cigré
ПОДКОМИТЕТ D2
РНК СИГРЭ
Информационные системы и телекоммуникации

cigré
Российский Национальный Комитет

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОЛЛОКВИУМ – 2017
SC D2 CIGRE

20–22 СЕНТЯБРЯ 2017 ГОДА

ВПЕРВЫЕ В РОССИИ
СОСТОИТСЯ КОЛЛОКВИУМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМИТЕТА (SC) D2 CIGRE

ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ!

- **ПАРТНЕРЫ КОЛЛОКВИУМА:** ПАО «ФСК ЕЭС», АО «НТЦ ФСК ЕЭС», АО «СО ЕЭС»
- **В МЕРОПРИЯТИИ УЧАСТВУЕТ** 55 спикеров из 21 страны мира
- **СРЕДИ УЧАСТНИКОВ** представители крупнейших мировых электроэнергетических компаний и ведущих производителей оборудования из России, Японии, США, Германии, Франции, Испании, Италии, Нидерландов, Швеции, Финляндии, Словении, Сербии, Южной Кореи, Индии, Бразилии, ЮАР

/ ЦЕЛЬ КОЛЛОКВИУМА

- Обеспечение международного обмена информацией между участниками мирового энергорынка

/ ТЕМЫ КОЛЛОКВИУМА

- Программные платформы управления распределенными энергоресурсами
- Устойчивость к киберугрозам информационных и телекоммуникационных систем в электроэнергетике
- Высоконадежная инфраструктура связи для традиционных и новых приложений в энергетике

Регистрация и подробная информация:

www.d2_rus.cigre.ru
E-mail: **colloq2017@cigre.ru**

В НОМЕРЕ

CONTENTS

ОБЩИЙ ВЗГЛЯД

Революция в сфере автоматизации: фокус на soft skills
Патрик Мак-Ги (Patrick McGee) | Financial Times — 4

BIRD'S EYE VIEW

Automation Revolution Puts Focus on "Soft Skills",
by Patrick McGee | Financial Times

ВСТРАИВАЕМЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Эволюция IFEC – бортовых информационно-развлекательных и связных систем
по материалам Cabin Management Systems — 7

IFEC Evolution,
by Cabin Management Systems Materials

«РТСофт» представил беспроводные IFE-системы для российских авиакомпаний и производства самолётов
по материалам АО «РТСофт» — 11

RTSoft presented In-Flight Entertainment and Connectivity Systems for Russian Airlines and Aircraft Manufactirers,
by RTSoft Materials

Российские ПК для операторных: российские или импортные? Низкошумные или безвентиляторные?
Олег Холодный | АО «РТСофт» — 14

Industrials PCs for Operating Rooms: Domestic or Foreign? Low-noise or Fanless?,
by Oleg Kholodnyi | RTSoft

ПРОЦЕССОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Архитектура Firmware систем на базе архитектуры ARMv8, Аурига
Сергей Темерханов | Auriga Inc.
Игорь Починок | НИВЦ МГУ — 20

PROCESSOR TECHNOLOGIES

Firmware Architecture of ARMv8-based systems,
by Sergey Temerkhanov | Auriga Inc. and Igor Pochinok | MSU RCC

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Обзор открытых сетевых стандартов
Алекс Хенторн-Айвейн (Alex Henthorn-Iwane) | QualiSystems — 25

SOFTWARE

A Survey of Open Networking Standards,
by Alex Henthorn-Iwane | QualiSystems

ИУС ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Синхронизация и координация работы систем управления и сбора данных на экспериментальной термоядерной установке «Токамак Т-15»
Галина Кузьмина, Юрий Моцкин | АО «РТСофт»
Михаил Соколов, Пётр Хвостенко | НИЦ «Курчатовский институт» — 33

INDUSTRIAL ENTERPRISE AND INFRUSTRUCTURE IMSs

Control and Data Acquisition Systems Synchronization and Coordination at the Experimantal Thermonuclear Facility TOKAMAK T-15,
by Galina Kuzmina and Yuri Motskin | RTSoft
Mikhail Sokolov and Petr Khvostenko | NRC «KURCHATOV INSTITUTE»

ИУС ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

«РТСофт» на выставке «Электрические сети России 2016»
по материалам АО «РТСофт»

РНК СИГРЭ на 46-й сессии СИГРЭ
Ольга Синенко, Андрей Вериго | АО «РТСофт»

Оптимизация электрического режима распределения энергосистемы по реактивной мощности и направленности на основании измерений
Николай Шубин | АО «РТСофт»
Алексей Небера | АО «РТСофт»
Иван Абраменко | АО «РТСофт»

Управление микросистемами через ВИЭ с инверторами
H. R. Pota | School of Engineering and Information Technology (SEIT), The University of New South Wales, и др.

POWER INDUSTRY IMSs

39 **RTSoft at *Electric Network of Russia 2016* Exhibition,**
by RTSoft Materials

43 **RNC CIGRE at 46 CIGRE Session,**
by Olga Sinenko and Andrei Verigo. | RTSoft

50 **Measuring-Based Optimization of Distributed Power System Electric Condition by Voltage and Reactive Power,**
by Nikolai Shubin | RTSoft
Alexei Nebera | RTSoft
Ivan Abramenko | RTSoft

55 **Control for Microgrids with Inverter Connected Renewable Energy Resources,**
by H. R. Pota | School of Engineering and Information Technology (SEIT), The University of New South Wales, at al.

НОВОСТИ

Универсальная вычислительная платформа для специальных применений «Интегро» успешно прошла испытания

Программное обеспечение «РТСофт» собственной разработки внесено в реестр отечественного ПО

MARKET NEWS

24 ***Integro* Universal Computer Platform for Special Applications Passed the Test to Satisfaction**

54 **RTSoft In-House Software Was Entered in the Domestic Software Register**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Синенко О. В. – председатель редакционного совета, генеральный директор АО «РТСофт», д. т. н.

Егоров А. А. – начальник научно-учебного Центра МАИ «Интеллектуальные системы измерений, контроля и управления в промышленности», профессор АВН РФ, к. т. н.

Золотарёв С. В. – ведущий эксперт компании «Фиорд», к. т. н.

Итенберг И. И. – генеральный директор и главный конструктор ОАО «НКБ ВС», к. т. н.

Куцевич Н. А. – технический директор АО «РТСофт», д. т. н.

Рыбаков А. Н. – технический директор АО «РТСофт»

Сюзев В. В. – зав. кафедрой, профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана, д. т. н., лауреат премии правительства в области образования

Шагурин И. И. – заместитель заведующего кафедрой, профессор МИФИ, д. т. н.

РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор – **Зеленова Т. И.**

ЭКСПЕРТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ:

Встраиваемые компьютерные технологии – **Якшин Ю. Н.**

Программное обеспечение – **Жданов А. А.**

ИУС для промышленных предприятий и инфраструктурных объектов – **Ханыгин А. Н.**

ИУС для энергетики – **Небера А. А.**

Ответственный за вёрстку – **Журавлева А. В.**

Подписка и распространение – **Лазарева Т. Н.**

Тираж 900 экз., цена свободная.
«Мир компьютерной автоматизации. Век XXI»
Computer Automation World
№1 (110) 2017

Издаётся с 1995 года.
Выходит 4 раза в год.

Учредитель: ЗАО «СПА»
Адрес: 105077, Москва, а/я 158
Телефон: 8 499 271-32-32
Факс: 8 495 748-68-29

mka@rtsoft.ru
www.mka.ru

Оформить подписку можно через редакцию по тел. 8 499 271-32-32

Революция в автоматизации: фокус на **soft skills**

Патрик Мак-Ги (Patrick McGee) | Finantial Times

Учебники по профессиональной ориентации не учат тем навыкам, которых ждут от вас начальники.

В настоящее время студенты, будущие разработчики автомобилей, начинают понимать, что для поддержания своей профессиональной востребованности в будущем нужно расширять горизонты своих знаний, как за пределы своей специализации, так и в сторону новых технологий, коммуникационных навыков и навыков конструирования.

Возьмём, к примеру, автопроизводителей, которые спонсируют аспирантскую программу по развитию новых технологий в области автомобилестроения в Международном центре Клемсонского университета в Гринвиле (Южная калифорния, США). Им больше не нужны инженеры-механики, химики и компьютерщики – они ищут инженерные кадры, у которых есть сумма этих навыков плюс соответствующее интегрированное мышление.

«Нам нужны инженеры, которые обладают сквозными междисциплинарными знаниями», – говорит Пол Венховенс (Paul Venhovens), заведующий спонсируемой BMV кафедрой по интеграции автомобильных систем.

На профессиональном жаргоне такие специалисты называются «Т-образными» (T-shaped): вертикальная линия означает глубину профессиональных знаний, а горизонтальная – способность проникать сквозь технические и культурные барьеры, что способствует появлению инноваций. Это так называемое soft skills – «умение быть гибким» (собирательный термин, ссылающийся на множество вариантов поведения, которые помогают людям в работе – прим. Пер.). Мистер Венховенс говорит, что soft skills приобретает всё большую и большую важность, добавляя: «Я не могу этому научить с помощью учебника».

Чтобы соответствовать меняющимся требованиям, он дал студентам задание – за два года продумать, разработать и построить концептуальный автомобиль. Новейший автомобиль, родившийся в рамках этой программы, был анонсирован в апреле 2016 года. Его разработка спонсировалась корпорацией Toyota. Новинка примечательна тем, что при её создании повсюду, где можно, использовалась композиционная ткань на базе углеродного волокна, что позволило существенно снизить вес автомобиля.

Опытный образец представляет собой молодёжный многофункциональный автомобиль, задача которого не только проехать от точки А до точки В. Сиденья могут трансформироваться для перевозки пассажиров, доставки грузов или превращения машины в мобильный офис, а электронная трансмиссия автомобиля – механизм между двигателем и мостом – может служить источником энергии для электронных устройств и инструментов.

Данный концепт – пример того, как технология преобразует автомобильную отрасль. От чего питается автомобиль, как он сделан и кто его покупатель – всё подлежит переоценке. В краткосрочной перспективе это скажется благоприятно на занятости, поскольку автопроизводители и поставщики комплектующих тратят огромные деньги на исследования и разработки.

«Все нанимают работников, – говорит Давид Рименшнайдер (David Riemenschneider), директор Hampleton Partners – консультативной фирмы по слияниям и поглощениям, которая обслуживает технологические компании. – Все передовые компании пытаются обскакать друг друга».

Господин Рименшнайдер говорит, что General Motors стремится купить свою дорогу в новую эру, покупая за 500 млн долл. долю в Lyft — частной компании из Сан-Франциско, позволяющую пассажирам находить с помощью интернет-сайта или мобильного приложения водителей, сотрудничающих с её сервисом такси (car sharing service) и готовых подвезти их за умеренную плату. Кроме того, General Motors заплатила более 1 млрд долл. за стартап по разработке автомобилей-беспилотников. «Это сродни дикому западу. Каждый делает вещи по своему разумению и как хочет», – добавляет он.

Занятость в автомобильной отрасли США постоянно растёт с середины 2009 г., поднявшись с 623000 до 920000 рабочих мест, согласно информации от Бюро трудовой статистики. В соответствии с краткосрочным прогнозом, производство автомобилей, а соответственно и занятость будут расти.

«Сейчас США почти на пике экономического цикла, но спрос в глобальном масштабе по-прежнему растёт, да и Китай охвачен ещё недостаточно», – говорит Ефраим Леви (Efraim Levy), независимый аналитик из информационно-аналитической компании S&P Global Market Intelligence.

«Даже если в производстве всё большую роль будут играть роботы, в глобальном масштабе в течение ближайших 5–10 лет суммарная занятость будет расти», – добавляет он.

Более долгосрочный прогноз менее утешителен. Движение в сторону автоматизации рождает тенденцию снижения зарплаты низкоквалифицированных работников и «угрозу занятости работников средней квалификации», – говорится в отчёте банка UBS.

Запрос на адаптивных работников будет расти, как показала в своём отчёте 2016 года корпорация BMW, где прогнозируется уменьшении её 30000-го штата программистов на 20% сегодня и вдвое через 5 лет. А в отчёте UBS говорится, что дорогой интенсивный труд будет заменён роботами и умным программным обеспечением.

Могущество сварки: автоматизация, вероятно, повлияет на перспективы работников средней квалификации (Мэтью Буш (Matthew Busch)/Blumberg)

Михаэль Брехт (Michael Brecht), глава трудового совета компании Daimler, призвал к «новой политике гуманизации», дающей гарантии того, чтобы машины работали «рука об руку» с людьми, а не вместо них. В результате возможно появление новых профессий типа «консультант роботов» (robot consultant) или «инфохудожник» (data artist), то есть бизнес-аналитик, специалист, который создаёт графы, графики, диаграммы, схемы, таблицы, инфографику и другие визуальные инструменты, которые помогают понимать сложную информацию.

Такая деструкция будет кардинальной. Аналитики из Barclays признают, что к 2040 году количество владельцев легковых авто в США сократится вдвое, поскольку в экономике совместного потребления (sharing economy) получат распространение самоуправляемые автомобили. Поскольку водители становятся пассажирами, а владельцы автомобилей – пользователями, профессии, которые фокусируются на создание отличительных особенностей одного автомобильного бренда от другого, находятся под угрозой исчезновения.

В автомобильной отрасли прогнозируется массовая потеря рабочих мест

Господин Рименшнайдер видит будущие автомобили в виде самоуправляемых «капсул» (pod model), которые движутся и паркуются на расстоянии нескольких дюймов друг от друга. Отличаться автомобили могут только своими интерьерами.

«В сфере производства автомобилей неотвратима массовая потеря рабочих мест, – говорит он. – Если всё конструируется в расчёте на оптимальный транспортный поток и парковку, начинается теряться потребность в особом автомобильном бренде».

Новые профессии, которых нет сегодня, возникнут в сфере программного обеспечения и услуг. Например, компания Ride-Cell, стартап из Сан-Франциско, сфокусировалась на «администрировании беспилотного флота» (autonomous fleet management) – программном обеспечении для регулирования потока автомобилей и прочих транспортных средств. Однако и здесь погоня за эффективностью, на что и нацелено данное ПО, приведёт к исчезновению традиционной работы.

«Что сейчас менее понятно в сфере автотранспорта, так это доля ручной работы в сервисе кар-шеринга (car sharing), – говорит Аарджав Триведи (Aarjav Trivedi), исполнительный директор Ride-Cell. – В кар-шеринге есть типовая норма – один работник (оператор) на каждые 40 перевозок. Программы от Ride-Cell нацелены на сокращение этого соотношения до одного работника на каждые 10000 перевозок».

«Массовая потеря рабочих мест видится весьма вероятной и неизбежной, – говорит он. – Стремительно упадёт и стоимость поездок, позволяя большему числу людей путешествовать по своим надобностям. Полагаю, что нам нельзя недооценивать, что это значит для общества».

Арунпрасад Нандалкумар (Arunprasad Nandalkumar), аналитик консалтинговой фирмы Frost&Sullivan, говорит, что величайший убийца рабочих мест – это автоматизация, и не только в производстве. «В сфере такси на зарплату водителей уходит 60% стоимости всех затрат на поездки, – говорит он. – Как только автомобили станут беспилотными, службы такси сэкономят 60 %».

Тем не менее господин Нандалкумар сохраняет надежду на то, что эта революция не убьёт занятость. «Я бы никогда не сказал, что беспилотный транспорт – плохая новость для занятости. Да, он отнимет работу у водителей, но родятся новые виды деятельности и новые специальности. Одна дверь закрывается, другая – открывается», – заверяет он.

Патрик Мак-Ги (Patrick McGee) | Finantial Times

Источник:

Automation revolution puts focus on ‘soft skills’. Financinal times. Wednesday, 11 May 2016

Эволюция IFEC – бортовых информационно-развлекательных и **связных систем**

По материалам Cabin Management Systems

В течение многих лет бортовые развлекательные системы помогали пассажирам авиарейсов не скучать во время долгого полёта. В последние годы массовое использование мобильных устройств, таких как смартфоны, планшеты и ноутбуки породило новый тренд – на борту самолёта пассажирам предлагаются возможности Wi-Fi-связи. Теперь они могут подключаться к сети и получать информационный и развлекательный контент на свои персональные устройства.

Уже почти сто лет авиакомпании знают, как хорошо влияют на впечатления авиапассажиров бортовые развлекательные системы (IFE – In-flight Entertainment). Сначала – просто пианино в салоне дирижабля, а ныне – бортовые информационно-развлекательные системы в сочетании с возможностями подключения к сетям – **In-Flight Entertainment and Connectivity (IFEC)**. После второй мировой войны всё большее распространение на воздушных судах получили проекторы, с помощью которых пассажиры могли смотреть во время полёта кинофильмы. К 90-ым годам прошлого века каждый пассажир был вправе ожидать, что в его распоряжении будет индивидуальный разъём для подключения наушников – чтобы лучше слышать звук демонстрируемого кино. Всего через несколько лет у каждого пассажира был индивидуальный экран, не зависящий от других экранов, установленных на данном самолёте, благодаря чему любой пассажир мог смотреть всё, что он в данный момент хочет.

Сейчас люди привыкли быть на связи со всем миром круглосуточно и непрерывно. Это ставит перед авиастроителями трудную задачу – соответствовать потребностям пассажиров иметь такую же возможность на борту самолёта. Эти усилия привели к превращению бортовых развлекательных систем (IFE) в бортовые системы развлечений и связи (IFEC).

Благодаря IFEC-системам у пассажиров теперь есть как никогда большой выбор возможностей. Теперь они могут пользоваться своими компьютерами так же, как и на земле – «бродить» по Интернету, посылать электронные письма, слушать музыку и смотреть фильмы в режиме онлайн и многое другое. На некоторых самолётах уже устанавливаются различные intranet-системы, с помощью которых пассажиры могут звонить другим пассажирам, просто набирая на клавиатуре номер места другого пассажира, играть с другими пассажирами в игры и контактировать с обслуживающим персоналом самолёта для заказа еды, напитков и других продуктов.

Например, компания International Communications Group (ICG) в сотрудничестве с компанией Flight Display Systems (FDS) разработали передовое IFE-решение, в котором мощный интеллектуальный бортовой маршрутизатор eRouter от ICG объединяется с беспроводным потоковым мультимедийным стримером следующего поколения JetJukebox от FDS.

Маршрутизатор eRouter от ICG предлагает такие же возможности, как и в обычных корпоративных офисных сетях, что позволяет пассажирам-бизнесменам решать свои неотложные бизнес-проблемы непосредственно на борту лайнера. А вот беспроводной мультимедийный стример JetJukebox больше подходит для тех пассажиров, которые хотят расслабиться. В их распоряжении – обширный массив аудио- и видеоконтента для загрузки, прослушивания и просмотра в отличном качестве. Поддерживаются операционные системы iOS, Android или Windows, что даёт практически бесконечные варианты развлечений.

IFEC-системы – неизбежное будущее воздушных путешествий. Чтобы через несколько следующих лет не растерять свою конкурентоспособность, авиаперевозчикам пора думать о том, как внедрить IEFC-системы на своих воздушных судах (см. врезки «Глобальный спрос на IFC продолжает расти» на **стр. 9** и «Расходы на IFC-связь достигнут к 2025 году 5 млрд долларов» на **стр 10**).

Источник:

http://cabinmanagementsystems.com/2015/09/the-evolution-of-ifec-in-flight-entertainment-and-connectivity/

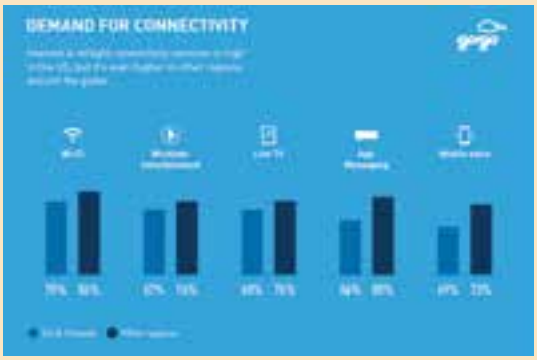

Рис. 1. Статистика спроса на коммуникационные услуги на борту самолёта, такие как Wi-Fi, развлекательный контент по радиосвязи (Wireless entertainment), ТВ в прямом эфире (Live TV), мессенджеры (App Messaging), голосовая мобильная связь (Mobile voice) *(данные за 2015 год)*

Рис. 2. Количество устройств с Wi-Fi-связью в млрд штук, взятых пассажирами в самолёт *(данные за 2015 год)*

Рис. 3. Спрос на бортовую связь за пределами США растёт. На диаграмме – глобальный рост числа авиапассажиров с 2009 по 2014 гг. (млрд)

Глобальный спрос на IFC продолжает расти

Согласно проведённым компанией GOGO исследованиям, рынок IFE&C (In-Flight Connectivity and Entertainment) продолжает бурно расти и управлять поведением авиапассажиров.

Исследования показали, что при выборе авиарейсов более половины путешественников всего мира учитывают такой фактор, как наличие на борту сети Wi-FI.

Что касается США, то рынок бортовых сетей Wi-FI и беспроводного информационно-развлекательного контента, предлагаемого пассажирам во время полёта, близок к насыщению. Однако интерес к подобным услугам во всём остальном мире, развитие которого находится пока на ранней стадии, даже выше, чем в США. Так, если потребность в IFC есть у 75% американцев и канадцев, то интерес к такой услуге со стороны пассажиров из других стран достигает 86%. «Беспроводные развлечения» интересуют 67% американцев и канадцев и 76% путешественников остального мира.

Продолжает также расти потребность пассажиров в работе на борту самолёта хотя бы с одним устройством с Wi-Fi-связью **(рис. 1)**. По последним данным, такие устройства берут с собой в самолёт 90% авиапутешественников всего мира **(рис. 2)**. Если это смартфоны и планшеты, то большая часть их работают под ОС Android. Количество смартфонов с Android у пассажиров коммерческих авиарейсов более чем в два раза превышает число смартфонов IPhone.

Такая повсеместная потребность в доступе к связи неудивительна. Сейчас на земле почти не осталось мест, где люди не могли бы связываться друг с другом, и самолёт – это последняя «осваиваемая территория». Что больше всего удивило рыночных аналитиков из GOGO, так это то, что спрос на возможности связи на борту самолётов у пассажиров других стран выше, чем в США и Канаде **(рис. 3)**. Причём рынок зарубежных авиаперелётов исследовался лишь «по касательной». И это хорошая новость для международных авиаперевозчиков и поставщиков соответствующего оборудования и средств связи.

Источник:

http://concourse.gogoair.com/infographic-global-demand-flight-connectivity-continues-soar/

Расходы на IFC-связь достигнут к 2025 году 5 млрд долларов

В своём недавнем отчёте ««Перспективы IFE&C») ведущая мировая консалтинговая фирма в области спутниковых и авиакосмических систем Euroconsult сообщила о том, что доход от услуг IFC (In-Flight Connectivity) вырастет, по прогнозам, от 700 млн долл. в 2015 г. до почти 5,4 млрд к 2025 г.

Геофрой Штерн (Geoffroy Stern), старший консультант Euroconsult и редактор данного отчёта, сказал: «В конце 2015 года на самолётах 72-х авиалиний уже установлено или планировалось установить IFC-системы, а число таких бортов на коммерческих рейсах возросло по сравнению с 2014 г. на 21%».

Ожидается, что на рынке IFC-систем доминирующую роль в обоих диапазонах частот, Ku и Ka, станут играть HTS-спутники (High-throughput satellite – спутники с высокой пропускной способностью).

Общая пропускная способность HTS-спутников в Ka-диапазоне возрастёт к 2018 году втрое (по сравнению с 2015 г.), достигнув 1500 Гбит/с, а в Ku-диапазоне – пятикратно, достигнув в 2018 году 285 Гбит/с.

После 2018 года ожидается, что спутники, ориентированные на рынок IFC, будут обладать ещё большей ёмкостью. Системы на базе HTS-спутников будут не только передавать информацию значительно быстрее по сравнению с традиционными спутниковыми системами, но и значительно дешевле стоить, что будет способствовать дальнейшему расширению IFC-услуг.

IFC-связь

«С увеличением количества авиалиний с услугами IFC-связи, всё большее число компаний, у которых пока нет таких услуг, будет вынуждено включить их портфель своих предложений», – отметил Штерн.

Количество коммерческих самолётов с IFC-связью вырастет, по прогнозам, с 5300 в 2015 году до 23100 в 2025 г., что составит 62 % всего мирового авиапарка.

Эти цифры превышают предыдущий прогноз Euroconsult, что связано главным образом с тем, что ожидается более быстрое внедрение решений на базе технологии VSAT (Very Small Aperture Terminal) – малых земных станций спутниковой связи, как для диапазона Ku, так и диапазона Ka.

В целом, по оценке Euroconsult, пропускная способность VSAT вырастет с 2 Гбит/с в 2015 г. до 120 Гбит/с в 2015 г.

Помимо возможностей подключения к сетям на борту самолёта, вырисовывается концепция «умного самолёта» (smart plane). Благодаря всё более широкому внедрению IFC и технологическим инновациям в различных аспектах авионики, современные авиалинии могут не только предлагать новые услуги пассажирам, но и оптимизировать работу систем лайнера.

