безпеки та конфіденційності інформації. Основні загрози безпеки при використанні «хмарних технологій» пов'язані з перехопленням інформації спецслужб, комерційних підприємств і приватних осіб, крадіжкою оплаченого часу з'єднання, втручанням в роботу інформаційно-телекомунікаційних систем, несанкціонованим доступом до конфіденційної інформації та ін.

Метою роботи є удосконалення систем забезпечення інформаційної безпеки в безпроводних системах радіо доступу в інформаційно-телекомунікаційні мережі. З цією метою створені і запропоновані моделі багаторівневого захисту і формалізовані процедури організації багаторівневого захисту інформації в «хмарних технологіях».

Один з підходів забезпечення безпеки «хмарних технологій», полягає в побудові глибоко ешелонованої безпеки мережі. Добре відомо, що захист будь-якої мережевої інфраструктури одними лише методами створення охоронюваного периметра неефективна, оскільки найчастіше найбільш небезпечні атаки викликані факторами всередині мережі, наприклад:

– протиправними діями власних співробітників;

- впровадженням шкідливих програм (вірусів, троянів, тощо);
- застосуванням однорангових комунікацій в каналі зв'язку;
- діями гостей компанії, які отримали доступ до мережі.

При побудові системи кібербезпеки “хмарних технологій” потрібно використовувати основні механізми захисту, до яких відносяться:

- контроль доступу;
- аутентифікація користувачів;
- шифрування трафіку;
- система запобігання вторгненням в безпроводну мережу;
- система виявлення чужих пристроїв і можливості їх активного придушення;
- моніторинг спотворення сигналів і DoS-атак;
- моніторинг вразливостей в безпроводній мережі та можливості аудиту вразливостей;
- функції підвищення рівня безпеки інфраструктури безпроводної мережі, наприклад, аутентифікація пристроїв (X.509 і т.д.), захист даних управління - MFP (Management Frame Protection).

Таким чином в даній роботі сформульовано пропозиції щодо розвитку і вдосконалення систем безпеки без проводних інформаційно-телекомунікаційних мереж на основі моделі багаторівневого захисту. Ця модель визначає набір рівнів або профілів захисту інформаційної системи. Коректна організація захисту на кожному з виділених рівнів дозволяє вберегти систему від реалізації загроз інформаційної безпеки. У багаторівневий захист входять фізичний захист, захист мережі, захист вузлів, захист консультувальних додатків і захист даних в мережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nick Lemon. E-Nav advances. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ July, 2015. – London -UK: Stephens&George, MerthyrTydfil, 2015. – № 7. – p. 10 – 11.
2. <http://efsol.ru/technology/cloud-technology.html>
3. <http://saratov.ito.edu.ru/2013/section/207/92664/>

Матеріали
науково-методичної конференції

"Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки"

29.11.2016 – 30.11.2016

Комп'ютерна верстка *Глазева О.В.*

Підписано до друку 28.12.2016. Формат 60×84/16.
Обл.-вид. арк. 20,8. Наклад 220. Зам. № И17-02-17.

НУ «ОМА»
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8
тел./факс: (0482) 34-14-12
publish@ma.odessa.ua