Самолёты с IFC-связью или «умные самолёты» – это авиалайнеры нового поколения, которое рассматриваются как узлы в очень широкой сети взаимосвязанных систем.

Несмотря на свою нынешнюю «инфантильность», ожидается, что «умный самолёт» или концепция самолётов с электронными возможностями (e-Enabled aircraft concept) получит развитие в самом ближайшем будущем, что откроет новые невиданные возможности для широкого спектра рыночных игроков.

Источник:

http://www.getconnected.aero/2016/02/euroconsult-says-inflight-connectivity-to-surpass-5bn-by-2025/

«РТСофт» представил беспроводные информационно-развлекательные системы (IFE) для российских авиакомпаний и производителей самолётов

По материалам АО «РТСофт»

28 октября 2016 года компания «РТСофт» при участии партнёров Kontron, Intel, «СТЭК. КОМ» и «СВД Встраиваемые Системы» провела семинар «Современные технологии и решения для создания бортовых беспроводных систем развлечений и связи (IFE & Connectivity) на воздушном транспорте. Продукты и системы для разработки перспективного радиоэлектронного оборудования для гражданской авиации».

На семинаре был представлен мировой и отечественный опыт разработки и внедрения систем IFE & C (Inflight Entertainment and Connectivity) для самолётов Airbus A320/330, Boeing 737, ERJ 190, SSJ-100 на базе оборудования, сертифицированного на соответствие стандарту FAA/DO-160. Кроме того, было рассказано о технологиях ускоренного проектирования радиоэлектронного оборудования (РЭА), в том числе для автоматизированных систем управления, о микропроцессорных технологиях и специализированном ПО.

Участниками мероприятия стали руководители и IT-специалисты авиакомпаний, авиапредприятий, а также компаний-разработчиков РЭА и других предприятий авиационной промышленности (**рис.1**).

Открыли семинар директор отделения ВКТ «РТСофт» Надежда Соседко и директор по маркетингу ВКТ Юрий Якшин (**рис. 2**). Они рассказали о кооперации «РТСофт» с отечественными и зарубежными партнёрами для создания перспективных IFE-систем на воздушном транспорте в России, а также о тенденциях развития рынка и базовых стратегиях внедрения решений IFE & C в нашей стране.

Доклады вице-президента компании Kontron Кевина Роадса, руководителя направ-

Рис. 1. Участники семинара – IT-специалисты предприятий авиационной промышленности»

Рис. 2. Открыли семинар директор отделения ВКТ «РТСофт» Надежда Соседко и директор по маркетингу ВКТ Юрий Якшин

Рис. 3. Выступают топ-менеджеры компании Konron: Кевин Роадс, Энди Мейсон и Хелин Эйкурт (слева направо)

ления технологических платформ департамента авионики Энди Мейсона и проектного менеджера Хелины Эйкурт (**рис. 3**) были посвящены опыту и возможностям холдинга, одного из мировых лидеров в области разработки оборудования для IFE-систем, а также особенностям и преимуществам использования сертифицированных продуктов Kontron. В ходе выступления были представлены примеры систем и проектов на основе 30-летнего опыта Kontron в области разработки авионики и IFE-оборудования для Lufthansa Systems, THALES, GOGO, GLOBAL EAGLE (ROW44) и других компаний для оснащения самолетов Airbus A320/330, Boeing 737/757/767, E 190 и прочих воздушных судов

Об опыте внедрения спутниковой связи и видеоконференцсвязи на воздушном транспорте в России и примере успешно реализованного проекта на самолётах Sukhoi Superjet-100 рассказала директор по работе с заказчиками на воздушном транспорте «СТЭК.КОМ» Елена Лю-Кэ-Сю (**рис. 4**).

На семинаре была также затронута тема разработки программного обеспечения (ПО) для создания информационно-развлекательных систем. Алексей Исаев, директор направления системного ПО компании «РТСофт» (**рис. 5**), рассказал о возможностях «РТСофт» по разработке ПО такого типа и представил один из наиболее интересных реализованных проектов – информационно-развлекательную систему «СИРИУС» для российских самолётов.

В рамках сессии для разработчиков радиоэлектронного оборудования с докладом выступил Александр Ковалёв (**рис. 6**), директор по развитию бизнеса «РТСофт». Он рассказал о ключевых технологиях ускоренного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) для перспективных проектов с применением «компьютеров-на-модуле» в стандартах COM Express и SMARC на многоядерных процессорах Intel Xeon E3 и Xeon D-1500 (по стандарту PICMG COM.0 Rev 3.0 Type 7).

Игорь Рудым, менеджер по встраиваемым решениям корпорации Intel, представил новейшие процессоры Intel Core 6-го поколения, Xeon и Atom для разработчиков отечественных встраиваемых решений.

Рис. 4. Докладывает Елена Лю-Кэ-Сю – директор по работе с заказчиками на воздушном транспорте «СТЭК.КОМ»

Рис. 5. Алексей Исаев («РТСофт») рассказал о возможностях «РТСофт» по разработке ПО для IFE-систем

О стандартных и заказных сертифицированных системных платформах «РТСофт» и партнёрах для создания перспективных АСУ рассказали директор направления Артур Меликсетян и менеджер направления системных платформ Олег Холодный.

Владимир Бретман, директор направления «РТСофт», представил новейшие продукты стандартов CompactPCI и VPX для построения современных высокопроизводительных систем.

Доклад технического директора «СВД Встраиваемые Системы» Сергея Зыля был посвящён перспективам применения технологической платформы КПДА/QNX в бортовых авиационных системах.

В рамках мероприятия прошла выставка, на которой участники могли ознакомиться и вживую, при помощи собственных мобильных устройств, протестировать работу IFE-системы от компании Kontron. Аппаратная часть системы была представлена бортовым сервером ACE Flight 4600 и двумя беспроводными точками доступа Cab-n-Connect A100 (**рис. 7**). Всё оборудование квалифицировано в соответствии со стандартом DO-160, обладает необходимыми сертификатами и лицензиями для использования в России и за рубежом.

Рис. 6. Александр Ковалёв из «РТСофт» рассказал о ключевых технологиях ускоренного проектирования РЭА с применением «компьютеров-на-модуле» COM Express и SMARC

Рис. 7. Бортовая беспроводная информационно-развлекательная система от компании Kontron

Рис. 8. Пример АРМ диспетчера на основе отечественного компьютера BLOK класса BoxPC и промышленного монитора серии GT777 производства «РТСофт»

На выставке в качестве примера автоматизированного рабочего места диспетчера была показана система на основе ультрасовременного отечественного встраиваемого компьютера класса BoxPC и промышленного мультимедийного монитора серии GT777 производства «РТСофт».

Во время неформального общения гости и участники семинара обменялись мнениями по поводу перспектив разработки и внедрения современных IFEC-систем на воздушном транспорте в России и СНГ. Семинар показал заинтересованность представителей авиакомпаний, производителей воздушных судов и других предприятий промышленности в предлагаемых решениях и дальнейшем развитии сотрудничества с «РТСофт» и партнёрами компании.

По материалам АО «РТСофт»

Промышленные ПК для операторных: **российские** или импортные? **Низкошумные** или безвентиляторные?

Олег Холодный | АО «РТСофт»

Управление воздушным движением, управление на ЖД-переездах, контроль технологических процессов на верхних уровнях управления атомных электростанций – вот далеко не полный перечень приложений с высокой ответственностью, где роль оператора очень важна для обеспечения комплексной безопасности. Здесь критично всё, начиная от надёжного функционирования аппаратного и программного обеспечения и заканчивая комфортом специалистов, от которых зависит принятие верных решений. Известный факт: человеку легче сконцентрироваться, когда его ничто не отвлекает. Концепция «тихая операторная» сама по себе не нова и в последнее время набирает популярность во всё большем количестве отраслей промышленности. Развитию этой концепции, в частности, способствуют перспективные российские и зарубежные разработки встраиваемых компьютерных платформ с низкошумным и полностью безвентиляторным отводом тепла.

На рынке промышленных приложений существует актуальный тренд, состоящий в стремлении сделать труд операторов и диспетчеров, принимающих ответственные решения, максимально комфортным. Речь в данном случае идёт о том, что в помещении, где работает оператор, количество факторов, мешающих его качественной работе, должно быть сведено к нулю. Ошибки в таком процессе могут стоить недопустимо дорого. Если переводить данную тему в плоскость использования компьютерного оборудования на местах, то здесь очень важно отметить необходимость в надёжном функционировании, высокой эргономичности и простоте в эксплуатации, а также позаботиться о том, чтобы шум, издаваемый техникой во время работы, не превышал допустимые или «комфортные» нормы. В этой связи появилась и получила своё логическое развитие концепция «тихой операторной», упор при построении которой ставится на обеспечение минимального уровня шума при работе сложного аппаратного обеспечения.

Существуют два основных подхода, которые позволяют снизить уровень шума на уровне системы, – это использование сбалансированных вентиляторных конструкций, качественно работающих на высоких оборотах, либо более дорогой, но профессиональный сценарий, который предполагает полностью кондуктивный отвод тепла для вычислительных и графических подсистем, а также для подсистемы питания. В России широко представлены встраиваемые вычислители, которые выполнены как по первому, так и по второму принципу, причём среди них можно выделить и отечественные, и зарубежные продукты. Какой подход и страну происхождения выбирать разработчику, дело сугубо индивидуальное и, как покажет материал ниже, может зависеть от различных факторов.

Низкошумные серверы KISS приняли российское гражданство

Торговая марка низкошумных стоечных компьютеров KISS (Kontron Industrial Silent Server) давно известна не только в России, но и во всём мире. Данные компьютеры берут своё начало на производственных мощностях холдинга Kontron AG и сегодня стоят на одной «торговой полке» с такими известными производственными гигантами, как Siemens, Beckhoff, GE, B&R. Промышленным ПК KISS удалось завоевать своего покупателя исключительными особенностями, которые были положены в основу этих систем немецкими разработчиками профессионального встраиваемого железа. KISS вобрали в себя опыт нескольких лет разработки не одного десятка щепетильных R&D-инженеров, который получил отражение в глобальных проектах в сферах нефтегаза, энергетики, транспорта и многих других отраслях и позволил KISS стать широко узнаваемым в узких кругах системных инженеров. Размах мировых проектов с использованием этих систем внушителен, а на производственных конвейерах сегодня выпускаются десятки, а то и сотни тысяч таких машин в год.

Российские реалии, а точнее сегодняшняя политика государства в области импортозамещения, диктует свои правила и ставит под сомнение использование стоечных ПК зарубежного производства по крайней мере для крупных государственных проектов. Это, с одной стороны, открывает дополнительные бизнес-возможности для российских производителей, но с другой стороны – заставляет системных интеграторов пользоваться продуктами, которые произведены с использованием невыверенных и неотточенных технологий сборки, где при выборе базовых комплектующих предпочтение отдаётся азиатским вендорам прежде всего из соображений меньшей себестоимости. В результате системным интеграторам приходится использовать продукты с заведомо худшим качеством, сниженным жизненным циклом, которые менее удобны в эксплуатации, не говоря уже о внешнем виде, сравнимом по грубым меркам с «постсоветским».

В условиях ограниченного импорта разумный подход в предложении рынку качественного продукта видится в локализации высокотехнологичного производства промышленных компьютеров известной мировой марки в России. По этому пути и пошла компания «РТСофт», имея многолетний опыт сотрудничества с холдингом Kontron AG, обученных системных архитекторов и обладая полной производственно-технологической картой от партнёров Kontron AG. Известная марка KISS теперь производится на собственных мощностях, расположенных в наукограде Черноголовке. На текущий момент каналы продажи компании «РТСофт» могут предложить почти полную линейку сертифицированных промышленных ПК KISS российского производства. Российские KISS сегодня – это не только защита от санкций, недобросовестных и некачественных поставщиков, но и будущий задел в производстве отечественных конкурентоспособных систем.

Отечественный BLOK санкциям

Там, где определённый уровень локализации и использование зарубежных продуктов не позволяют решить поставленные производственные и проектные задачи российских системных интергаторов, «РТСофт» готов предложить свою собственную разработку – промышленный безвентиляторный компьютер BLOK **(рис. 1)**, который просто идеален для организации операторных нового поколения. Идеален он по ряду причин, которые будут более подробно освещены в данном разделе.

BLOK не является предметом «отвёрточной» сборки, а представляет собой полноценный проект НИОКР по разработке российской электронной аппаратуры. Разработка данного устройства велась с использованием

Рис.1. Промышленный безвентиляторный компьютер BLOK, разработки компании «РТСофт»

самых современных стандартов встраиваемой компьютерной техники, достижений в области сетевых и мультимедийных интерфейсов, а также благодаря современным системам проектирования и производства точной 3D-механики. BLOK производится в России на основе полного комплекта КД и имеет максимальную защищённость от действий поставщиков и производителей компонентов, так как все критически важные части системы имеют полные альтернативы.

В качестве компьютерного ядра устройства BLOK используется модуль, который выполнен в международном стандарте COM Express. Для справки: COM Express сегодня – номер один по темпам роста на мировой площадке встраиваемых компьютерных архитектур. Эта технология очень популярна в мире, и производством модулей в данном стандарте занимаются более ста международных компаний, включая российские. Не будет лишним сказать, что данную технологию взяла на вооружение российская компания «МЦСТ» и уже выпускает свои первые модули COM Express на базе собственных процессоров «Эльбрус». Эта важная особенность промышленного компьютера BLOK позволит ему в будущем не только масштабировать собственную производительность, используя ядра на Intel Atom Bay Trail или Intel Core 6th Skylake, но и применять в качестве ядра модули COM Express с российскими процессорами. Благодаря возможности масштабирования по процессорному ядру, жизненный цикл продукта BLOK не ограничен поддержкой на рынке в течение 5–7 лет, а может быть расширен до более длительного. Этот факт очень важен для долгосрочных спецпроектов, проектов в области атомной энергетики и в нефтегазовом секторе.

Полностью безвентиляторное охлаждение, развитая подсистема ввода-вывода, высокие мультимедийные возможности, подсистема RAID, дублирование питания – вот далеко не полный набор перспективного изделия BLOK, который делает его идеальным для построения современных полиэкранных бесшумных рабочих станций для операторов и диспетчеров. Девиз этого устройства – «поставил... и забыл».

Локальный оперативный сервис и гарантия

Опытные системные интеграторы, готовые поставить часть своей профессиональной судьбы на то или иное оборудование, просто обязаны позаботиться об уровне сервиса и качестве поддержки от поставщика/производителя, которую им обязательно придётся проверить на себе при реализации более или менее крупных проектов. Например, при взаимодействии с крупным мировым OEM-производителем проблемы могут возникнуть с обратной связью либо с полным отсутствием таковой. Российские компании, реализующие небольшие проекты в объёмах до 1000 компьютеров в год, не представляют особого интереса для массового производителя. В таких случаях бывает сложно договориться о доработках БИОС, реализации дополнительной схемотехники, дополнительной доработке механики и т. д.

Далеко не многие производители, а уж тем более поставщики, могут оказывать длительную гарантийную поддержку продукту. В самых стандартных случаях этот срок не превышает одного года. Мировая практика показывает, что более длительную поддержку, как правило, гарантируют производители, обладающие внушительной системой качества на предприятии, отработанной производственной технологией, производящие изделия с тщательно выверенной компонентной базой и комплектующими, имеющими большие показатели параметра наработки на отказ (MTBF – Mean Time Between Failures). Именно этими тремя принципами руководствуется компания «РТСофт» при разработке, производстве и сборке продуктов KISS и BLOK. Каждая итерация выбора компонентной базы, проектирования, входного контроля, производства, наладки и многих других этапов создания изделия контролируется профессионалами своего дела на местах. Такой тщательный подход гарантирует заказчикам качественное и профессиональное исполнение продуктов, которое подтверждается расширенной гарантией до трёх лет.

Гарантийная поддержка – очень важный фактор, но ещё большую значимость она приобретает в совокупности с компетентной и качественной технической поддержкой по продуктам и возможностями производителя делать определённые доработки – другими словами, кастомизировать готовый продукт под требования заказчика. Близость производителя, расположенного в России, даёт абсолютные преимущества в этой части. Заказчикам «РТСофт», например, доступна модификация готового продукта даже в самых крохотных партиях от 50–100 шт. Вопрос в данном случае не ограничивается кастомизацией аппаратной части, поскольку у «РТСофт» имеется достаточно большой и профессиональный ресурс для работы с системным ПО. Если говорить более понятным языком, это большой штат программистов международного уровня, владеющих технологиями разработки драйверов (BSP-пакетов) под широкий класс операционных систем.

Профессионализм на местах, возможность доработки, качество производства и локальная длительная поддержка позволяют KISS и BLOK иметь неоспоримые преимущества для российского пользователя, профессиональный интерес которого лежит в эффективной и качественной реализации серьёзных проектов.

Немного о KISS

Весьма удобны с точки зрения организации АРМ операторов и диспетчеров те модели KISS, в названии которых присутствует слово «short», означающее уменьшенную глубину. Одной из новых систем этого типа является KISS 1U Short KTQM87 **(рис. 2).** Благодаря высоте 1U и глубине 350 мм, данное изделие способствует более плотному размещению оборудования. Система имеет три порта DisplayPort, четыре порта USB 3.0 и допускает гибкое конфигурирование и модернизацию в соответствии с требованиями заказчика. В двумерных и трёхмерных приложениях интегрированное графическое ядро Intel HD Graphics с поддержкой функций DirectX 11.1, Open GL 4.0 и Open CL 1.2 демонстрирует производительность уровня дискретных видеокарт. Малошумный промышленный компьютер KISS 1U Short KTQM87 базируется на четвёртом поколении процессоров Intel Core i3/i5/i7 с тактовыми частотами до 3,8 ГГц. В комбинации с чипсетом Intel QM87 и памятью DDR3 объёмом до 32 Гбайт это обеспечивает покрытие широкого диапазона требований по производительности. Компьютер KISS 1U Short KTQM87 может работать под популярными операционными системами Windows 7, Windows Embedded Standard 7 (32- и 64-разрядная), Windows 8 и Linux. Слот PCI Express x16 позволяет создавать специализированные конфигурации с использованием плат расширения на основе открытых стандартов. Благодаря восьми портам USB 2.0 (6 сзади, 2 спереди) и трём портам Gigabit Ethernet, компьютер KISS 1U Short KTQM87 обладает богатыми возможностями подключения к периферийным устройствам и сетям. Упрощающая обслуживание технология Intel AMT 7.0 способствует повышению готовности системы и снижению затрат. Помимо внутреннего ударозащищённого отсека в 2,5 дюйма имеются доступные с фронтальной стороны отсек 3,5 дюйма и привод DVD Slim. Поддержка 6-гигабитной версии технологии SATA обеспечивает высочайшую скорость взаимодействия с дисками, а возможность установки опциональной подсистемы Kontron KISS Stor Slim RAID 1 с двумя 2,5-дюймовыми дисками в конфигурации RAID 1 с возможностью «горячей» замены позволяет повысить степень защиты данных. Средняя наработка на отказ (MTBF) для KISS 1U Short KTQM87 составляет 30 000 часов. Изделие имеет класс защиты IP20, выдерживает удары силой до 15 g и рассчитано на работу при температурах от 0 до +45 ^{0}C.

Рис. 2. Внешний вид модели KISS 1U Short KTQM87, оснащённой высокопроизводительными процессорами Intel Core i3/i5/i7 четвёртого поколения и имеющей уменьшенную глубину

Немного о BLOK

Типовой вариант поставки BLOK базируется на комбинации из процессора Intel Core 5 Haswell (2 ядра, частота 1,6 ГГц) и чипсета Intel Mobile Q87. Компьютер может быть оснащён памятью DDR3L-1600 объёмом до 16 Гбайт и двумя твердотельными либо жёсткими дисками формата 2,5 дюйм. Для подключения внешних устройств доступны два последовательных интерфейса, четыре порта Gigabit Ethernet, шесть портов USB 3.0/2.0 и три графических интерфейса (3 DisplayPort либо 2 DisplayPort + 1 DVI-D), а также звуковые вход и выход. Возможности расширения включают слот SIM-карты и два слота Mini PCI Express с поддержкой модулей Wi-Fi.

В базовой конфигурации платформа BLOK способна осуществлять вывод изображения на три дисплея в разрешениях до 4K с параллельной передачей аудио **(рис. 3).** Эта особенность имеет большое значение в контексте задач визуализации, оснащения операторских и организации автоматизированных рабочих мест. Безвентиляторный дизайн, обеспечиваемый малым тепловыделением процессора Intel Core 5 Haswell (не более 25 Вт), повышает надёжность системы и делает её полностью бесшумной. К характеристикам надёжности следует отнести также резервированный блок питания 220 В/50 Гц. Средняя наработка на отказ (MTBF) для BLOK превышает 150 000 часов (более 7 лет). Базовая конфигурация рассчитана на использование при температурах от –10 до +55 °С, весит 4,4 кг и имеет габариты 44 мм (1U)x415 мм (19") x200 мм. Производитель обладает лицензиями TUV ISO 9001-2008, ФСТЭК, Ростехнадзора и ФСБ. Продукт сертифицирован по ГОСТ Р и ТС. По умолчанию для BLOK доступны операционные системы Windows 7, Window 8, Windows Embedded Standard 7, Windows Embedded 8 Standard и Linux. Возможна адаптация других ОС, а также изменение характеристик питания, расширение температурного диапазона, усиление механических свойств, повышение класса защиты IP, проведение специсследований, спецпроверок и приёмки заказчика.

Рис. 3. Пример работы платформы BLOK с 3-мя дисплеями

BLOK в лаборатории «Интернета вещей»

Промышленный компьютер BLOK в составе системы «Монтрек» на открытии московской лаборатории «Интернета вещей»

Промышленный компьютер BLOK (blok.rtsoft.ru) российской компании «РТСофт» был выбран корпорацией Intel для участия в открытии московской лаборатории «Интернета вещей» (Internet of Things – IoT), состоявшегося 30 июня 2015 г. в Москве. В постоянной экспозиции лаборатории компьютер BLOK фигурирует в составе программно-аппаратного комплекса «Монтрек», адресованного предприятиям, имеющим собственный парк транспортных средств и желающим наладить их эффективный онлайн-мониторинг (см. фото). Разработанная специалистами «РТСофт» мониторинговая система «Монтрек» не имеет мировых аналогов и способна обеспечивать рентабельное функционирование на обширных территориях нашей страны, где не работают обычные средства коммуникации. Достигается это за счёт нового, революционного подхода к принципам слежения за объектами. Система позволяет организовать непрерывный контроль транспорта и производственных объектов с удалённым управлением логистикой и технологическими процессами. Её основная область применения – контроль перемещения транспортных средств в удалённых и труднодоступных районах, в том числе вне зон покрытия мобильной связи. Система «Монтрек» служит наглядным примером того, как промышленные компьютеры BLOK помогают при создании современных операторских приложений в самых различных сферах, включая такие новые и бурно развивающиеся сегменты рынка, как «Интернет вещей».

Напоследок

Промышленные компьютеры типа BLOK и KISS – это яркий инструментарий, который позволяет системным интеграторам разрабатывать бесшумные диспетчерские и операторные пункты, шлюзовые и вычислительные узлы нового поколения. Причём делать это на основе самых современных процессорных архитектур, коммуникационных возможностей и технологий отвода тепла. Российские низкошумные и бесшумные промышленные ПК высокой надёжности в будущем обязательно станут неотъемлемой частью высокотехнологичных и безопасных диспетчерских пунктов и станций оператора, которые занимаются управлением сложных технологических объектов, систем транспорта, коммуникаций и многих других.

Олег Холодный | АО «РТСофт»

Архитектура Firmware систем **на базе** архитектуры **ARMv8**

Сергей Темерханов | Auriga Inc, **Игорь Починок** | НИВЦ МГУ

В статье описывается применение процессоров ARMv8 в серверных (и опционально во встраиваемых) системах с точки зрения микропрограммных модулей и компонентов.

С момента своего релиза в 2011 году процессорная архитектура ARMv8 получила достаточно широкое распространение на рынке мобильных устройств. По прогнозам главы компании ARM Limited, к 2020 году процессоры этого поколения займут до 25% мирового рынка. Вполне закономерно, что и программная составляющая сформирована и развивается, наследуя черты и общие принципы исторически сложившейся инфраструктуры.

Принципиально иная ситуация сложилась в серверном сегменте. На этом рынке уже продолжительное время доминируют серверы на базе x86, и ARMv8 только начинает проникновение на него, причём речь пока идёт только об определённых специфических нишах. Новизна этого рынка для ARM и тот факт, что большая часть принятых стандартов и спецификаций (в первую очередь ACPI и UEFI) до недавнего времени не были адаптированы для ARM-систем, накладывает свой отпечаток на развитие программной инфраструктуры.

Данная статья сфокусирована на рассмотрении особенностей серверных ARM-систем и процессов и не претендует на исчерпывающее описание. Авторы хотели бы обратить внимание также на том, что изложенные здесь данные могут достаточно быстро устареть, поскольку уже в обозримом будущем новые процессоры будут сопровождаться новыми техническими решениями, которые потребуют иного подхода к реализации программной инфраструктуры.

Прежде всего следует указать, что нынешние реализации микропрограммных средств для серверных систем на ARMv8 состоят из нескольких относительно независимых компонентов. Это даёт ряд преимуществ, например возможность использования одних и тех же компонентов в микропрограммных средствах как серверных, так и встраиваемых систем, а также относительную независимость вносимых изменений.

Итак, какие же модули и компоненты используются в рассматриваемых системах, и каковы их функции? Общая схема загрузки и взаимодействия модулей показана на **рис. 1.** Процесс начинается с инициализации оборудования таких подсистем, как оперативная память и межпроцессорные интерфейсы. В текущих реализациях она исполняется отдельным модулем в режиме EL3S сразу после включения питания. Таким образом, данный компонент системы обладает максимально возможными привилегиями. Он обычно не взаимодействует с ОС непосредственно.

Далее управление передаётся следующему компоненту, чаще всего модулю ARM Trusted Firmware (ATF), исполняемому в том же режиме. Управление ATF может передаваться как непосредственно от загрузчика 0-го уровня, рассмотренного в предыдущем абзаце, так и опосредованно через специальный модуль UEFI, который реализует так называемую процедуру загрузки PEI (Pre-EFI Initialization). ATF состоит из нескольких модулей, получающих управление в разные моменты времени. Стартовый модуль BL1

выполняет инициализацию частей платформы, связанную с доверенным (secure) режимом работы процессора. Поскольку в системах на базе ARMv8 применяется аппаратное разделение доверенных и обычных ресурсов, включая оперативную память, то модуль BL1 создаёт такое окружение, в котором мог бы функционировать доверенный код. В частности, к этому типу инициализации относится настройка контроллеров памяти/кэша (чаще всего доверенные и обычные зоны размечаются путём программирования регистров в этих устройствах) и разметка накристалльных устройств (контроллеры энергонезависимой памяти). Такая разметка также вводит и фильтрацию DMA-транзакций на основе типа устройства (доверенный/недоверенный). При этом запись/чтение памяти возможны только в область/из области того же типа, что и устройство.

Реализация доверенного окружения может быть достаточно сложной, например включающей отдельную ОС. Однако описание подобных реализаций выходит за рамки данной статьи. Модуль BL1 настраивает таблицу преобразования адресов MMU, а также таблицу обработчиков исключений, самым важным элементом которой является обработчик исключения от инструкции вызова доверенного окружения (Secure Monitor Call, SMC). На данном этапе обработчик минимален и способен фактически только передавать управление загруженным в оперативную память образам. В процессе исполнения модуль BL1 загружает в ОЗУ следующую стадию, BL2, и передаёт управление на неё. Модуль BL2 работает с пониженными привилегиями, в режиме EL1S. Соответственно, передача управления этому модулю производится с помощью инструкции ERET.

Предназначение модуля BL2 — загрузка остальных микропрограммных модулей (частей BL3) и передача им управления. Пониженный уровень привилегий используется для того, чтобы не повредить код и данные EL3S, уже находящиеся в памяти. Управление этим частям передаётся путём вызова кода EL3S, размещённого на стадии BL1, с помощью инструкции SMC.

Третья стадия загрузки и инициализации ATF может состоять из трёх этапов, но довольно часто второй этап пропускается, так что на деле и их остаётся только два. Модуль BL3-1 представляет собой ту часть доверенного кода, которая доступна обычному ПО (ОС и т. д.) во время его исполнения. Ключевая часть этого модуля – функция обработки исключения, вызванного инструкцией SMC. В самом модуле располагаются функции реализации стандартных вызовов SMC: код, реализующий стандартизированный интерфейс PSCI (предназначен для управления всей платформой: включения/отключения процессорных ядер, питания всей платформы, перезагрузки и т. д.), а также отвечающий за вызовы, зависящие от производителя и конкретной реализации платформы (получение информации о платформе, управление некоторыми встроенными устройствами и т. п.).

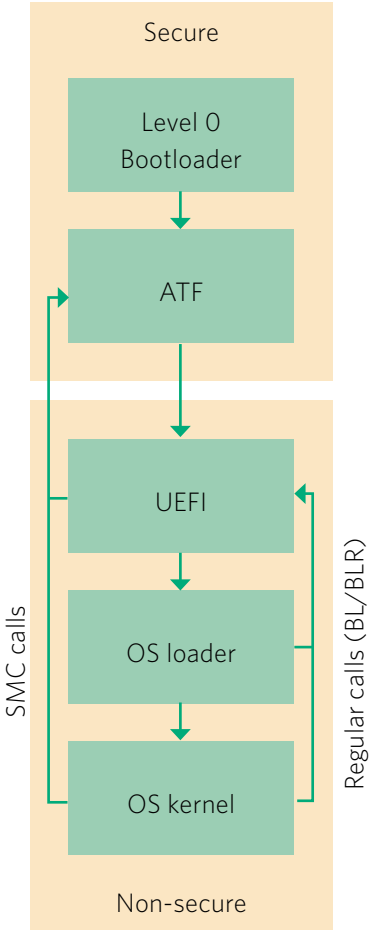

Рис. 1. Процесс загрузки и общая схема взаимодействия микропрограммных модулей ARMv8

Наличие модуля BL3-2, как мы уже отмечали выше, не является обязательным; его код (в случае наличия модуля) выполняется в режиме EL1S. Обычно он служит в качестве специализированного сервиса/монитора событий, происходящих во время работы платформы (прерывания от некоторых таймеров, устройств и т. п.)

BL3-3, по сути, модулем ATF не является. Это образ прошивки (firmware), исполняемой в незащищённом режиме. Запускается он обычно в режиме EL2 и представляет собой образ либо загрузчика наподобие широко

известного U-Boot, либо окружения UEFI, стандартного для серверных систем.

Общая схема загрузки модулей ATF показана на **рис. 2**.

На ряде серверных систем на базе ARMv8 применяется другая схема загрузки: ATF запускается во время фазы UEFI PEI, после чего происходит переход на фазу UEFI DXE.

UEFI для ARMv8 значительно отличается от такового для x86. Фазы PEI (Pre-EFI initialization) и DXE (Driver) используются и для x86, и для ARMv8. Однако на многих системах ARMv8 фаза PEI значительно сокращена и во время неё не выполняется никакой инициализации оборудования. Этот этап сводится к настройке таблиц трансляции MMU, настройке контроллера прерываний и таймера (согласно спецификации UEFI, единственным обрабатываемым прерыванием для этого окружения является прерывание от таймера), построению блоков конфигурационной информации (EFI Hand-off block, HOB) и запуску модуля DXE Core. На данном этапе платформозависимые модули UEFI достаточно широко используют специфические для платформы вызовы SMC, описанные ранее.

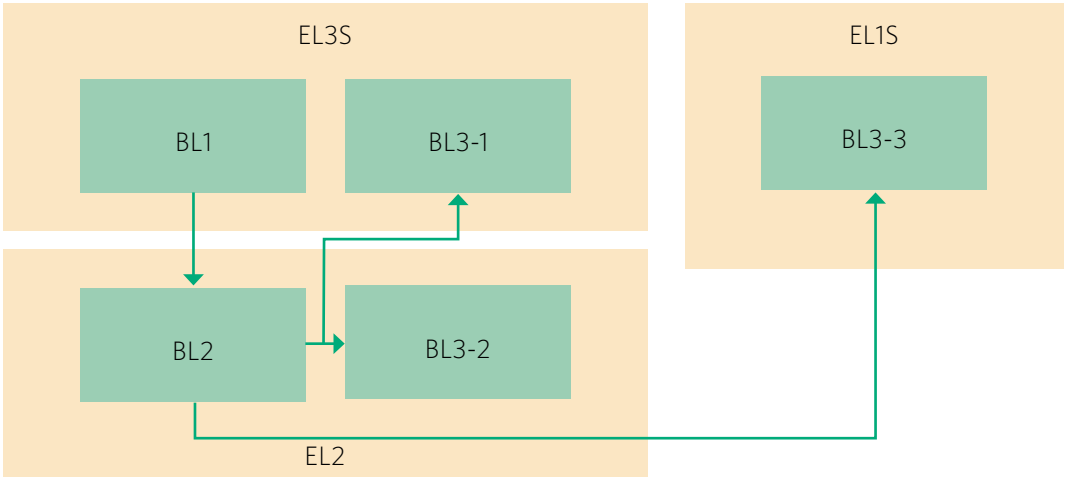

Рис. 2. Схема загрузки в оперативную память модулей ATF

На этапе DXE выполняется основной объём работы UEFI. Прежде всего это развёртывание и запуск драйверов аппаратного обеспечения — как встроенных в кристалл блоков, так и внешних устройств, подключаемых по интерфейсам PCIe, USB, SATA и пр.

Следует отметить, что системы на базе ARMv8 демонстрируют довольно серьёзные отличия от подобных систем на основе архитектуры x86 в плане конфигурации, механизмов обнаружения устройств, и т. п. Так, для x86 основным механизмом обнаружения устройств является механизм обхода конфигурационного пространства PCI с назначением устройствам адресов памяти, которые они должны декодировать. В случае систем на базе ARMv8 встроенные блоки практически всегда имеют фиксированные адреса в пространстве памяти (пространство портов не используется, так как не является частью архитектуры) и в некоторых случаях не отображаются в конфигурационном пространстве PCI. Для таких систем используется описание аппаратуры, составленное в виде так называемой Flattened Device Tree — древовидной базы данных, описывающей иерархию подключения аппаратных блоков, а также такие ресурсы, как области памяти, номера прерывания и т. п., связанные с этими блоками.

В более продвинутых системах блоки, входящие в состав SoC, поддерживают доступ через конфигурационное пространство PCI, и соответственно обладают контроллерами, реализующими доступ к этому пространству посредством механизма ECAM (Enhanced Configuration Access Mechanism). Поскольку адреса памяти у таких блоков всё равно фиксированные, поддержка обычного механизма конфигурирования устройств PCI не представляется целесообразной. Специ-

ально для систем с фиксированными адресами PCI-устройств было разработано расширение Enhanced Allocation, разрешающее этот конфликт. Уникальные свойства этого расширения достойны отдельной публикации, но вкратце оно может быть описано как расширение, состоящее из набора альтернативных регистров, в которых содержится информация об адресах памяти, номерах шин (для встроенных мостов PCI—PCI) и т. д.

UEFI неотделимо от другого метода передачи информации о конфигурации платформы — ACPI. В настоящее время мы наблюдаем поступательное развитие и доработку спецификаций ACPI в интересах более полной поддержки именно архитектуры ARMv8. По имеющейся информации, ACPI должна стать основным методом передачи базовой информации о платформе (прежде всего о числе и конфигурации процессорных ядер, контроллеров PCI/PCIe) и управления ею для ARMv8. Некоторые из планируемых к выпуску на ARMv8 ОС поддерживают исключительно ACPI.

Итак, на этапе DXE выполняется обнаружение устройств (в тех системах, с которыми приходилось встречаться авторам, для этого используется механизм PCI ECAM), их инициализация и регистрация в UEFI, а также подготовка к запуску ОС. Последняя заключается в подготовке карты памяти системы и конфигурационной информации, то есть в загрузке, генерации и публикации таблиц ACPI, внесении в загруженные таблицы изменений, отражающих текущую конфигурацию платформы, внесении подобных же изменений в FDT, проверке и генерации контрольных сумм. Ряд модулей, загруженных на этом этапе, реализует так называемые UEFI Runtime Services — функции, доступные для вызова из ОС во время её исполнения.

По завершении этого этапа начинается этап выбора устройства для загрузки (Boot Device Selection, BDS). Обычно на этой стадии используется отдельный модуль, обрабатывающий значения переменных BootOrder, BootNext и т.д. Часто такой модуль реализует (псевдо)графический интерфейс. На этом этапе можно заметить большое сходство с системами на базе x86: используются те же самые методы загрузки – PXE, iSCSI, блочные устройства (такие как SATA/SAS/USB диски, SSD, NVME устройства) и т. п.

Отдельно хотелось бы обратить внимание на драйверы внешних устройств (обычно это устройства PCIe) для ARMv8 UEFI. Они могут быть реализованы как в виде модулей, расположенных на устройствах хранения (с файловой системой FAT32), так и располагаться непосредственно на самом устройстве (Option ROM). Добавление в список поддерживаемых архитектур ARMv8 в некоторых случаях вызывает проблемы для производителей. Простой перекомпиляции исходного кода для ARMv8 не всегда достаточно, так как ряд таких модулей не рассчитан на работу в полном 64-битном адресном пространстве. Также некоторые сложности порой вызывает тот факт, что на системах ARMv8 широко используется трансляция шинных адресов PCI в процессорные и наоборот. Это связано с тем, что при разработке решено было отказаться от унаследованных «окон», располагающихся в пределах младших 32 бит. В плане расширения поддержки могли бы помочь драйверы, скомпилированные в байт-код EBC, но на момент написания этой статьи интерпретатор EBC для ARMv8 находился на ранних стадиях разработки.

> По прогнозам главы компании ARM Limited, к 2020 году процессоры этого поколения займут до 25% мирового рынка.

Передача управления загруженному в память модулю (загрузчик или непосредственно ядро ОС) выполняется в соответствии со спецификацией UEFI: уникальный указатель в регистре X0, указатель на системную таблицу в X1, и адрес возврата в X30 (LR).

Ядро ОС выполняет некоторые подготовительные процедуры, используя сервисы UEFI, затем устанавливает собственные таблицы трансляции и вызывает метод UEFI SetVirtualAddressMap(). Необходимость этих процедур обусловлена тем обстоятельством, что код UEFI выполняется в том же адресном пространстве, что и ОС, а также необходимостью отключения прерываний таймера.

Следует отметить, что в случае использования архитектуры ARMv8 для ОС Linux, есть один нюанс: основной код ядра работает в режиме EL1, тогда как в режиме EL2 вместе с сервисами UEFI выполняется только часть кода гипервизора KVM. После этого ядру из сервисов UEFI становятся доступны только так называемые Runtime Services – подмножество всех сервисов UEFI. Ядро Linux на ARMv8 широко использует интерфейс PSCI (при его наличии), реализуемый одним из модулей ATF, как было указано ранее. Это особенно характерно для многоядерных систем. Сам интерфейс и процесс инициализации процессорных ядер можно кратко описать как вызов SMC с номеров функции PSCI и точкой входа в функцию инициализации в качестве одного из параметров. Собственно, вызовы сервисов UEFI и SMC и являются в настоящее время основным способом взаимодействия ОС и микропрограммы (firmware). Существуют черновые спецификации способа уведомления ОС о различных событиях из микропрограммы, но на текущий момент о каких-либо готовых реализациях не сообщалось.

Подводя итог вышесказанному, следует ещё раз акцентировать внимание на том, что в статье представлено далеко не исчерпывающее описание функционирования и взаимодействия компонентов прошивки на ARMv8. Кроме того, архитектура находится в процессе постоянной доработки и переработки, что, вероятно, со временем даст материал для новых публикаций.

Сергей Темерханов | Auriga Inc
Игорь Починок | НИВЦ МГУ

НОВОСТИ

Универсальная вычислительная платформа для специальных применений «Интегро» успешно прошла испытания

Межведомственные и приемочные испытания опытных образцов универсальной вычислительной платформы для специальных применений «Интегро», разработанной в АО «РТСофт», проводились под контролем представителей заказчика – компании «Кронштадт Технологии», в сертифицированном испытательном центре. Проверка включала в себя широкий спектр испытаний, в том числе были проведены исследования устойчивости к механическим и климатическим воздействиям, электромагнитной совместимости. В ходе испытаний было полностью подтверждено соответствие заявленных технических характеристик разработанных вычислительных устройств требованиям технического задания.

По итогам проверки представители АО «Кронштадт Технологии» отметили уникальность достигнутых функциональных и эксплуатационных возможностей УВП «Интегро» в классе устройств для специальных применений в сложных условиях эксплуатации. Экспертная комиссия по достоинству оценила высокий уровень технических и технологических решений, защищённых рядом патентов, а также качество предъявленной рабочей конструкторской и эксплуатационной документации.

УВП «Интегро» была разработана компанией «РТСофт» в рамках инвестиционных НИОКР и предназначена для создания специализированных устройств бортового и стационарного базирования с разнообразной функциональностью, высокой вычислительной мощностью и широкими коммуникационными возможностями.

Обзор открытых сетевых **стандартов**

Алекс Хентрон-Айвейн (**Alex Henthorn-Iwane**) | QualiSystems

В данном обзоре рассматриваются сетевые стандарты OpenDaylight, OpenSwitch, OpenStack и OpenFlow, разрабатываемые в рамках движения open source. Это масштабные сетевые проекты, нацеленные на создание программно-определяемых сетей (SDN).

В данной статье рассматриваются особенности некоторых отрытых сетевых стандартов и их влияние на развитие телекоммуникаций, стратегию развития информационных технологий и технологий построения сетей. Говоря на метауровне, важно отметить, что благодаря движению «open source», разработчики, занятые в сетевых проектах, всё больше внимания уделяют API-интерфейсам, DevOps-автоматизации и необходимости ухода от ручных способов проектирования и управления сетями в сторону автоматизированных. Вполне естественно, что в каждом рассматриваемом стандарте есть нечто своё, отличное от других. Начнём с OpenDaylight.

OpenDayLight: проект открытой подсистемы управления SDN

OpenDaylight – это проект консорциума Linux (Linux Foundation), цель которого – развитие программно-конфигурируемых сетей (software-defined network, SDN) и виртуализации сетевых функций (Network Functions Virtualization, NFV). Он был запущен в 2013 году и очень быстро (менее чем за два года) стал крупнейшим проектом с открытым исходным кодом, в котором уже в начале 2014 года участвовало 266 разработчиков, написавших более одного миллиона строк программного кода.

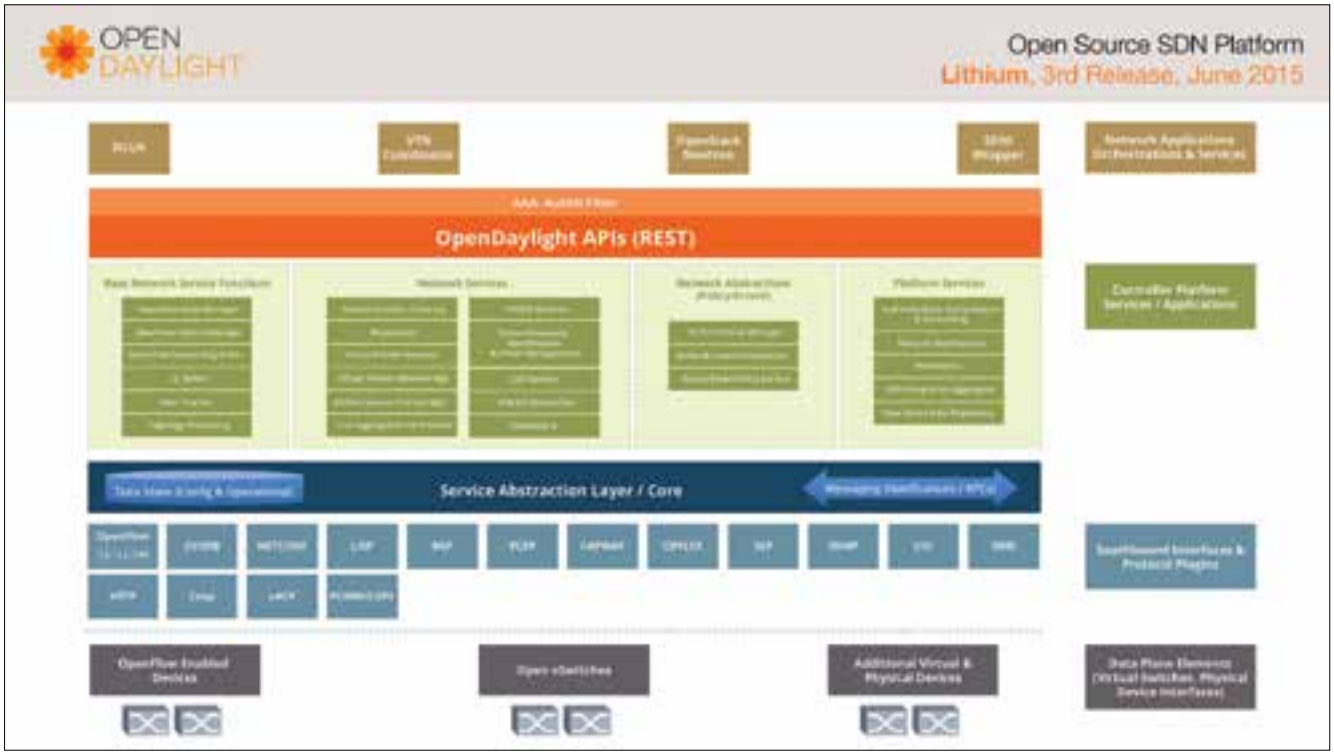

Рис. 1. Открытая платформа SDN-сети и место в ней OpenDaylight

На что же конкретно направлен проект OpenDaylight? Самый понятный ответ – создание открытой подсистемы управления (control plane) SDN-сети, которая включает несколько уровней сетевого администрирования (**рис. 1**):

- Уровень подсистемы данных (data plane), которая состоит из физических и виртуальных устройств в сети, от которых данные через различные протоколы (OpenFlow и не только) поступают на более высокий уровень – уровень управления.
- Поверх уровня подсистемы данных находится платформа программного контроллера OpenDaylight, выше которого расположены API-интерфейсы с прикладным уровнем/уровнем оркестрации («северный мост»), а ниже («южный мост») – множество протоколов и API-интерфейсы к расположенному ниже оборудованию передачи данных.
- На вершине этого «пирога» находится уровень оркестрации (orchestration) и прикладной (application) уровень. Он может выглядеть, как, например, плагин для OpenStack Neutron.

OpenDaylight – это попытка выступить в роли контроллерной «швейцарии», которая обеспечит совместимость с любым типом коммутирующей аппаратуры через различные протоколы и интерфейсы, такие как OpenFlow, Path Computation Element Protocol (PCEP), NetConf и т.п. Контроллер OpenDaylight исполняется на своей собственной виртуальной Java-машине и поддерживает инициативу ODGi (the Open Service Gateway).

Вендоры и будущее OpenDaylight

Множество сетевых вендоров создали уже так много вариантов реализаций OpenDaylight, что его недоброжелатели уверены, что проект, несмотря на то, что выступает под флагом открытости, возможно, законсервирует позиции сетевых грандов. Основателями OpenDaylight стали компании Cisco и IBM, затем к сообществу присоединились Brocade, Juniper, Microsoft, Intel и другие. Весомая порция кода OpenDaylight приходится на крупных сетевых вендоров.

В частности, говоря о вкладе Cisco в OpenDaylight, часто рассматривается уникальный подход Cisco к SDN-сетям и тип контроллера, который следует использовать. Аналитик еженедельника «Мир сетей» (Network World) Джим Даффи (Jim Duffy) назвал детище Cisco – протокол OpFlex – «убийцей OpenFlow», что, возможно, несколько преувеличено, однако ясно, что в качестве будущего ядра OpenDaylight разработчики Cisco видят отнюдь не OpenFlow. Протокол OpFlex может стать ключевой частью релиза OpenDaylight Lithium (литий), который последует за OpenDaylight Helium (гелий). Однако Гуру Парулкар (Guru Parulkar), директор Open Networking Lab., считает, что такая особенность OpFlex, как «видимость» для приложений специфики устройств и связанные с этим ненужные сложности, может стать одной из причин создания для OpenDaylight альтернативного протокола.

Что касается вендоров, то им, конечно, сложно соблюсти баланс между стремлениям к инновациям в линейках своих собственных продуктов и услуг и участием в сообществе open source. Проекты, подобные OpenDaylight, демонстрируют стремление к созданию открытого ПО для «оркестрации» (orchestration) различных SDN сетей. Но атмосфера «дикого запада», присущая территории open source, рождает риски превратить нынешних грандов сетевого рынка в де-факто его новых шерифов. Ясно, что на этом пути нужна «золотая середина».

«Вендоры в открытых сетевых проектах должны работать в симбиозе с другими членами сообщества, – пишет в блоге TechCrunch Марк Коэн (Mike Cohen). – Должны вносить свой вклад в интересах открытого сообщества и одновременно продолжать инновационную деятельность по созданию различных продуктов для удовлетворения потребностей своих клиентов. Часть своих инноваций вендоры должны отдавать и в открытое сообщество, что поможет продвигать новые стандарты и будет способствовать росту соответствующего рынка».

Резюме

Проект OpenDaylight, инициированный CISCO и IBM в 2013 году и возглавляемый ныне консорциумом Linux Foundation, – это не только значимый открытый сетевой стан-

дарт, но и одно из самых передовых движений в области ПО с открытым исходным кодом. Он определяет открытый контроллер с большим набором API-интерфейсов с различного типа сетевой инфраструктурой на нижнем уровне и интеграцией с верхним уровнем. Для быстрого развития этого проекта и его благополучного будущего как беспрецедентной попытки объединить SDN-сети и виртуализацию сетевых функций в рамках методологии DevOps важен формат, в котором работают вендоры, внося свой вклад в OpenDaylight и используя его наработки.

Open vSwitch: открытая виртуальная коммутация

Теперь рассмотрим Open vSwitch – инициативу создания виртуального коммутатора под лицензией Apache 2.0.

Виртуальная коммутация – концепция не новая. Пионером стала компания VMware, разработчик программного обеспечения для виртуализации серверов, которое позволило заменить физические коммутаторы на виртуальные. Смысл этой затеи в том, что программный стек сервера, в котором содержатся виртуальные машины (VMs), может запускать функции коммутации для связи с виртуальными или логическими портами Ethernet. Основное отличие виртуальных серверов, таких как Open vSwitch (OVS) и устаревших виртуальных мостов L2, таких как в Linux, состоит в том, что они предназначены управлять высокодинамичными облачными средами, где состояние сети (как конфигурируемое, так и сформированное в реальном времени) может при необходимости передаваться между хостами с помощью виртуальных машин (инстансов) vSwitch.

В отличие от проприетарных решений виртуальных коммутаторов, таких как Nexus 1000V компании Cisco и vDS (vSphere Distributed Switch) компании VMware, Open vSwitch – это самая яркая их альтернатива с открытым исходным кодом и всё более значимый элемент других открытых сетевых проектов. Коммутатор OVS работает в гипервизорах Linux, таких как Xen и KVM, включён по умолчанию в Xen Cloud Platfrom и XenServer 6.0 и интегрируется в проект OpenStack, который будет рассмотрен в следующем разделе данного обзора. Модуль ядра datapath теперь тоже включается непосредственно в Linux.

Коммутатор OVS предназначен для обеспечения возможности сетевого управления через протокол OpenFlow и администрирования через протокол Open vSwitch Database. Он функционирует как программный коммутатор и дополнительно может выгружать обработку данных в коммутирующий чип сетевых адаптеров (NICs) или внешних аппаратных коммутаторов. Вот лишь несколько его важных характеристик:

- поддержка протоколов туннелирования, таких как VXLAN и IPsec,
- совместимость с OpenFlow, включая многочисленные расширения для виртуализации,
- контроль соблюдения правил для каждого интерфейса виртуальной машины,
- использование протокола LACP (Link Aggregation Control Protocol) для агрегирования каналов,
- совместимость с IPv6.

Компоненты коммутатора Open vSwitch

В первую очередь Open vSwitch состоит из целого ряда компонентов служебного назначения (control plane), которые расположены в пространстве пользователя, плюс модуль ядра, который управляет передачей реальной информации (data plane).

- **Ovs-vswitchd**: это самый важный компонент, который запускает коммутатор. Он взаимодействует непосредственно с модулем ядра OVS через протокол netlink. Если выходящий пакет, управляемый ядром, не содержит записи кэша о пункте назначения этого пакета, ядро обращается к процессу Ovs-vswitchd, который ищет в базе данных ссылку на запись в таблице переходов, соответствующую данному пакету. Найденные команды адресации пакета передаются обратно в ядро и записываются в кэш. Компонент Ovs-vswitchd может взаимодействовать и с контроллерами Open Flow.
- **Ovs-dbserver**: этот сервер поддерживает функционал администрирования процесса Ovs-vswitchd, сохраняя все конфигурационные изменения, обычно используя схему

базы данных (OVSDB) коммутатора OVS. Он предоставляет внешним клиентам, которые используются для конфигурирования коммутатора, протокол OVSDB на базе JSON-RPC.

В отличие от Cisco Nexus 1000V или решения от VMware, у OVS нет собственного контроллера SDN. Он предназначен для работы с контроллерами третьих фирм и с «облачными оркестраторами» (Cloud Orchestrators), поэтому могут использоваться контроллеры OpenDaylight или плагины OpenStack Neutron OpenFlow и OVSDB.

Open vSwitch и SDN

OVS способствует развитию SDN, поскольку обе технологии характеризуются открытостью и высокой производительностью.

«Open vSwitch – это самый популярный сетевой бэкэнд для развёртывания проектов OpenStack, широко принятый как де-факто стандарт реализации протокола OpenFlow, – объясняют участники проекта OVS Джастин Петит (Justin Pettit), Бен Плафф (Ben Pfaff) и Итан Джексон (Ethan Jackson) в интернет-блоге Network Heresy. – Для успешного будущего Open vSwitch необходима не только его высокая программируемость и универсальность, но и фантастическая скорость. Последние годы мы в своей работе сосредоточились именно на этом – создании максимально универсального и в тоже время максимально скоростного программного коммутатора».

За серию последних релизов эффективность OVS значительно улучшились.

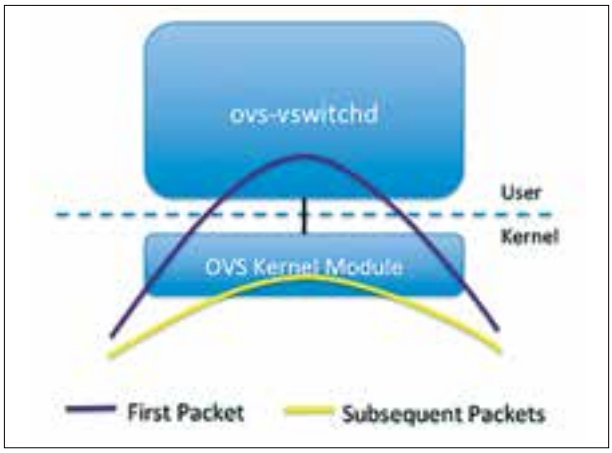

Рис. 2. Жизнь нового информационного потока, проходящего через элементы форвардинга в коммутаторе OVS. Первый пакет (фиолетовый путь) терпит неудачу при сопоставлении с содержимым кэша в модуле ядра и посылается а пространство пользователя для дальнейшей обработки. Последующие пакеты полностью обрабатываются в ядре (путь жёлтого цвета).

Например, в ядерном кэше появился механизм обработки «мегапотоков» данных – **megaflow** (на основе битовых «джокеров» в полях заголовков пакетов), благодаря которому ядро может посылать процессу ovs-vswitchd меньшее количество исключений **(рис 2)**. Появились новые возможности классификатора пакетов в ovs-vswitchd, такие как «сортировка по приоритетам» (Priority Sorting), «поэтапный просмотр» (Staged Lookup) и «трекинг префиксов» Prefix Tracking, благодаря которым существенно уменьшилось количество поступающих в ядро «мегапотоков» трафика – с миллионов до тысяч. В версии OVS 2.0 процесс ovs-vswitchd стал многопотоковым и позволяет лучше разделять задачи реального времени и задачи администрирования.

Резюме

Open vSwitch – мощный проект сообщества open source по разработке виртуальных коммутаторов на базе ОС Linux. Это альтернатива решениям компаний Cisco и VMware, представляющая собой базовую инновационную платформу и признанный стандарт коммутатора с открытым исходным кодом для использования совместно с протоколом OpenFlow. Ключевые характеристики Open vSwitch – использование подсистемы управления (control plane) протокола OpenFlow, очень гибкий протокол OVSDB для задач администрирования (management plane), возможность выгружать задачи управления трафиком (data plane) в аппаратную часть, высокая производительность и постоянное развитие.

OpenStack

Теперь рассмотрим проект OpenStack, который значительно крупнее рассмотренных выше стандартов с открытым исходным кодом OpenDaylight и Open vSwitch. Это программное обеспечение облачных вычислений, в котором используются логические абстракции, благодаря которым пользователи могут получать из их инфраструктуры всё, что угодно. Проект зародился в NASA и RackSpace.

OpenStack состоит из множества компонентов, которые охватывают такие задачи, как Compute (контроль вычислительных ресурсов), Block Storage (хранилище блоков),

Object Storage (хранилище объектов), Telemetry (измерение и контроль), Networking (сетевой уровень) и работа с аппаратными средствами («железом»). Несмотря на то, что исторически OpenStack не рассматривался простым в использовании (особенно по сравнению с альтернативами в публичном облаке, такими как Amazon Web Services (AWS) или Microsoft Azure), за ним стоят выдающиеся разработчики и он обладает достаточной целостностью, чтобы его смогли масштабно (2500 узлов) внедрить такие фирмы, как Walmart, о чём было рассказано на саммите OpenStack в Ванкувере в 2014 году и весьма впечатлило слушателей (!).

Обзор OpenStack: как проект приобрёл популярность в облачной экосистеме

Сейчас проекту OpenStack около семи лет, и он развивается под эгидой консорциума OpenStack (OpenStack Foundation). В 2016 году в нём участвовало 649 организаций с различными уровнями участия и около 69 000 зарегистрированных членов из 181 стран. Высший уровень участия – Platinum – включает таких тяжеловесов, как ubuntu, HP, IBM, Intel, Red Hat, SUSE и соучредитель RackSpace.

Как видно из названия, OpenStack – это программное обеспечение с открытым исходным кодом. Его основной функционал легче всего понять как операционную систему для облачных вычислений. А если более конкретно, то пользователи могут получать доступ к вычислениям, хранилищам данных, сетевым ресурсам через web-интерфейс. Используя инструментальную панель OpenStack (компонент, названный Horizon), разработчики могут создавать виртуальные машины (VMs), конфигурировать сети и управлять дисковыми хранилищами данных (volumes) из одного места.

Один из специалистов компании Red Hat прекрасно охарактеризовал привлекательность OpenStack, указав на такие преимущества, как:

- **сотрудничество в рамках идеологии open-source**: размер комьюнити OpenStack даёт возможность широкого обмена знаниями;
- **отсутствие замкнутости**: пользователи OpenStack свободны от привязки к конкретному вендору или проприетарному решению,
- **низкая стоимость и быстрота адаптации к новым условиям**: в идеале OpenStack минимизирует препятствия к реализации эффективной автоматизации IT-инфраструктуры, так как он может работать на оборудовании массового выпуска и приспосабливаться к потребностям пользователей. На саммите OpenStack в докладе представителей американской компании-ритейлера Walmart было сказано, что при переходе на обобщённый аппаратный сервер с работающим OpenStack новые серверы обошлись в два раза дешевле и общая стоимость эксплуатации системы упала на 300% по сравнению с предыдущим образом действий.

В OpenStack есть, конечно, несколько недостатков. Традиционная головная боль – это установка, настройка и миграция. Чтобы избежать этих узких мест, организации могут выбирать простую опцию публичного облака, однако выбор правильной облачной инфраструктуры – не всегда вопрос только удобства (или цены, если речь идёт об этом).

В отчёте от аналитической компании «451 Research» общий годовой доход вендоров, так или иначе имеющий отношение к OpenStack, может достигнуть к 2018 году 3 млрд долларов, увеличив сложный годовой темп роста (CAGR) за период с 2014 по 2018 год на 40 %. Большая часть этого дохода достанется, вероятно, поставщикам услуг OpenStack, меньший кусок перепадёт дистрибуторам OpenStack, рынку инструментария разработчиков по методологии DevOps, рынку решений по администрированию облаков и рынку PaaS (платформа как услуга) на OpenStack **(рис. 3)**. Есть вероятность, что продолжится консолидация в рамках комьюнити OpenStack (наподобие того, как Cisco приобрела Metacloud), поскольку большие вендоры хотят и откусить побольше.

Компоненты и архитектура OpenStack

OpenStack аккумулирует много новых API-интерфейсов и компонентов. Это результат стремительной разработки в течение нескольких лет. В список компонентов входят:

- Horizon: Dashboard (приборная панель),

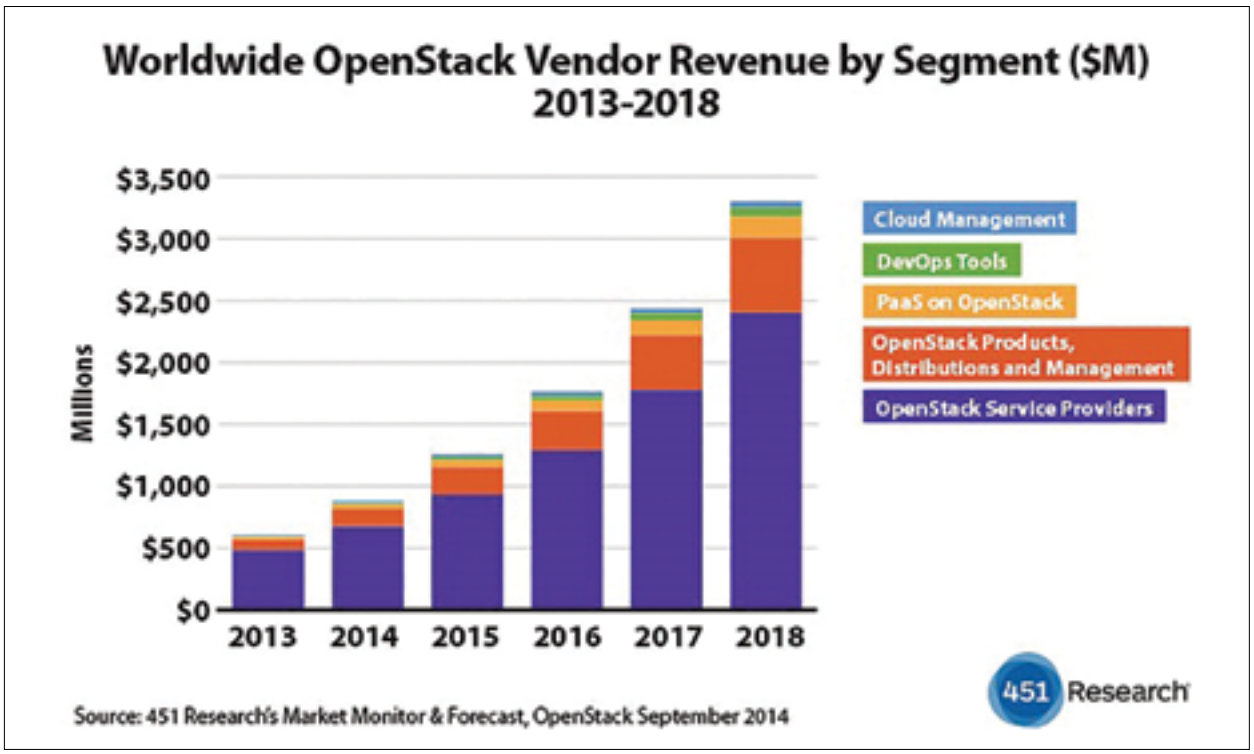

Рис. 3. Общий годовой доход вендоров в сегменте OpenStack по годам с 2013 по 2018 гг.

– Nova: Compute (вычислительные услуги),
– Cinder: Block storage (блочные хранилища),
– Swift: Object storage (хранилища объектов, облачное файловое хранилище),
– Neutron: Networking (сетевой уровень связи с Compute),
– Keystone: Identity (идентификация),
– Ceilometer: Telemetry (измерение и контроль),
– Ironic: Bare metal provisioning (предоставление «железа», в отличие от виртуальных машин),
– Sahara: Elastic map reduce (масштабируемый стек обработки данных и интерфейсы администрирования),
– Heat: Orchestration (согласование работы облачных приложений),
– Glance: Images (работа с образами дисков и серверов),
– Zaqar: Multi-tenant cloud messaging
– Watcher (OpenStack Infrastructure Optimization) (оптимизация существующих виртуальных ресурсов).

Выше, в абзаце о том, как OpenStack может работать на базовом уровне, упоминался Horizon, компонент OpenStack, который играет роль «приборной панели» и представляет собой графический интерфейс администрирования. Так как OpenStack имеет много компонентов, рабочий процесс может выглядеть, например, так:

– пользователь использует Horizon (компонент «приборная панель») для запроса виртуальной машины (VM) с запущенной в ней ОС SUSE Linux,
– компонент Keystone осуществляет аутентификацию этого запроса,
– далее запрос передаётся компоненту Nova, который создаёт начальную запись для создания VM,
– теперь Nova может послать запрос компоненту Glance на предоставление образа VM,
– посылается запрос компоненту Neutron, который отображает сетевой контроллер (NIC) каждой виртуальной машины на его сеть и присваивает IP-адреса,
– посылается запрос компоненту Cinder для получения данных из хранилища,
– запрос передаётся обратно в компонент Nova, который запускает загруженную виртуальную машину.

OpenStack – это огромная и развивающаяся экосистема. Она сталкивается со значительной конкуренцией со стороны публичных облаков, а также, вероятно, более зрелых решений с открытым исходным

кодом, таких как CloudStack, однако её имидж, брэнд и масштабность говорят о том, что она с большой вероятностью будет занимать важное место среди облачных технологий и в ближайшем будущем.

Резюме

OpenStack – открытая операционная система для облачных вычислений. Созданная NASA и RackSpace, она предоставляет логические абстракции для управления сетью и обеспечения согласованной работы всех её элементов. Она состоит из множества компонентов с различными функциями, такими как контроль вычислительных ресурсов (compute), хранение информации (storage) и аутентификация (identity). Сообщество OpenStack, в котором участвует множество уважаемых поставщиков услуг и оборудования, настолько велико, что проект OpenStack можно смело назвать одним из наиболее важных проектов с открытым исходным кодом во всём мире.

OpenFlow

В этом разделе рассмотрим некоторые открытые сетевые протоколы, которые стали использоваться, чтобы сети работали быстрее. Вероятно, самый заметный – это OpenFlow, который по-настоящему ускорил развитие SDN, так как в этой индустрии обратили внимание на идею, что коммутаторы могут быть программируемыми. Корни OpenFlow лежат в проекте 2006 года Ethane, его придумал студент Стэнфорда Мартин Касадо (Martin Casado). Сейчас OpenFlow курируется консорциумом Open Networking Foundation.

OpenFlow: протокол для управления трафиком и оркестрации SDN

Несмотря на свою славу, OpenFlow – не единственный протокол, созданный для SDN, и сам по себе он не настолько всеобъемлющ, чтобы отождествлять его с SDN. Это лишь строительный блок для архитектуры SDN, который позволяет реализовать сущность SDN – ключевые абстракции и программируемость.

В своей основе OpenFlow централизует управление коммутацией пакетов, приходя на смену используемому в большинстве сетей проприетарному ПО, которое контролирует, куда каждый коммутатор посылает пакеты. То есть вместо простого сопоставления адресов получателей пакетов с заданными в таблице предлагается использовать поле гибкого трафика – протокол OpenFlow предназначен стать внутри SDN стандартным коммуникационным интерфейсом между подсистемой управления (control plane) и подсистемой пересылки пакетов (forwarding plane). С помощью OpenFlow можно отделить друг от друга не только control plane и forwarding plane, но и физические и логические конфигурации.

Если обычный коммутатор 2-го уровня (L2) самообучается, постепенно заполняя таблицы маршрутизации на основе анализа MAC-адресов и лавинной односторонней передачи пакетов, а для пересылки пакетов по назначению использует MAC-адреса получателей, то сеть, построенная вокруг OpenFlow, получает свои команды таблицы маршрутизации от контроллера OpenFlow (подобно OpenDaylight), работающего в сервере или виртуальной машине. Контроллер OpenFlow взаимодействует с коммутаторами и маршрутизаторами через протокол OpenFlow, а с вышележащими («на севере») бизнес-приложениями – через API-интерфейсы.

Такое централизованное расположение контроллера позволяет ему оптимизировать управление сетевым трафиком: максимально использовать полосу пропускания, улучшить качество и класс предоставляемых услуг передачи данных (QoS) по всему маршруту и эффективно реагировать на динамику запросов со стороны приложений и сервисов (на основе бизнес-правил). OpenFlow – это идеальный компаньон для «оркестрации» облаков, поскольку благодаря своей более гибкой, программируемой природе он может стать основой для сетевых соединений, поддерживающих формируемые по определённым правилам инфраструктурные среды.

Система OpenFlow состоит из трёх ключевых компонентов:

- таблиц маршрутизации в совместимых с OpenFlow коммутаторах,
- описанного выше контроллера OpenFlow,
- протокола OpenFlow, по которому взаимодействуют контроллер и коммутаторы.

Запись в таблице маршрутизации, которая расположена в совместимом с OpenFlow коммутаторе, содержит поля пакетов для сопоставления, включая источник (или приёмник) Ethernet или IP-адреса, порты TCP/IP и т.п. Выполняемые действия, такие как отправление пакета в нужный порт, изменение значений заголовка или отбрасывание пакета, определяются правилами маршрутизации на основе этих полей.

Параметры трафика задаются контроллером, который будет, как обычно, получать разные пакеты, поля которых не будут согласовываться с существующими записями в таблице маршрутизации. Когда контроллер обработает один из этих пакетов, он создаст новую запись с инструкциями, что делать с аналогичными пакетами в будущем.

Обмен сообщениями между контроллерами OpenFlow и коммутаторами OpenFlow может быть симметричным, асинхронным или от контроллера к коммутатору:

- симметричные сообщения – это приветственные (hello) сообщения между коммутатором и контроллером, а также эхо-сообщения для мониторинга задержек передачи от коммутатора к контроллеру;
- асинхронные сообщения – приходят от коммутатора и представляют собой упомянутый выше случай пакета, который несопоставим ни с одной записью в существующей в данный момент таблице маршрутизации. Этот коммутатор может также информировать контроллер о смене порта, ошибке или аннулировании трафика из-за неактивности.
- сообщение от контроллера к коммутатору – это, например, запрос контроллером информации от коммутатора, модификация таблиц маршрутизации или пересылка пакета после того, как была создана новая запись.

OpenFlow и комьюнити SDN

Openflow – это важная деталь в деятельности как движения SDN, так и более широкого комьюнити open source. OpenFlow обладает ключевой взаимосвязью с OpenDaylight и Open vSwitch (например, даёт возможность программно расширять Open vSwitch, что облегчает сетевую автоматизацию). Для SDN это самый важный протокол с открытым исходным кодом для абстрагирования передачи трафика и управления. В настоящее время в консорциум Open Networking входит много важных вендоров, таких как HP, Huawei и IBM, и он продолжает совершенствовать OpenFlow.

Однако это не единственная «игра» на данном поле. Компания Cisco продвигает в качестве элемента своей ориентированной на приложения сетевой инфраструктуры ACI (Application Centric Infrastructure) протокол OpFlex, роль которого в SDN значительно отличается и не требует специфического набора возможностей OpenFlow. Кроме того, предлагается совершенно другая парадигма программируемых сетей – оверлейные сети, например NSX от компании VMware.

Территория SDN, открытая протоколом OpenFlow несколько лет назад, по-прежнему высококонкурентна. По мере того как всё большее число организаций переходят на программно-определяемые центры обработки данных (ЦОД) и дополнительную виртуализацию, конкурентоспособность SDN растёт. И несмотря на заявление аналитической компании Gartner о том, что SDN-сети в полуцикле своего развития находятся в самой нижней точке, истинные приверженцы SDN продолжают упорно совершенствовать протоколы типа OpenFlow и его конкурентов и превращать их в реальные решения. И только время покажет, какая парадигма одержит верх.

Литература

1. A survey of open networking standards, part 1: OpenDaylight, http://embedded-computing.com/23808-a-survey-of-open-networking-standards-part-1-opendaylight/

2. A survey of open networking standards, part 2: Open vSwitch, http://embedded-computing.com/guest-blogs/a-survey-of-open-networking-standards-part-2-open-vswitch/

3. A survey of open networking standards, part 3: OpenStack, http://embedded-computing.com/guest-blogs/a-survey-of-open-networking-standards-part-3-openstack/

4. A survey of open networking standards, part 4: OpenFlow http://embedded-computing.com/guest-blogs/a-survey-of-open-networking-standards-part-4-openflow/

5. OpenDaylight Platform Overview https://www.opendaylight.org/lithium

Алекс Хентрон-Айвейн
(Alex Henthorn-Iwane) | QualiSystems

Синхронизация и координация **работы систем управления** и сбора данных **на экспериментальной** термоядерной установке **«Токамак Т-15»**

Галина Кузьмина, Юрий Моцкин | АО «РТСофт»
Михаил Соколов, Пётр Хвостенко | НИЦ «Курчатовский институт»

В статье представлены решения по реализации задачи синхронизации и координации работы систем управления экспериментом на термоядерной установке «Токамак Т-15». Дано описание требований к средствам решения этой задачи, описание комплекса программных и аппаратных средств и технологии реализации поставленной задачи.

1. Постановка задачи

Экспериментальная термоядерная установка «Токамак Т-15» предназначена для проведения экспериментов как в поддержку международного проекта ИТЭР, так и в целях развития управляемого термоядерного синтеза и реакторных технологий в России. Высокая энерговооружённость установки, широкий набор средств магнитного и кинетического управления плазмой позволят решать на установке «Токамак Т-15» весь спектр задач от разработки и тестирования новых методов управления плазмой в токамаке с дивертором, до получения новых экспериментальных данных и знаний для уточнения технических решений, которые будут применяться при проектировании будущих стационарных термоядерных установок, в частности термоядерного источника нейтронов (ТИН) [1, 2].

Установка «Токамак Т-15» представляет собой крупный экспериментальный комплекс. Она должна обеспечивать ток плазмы 2 МА, длительность плазменного разряда до 30 с. Она должна также включать мощные квазистационарные системы дополнительного нагрева и поддержания тока в плазме с суммарной мощностью до 300 МВт в импульсе [3].

В настоящее время работы по модернизации установки «Токамак Т-15» вступают в заключительную стадию. Физический пуск установки намечен на 2019 год.

Установка «Токамак Т-15» представляет собой сложный комплекс взаимодействующих между собой технологических и инженерных систем.

Проведение эксперимента на установке обеспечивается набором автоматизированных и автоматических процедур, включающих:
– планирование,
– подготовку,
– выполнение,
– сбор и комплексный анализ результатов.

Перечисленные задачи призвана решать создаваемая для установки «Токамак Т-15» информационно-управляющая система (ИУС Т-15) [4, 5].

Одним из важнейших компонентов ИУС Т-15 является система координации и синхронизации скоростных систем (СКСС), то есть систем, управляющих работой установки непосредственно в ходе эксперимента и обеспечивающих сбор экспериментальных данных.

Назначение СКСС состоит в том, чтобы по заданной циклограмме эксперимента, включающей в себя как статические (заданные метками времени), так и динамические (детектируемые) события, обеспечить синхронную и скоординированную работу систем управления экспериментом и сбора данных в процессе эксперимента. Кроме того, СКСС реализует процедуру межсистемных противоаварийных защит (ПАЗ).

Требования к характеристикам СКСС ИУС Т-15 следующие:

- точность синхронизации запуска компонентов ИУС Т-15 – 1 мкс;
- допустимая задержка сигнала запуска системы относительно события в плазме – 100 мкс;
- обработка аварийных ситуаций между системами (определили в одной, обработали в другой) – 100 мкс;
- точность фиксации астрономического времени – не более 1 мкс;
- количество подключаемых систем ИУС Т-15 – до 50.

Следует учитывать, что Т-15 – одна из крупнейших установок такого типа. Её технологические системы и соответственно компоненты ИУС Т-15 разнесены на значительные расстояния (до сотен метров). Во время проведения эксперимента около токамака создаётся сложная электромагнитная обстановка, вызывающая сбои в работе электроники, кроме того некоторые подсистемы могут находиться под высоким потенциалом от 1,5 кВ до 80 кВ. Это, естественно, накладывает дополнительные требования и на архитектуру СКСС. В том числе одним из базовых требований является необходимость использования в СКСС оптических каналов связи.

2. Архитектура СКСС

СКСС включает центральный узел управления, выполняющий детектирование событий и отработку циклограммы эксперимента, а также специализированные сети, обеспечивающие основные типы функциональности системы:

- оптическая сеть импульсной синхронизации, обеспечивающая синхронный старт управляющих систем в процессе эксперимента и синхронное начало фиксации данных, снимаемых с установки;
- оптическая сеть рефлективной памяти, обеспечивающая обмен данными и координацию работы систем в процессе эксперимента;
- дуплексная оптическая сеть ПАЗ, обеспечивающая выдачу команд перевода в аварийное состояние заданных систем при выявлении аварии в одной из систем;
- сеть точного времени (Ethernet, протокол PTP), обеспечивающая передачу сигналов, с помощью которых СКСС фиксирует точное астрономическое время возникновения событий, происходящих в процессе выполнения эксперимента.

СКСС должна также обмениваться информацией по сети Ethernet с Центральной системой управления (ЦСУ) ИУС Т-15.

Архитектура СКСС представлена на **рис. 1**.

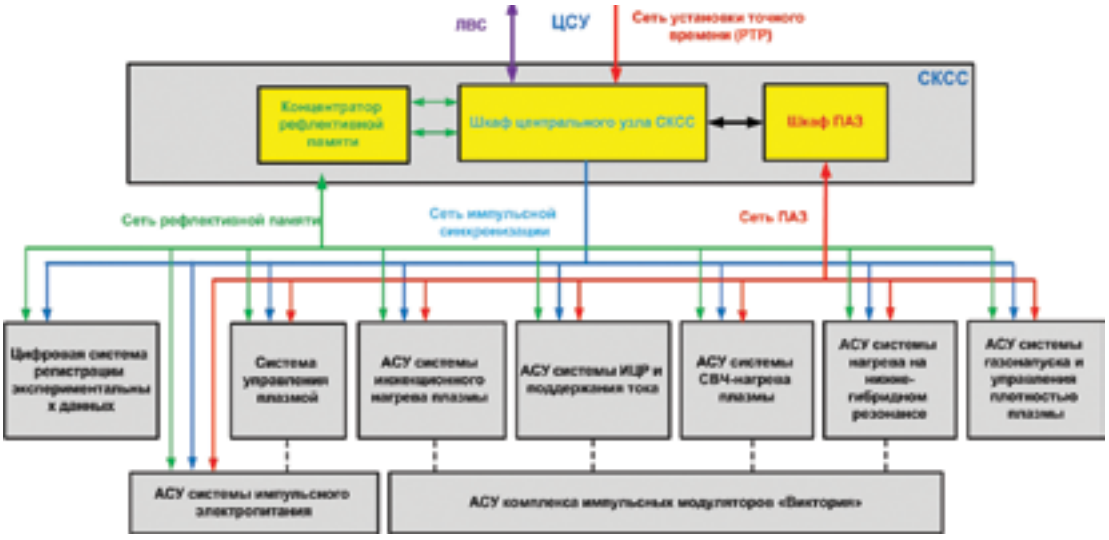

Рис. 1. Архитектура СКСС ИУС Т-15

3. Программно-аппаратный комплекс СКСС

СКСС строится на программно-аппаратных средствах фирмы компании National Instruments.

Аппаратные средства функционируют под управлением операционной системы (ОС) LabView RT.

Управляющий комплекс программно-аппаратных средств СКСС включает два шкафа:
– шкаф центрального узла СКСС;
– шкаф ПАЗ.

Шкаф центрального узла СКСС содержит шасси PXIe, в котором размещаются основной контроллер (NI PXIe-8135), модуль синхронизации и установки точного времени (NI PXI-6683H), модуль рефлективной памяти (GE cPCI-5565PIORC) и модуль дистанционного управления (NI PXIe-8364H) для подключения программируемого шасси, размещённого в шкафу ПАЗ (**рис. 2**).

Также в шкафу центрального узла СКСС размещается концентратор сети рефлективной памяти (GE ACC-5595), к которому можно подключить до 6 абонентов (в том числе и центральный узел СКСС). Сеть рефлективной памяти может строиться на основе топологии типа звезда или кольцо. При использовании кольца абоненты подключаются последовательно и на каждом подключении возникает дополнительная задержка. Поскольку в сети рефлективной памяти СКСС будет более 10 абонентов, выбрана топология типа звезда, основу которой составляет кольцевая сеть концентраторов.

Шкаф ПАЗ содержит программируемое шасси MXI-Express RIO NI 9157, в котором установлены скоростные модули С-серии National Instruments. Шасси строится на базе скоростной ПЛИС (Xilinx Virtex-5 LX110), что позволяет обеспечить реализацию требований к скорости обработки аварий.

Для преобразования сигналов модулей С-серии используются многоканальные конверторы V720 (электричество-оптика) и V730 (оптика-электричество), размещённые в крейте VME CAEN.

Компоненты ИУС Т-15, подключённые к СКСС, также оснащаются аппаратными и программными средствами National Instruments, обеспечивающими их скоординированную работу.

Прикладное программное обеспечение (ППО) СКСС представляет собой проект в среде программирования LabView 2014 (National Instruments) и обеспечивает функционирование центрального узла СКСС (на базе встраиваемого контроллера NI PXIe-8135) и узла ПАЗ, построенного на основе конфигурируемых шасси MXI-Express RIO.

ППО центрального узла СКСС реализует следующую функциональность:
– формирование команд для выполнения импульсной синхронизации контроллеров комплекса сбора данных и скоростных контроллеров управления и передача их по кабелю MXIe в контроллер ПАЗ;
– передача по кабелю MXIe в контроллер ПАЗ массива конфигурации защит и сообщений об аварийных ситуациях системы СКСС;
– координацию работы контроллеров управления, обеспечивающих управление в процессе рабочего импульса токамака с использованием рефлективной памяти;
– получение по кабелю MXIe от контроллера ПАЗ, построенного на конфигурируемом шасси MXI-RIO, информации об авариях, произошедших в подсистемах;
– получение по интерфейсу Modbus TCP команд от ЦСУ и выдача в ЦСУ квитанций и статусной информации;
– получение по сети Ethernet от внешнего сервера точного времени астрономического времени (протокол PTP).

ППО узла ПАЗ реализует следующую функциональность:
– контроль аварийных ситуаций на подключённых системах;
– выдачу, в соответствии с заданным алгоритмом, на подключённые системы команд о переходе в аварийное состояние;
– обмен данными с центральным узлом СКСС.

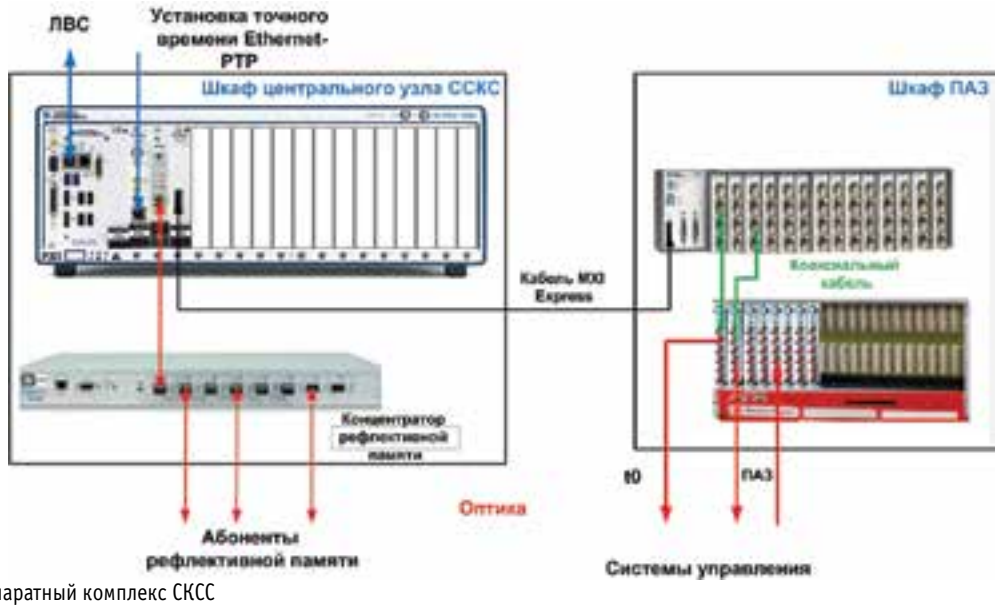

Рис. 2. Аппаратный комплекс СКСС

4. Технология управления выполнением эксперимента с использованием средств СКСС

СКСС функционирует на основе получаемого из ЦСУ файла циклограммы эксперимента (файл временных меток). В циклограмме содержится перечень привязанных ко времени событий, происходящих в установке в процессе выполнения эксперимента.

Типичный перечень основных событий приводится в таблице.

Типичный перечень основных событий, происходящих в установке в процессе эксперимента

Номер события	Обозначение	Событие
1	t0	Старт эксперимента
2	t1	Начало ввода токов в катушки токамака
3	t2 (t_sc0)	Начало напуска газа (регулирование по давлению)
4	t2-1	Давление достигло нужного значения
5	t3	Все токи достигли расчётного значения
6	t4	Старт диагностик
7	t_sc1 (t5)	Начало пробоя разряда
8	tst1	Начало разряда (ток плазмы превысил уставку)
9	tst2	Плотность свободных электронов в камере превысила уставку
10	t_sc2	Начало управляемого подъёма плазменного тока
11	t_sc3	Включение компонентов системы дополнительного нагрева
12	t_sc4	Начало стационарной стадии разряда
13	t_sc5	Начало стадии вывода тока из плазмы
14	t_sc6	Выключение компонентов системы дополнительного нагрева
15	t_sc7	Выключение системы напуска газа
16	t_sc8	Конец разряда
17	t_sc9	Конец вывода токов из катушек токамака

При выполнении циклограммы используется относительное время – в микросекундах относительно старта эксперимента (t0).

События, происходящие во время эксперимента, либо инициируются системами управления, либо возникают и детектируются в результате процессов, происходящих в камере токамака.

Последние, очевидно, могут сдвигаться относительно расчётных значений. В этих условиях требуется корректировать времена старта событий, вызванных управляющими воздействиями. В СКСС встроен программный механизм, обеспечивающий такую корректировку.

Этот механизм действует через рефлективную память, с использованием которой все управляющие системы отслеживают актуальные значения меток времени.

В процессе работы с рефлективной памятью системы следят за временем по своим внутренним часам, которые, с учётом применения специализированных модулей National Instruments, являются достаточно точными – 80 ppb (модуль PXIe-6674T).

Тем не менее для реализации особо жёстких требований, предъявляемых к синхронности работы систем в процессе эксперимента, в СКСС задействован механизм импульсной синхронизации.

С помощью средств импульсной синхронизации осуществляется передача на все подключённые управляющие системы стартового сигнала t0 по команде «Старт» из ЦСУ. Передний фронт сигнала – начало отсчёта времени эксперимента системами по их внутренним часам.

Затем с помощью средств импульсной синхронизации осуществляется передача на все подключённые измерительные системы сигнала t4 – начала фиксации значений измеряемых параметров от диагностик установки. Сигнал t4 вырабатывается в соответствии с циклограммой эксперимента.

Одновременно с координацией и синхронизацией работы систем управления СКСС в процессе эксперимента осуществляет контроль работоспособности задействованных систем и реализацию межсистемных защит. Эти функции реализует входящая в состав СКСС система ПАЗ.

ПАЗ функционирует на основе массива конфигурации защит. Массив представляет собой таблицу, содержащую перечни групп систем, которые должны принудительно переводиться в аварийное состояние при выявлении аварии в данной конкретной системе.

Массив изначально задаётся в виде редактируемого файла.

Между ПАЗ и каждой подключённой системой организован дуплексный канал. Система при готовности к работе выставляет на своем выходе сигнал «Отсутствие аварии». ПАЗ же в этом случае на своём выходе тоже выставляет сигнал готовности.

При возникновении аварийной ситуации («Авария») система снимает сигнал «Отсутствие аварии».

При обнаружении аварии какой-либо системы ПАЗ снимает сигнал готовности на выходах для тех подсистем, которые определены для этого случая в массиве конфигурации защит.

Для подключённых к ПАЗ подсистем значению «Отсутствие аварии» на её выходе соответствует наличие меандра с частотой 500 кГц, значению «Авария» – отсутствие меандра. ПАЗ расценивает отсутствие меандра на протяжении 4 мкс (2 периода) как сигнал об аварии от системы. Сигналы же, передаваемые от ПАЗ к подсистемам, формируются в соответствии с общей логикой: 1 – нет аварии, 0 – авария.

СКСС осуществляет привязку данных, собираемых в процессе эксперимента, к точному астрономическому времени.

Астрономическое время центральный узел СКСС получает от имеющегося в составе ИУС Т-15 сервера точного времени, оснащённого GPS-антенной. Протокол передачи астрономического времени – PTP (стандарт IEEE 1588).

5. Выводы

В настоящее время основные компоненты СКСС изготовлены, установлены на объекте (НИЦ «Курчатовский институт») и прошли стендовые автономные испытания.

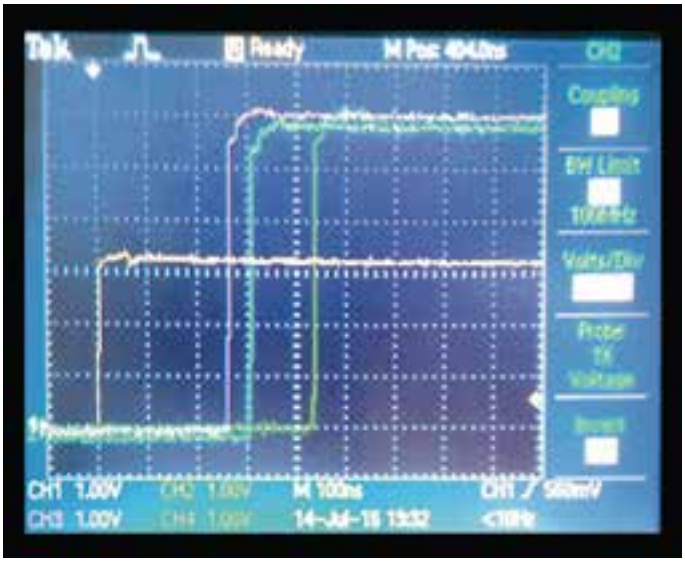

Рис. 3. Импульсная синхронизация СКСС (экран осциллографа)

Проверки показали, что предложенные архитектурные и программно-аппаратные решения обеспечивают построение системы, удовлетворяющей требованиям, перечисленным в разделе 1 настоящей статьи.

Использование рефлективной памяти для обеспечения координации работы систем в процессе выполнения эксперимента оказывается оправданным. С использованием концентраторов скорость актуализации данных во всех узлах рефлективной памяти – десятки микросекунд, что с запасом обеспечивает выполнение всех задействованных контуров управления.

Результаты, которых удалось достигнуть с помощью системы импульсной синхронизации СКСС, представлены на **рис. 3**.

На экране осциллографа одна клетка по горизонтали соответствует времени в 100 нс.

Видно, что задержка между выдачей в СКСС импульсного сигнала t0 и приходом сигналов синхронизации в подключённых системах не превышает 450 нс, а рассинхронизация импульсных сигналов, определяющих начало отсчёта времени для трёх управляющих систем, составляет не более 200 нс (в данном случае это система управления плазмой, система импульсного электропитания и система газонапуска, отмеченные красным, синим и зелёным цветом).

Замеры показали, что время обработки сигналов аварийных ситуаций в ПАЗ, то есть приём и распознавание аварийных сигналов от систем и выдача команд на переход в аварийное состояние, занимает несколько микросекунд.

Наконец точность фиксации астрономического времени в СКСС с использованием модуля NI PXI-6683H и при прямом подключении сервера точного времени к центральному узлу СКСС не превышает 100 нс.

Ссылки

1. В. А. Альхимович, Е. П. Велихов, М. М. Соколов, П. П. Хвостенко, и др. Инженерно-физическое обоснование реконструкции ТОКАМАКА Т-15. Вопросы атомной науки и техники. Серия Термоядерный синтез, 2008, №03.

2. ITER Physics Basis. — Nucl. Fusion, 1999, vol. 39, p. 2137.

3. Azizov E., Khvostenko P., Anashkin I., Belyakov V., Bondarchuk E., Filatov O., Krylov V., Melnikov A., Mineev A., Sokolov M., Sushkov A. 25th IAEA Fusion Energy Conference, St. Petersburg, Russian Federation, October 13–18, 2014, Book of Abstracts, FIP/ 3-2, p.515.

4. Ю. Я. Моцкин, М. М. Соколов, П. П. Хвостенко. Информационно-управляющая система экспериментальной термоядерной установки «Токамак Т-15». Мир компьютерной автоматизации: встраиваемые компьютерные системы, 2015, №03.

5. Г. С. Кузьмина, Ю. Я. Моцкин, М. М. Соколов, Р. Р. Хайрутдинов, П. П. Хвостенко. Комплекс магнитного управления плазмой информационно-управляющей системы установки «Токамак Т-15». Мир компьютерной автоматизации: встраиваемые компьютерные системы, 2016, №01.

Галина Кузьмина, Юрий Моцкин | АО «РТСофт», 105037,
Москва, ул. Никитинская, д. 3 | (495) 967-15-05 | rtsoft@rtsoft.msk.ru
Михаил Соколов, Пётр Хвостенко | НИЦ «Курчатовский институт» | 123098, Москва,
пл. Академика Курчатова, д.1 | (499) 196-96-39 | sokolov_mm@nrcki.ru

«РТСофт» на выставке «Электрические сети России 2016»

По материалам АО «РТСофт»

С 6 по 9 декабря 2016 года в Москве прошла 19-я специализированная выставка «Электрические сети России», в которой традиционно приняла участие компания «РТСофт».

Рис. 1. Панорама выставки «Электрические сети России»

На стенде компании (**рис. 2**) ведущие эксперты и специалисты «РТСофт» представили передовые продукты, программно-технические комплексы и технические решения для автоматизации объектов электроэнергетики. Это новые разработки компании в сфере систем телемеханики и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) для подстанций магистральных и распределительных сетей, а также систем обмена технологической информацией с автоматизированной системой системного оператора для объектов генерации.

Посетители смогли увидеть новые разработки компании в сфере систем телемеханики и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) для подстанций магистральных и распределительных сетей, а также систем обмена технологической информацией с автоматизиро-

Рис. 2. Стенд «РТСофт» на выставке «Электрические сети России»

Рис. 3. Программно-технические комплексы SMART-SPRECON (слева) и СМАРТ-КП2 (в центре), а также схемы подключения оборудования (справа)

ванной системой системного оператора для объектов генерации.

Гости стенда по достоинству оценили новые функции и возможности программно-технических комплексов SMART-SPRECON и СМАРТ-КП2 **(рис. 3)**. Стоит отметить, что в этом году они успешно прошли функциональные и штормовые испытания и подтвердили свои высочайшие функциональные возможности.

Также специалисты компании продемонстрировали посетителям последние разработки в сфере приборной продукции: компактный контроллер с функциями измерений МИК-01 и многофункциональный контроллер для электроэнергетики SMART-BAY **(рис. 4)**.

Повышенным вниманием на стенде «РТСофт» пользовалось программное обеспечение «Аргентум» **(рис. 5)**. Под этим брендом собраны все разработки «РТСофт», которые превращают базовую SCADA-систему SPRECON-V460 в одну из самых функциональных и удобных SCADA-систем для АСУТП-подстанций в России.

Большой интерес у гостей стенда вызвали инновационные решения «РТСофт»:

– AMIGO – платформа для проектирования, моделирования и управления локально районированными энергосистемами.

Рис. 4. Контроллер МИК-01 (слева) и контроллер SMART-BAY (справа)

Рис. 5. Программное обеспечение «Аргентум»

Рис. 6. Платформа AMIGO

AMIGO позволяет осуществлять планирование развития локальных энергосистем, проводить анализ их систем защиты и управления, обеспечивать оптимизацию и предиктивное управление различными элементами энергосистем **(рис. 6).**

– PF.Protection – программный комплекс для комплексной автоматизации задач служб релейной защиты и автоматики. PF.Protection обеспечивает выполнение расчётов всех видов повреждений, детальное моделирование РЗА и другие важные функции.

Эксперты компании провели ряд встреч на стенде и на деловых мероприятиях выставки **(рис. 7)**. В программу «Электрических сетей – 2016» были включены конференции и круглые столы, посвящённые актуальным темам отрасли.

В рамках выставки «Электрические сети России – 2016» состоялась VI международная научно-практическая конференция «Автоматизация и информационные технологии в энергетике 2016», где рассматривалось современное состояние и тенденции развития информационно-управляющих систем и телекоммуникаций в энергетике **(рис. 8)**. Это ежегодное специализированное мероприятие, проводимое под эгидой Российского национального

Рис. 7. Деловые встречи на стенде «РТСофт»

Рис. 8. Об угрозах и векторах атак для объектов энергетики и автоматизации докладывает Кимберли Лукин из DNV GL Energy

Рис. 9. Выступает Павел Литвинов (РТСофт)

Рис. 10. Александр Егоров анонсирует коллоквиум D2 CIGRE

комитета Международного совета по электрическим сетям высокого напряжения (РНК СИГРЭ), организует журнал «Автоматизация и IT в энергетике». В конференции рассматривались следующие темы, которые освещались в докладах и в формате «круглых столов»:

- Автоматизированные информационно-технические системы, включая системы управления, телемеханики и связи, мониторинга и диагностики, управления активами.
- Интеллектуальные активно-адаптивные сети (Smart Grid, цифровые подстанции и т.п.).
- Обеспечение безопасности информационных систем объектов топливно-энергетического комплекса, защита от киберугроз.
- Оптимизация производства, распределения и потребления энергоресурсов.
- Вопросы импортозамещения при создании современных информационно-управляющих и телекоммуникационных систем в энергетике.
- Создание и эксплуатация информационных и телекоммуникационных систем для электроэнергетики.
- Применение «необслуживаемого» энергоэффективного оборудования.
- Современные летающие лаборатории на базе БПЛА для мониторинга объектов ТЭК, опыт применения.

Ведущие эксперты-энергетики и члены созданного на базе «РТСофт» подкомитета D2 РНК СИГРЭ «Информационные системы и телекоммуникации» приняли в конференции самое активное участие. В частности, на круглом столе, посвящённом кибербезопасности, начальник аналитического отдела «РТСофт» Павел Литвинов **(рис. 9)** выступил с докладом об оптимизации затрат на мероприятия по киберзащите РЗА. Во вступительным слове профессор Академии военных наук РФ Александр Егоров **(рис. 10)** анонсировал коллоквиум D2 CIGRE, в организации которого активное участие принимает «РТСофт».

По материалам АО «РТСофт»

РНК СИГРЭ на 46-й генеральной сессии **СИГРЭ**

Ольга Синенко, Андрей Вериго | АО «РТСофт»

В период с 21 по 26 августа 2016 года в г. Париже состоялась 46-я генеральная сессия Международного Совета по большим электрическим системам (СИГРЭ), в работе которой и на заседаниях Исследовательского Комитета (ИК) D2 «Информационные системы и телекоммуникации» приняли участие представители Российского национального комитета СИГРЭ (РНК СИГРЭ). Данная статья представляет собой отчёт о мероприятиях ИК D2.

В рамках 46-й сессии СИГРЭ по тематике Исследовательского комитета **(ИК) D2** «Information Systems and Telecommunication» (Информационные системы и телекоммуникации») состоялись следующие мероприятия:
– закрытое заседание **ИК D2**,
– постер-сессия комитета **ИК D2**,
– дискуссионное заседание **ИК D2**,
– заседания рабочих групп **ИК D2**.

Тематика докладов

Всего в рамках комитета **D2** «Информационные системы и телекоммуникации» (**ИСиТ**) на 46-й сессии СИГРЭ было представлено 30 докладов по следующим предпочтительным темам (ПТ):

ПТ1: Новые приложения для управления энергосистемами:
– Приложения Smart Grid для операторов распределительных и транспортных сетей.
– Приложения и решения в области больших данных.
– Конвергенция приложений SCADA, EMS, DMS и NMS.

ПТ2: Реакция энергокомпаний на эволюцию ландшафта кибербезопасности:
– Защита цифровых систем от существующих и грядущих угроз.
– Влияние развёртывания систем кибербезопасности.
– Архитектура безопасности для информационной инфраструктуры энергосистемы.

ПТ3: Мобильные приложения для операционной деятельности, системы и инфраструктуры:
– Беспроводный доступ к ресурсам ПС и электростанций, операционная платформа и обеспечение поддержки.
– Непрерывность обслуживания во время стихийных бедствий и при аварийных ситуациях.
– Использование государственной и частной инфраструктуры в создании сетей телекоммуникаций.

В том числе:
– **По направлению ПТ1 «Новые приложения для управления энергосистемами»:**
- **D2-101** Интеллектуальная интегрированная платформа для центров управления» (Бразилия).
- **D2-102** «Внедрение линейной оценки состояния на базе фазовых измерений в системы энергетического менеджмента» (США).
- **D2-103** «Использование больших данных и современных протоколов для развития новых применений в области передачи и распределения электроэнергии» (США– Китай).
- **D2-104** «Внедрение информационных и телекоммуникационных систем для создания ”умной сети” в Японии» (Япония).
- **D2-105** «Инфраструктура коммуникаций для будущих централизованных систем защиты подстанций и систем управления» (Канада).
- **D2-106** «Внедрение оперативного анализа сетей

энергосистем для создания EMS в корейском диспетчерском центре энергосистемы» (Корея).

- **D2-107** «Результаты применения стратегии семантической интероперабельности в “умных” распределительных сетях» (Мексика).
- **D2-108** «Классификация заказчиков по сезонным профилям нагрузки» (Испания).
- **D2-109** «COCO: Оперативный контроль строительства (сетевых объектов)» (Испания).
- **D2-110** «Добавление новых функций в систему управления электроэнергией для эксплуатации на период более десятилетия в Тайване» (Тайвань).
- **D2-111** «Портативные WAMS – сдвиг парадигмы» (Хорватия).
- **D2-112** «Опыт применения интеллектуальных средств обработки сигналов тревоги и принятия решений в центрах управления передачей энергии «умных» сетей» (Швеция - Хорватия).
- **D2-113** «Распределенная архитектура управления для эффективного управления распределённых источников энергии» (Германия–Франция).
- **D2-115** Оптимизация сети и жизненного цикла активов и снижение эксплуатационных и капитальных затрат с помощью прогнозного анализа и менеджмента исправности оборудования» (Швеция–Германия).
- **D2-116** «Теория и практика оценки состояния и потокораспределения на основе гибридного метода для современных диспетчерских центров энергосистем» (Китай).

– По направлениям ПТ2 «Реакция энергокомпаний на эволюцию ландшафта кибербезопасности»:

- **D2-201** «Сетевая архитектура и кибербезопасность – две стороны одной монеты» (Австралия).
- **D2-202** «Архитектура кибербезопасности для операционных технологий (ICS/SCADA)» (Нидерланды).
- **D2-203** «Приложения и менеджмент мер кибербезопасности для защиты и управления» (США– Германия).
- **D2-204** «Применение стандартов мониторинга для повышения защиты энергосистем» (Италия).
- **D2-205** «Экспертная система на базе нечетких правил для кибербезопасности SCADA» (Хорватия).

– По направлениям ПТ3 «Мобильные приложения для операционной деятельности, системы и инфраструктуры»:

- **D2-301** «Беспроводные и мобильные системы для эксплуатации электроэнергетической системы в Японии» (Япония).
- **D2-302** «Обеспечение безотказности работы сети WAMS с помощью общих средств ИТ – примеры использования» (Индия).
- **D2-303** «Коммуникационные сети для сетей Smart Grid Индии» (Индия).
- **D2-304** «Эффект использования систем передачи данных развитой инфраструктуры измерений (AMI) для развития систем управления SCADA в умных распределительных сетях среднего и низкого напряжения» (Польша).
- **D2-305** «MAGIC — интеллектуальное устройство управления для агентов микросетей» (Греция).
- **D2-306** «Телекоммуникации на основе технологии PLC по ЛЭП среднего напряжения. Эволюционный путь для создания устойчивых частных сетей связи в умных сетях» (Испания).
- **D2-307** «Интеграция информационных и эксплуатационных технологий для повышения эффективности управления аварийными отключениями» (Великобритания).
- **D2-308** «Исследование развития инфраструктуры связи для управления и эксплуатации умных сетей» (Китай).
- **D2-309** «MPLS-TP как пакетная платформа для критических сервисов в передаче электроэнергии» (Венесуэла).
- **D2-310** «Сеть передачи данных для реализации новой автоматической системы управления распределением электроэнергии» (Япония).

Принятые решения о направлениях работ ИК и запланированные мероприятия комитета на 2017–2018 гг. позволяют сделать вывод о возможности более широкого участия российских специалистов в работе престижной международной организации. Это позволит расширить международные связи и интенсифицировать научно-технический обмен между РФ и другими странами.

Специальными репортёрами (экспертами) представленных докладов были Марселу Коста-ди-Араужу (ПТ1), Йенс Цербст (ПТ2) и Исаак Альберто Парра Рамирес (ПТ3). Модератором стендовых докладов являлся

г. Жоэль Нуар (Joel Nouard, joel.nouard@rte-france.com), который в настоящее время является секретарём **ИК D2**.

Распределение докладов по предпочтительным темам

Предпочтительная тема	Количество докладов
ПТ 1	15
ПТ2	5
ПТ3	9
Итого	29

Распределение докладов по количеству среди предпочтительных тем показано в таблице. Большая часть этих докладов была представлена на постер-сессии, где имелась возможность непосредственного общения и дискуссии с авторами докладов.

Данные о рабочих группах ИК D2

К настоящему времени в **ИК D2** действуют следующие рабочие группы:

- **D2.01 Core business information systems and services** (Основной бизнес в информационных системах и услугах);
- **D2.02 Communication with other SCs and Cigre Stakeholders** (Взаимодействие с другими исследовательскими комитетами и заинтересованными сторонами СИГРЭ);
- **D2.03 Telecommunication networks, services and technology** (Телекоммуникационные сети, сервисы и технологии);
- **D2.31 Security architecture principles for digital systems in Electric Power Utilities (EPUs)** (Принципы архитектуры кибербезопасности для цифровых систем в энергокомпаниях);
- **D2.34 Telecommunication and Information Systems for Assuring Business Continuity and Disaster Recovery** (Телекоммуникационные и информационные системы для обеспечения непрерывности бизнеса и восстановления после сбоев);
- **D2.35 Scalable Communication Transport Solutions over Optical Networks** (Масштабируемые транспортные решения на основе оптических сетей);
- **D2.36 Communication solutions for information exchange in the smart delivery of electrical energy** (Коммуникационные решения для передачи информации в смарт-системах поставки электрической энергии);
- **D2.40 Cyber risks and cyber security for the next generation of digital systems in Electric Power Utilities** (Киберриски и кибербезопасность для следующего поколения цифровых систем в энергокомпаниях);
- **D2.42 Synchronization and time distribution in communication networks for time-sensitive distributed operational applications in the power grid** (Синхронизация и распределение времени в сетях связи для чувствительных ко времени приложений распределённого управления в энергосистеме);
- **JWGB5/D2.46 Application and management of cyber security measures for Protection & Control systems** (Применение и управление мерами кибербезопасности для систем защиты и управления);
- **JWGD2/B2.39 Design, deployment and maintenance of Optical Cables associated to Overhead HV Transmission Lines** (Проектирование, развёртывание и обслуживание оптических кабелей, смонтированных на ЛЭП высокого напряжения);
- **JWGD2/C2.41 Advanced Utility Data Management and Analytics for Improved Situational Awareness of EPU Operations** (Расширенное управление данными и аналитика для усовершенствования ситуационного ориентирования в операционной деятельности энергокомпаний);
- **WGD2.38 A framework for Electric Power Utility (EPU) operators to manage the response to a cyber-initiated threat to their critical infrastructure** (Операционная среда для операторов энергокомпаний по управлению реакцией на инициированные киберугрозы их критической инфраструктуре).

Публикации

В рабочей группе WGD2.34 **разработана Техническая брошюра** (ТВ) «Телекоммуникационные и информационные системы для обеспечения непрерывной работы энергосистемы (бизнеса) и их аварийное восста-

новление». На данный момент брошюра находится на этапе обсуждения членами ИК D2.

Публикации в электронных изданиях СИГРЭ:

– Электронный журнал «Electra»:
  - ИК D2 Коллоквиум, октябрь 2015, Лима: Электра, апрель 2016;
  - ИК D2, Сессия СИГРЭ, годовой доклад 2015: Электра, Август 2016;
– Вклад ИК D2 в подготовку нового издания («Green book»):
  - Члены ИК D2 подготовили свои предложения по итогам обсуждения представленных докладов на сессии СИГРЭ в 2016 г. в качестве рекомендаций для публикации в Green book. Планируется новое издание Green book, полностью посвящённое тематике ИК D2: «Utility Communication Network and Services».

Участие в мероприятиях CIGRE

Одним из важнейших мероприятий на сессии было **закрытое заседание ИК D2 (SC private meetings)**, в котором приняли участие представители национальных комитетов стран-участников, регулярные и наблюдательные члены комитета D2.

В **программу заседания** были включены следующие вопросы:

– Изменение состава регулярных членов и наблюдателей, в том числе регулярно отсутствующих, приём новых членов.
– Утверждение протокола 2015 года по результатам Коллоквиума в Лиме (Перу).
– Публикации, выпущенные с момента последнего очередного заседания SC D2.
– Участие в смежных организациях и работах, таких как:
  - Технический комитет IEC/TC57,
  - Международное энергетическое агентство,
  - Европейская технологическая платформа по Smart Grids «Цифровая энергия 4.0» (The Digital Energy System 4.0),
  - Отчёты региональных организаций,
  - Отчёты руководителей рабочих групп,
  - Предложения председателя ИК по плану действий и участию в публикациях нового издания СИГРЭ «Green Books»:
    - приоритетные темы на 47-ю сессию CIGRE в 2018 г.,
    - приоритетные темы на предстоящие заседания и коллоквиумы;
    - симпозиумы и будущие события,
    - выбор публикаций для «Green Books» на основе предоставленных к сессии докладов;
  - Выступления и предложения членов ИК.

Во время заседания рассматривались **вопросы смены председателя и секретаря ИК**. В результате обсуждения были произведены следующие перестановки:

– Вместо председателя Карлоса Самитьера (Carlos Samitier) выбран новый председатель Филиппа Куэнадона (Philippe Quenaudon).
– Вместо секретаря Маурицио Монтти (Maurizio Monti), который находился на этом посту 10 лет, выбран новый секретарь Жоэль Нуард (Joel Nouard).

В рамках заседания на основе представленных отчётов рабочих групп (WG) были выделены следующие стратегические, технические и административные **направления деятельности ИК D2**:

Стратегические направления:

1. Телекоммуникационные сети будущего:
   - Основные сетевые технологии в области телекоммуникаций.
   - Стратегия внедрения новых технологий.
   - Новая архитектура эксплуатации ИТ.
2. Поддержка энергоэффективности:
   - Новые приложения для повышения эффективности.
   - Новые архитектуры и технологии в сфере телекоммуникаций.
3. Общие аспекты:
   - Новые концепции и требования эксплуатации и обслуживания.
   - Технологии и архитектура для обеспечения непрерывности бизнеса и аварийного восстановления.

Технические направления:

1. Основные сетевые технологии в сфере телекоммуникаций для выполнения новых требований:
   - Изучение эволюции архитектуры телекоммуникационных технологий и оценка влияния этих изменений на вызовы и требования нового поколения информационных и телекоммуникационных систем.
   - Технологии и архитектура для обеспечения непрерывности бизнеса и аварийного восстановления.

2. Новые операционные и эксплуатационные концепции и требования:
   - Эксплуатационные характеристики, методы и средства для внедрения новых технологий и архитектуры выполнения новых услуг.
3. Стратегии для развёртывания сети будущего:
   - Углублённый анализ проблем в ИСиТ при внедрении Smart Grids.
4. Безопасность ИТ:
   - Борьба с киберугрозами как ключевой вопрос в развёртывании сетей будущего (особо – в Smart Grids).

Административные направления:

1. Влияние ИК:
   - Привлечение членов из национальных комитетов, партнёров и университетов, не представленных в СИГРЭ.
   - Расширение отношений с профильными организациями.
   - Распространение документов по ключевым вопросам деятельности ИК D2 с целью выдвижения на лидирующие позиции в своей сфере влияния.
2. ИК D2: привлечение новых членов:
   - поиск новых способов привлечению членов ИК;
   - использование добровольного сотрудничества с волонтёрами для чётко ограниченных задач.

На закрытом заседании была **сформирована программа мероприятий на 2017–2018 гг.**:

- Принято решение о проведении Коллоквиума и регулярного митинга и встреч РГ в Москве в 2017 году.
- Анонсирован Коллоквиум в Мехико по тематике: «Цифровая ПС», который пройдёт в период с 14.11.2016 по 16.11.2016 г.
- Запланировано проведение Симпозиума по тематике «Эволюция сетей в быстро меняющемся мире» в мае 2017 г., в Дублине. Основная тема для рассмотрения на коллоквиуме в Дублине – влияние изменений в технологии ИСиТ на проектирование и эксплуатацию энергосистем.

В рамках мероприятий ИК D2 были обсуждены и приняты **приоритетные темы для предоставления докладов по направлениям D2 на сессии СИГРЭ-2018**:

- Opportunities and challenges in ICT applied to microgrids, DER and renewables (Возможности и вызовы (проблемы) в области информационных систем и телекоммуникаций для микроэнергосистем, распределённых энергоресурсов (РЭР) и возобновляемых источников энергии).
- Potential applications and implementations of network and infrastructure virtualization (Потенциал применения и внедрения виртуализации инфраструктуры и сетей связи).
- Maintaining operational IT reliability in an evolving environment (Поддержание эксплуатационной надёжности ИТ в меняющихся условиях).

Пленарные заседания ИК D2 по обсуждению докладов

Особо следует отметить ключевой доклад «Цифровые энергосистемы 4.0» (The Digital Energy System 4.0), сделанный на пленарном заседании ИК D2 Махером Чебо (Maher Chebbo), представителем компании SAP, одним из активных членов европейского форума Smart Grids European Technology Platform (http://www.smartgrids.eu/ETPSmartGrids).

Доклад подготовлен на основании результатов исследований, проведённых совместно большой группой (14 чел.) авторов и представляет преимущества цифровых технологий в качестве ключевого драйвера для роста европейской экономики, ибо такие технологии позволят управлять переходом к смарт-индустриальному обществу.

Изложенные в докладе основные инициативы включают:

- обоснование инвестиций в инфраструктуру ИСиТ, технологии облачных вычислений и больших данных,
- предложение по стандартизации и обеспечению «свободного потока данных» между всеми участниками генерации, передачи, распределения и потребления энергии,
- применение интеграции смарт-счётчиков и смарт-инфраструктуры измерений потребления энергии с присоединением умных домов, интеллектуальных зданий и промышленного производства к энергетическим

Выступает руководитель подкомитета D2 РНК СИГРЭ О. В. Синенко

сетям в духе идей Industry 4.0 с использованием технологий «Интернета вещей» и «Облачных вычислений».

Инициативы такого рода приведут к созданию сервис-ориентированной энергетической системы, в которой клиентам будет обеспечено высокое качество индивидуального обслуживания, доступное в режиме 24/7.

Заслуживает анализа пленарный доклад D2-307 «Интеграция информационных и эксплуатационных технологий для повышения эффективности управления аварийными отключениями» (IT and OT Integration to Improve Outage Management. M. WILLSON, ABB, United Kingdom). В работе рассмотрены проблемы управления отключениями для муниципальных энергокомпаний с учётом всё возрастающих объёмов возобновляемой генерации, внедрения систем регулирования спроса на электроэнергию (ЭЭ), повышения уровня информированности клиентов, а также требований надёжности электроснабжения. Убедительно доказана значимость применения интегрированных систем, объединяющих ИТ и системы управления, эксплуатации и обслуживания в электросетевых компаниях. Эффективная работа OMS/DMS, систем управления ресурсами и компонентами бизнес-аналитики на общей платформе обеспечивают высокую эффективность и при крупных системных авариях, например из-за погодных аномалий.

Несомненный интерес представляет доклад D2-108 «Классификация заказчиков по сезонным профилям нагрузки». (Classification of customers based on temporal load profile patterns. I. BENITEZ A. QUIJANO I. DELGADO J.L. DIEZ, Spain). Показаны преимущества развёртывания систем Advanced Metering Infrastructure (AMI), обеспечивающих кроме учёта ЭЭ возможность углублённого анализа полученных в AMI данных для классификация клиентов на основе их временных профилей нагрузки. Процедура классификации реализована в программных системах класса Big Data Analytics и позволяет анализировать закономерности не только по форме профилей, но и с учётом тенденции потребления энергии в каждый час дня в течение длительного времени. Такие подходы обеспечивают значимую поддержку принятия решений при управлении коммунальными энергетическими предприятиями. Использование разработанных методов классификации позволяет осуществить выбор клиентов для целей управления спросом, а также разработать динамические профили потребления, которые учитывают тенденции увеличения или уменьшения потребления энергии.

Техническая выставка

Из большого числа экспонентов на технической выставке (http://www.cigre-exhibition.com/exhibitors/list-of-exhibitors-2016/) следует отметить следующие компании, представившие новые разработки в области информационных систем и телекоммуникаций:

- **JS automation** (https://www.jsautomation.fr/): Система управления энергопотреблением, обеспечивающая снижение пиков потребления;
- **Lanner** (http://www.lannerinc.com/): телекоммуникационное оборудование, промышленный кибербезопасный бокс,
- **Nari** (http://www.narigroup.com/): оптическая сеть коммуникации для распределительных сетей;
- **Siemens** (http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/): комплексный подход к обеспечению кибер-

Участники отчётной конференции РНК СИГРЭ по итогам 46-ой сессии СИГРЭ

безопасности систем автоматизации;

– **Selta** (http://www.selta.com/Home):
  - IP АТС и IP-телефония,
  - IP-коммуникации,
  - виртуальная АТС для облачной технологии,
  - мультисервисный доступ,
  - широкополосный доступ.
– **OTN Systems** (http://www.otnsystems.com/): системы управления сетями связи по ВОЛС на основе OTN-технологии;
– **Sumitomo Electric** (http://global-sei.com/products/info.html): продукты и решения для телекоммуникаций на основе ВОЛС.

Заключение

Прошедшая сессия продемонстрировала явную направленность исследований ИК D2 на развитие самых современных возможностей средств телекоммуникаций, систем связи и информационной безопасности в электроэнергетике. Принятые решения о направлениях работ ИК и запланированные мероприятия комитета на 2017–2018 гг. позволяют сделать вывод о возможности более широкого участия российских специалистов в работе престижной международной организации. Это позволит расширить международные связи и интенсифицировать научно-технический обмен между РФ и другими странами.

Особо следует отметить темы, выбранные в качестве основных направлений деятельности ИК D2 на ближайшую перспективу 2016–2018 гг.:

– Новые архитектуры и технологии в сфере телекоммуникаций.
– Стратегия внедрения новых технологий.
– Технологии и архитектура для обеспечения непрерывности бизнеса и аварийного восстановления.
– Борьба с киберугрозами как ключевой вопрос в развёртывании сетей будущего (особо – в Smart Grids).

Исследования по указанным темам представляются наиболее близкими для нынешнего состояния развития технологий ИСиТ в энергетике России.

Ольга Синенко | АО «РТСофт»
Андрей Вериго | АО «РТСофт»

Оптимизация электрического режима распределённой **энергосистемы по реактивной мощности** и напряжению **на основании** измерений

Николай Шубин | АО «РТСофт»
Алексей Небера | АО «РТСофт»
Иван Абраменко | АО «РТСофт»

Задача регулирования напряжения и реактивной мощности в распределительных электрических сетях хорошо известна и различными способами решается в электроэнергетике уже много десятков лет. Однако всё более широкое использование средств распределённой генерации создаёт новые аспекты, которые необходимо учитывать при управлении, а новые средства измерений и информационных технологий позволяют обеспечить качественно новый уровень решения этой проблемы. В статье рассматривается метод оптимизации электрического режима по напряжению и реактивной мощности, не опирающийся на априорное знание модели сети и характеристик нагрузки и использующий новые возможности, предоставляемые средствами синхронизированных векторных измерений.

Введение

В связи с прогнозируемым развитием распределённой генерации ожидается значительное увеличение числа регулируемых источников реактивной мощности (ИРМ), включённых в распределительные электрические сети. Наличие управляемых ИРМ создаёт потенциальную возможность для повышения качества электроэнергии по напряжению и снижения технических потерь в сетях среднего и низкого напряжения. Согласно экспертной оценке снижение потерь может достигать до 10% от их текущего уровня. В то же время, в отсутствие соответствующей технологической подготовки, большое количество источников с независимым автоматическим регулированием может привести к прямо противоположным результатам – к неоптимальности электрического режима с увеличением потерь, а также к технологическим проблемам, проявляющимся в форме низкочастотных колебаний напряжения и обменных потоков реактивной мощности. Для того чтобы всё же извлечь потенциальную выгоду от увеличения числа ИРМ, необходима координирующая автоматическая система, оптимизирующая электрический режим сети по потокам реактивной мощности и уровням напряжения (далее – QU-оптимизация). На первый взгляд, построение такой системы не должно вызывать затруднений. Достаточно, например, реализовать её путём циклического запуска классического программного обеспечения QU-оптимизации на регулярно актуализируемой математической модели электрической сети с последующей рассылкой вновь рассчитанных законов управления на регулируемое оборудование. Однако при более внимательном рассмотрении выясняется, что вторжение управляющих систем в режим напряжения в сетях низкого напряжения

существенным образом изменяет значения узловых нагрузок (ввиду непосредственной близости потребительских энергоустановок к этим сетям). Неучёт или некорректный учёт статических характеристик активной и реактивной нагрузок по напряжению в связи с отсутствием фактических данных об их параметрах, а также в связи с изменением этих параметров в течение суток может приводить к увеличению потерь электроэнергии вместо их желаемого снижения.

Далее приведено описание подхода к решению задачи QU-оптимизации, основанного исключительно на электрических измерениях, при котором в качестве оптимизируемой модели выступает сама физическая энергосистема со всем многообразием своих фактических характеристик.

Формулировка задачи

Цель QU-оптимизации – минимизация потерь активной мощности $\pi(\dot{U})$ в электрической сети при соблюдении ограничений. Целевая функция оптимизации $\pi(\dot{U})\to min$.

Предлагаемый подход к QU-оптимизации построен на применении синхронизированных измерений векторов (PMU-измерений) напряжений в узлах наблюдаемой электрической сети. Решение оптимизационной задачи осуществляется в темпе реального времени с учётом фактических регулирующих эффектов нагрузки по напряжению и частоте. Решение не требует выполнения традиционных расчётов с использованием расчётной модели в едином центре.

Подход основан на идее безмодельной QU-оптимизации электрического режима, описанной в [1]. В отличие от оригинальной идеи [1], в предлагаемом подходе вместо телеизмерений потоков активной и реактивной мощности в электрических связях и модулей напряжения на шинах использованы PMU-измерения векторов узловых напряжений оптимизируемой схемы. Это позволяет существенно сократить количество необходимых для QU-оптимизации измерительных преобразователей.

Запишем выражение целевой функции (потери мощности в электрической сети), используя исключительно векторные параметры напряжения и проводимости элементов сети:

$$\pi(\dot{U}) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1\neq i}^{n}\left(U_i^2 + U_j^2 - 2U_iU_j\cos\delta_{ij}\right)\times G_{ij} \quad (1),$$

где:

n – количество узлов в оптимизируемой схеме; i,j – номера узлов, ограничивающие ветви схемы; $G_{ij}=R_{ij}/Z_{ij}^2$ – активная проводимость ветви сети, ограниченной узлами i и j; U_i, U_j – модули измеренных векторов напряжений в узлах схемы, $\delta_{ij}=\delta_i-\delta_j$, δ_i и δ_j – их фазовые углы, $\dot{U}$ – вектор напряжения, характеризующийся модулем и фазовым углом.

Для трансформаторных ветвей ij вместо U_j в формуле (1) и далее в формулах производных (2), (3), (7) будет использоваться U_j/K_T, где $K_T = W_{HH(CH)}/W_{CH(BH)}$ – коэффициент трансформации трансформатора (число, меньшее или равное единице).

Очевидно, что выражение (1) может вычисляться в темпе реального времени по факту поступления PMU-измерений векторов напряжений.

Для минимизации потерь мощности в сети путём воздействия на управляемые реактивные мощности источников Q_m и коэффициенты трансформации трансформаторов K_T необходимо вычислить частные производные целевой функции $\pi(\dot{U})$ по указанным переменным, считая что $\dot{U}_i$ и $\dot{U}_j$ являются неявными функциями от Q_m и K_T. Используя правила дифференцирования неявных функций, получаем выражение для частных производных целевой функции:

- по реактивной мощности источников Q_m формулу (2),
- и по вещественным коэффициентам трансформации трансформаторов K_T формулу (3).

$$\frac{\partial\pi}{\partial Q_m} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j\neq i}^{n}\left(U_i\frac{\partial U_i}{\partial Q_m} + U_j\frac{\partial U_j}{\partial Q_m} + U_iU_j\sin\delta_{ij}\frac{\partial\delta_{ij}}{\partial Q_m} - U_i\cos\delta_{ij}\frac{\partial U_j}{\partial Q_m} - U_j\cos\delta_{ij}\frac{\partial U_i}{\partial Q_m}\right)\times 2G_{ij} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \text{Кт}_k} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j\neq i}^{n}\left(U_i\frac{\partial U_i}{\partial \text{Кт}_k} + U_j\frac{\partial U_j}{\partial \text{Кт}_k} + U_iU_j\sin\delta_{ij}\frac{\partial \delta_{ij}}{\partial \text{Кт}_k} - U_i\cos\delta_{ij}\frac{\partial U_j}{\partial \text{Кт}_k} - U_j\cos\delta_{ij}\frac{\partial U_i}{\partial \text{Кт}_k}\right)\times 2G_{ij} \quad (3)$$

На практике могут встречаться комплексные коэффициенты трансформации, причём двух видов – с зависимым и независимым регулированием модуля и угла или вещественной и мнимой составляющих. Для трансформаторов с зависимым регулированием модуль и угол коэффициента трансформации задаются одним и тем же числом – номером положения регулируемой отпайки. В этом случае в выражении (3) может применяться не коэффициент трансформации, а номер регулирующей отпайки. Для трансформаторов с независимым регулированием или энергороутеров (электронные устройства, соединяющие различные электрические сети и способные управлять модулями и фазовыми углами напряжения на одном из выходов) вместо одного выражения (3) появятся два отдельных выражения для двух независимых регуляторов. В данной статье в целях предотвращения непринципиального усложнения материала мы будем считать, что имеем дело только с вещественными коэффициентами трансформации. По той же причине в выражения целевой функции и её производных не введены поперечные составляющие, связанные с активными проводимостями линий и трансформаторов.

Как видно из выражений (2) и (3), производные целевой функции могут рассчитываться в темпе реального времени, если нам известны частные производные типа

$$\frac{\partial U_i}{\partial Q_m};\ \frac{\partial U_j}{\partial Q_m};\ \frac{\partial \delta_{ij}}{\partial Q_m},$$

называемые *чувствительностями.*

Чувствительности, поскольку их определение производится на основании фактических PMU-измерений, несут в себе всю реальную информацию о регулирующих эффектах нагрузки. В предлагаемом подходе не используются неизвестные де-факто традиционные статические характеристики нагрузки по напряжению и частоте.

Чувствительности $\frac{\partial U_i}{\partial Q_m};\ \frac{\partial U_j}{\partial Q_m};\ \frac{\partial \delta_{ij}}{\partial Q_m}$ будут определяться на основании PMU-измерений по фактам реализации управляющих воздействий (УВ) ΔQ_m и ΔK_{Tk}.

Таким образом, имея векторные измерения напряжений и зная *чувствительности*, мы получаем возможность рассчитывать частые производные целевой функции QU-оптимизации в темпе реального времени, которые дают точное представление о том, как будут меняться потери мощности при изменении переменных управления. Большие значения производных указывают на то, что ИРМ или трансформатор используется неоптимально и изменение его состояния существенно повлияет на потери. Малые производные, напротив, свидетельствуют об оптимальном использовании данного средства регулирования. Знаки при производных говорят о требуемом направлении (прибавить/убавить) оптимальных воздействий (ОВ).

Неизвестными остаются лишь абсолютные значения ОВ, определение которых возможно с использованием хорошо разработанных градиентных методов первого порядка. Однако эти методы хороши при работе с математическими моделями, позволяющими выполнять десятки промежуточных итераций для достижения оптимального решения. В случае же, когда роль математической модели исполняет реальная энергосистема, необходимы малошаговые методы, позволяющие достигать оптимального решения за один-два, максимум три шага.

Для резкого сокращения количества итераций оптимизации предлагается использовать методы второго порядка, оперирующие не только с первыми, но и со вторыми производными целевой функции. Высокая эффективность методов второго порядка при минимизации потерь мощности связана с квадратичной природой потерь, вытекающей из закона Джоуля-Ленца.

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial\pi}{\partial Q_1} = \dfrac{\partial^2\pi}{\partial Q_1^2}\times\Delta Q_1 + \dfrac{\partial^2\pi}{\partial Q_1\partial Q_2}\times\Delta Q_2 + \cdots + \dfrac{\partial^2\pi}{\partial Q_1\partial Q_m}\times\Delta Q_m \to 0 \\ -\dfrac{\partial\pi}{\partial Q_2} = \dfrac{\partial^2\pi}{\partial Q_2\partial Q_1}\times\Delta Q_1 + \dfrac{\partial^2\pi}{\partial Q_2^2}\times\Delta Q_2 + \cdots + \dfrac{\partial^2\pi}{\partial Q_2\partial Q_m}\times\Delta Q_m \to 0 \\ \cdots \\ -\dfrac{\partial\pi}{\partial Q_m} = \dfrac{\partial^2\pi}{\partial Q_m\partial Q_1}\times\Delta Q_1 + \dfrac{\partial^2\pi}{\partial Q_m\partial Q_2}\times\Delta Q_2 + \cdots + \dfrac{\partial^2\pi}{\partial Q_m^2}\times\Delta Q_m \to 0 \end{cases} \quad (4)$$

Запишем условие оптимальности электрического режима энергосистемы без трансформаторов по критерию минимальных потерь мощности в точке *t*, вытекающее из разложения формулы потерь мощности в ряд Тейлора второго порядка (формула 4),
или в матричной форме:

$$-\boldsymbol{J}_Q^{\pi} = \boldsymbol{H}_Q^{\pi}\Delta\boldsymbol{Q} \quad (5),$$

где J_Q^{π} и H_Q^{π} – соответственно матрицы первых (Якоби) и вторых (Гессе) производных потерь по реактивной мощности ИРМ, ΔQ – искомая матрица оптимальных воздействий.

$$\Delta\boldsymbol{Q} = -\left(\boldsymbol{H}_Q^{\pi}\right)^{-1}\boldsymbol{J}_Q^{\pi} \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что при известных численных значениях элементов матриц Якоби и Гессе и при условии невырожденности матрицы Гессе ΔQ могут быть определены за один шаг. Элементы матрицы Гессе (симметричной квадратной матрицы вторых производных потерь от реактивных мощностей ИРМ размерностью M, определяемой числом ИРМ), формируются путём аналитического дифференцирования выражений первых производных (2).

Из выражения (7) видно, что все элементы матрицы Гессе могут быть рассчитаны по данным PMU-измерений и известным чувствительностям в темпе реального времени.

Таким образом, из (6), (3) и (7) следует возможность прямого вычисления ОВ для всех ИРМ в темпе реального времени по непосредственно измеряемым модулям и фазовым углам напряжений и эпизодически уточняемым чувствительностям.

Учитывая тот факт, что ОВ, рассчитываемые в темпе поступления PMU-измерений (1 раз в 20 мс), могут носить переменчивый, в том числе знакопеременный, характер, а также то, что оптимальное управление электрическим режимом в нормальных условиях не требует сверхвысокого быстродействия, на выходе системы умного регулирования напряжения целесообразно использовать интегрирующее звено, позволяющее сгладить и необходимым образом замедлить темп управления.

Также при переходе к практической реализации описанный подход должен быть дополнен механизмом учёта технологических ограничений по токам, потокам мощности и уровням напряжения. Методы учёта перечисленных ограничений могут основываться на введении в целевую функцию дополнительных членов – вспомогательных функций, умноженных на неопределённые множители. В этом случае целевая функция будет преобразована в функцию Лагранжа, нахождение безусловного минимума которой приводит к оптимальному решению с учётом ограничений.

Возможные варианты реализации системы QU-оптимизации электрического режима, основанные на PMU-измерениях, представлены в таблице.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2\pi}{\partial Q_m Q_n} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j\neq i}^{n}\Bigg(&\frac{\partial U_i}{\partial Q_n}\frac{\partial U_i}{\partial Q_m} + \frac{\partial U_j}{\partial Q_n}\frac{\partial U_j}{\partial Q_m} + U_iU_j\cos\delta_{ij}\frac{\partial\delta_{ij}}{\partial Q_m}\frac{\partial\delta_{ij}}{\partial Q_n} + U_j\sin\delta_{ij}\frac{\partial\delta_{ij}}{\partial Q_m}\frac{\partial U_i}{Q_n} + \\ &+U_i\sin\delta_{ij}\frac{\partial\delta_{ij}}{\partial Q_m}\frac{\partial U_j}{Q_n} - \cos\delta_{ij}\frac{\partial U_j}{\partial Q_m}\frac{\partial U_i}{Q_n} + U_i\sin\delta_{ij}\frac{\partial\delta_{ij}}{\partial Q_n}\frac{\partial U_j}{Q_m} - \cos\delta_{ij}\frac{\partial U_j}{\partial Q_n}\frac{\partial U_i}{Q_m} + \\ &+U_j\sin\delta_{ij}\frac{\partial\delta_{ij}}{\partial Q_n}\frac{\partial U_i}{Q_m}\Bigg)\times 2G_{ij} \end{aligned} \quad (7)$$

Варианты реализации QU-оптимизации электрического режима

	Диспетчерское управление	Автоматическое управление
Централизованное управление	ОВ рассчитываются одновременно для всех ИРМ, задействованных в централизованной оптимизации, и реализуются по командам диспетчерского персонала	ОВ рассчитываются одновременно для всех ИРМ, задействованных в централизованной оптимизации, и направляются для автоматической реализации на местах
Децентрализованное управление	ОВ рассчитываются для каждого управляемого ИРМ на объекте управления и реализуются оперативным персоналом этого объекта	ОВ рассчитываются и автоматически реализуются на объектах управления

Заключение

Представлен подход к построению систем оптимального управления электрическими режимами электроэнергетических систем в реальном времени, действующих на основании PMU-измерений и не требующих математической модели сети. Роль математической модели исполняется физической моделью, которой является сама энергосистема.

Замена математической модели на физическую обеспечивает автоматический неявный учёт реальных статических характеристик нагрузки и, соответственно, корректность QU-оптимизации электрического режима.

Подход допускает возможность построения как централизованных, так и децентрализованных систем автоматического управления.

Литература:

1. Н. С. Маркушевич, «Регулирование напряжения и экономия электроэнергии», 1984.

Николай Шубин | АО «РТСофт»
Алексей Небера | АО «РТСофт»
Иван Абраменко | АО «РТСофт»

НОВОСТИ

Программное обеспечение «РТСофт» собственной разработки внесено в реестр отечественного ПО

Прикладное программное обеспечение SMART-SERVER и комплексное ПО «Гармоника», исключительные права на которые принадлежат АО «РТСофт», были внесены в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных Минкомсвязи РФ. Это важный шаг – он означает признание продуктов «РТСофт» на отечественном рынке и даёт возможность повысить востребованность решений «РТСофт» среди заказчиков, которые ориентируются на современную политику импортозамещения.

SMART-SERVER – прикладное программное обеспечение сервера сбора информации, используемое в сфере электроэнергетики. Основным назначением SMART-SERVER является сбор данных с устройств нижнего и среднего уровня (измерительные преобразователи, контроллеры и другие), дорасчёт параметров и ретрансляция данных на различные уровни диспетчерского управления.

Программное обеспечение «Гармоника» предназначено для осуществления мониторинга, анализа и управления качеством электроэнергии инфраструктурных компаний, в том числе электросетевых, оказывающих услуги транспорта энергоресурсов и сырья, а также промышленных предприятий.

Управление микроэнергосистемами **с ВИЭ,** подключёнными **через инверторы**

H. R. Pota *, M. J. Hossain **, M. A. Mahmud *, R. Gadh ****, R. C. Bansal***

Значимой особенностью новейших энергосистем, интегрирующих в состав своих энергетических ресурсов возобновляемые источники энергии (ВИЭ), характеризующиеся существенной нерегулярностью и слабой предсказуемостью электроэнергетического режима, является способ подключения этих источников к электрической сети посредством конверторных систем. Элементной базой этих конверторных систем являются управляемые устройства силовой электроники. Для энергосистемы инверторы, посредством которых распределённые энергетические ресурсы подключаются к электрической сети, являются генераторами нового типа, которые можно назвать инверторными генераторами. В отличие от привычных генераторов, реализуемых в виде синхронных (или подобных им вращающихся) электрических машин со всеми своими системами автоматического управления, инверторные генераторы не обладают инерцией вращающейся массы, не реагируют «в автомате» на изменение глобального системного параметра электрического режима – частоту, а также имеют ряд других особенностей. Новые свойства распределённой генерации обостряют проблемы управления электроэнергетическими режимами энергосистемы в нормальных стационарных и переходных режимах.

Нижеследующий перевод статьи международного коллектива авторов позволит лучше понять проблемы управления мироэнергосистемами с инверторными генераторами в автономном (островном) режиме, а также поможет сориентироваться отечественным экспертам при разработке собственных интеллектуальных систем автоматического управления.

Реферат: Эта статья содержит схемы управления распределением мощности в островных микроэнергосистемах с распределёнными энергоресурсами, присоединёнными посредством инверторов {далее *инверторные генераторы*[1]}, поддерживающие комбинированное управление по жёстким {или робастным[2]} и адаптивным {в соответствии со статизмом} законам. Поскольку нагрузка микроэнергосистемы меняется, *инверторные генераторы* {имеются в виду инверторы, присоединяющие ВИЭ к сети переменного тока} делят изменения нагрузки между собой; в работе показано, что неконтролируемое распределение нагрузки между *инверторными генераторами* будет носить случайный {произвольный} характер, а метод управления по статизму приведёт к регулируемому изменению генерации. Эта статья включает в себя базовую информацию о схемах управления распределением мощности и выделяет трудности точного распределения реактивной мощности. Производительность предлагаемого контроллера {органа управления} продемонстрирована с использованием тестовой модели микроэнергосистемы.

* School of Engineering and Information Technology (SEIT), The University of New South Wales, Canberra, ACT 2600, Australia (h.pota@adfa.edu.au).
** Griffith School of Engineering, Griffith University, Gold Coast Campus, Gold Coast, QLD 4222, Australia (j.hossain@griffith.edu.au).
*** Faculty of Engineering & Industrial Sciences, Swinburne University of Technology, Hawthorn, VIC 3122, Australia (mmahmud@swin.edu.au).
**** Department of Mechanical and Aerospace Engineering, The University of California, Los Angeles, CA 90095, USA Department of Electrical, Electronic, and Computer Engineering, University of Pretoria, South Africa

1. Введение

Присоединение Microgrid {к энергосистеме} является практическим путём для достижения наиболее полного использования возобновляемых ресурсов {ВИЭ}, сокращения потерь энергии при передаче, понижения уровня капиталовложений и достижения более высокой надёжности электроснабжения (Лассетер, 2002, 2011[3]). Для проверки основных идей были разработаны экспериментальные микроэнергосистемы (Лассетер и др., 2011).

Как ожидается, источниками энергии Microgrid {MG} могут быть ВИЭ, присоединённые через конверторы типа источник напряжения (VSC). Большинство VSCs управляют выходными модулем и фазой напряжения (вектором напряжения). Это отличает MG от систем, базирующихся на синхронных машинах, где модуль и скорость изменения угла (частота) напряжения устанавливаются в результате динамического взаимодействия между генерацией и нагрузкой.

Как показано далее, если выходные модуль и угол напряжения VSC не управляются, режим MG будет результатом непланируемых {произвольных} уровней генерации и профилей напряжения (Лассетер, 2011).

Существует богатая литература, посвящённая вопросам распределения мощности между параллельно работающими инверторами (Де Брабандер и соавторы, 2007). Она даёт общее представление о статическом управлении {в отличие от астатического} распределением активной мощности как об управлении частотой по статизму. Статическое регулирование частоты спроектировано таким образом, что выход {напряжение} каждого инвертора имеет различную частоту. При работе энергосистем предполагается, что существует единая установившаяся частота, поэтому выход каждого инвертора на различных частотах не имеет смысла. {Зато используется свойство дифференцированно изменять активную нагрузку каждого инверторного генератора при изменении единой частоты.}

В данной работе статическое управление частотой изложено в терминах фазового угла выходного напряжения инверторов.

На сегодняшний день быстродействующие инверторы способны быстро изменять фазу выходного напряжения и это является более значимым фактором для управления распределением мощности, чем скорость изменения угла (то есть чем частота).

Последние обзорные статьи (Герреро и соавторов, 2013 а,б) содержат полезную базовую информацию о MG и широкую библиографию.

Обзор экспериментальных MG представлен в работах Лидула и Раджапаксе, 2011.

Распределение реактивной мощности в MG затруднено вследствие того, что обычный метод разделения, основанный на поддержании напряжения на генераторе, не работает в MG (Джонсон и др.,. 2011).

Некоторые решения для распределения реактивной мощности из литературы рассмотрены в данной работе.

Большинство публикаций о MG рассматривает источники напряжения за инверторами как идеальные источники напряжения. (2002 Лассетер,, 2011, de Brabandere и соавт., 2007). Это предположение вполне допустимо для исследования распределения мощности между параллельно соединёнными инверторами (Де-Брабандер и соавт,. 2007), но оно нуждается в расширении для случаев, когда идеальные источники напряжения заменяются возобновляемыми источниками энергии.

Представленный в данной статье материал написан с позиций энергетической системы и с акцентом на MG. Сделан чёткий вывод о том, что статическое управление по скорости изменения фазового угла напряжения {по частоте} требует изменения входной мощности и для достижения этой цели необходим другой контроллер.

В следующем разделе представлен анализ, который выявляет необходимые элементы алгоритмов управления для распределения энергии между ВИЭ MG.

[1] Здесь и далее в фигурных скобках приведены пояснения от переводчика.
[2] При робастном управлении значение управляемого параметра явно задается управляющей системой в виде числа или коммутационного статуса
[3] Здесь и далее в круглых скобках приведены пояснения авторов статьи

2. Распределение мощности без управления

Анализ MG с двумя источниками поучителен для получения базового понимания работы MG и исследования проблемы.

Большинство ВИЭ присоединены к MG с использованием инверторов.

Инвертор, подключающий генератор энергии, может быть смоделирован как *источник напряжения* с управляемым модулем и фазовым углом напряжения (Коэльо и соавт., 2002; Johnson и соавт., 2011).

На **рис. 1** показан MG с двумя источниками напряжения и одной резистивной (активной) нагрузкой. Параметры источников напряжения V_1, δ_1, V_2, δ_2 могут управляться независимо. В данной работе предполагается, что инверторы работают быстро и в статорах генераторов нет никаких переходных процессов.

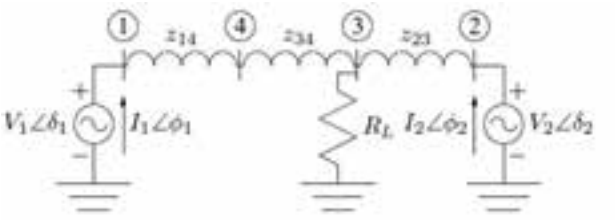

Рис. 1. Простой MG

Параметры линий электропередачи MG на **рис.1**: Z_{14} = 0,0+j0,05 pu, Z_{34} = 0,0+j0,2 pu, Z_{23}= 0,0 + j0,05 pu. Узел 1 является узлом типа *PV*: P_1^0 = 0,5 pu, V_1 = 1 pu, узел 2 является балансирующим: V_2 = 1 pu, δ_2^0 = 0°, и резисторная нагрузка равна: R_L = 1 pu; начальные приближения величин δ_1, V_3, и δ_3, полученные с помощью расчёта установившегося режима, равны: δ_0 = 5,7663°, V_3 = 0,9984 pu, δ_3 = – 4,258°.

Чтобы увидеть эффект от изменения нагрузки, изменим сопротивление R_L = 0,5 pu.

Пусть *источники напряжения* удерживают модули и фазовые углы напряжения на уровне вышеуказанных начальных значений. Для данного удержания начальных параметров величины активных и реактивных мощностей источников питания должны измениться следующим образом: P_1 = 0,6616 pu, P_2 = 1,3190 pu, Q_1 = 0,0740 pu, Q_2 = 0,1247 pu и $P_{R_L}^0$ = 1,9805 pu. Это означает, что $\Delta P_1 = P_1 - P_1^0$ = 0,1616 pu и $\Delta P_2 = P_2 - P_2^0$ = 0,8221 pu; из этих значений видно, что дополнительная нагрузка распределяется между двумя *источниками напряжения* **неравномерно {в разных долях}.**

Однако желательно распределить изменение нагрузки между генераторами в зависимости от их рейтинга или некоторых других соображений. Для этого нам нужен способ, позволяющий выполнить желательное автоматическое распределение нагрузки. Это может быть достигнуто с помощью управления типа «ведущий – ведомый» или того, что обычно называют статическим управлением после управляющего регулятора синхронных машин.

3. Распределение мощности с контролем

Методы управления, используемые для распределения мощности, в целом можно разделить на две категории. Первая категория представляет методы управления «ведущий – ведомый», которые были разработаны для распределения нагрузки между параллельно подключёнными источниками бесперебойного питания. Вторая категория представляет методы управления по статизму {статическое регулирование}, которые больше подходят для распределения нагрузки между распределёнными энергетическими ресурсами (DER) в микроэнергосистемах. Краткое изложение обеих категорий представлено ниже.

3.1. Управление «ведущий – ведомый»

Многие методы распределения мощности в MG основаны на методах распределения нагрузки между параллельными источниками бесперебойного питания (ИБП). Большинство схем распределения нагрузки ИБП, полезных для микроэнергосистем, покрывается конфигурацией «*мастер-слейв*», показанной на **рис. 2**.

Для автоматического распределения нагрузки один из источников (DER) определяется как ведущий (мастер), а все остальные переводятся в режим ведомых (слейв).

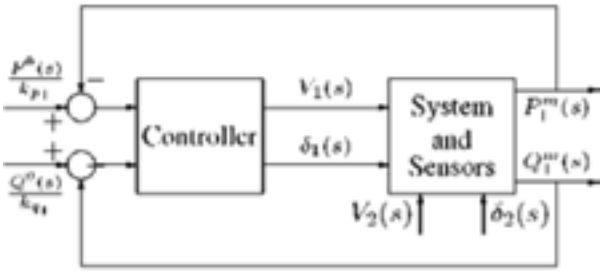

Рис. 2. Конфигурация *ведущий-ведомый* для распределения мощности

При изменении нагрузки потребления выходные параметры каждого DER будут изменяться, как это показано в предыдущем разделе. В общем случае изменение выходных параметров DER не будет происходить желаемым путем, и, чтобы иметь контролируемое изменение, будет использована рассматриваемая структура *ведущий-ведомый*. Пусть новые выходные параметры ведущего {ведущего контроллера} равны P_0 и Q_0, тогда ведущий сообщает заданные значения (уставки) для всех остальных DER в виде:

$$P_i^0 = k_{p_i} P_0 \quad (1)$$

$$Q_i^0 = k_{q_i} Q_0 \quad (2),$$

где: k_{p_i} и k_{q_i} выбраны для контролируемого распределения изменения нагрузки.

Описанная выше подчинённая структура имеет множество вариаций, однако все они требуют линий связи {между ведущим и ведомыми} для работы (Vandoorn и др., 2013). Далее мы рассмотрим методы распределения нагрузки, которые не требуют линий связи.

3.1. Статическое управление {управление по статизму}

В этом подразделе представлен метод статического управления распределением мощности при изменении нагрузки. Для инверторных источников генерации фазовый угол напряжения может определяться в соответствии с законом управления, проявляющимся в виде статизма. Например, фазовый угол δ_i должен быть уменьшен, если фактическая генерация превышает референсную (рекомендованную) нагрузку и наоборот. Ниже даны формулы 3 и 4 для расчёта управляющих воздействий на основе статизмов для контроллеров статического управления, представленных на **рис. 3** и **4** ($i = 1,2$):

$$\Delta\delta_i = -k_{p_i}(P_{m_i} - P_i^0) \quad (3)$$

$$\Delta V_i = -k_{q_i}(Q_{m_i} - Q_i^0) \quad (4)$$

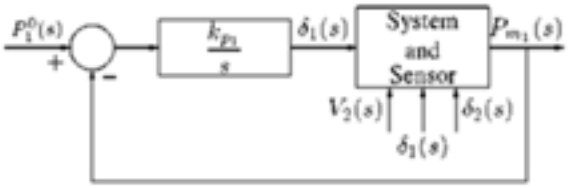

Рис. 3. Статическое управление распределением активной мощности

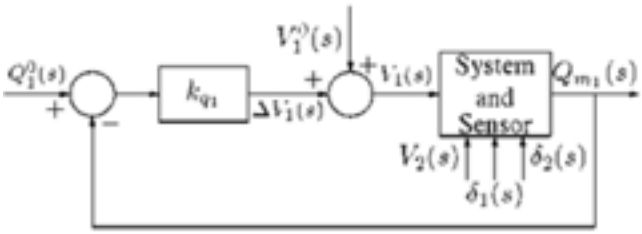

Рис. 4. Статическое управление распределением реактивной мощности

Для устойчивого управления необходимо, чтобы активная и реактивная мощности были такими, чтобы разность производных (то есть скоростей изменения) фазовых углов напряжения была равна нулю $\dot{\delta}_1 - \dot{\delta}_2 = 0$. Это гарантирует то, что при использовании закона управления (3), активная мощность распределяется обратно пропорционально {отклонению частоты или скорости изменения фазового угла напряжения с коэффициентом} k_{p_i}. В стационарном состоянии изменение частоты системы равно $\dot{\delta}_1 = \dot{\delta}_2 = \Delta\omega$.

Статическое управление по (4) в координатах QV производит распределение изменения реактивной мощности, но это не приводит к пропорциональному распределению, поскольку зависит от параметров линий передачи.

Далее мы приводим анализ системы с двумя узлами с целью разработки схемы пропорционального статического распределения изменения реактивной мощности.

3.3. Соотношения мощностей для двухузловой системы

Выражение для полной мощности, входящей в узел, может быть записано как

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i\angle\delta_i \times I_i\angle -\varphi_i,\ i = 1,2. \quad (5)$$

Также

$$I_i\angle\varphi_i = \sum_{j=1}^{2}\angle Yred_{ij}\, V_j\angle\delta_j \qquad (6),$$

где:

$Yred_{ij} = Y_{ii} - Y_{ij}\, Y^{-1}_{jj}\, Y_{ji}$. Подматрица Y_{ij} сформирована из проводимости между узлами Y_{Bus}, объединяющими *источник напряжения* в узле '1' и шину нагрузки в узле '2'. Пусть $Yred_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$, обозначим $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$, и затем, рассматривая (5) и (6) совместно, получим:

$$P_i = \sum_{j=1}^{2} = V_i\, V_j\, (G_{ij}\cos\delta_{ij} + B_{ij}\sin\delta_{ij}) \qquad (7)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{2} = V_i\, V_j\, (G_{ij}\sin\delta_{ij} - B_{ij}\cos\delta_{ij}) \qquad (8)$$

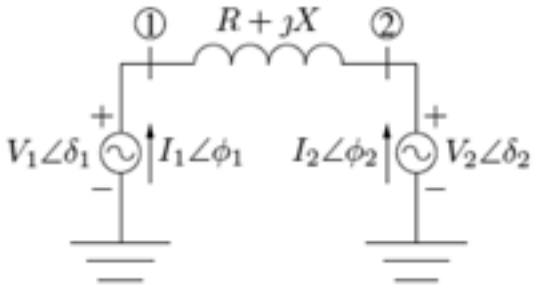

Рис.5. Двухузловая система

Приведённые выше соотношения мощности (7) и (8) для двухузловой системы, показанной на **рис. 5**, могут быть записаны с учётом $B_{11} = B_{22} = -X/Z^2$; $G_{11} = G_{22} = R/Z^2$; $B_{12} = B_{21} = X/Z^2$; $G_{12} = G_{21} = -R/Z^2$; $Z = \sqrt{R^2+X^2}$ в виде:

$$P_1 = \frac{V_1^2 R}{Z^2} + V_1 V_2\left(-\frac{R}{Z^2}\cos\delta_{12} + \frac{X}{Z^2}\sin\delta_{12}\right) \qquad (9)$$

$$Q_1 = \frac{V_1^2 X}{Z^2} + V_1 V_2\left(-\frac{R}{Z^2}\sin\delta_{12} - \frac{X}{Z^2}\cos\delta_{12}\right) \qquad (10)$$

$$Q_2 = \frac{V_2^2 X}{Z^2} + V_2 V_1\left(-\frac{R}{Z^2}\sin\delta_{21} - \frac{X}{Z^2}\cos\delta_{21}\right) \qquad (11)$$

$$Q_1 - Q_2 = \left(V_1^2 - V_2^2\right)\frac{X}{Z^2} - \frac{2V_1V_2R\sin\delta_{12}}{Z^2} \qquad (12)$$

Выражения (9), (10) имеют упрощённые формы для некоторых обычно используемых линий передачи, как показано в таблице.

Соотношения мощности для специальных случаев

	$X \gg R$	$R \gg X$
P_1	$\frac{V_1V_2}{X}\sin\delta_{12}$	$\frac{V_1(V_1-V_2)}{R}$
Q_1	$\frac{V_1(V_1-V_2)}{X}$	$-\frac{V_1V_2}{R}\sin\delta_{12}$

4. Распределение реактивной мощности

Для MG с двумя источниками со статическим управлением, показанного на **рис. 1**, для компенсации изменения нагрузки в узле 3 ΔQ_3 отношение изменений в узлах 1 и 2 соответственно ΔQ_1 и ΔQ_2 задаётся следующим образом:

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_2} = \frac{-V_1^0 B_{13}\cos\delta_{13}^0\left(1 - k_{q_2}\left(V_3^0 B_{23}\cos\delta_{23}^0 + 2V_2^0 B_{22}\right)\right)}{-V_2^0 B_{23}\cos\delta_{23}^0\left(1 - k_{q_1}\left(V_3^0 B_{13}\cos\delta_{13}^0 + 2V_1^0 B_{11}\right)\right)} \qquad (13)$$

Выражение (13) ясно указывает на то, что распределение реактивной мощности с использованием простого статизма будет определяться соотношением проводимостей до источников. Это фундаментальное ограничение для использования управления QV по статизму. В дальнейшем мы обсудим, как преодолеть это ограничение, для того чтобы обеспечить желаемое пропорциональное распределение реактивной мощности.

В концепции виртуального импеданса (Он и Ли, 2011) предложен метод формирования искусственного сопротивления для распределения реактивной мощности и размещения резонансных фильтров гармонических составляющих тока. Схема управления (Он и Ли, 2011, **рис. 11**) показывает, как измеренный ток используется с блоком "Impedance" для синтеза виртуального сопротивления.

В работе Этемади и др. (2012 а, б) представлен дизайн децентрализованных робастных регуляторов для мульти-DER микросетей. Каждый DER представляет собой подсистему с полностью регулируемым источником напряжения и целью управления, задаваемой в виде модуля и фазового угла напряжения на PCC {контроллер}. Установки {настройки, уставки} для PCC по напряжению передаются из центральной системы, использующей функции анализа перетоков мощности {например, функции расчёта установившегося режима, оптимального режима, квазиустановившегося режима}.

В работе Zhong (2013) представлен контроллер робастного и статического управления для преимущественно резистивной сети, где реактивная мощность регулиру-

ется изменением разности фаз, а активная мощность – модулями напряжения. Пропорциональное разделение достигается так же, как в работе (17), представленной в Johnson и др., 2011.

Трудность точного распределения реактивной мощности по сравнению с распределением активной мощности между несколькими DER MG объясняется сложностью использования методов интегрального управления. Рассмотрим управление на основании статизмов (3) и (4). Система достигает равновесия только тогда, когда все δ_i равны, но та же система стабильна при множестве комбинаций ΔV_i. Пропорциональность распределения реактивной мощности может быть достигнута только тогда, когда алгоритм управления может гарантировать равные значения всех ΔV_i в новом равновесии.

Это возможно, но разработать алгоритмы управления, гарантирующие равенство приращений $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \cdots = \Delta V_N$, очень трудная задача. Одним из вариантов достижения решения является интегральное управление по форме:

$$\Delta V_i = \int (\Delta V_i - \Delta V_{com})dt \qquad (14),$$

где: $\Delta V_i = -k_{q_i}(Q_{m_i} - Q_i^0)$ и ΔV_{com} должно быть изменением в предварительно выбранной общей точке MG. Отметим, что эта схема нуждается в наличии коммуникации между DER (**рис. 6**).

В работе Sao and Lehn (2005) закон управления имеет вид:

$$\Delta V_i = V_i^0 + k_{qi_i} \int (V_{ref_i} - \Delta V_{com})dt \qquad (15)$$

$$V_{ref_i} = V_i^0 - D_{q_i} Q_i \qquad (16)$$

В соответствии с Johnson et al. (2011) пропорциональный член добавляется к закону управления (15):

$$\Delta V_i = V_i^0 + k_{qp_i}(V_{ref_i} - \Delta V_{com}) + k_{qi_i} \int (V_{ref_i} - \Delta V_{com})dt \qquad (17)$$

$$V_{ref_i} = V_i^0 - D_{q_i} Q_i \qquad (18)$$

В микросети с двумя источниками, рассматриваемой в данной статье, $V_{com} = V_3$.

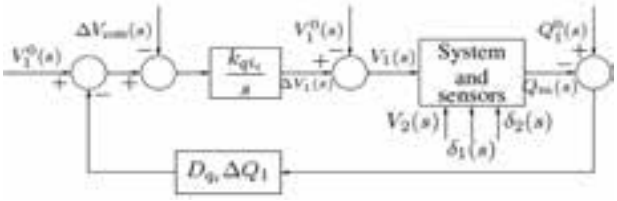

Рис. 6. Интегральное управление реактивной мощностью

Когда система устойчива, аргумент под интегралом в (17) должен быть равен нулю, при этом:

$$V_i^0 - D_{q_i} Q_i = V_{com} \qquad (19)$$

Если напряжения V_i^0 одинаковы, то реактивная мощность распределяется обратно пропорционально D_{q_i}. К тому же изменение напряжения для V_{com} будет зависеть от значений D_{q_i}. Для небольших изменений в V_{com}, постоянные D_{q_i} должны быть малы. Постоянные k_{qi_i} определяют скорость реакции.

5. Управление для Microgrid с DER

Для DER в Microgrid существуют различные пути для определения P_i^0 и Q_i^0, установившихся выходных значений активной и реактивной мощностей. В данной работе в качестве референсного (эталонного начального) значения используются напряжения из режима, предшествующего изменению нагрузки.

В работе Erickson и др. (2011) в качестве уставки по активной мощности принято значение мощности в линии постоянного тока системы PV. В работе Chiang и Chang (2001) схема виртуального импеданса вводится для достижения (а) баланса при распределении реактивной мощности и (б) распределения гармонических составляющих токов между многими источниками напряжения. Нелинейные нагрузки должны быть запитаны гармоническими токами, таким образом, требуется распределить необходимые гармонические токи поровну между различными источниками напряжения. В работе De Brabandere и др (2007) для управления предлагаются модифицированные активная и реактивная мощность P'и Q'. В этой же статье также обсуждается использование виртуального импеданса для управления по статизму.

В будущих исследованиях необходимо рассмотреть вопросы как о динамике энергетических ресурсов, так и о динамических сенсорах для правильного проектирования контроллеров, работающих по статизму.

В работе Камель и др. (2013) ВЭУ скомбинированы с накопителем энергии для обеспечения выравнивания выходной мощности.

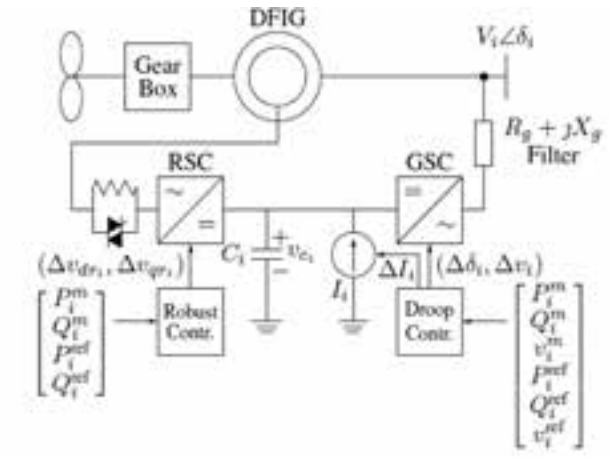

Рис. 7. DIFG и батарея

ВЭУ моделируется его динамическими уравнениями, но устройства накопления энергии смоделированы как идеальные источники постоянного тока. Задаваемая выходная мощность ВЭУ получается с использованием краткосрочного прогноза скорости ветра и управления углом наклона (тангаджа). Нечёткое (мягкое) управление используется для управления углом тангажа.

Робастные методы управления солнечной фотовольтаикой (Mahmud et al., 2012) и ветровой генерацией (Hossain et al., 2013) были предложены для передающих и распределительных систем (Roy и др., 2013). В данной работе эти алгоритмы робастного управления распространены на работу в рамках микроэнергосистем для присоединения накопителей и контроллеров, действующих по статизму, для каждого DER.

5.1. Управление электрическими машинами с двойным питанием и батареями накопителей энергии

Индукционный генератор с двойным питанием (DFIG) с батареей накопителей энергии (BES) показаны на **рис. 7** (представлены как *источник тока*). Статическое управление и управление системой накопления энергии для DFIG достигнуты с использованием следующих законов управления (индекс m использован для измеренных величин и w – для обозначения ветровых турбин, положительность величины ΔI_w является индикатором процесса заряда батареи).

$$\Delta I_w = -k_{I_w} \int (v_{dc}^{ref} - v_{dc}^{m})dt \quad \text{(Battery Control)} \qquad (20)$$

$$\Delta \delta_w = k_{\delta_w} \int (P_w^{ref} - P_w^{m})dt \qquad (21)$$

$$\Delta v_w = k_{q_w} \int (Q_w^{ref} - Q_w^{m})dt \qquad (22)$$

В общем уставкой P_w^{ref} будет точка максимума мощности, прогнозируемая на основании ожидаемой скорости ветра.

Согласно (Хоссейн и др., 2013) P_w^{ref} и Q_w^{ref} управляются с использованием робастных контроллеров.

Желаемые активная и реактивная мощности реализуются за счёт управления I_{qr} и I_{dr}. Достижение уставки по реактивной мощности имеет более высокий приоритет, поэтому блок проверки проверяет доступную мощность для I_{qr} с большим предпочтением, чем для I_{dr} для конвертора с 25-процентным рейтингом DFIG. Аккумулятор, показанный в качестве *источника тока* на **рис. 7**, заряжается и разряжается для поддержания напряжения на конденсаторе на заданном уровне.

5.2. Управление фотовольтаикой и батареями накопителей

Блоки фотовольтаики (*PV-генераторы*) с батареями (представлены как *источники тока*) показаны на **рис. 8.** Законы управления для фотовольтаики имеют вид (верхние индексы m использованы для обозначения измеряемых величин, индекс c – для обозначения напряжений на выходе конденсатора на выходе *PV-генераторов*, индексы p – для обозначения параметров на выходе инвертора):

$$\Delta I_p = -k_{I_p} \int (v_c^{ref} - v_c^{m})dt \quad \text{(Battery Control)} \qquad (23)$$

$$\Delta \delta_p = k_{\delta_p} \int (P_p^{ref} - P_p^{m})dt \qquad (24)$$

v_c^{ref} – формируется алгоритмом отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ).

В основном P_p^{ref} будет определена спрогнозированным максимальным значением, определённым на основании солнечного сияния, и P_p^{ref} и Q_p^{ref} достигаются с использованием робастного управления (Mahmud и др., 2012). В режиме управления напряжением *PV-генера-*

торов, P_p и Q_p обеспечиваются за счёт амплитуды напряжения на зажимах VSC. Ошибки регулирования $P_p^{ref} - P_p$ и $Q_p^{ref} - Q_p$, поступающие на контроллер, преобразуются в продольные *d* и поперечные *q* составляющие тока инвертора в соответствии с заданными уставками, далее выходные данные инвертора снова обрабатываются, чтобы получить новые компоненты уставок. Батарея, показанная на **рис. 8**, заряжается и разряжается для сохранения напряжения на конденсаторе на уровне v_{dc}^{ref}.

Значения указанных выше параметров k_{I_w}, k_{δ_w}, k_{q_w}, k_{I_p}, k_{δ_p} определяются путём минимизации интегральной ошибки функции стоимости, которая обеспечивает устойчивость системы с минимальными отклонениями в установившемся режиме. Функция затрат задается как:

$$J = \left[\sum_{t=t_0}^{t_f}(t - t_0).W.|E|\right] \qquad (25),$$

где: t_0 и t_f – начальная и конечная временные точки периода вычисления управляющего воздействия, *W* – весовая матрица {определяющая цену отклонения} и $E=[\Delta v_{dc_w}, \Delta P_w, \Delta Q_w, \Delta v_{dc_p}, \Delta P_w]$ – матрица абсолютных ошибок управления; ΔP и ΔQ представляют ошибки управления – разности между активной и реактивной уставками и измеряемыми значениями мощности, и Δv_{dc} – отклонение напряжения от его номинальной величины.

Функционирование запроектированного контроллера в течение островного режима представлено в следующем разделе.

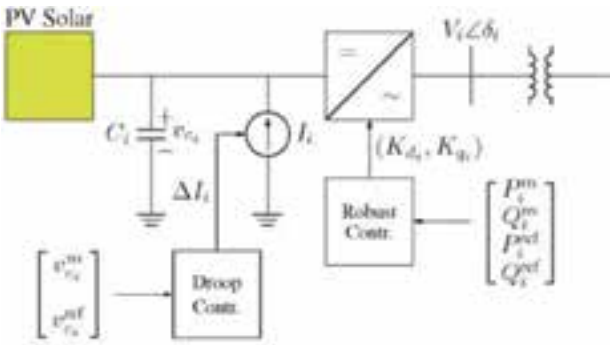

Рис. 8. PV и батарея

6. Оценка эффективности управления

Для оценки эффективности управления производились испытания MG (Katiraei и др., 2005). {Испытываемый} MG состоит из трёх 13,8-кВ фидеров, которые подключены к сети энергосистемы через радиальную линию 69 кВ. Общая нагрузка MG составляет 7,3 МВт и 3,97 МВАр.

PV-генерация подключается к MG через VSC. Статор DFIG подключён непосредственно к сети MG, ротор – через VSC. Номинальная мощность PV-генератора равна 3,0 МВт, DFIG – 3,5 МВт. Оба агрегата, PV-генератор и DFIG, подключены к системе батарей накопителя энергии. Номинальная ёмкость каждой батареи составляет 0,6 МВтч. Напряжение связи постоянного тока – 1200 В, электрическая ёмкость конденсатора – 10 000 микрофарад. Пятьсот шестьдесят два 2,135-вольтовых свинцово-кислотных аккумуляторов соединены последовательно, чтобы получить желаемое напряжение. Максимальные токи заряда или разряда – 5 кА. Каждая линия электропередачи MG представлена последовательно соединёнными ветвями с сосредоточенными активным и индуктивным сопротивлениями {RL-ветвь}. В островном режиме оставшаяся в балансе MG мощность 1 МВт питается от BES.

Весовая матрица в (25) определена как [0.5,1.0,1.0,0.5,1.0]. Полученные параметры управления для ветротурбин $k_{I_w}=13{,}25$, $k_{\delta_w}=8$, $k_{q_w}=20$ и для фотоэлектрического блока $k_{I_p}=5$, $k_{\delta_p}=30$. Контроллеры статического управления настроены на работу в первую очередь, а уже динамика их действия вводится в контур робастного контроллера.

Первоначально MG работает параллельно с сетью энергосистемы и функционирование разработанного контроллера исследуется в режиме, предшествующем островному. Через одну секунду осуществляется намеренное отделение острова на автоматических выключателях линии 69 кВ и батареи включаются в действие таким образом, что они поддерживают оставшуюся в балансе мощность в 1 МВт. На **рис. 9** и **10** показана выходная активная

мощность накопителя энергии батареи (BES).

Генератор ветра и PV-генератор продолжают работать в их оптимальном режиме.

Выходная активная мощность PV-генератора представлена на **рис. 11**, совместная выходная мощность PV-генератора и BES показана на **рис. 12**.

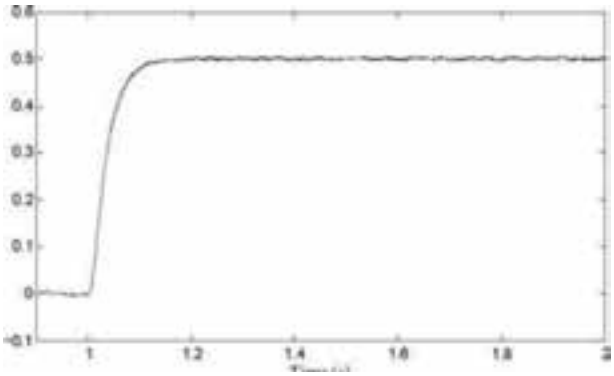

Рис. 9. График активной мощности BES

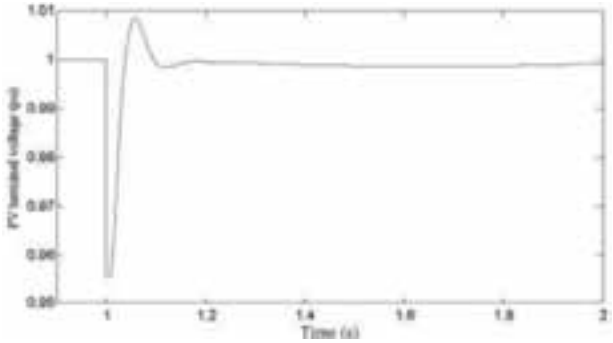

Рис. 10. График напряжения на выводах PV-генератора в процессе выделения MG в островной режим

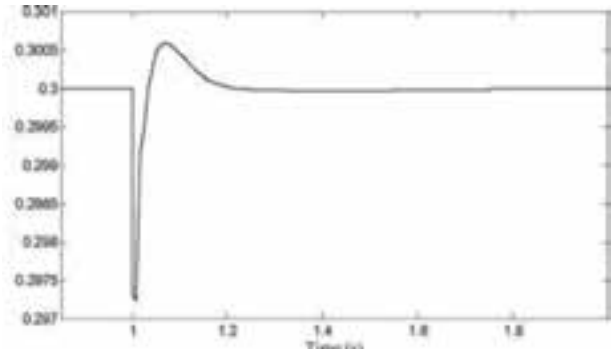

Рис. 11. График активной мощности PV-генератора в процессе выделения MG в островной режим

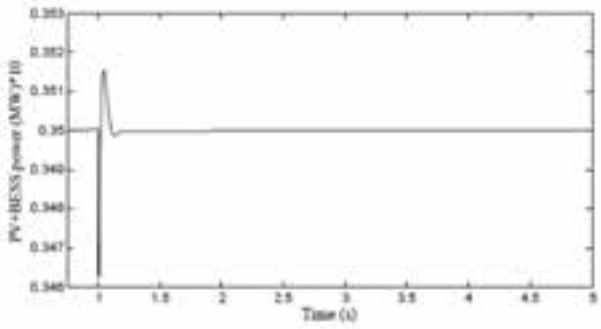

Рис. 12. График суммарной активной мощности PV-генератора и BES в процессе выделения MG в островной режим.

Оба DER-блока управляют реактивной мощностью для поддержания напряжения на выводах. Возмущение напряжения, связанное с переходным режимом, устраняется регулятором напряжения. И фазовый угол, и модуль регулируемого напряжения быстро модулируются предлагаемым контроллером для того, чтобы устранить возмущения напряжения и угла мощности. Демпфирование, обеспечиваемое робастным контроллером распределения мощности, даёт хорошее затухание. Из этого исследования ясно, что предложенный контроллер может обеспечить устойчивость и затухающие переходные характеристики во время переключения MG с параллельной работы в островной режим.

7. Заключение

Для идеальных источников напряжения, подключаемых к MG через инвертор, статическое управление {управление по статизму} может помочь в распределении активной и реактивной мощности. Конструкция управления проста благодаря ограниченному количеству датчиков {сенсоров} и контроллеру динамического взаимодействия. Вызов состоит в том, чтобы учесть динамику генерации и нагрузки с их системами управления и гарантировать устойчивую работу MG в островном режиме. Системы накопления энергии могут быть использованы для поддержки DERs для обеспечения устойчивости MG при больших возмущениях за счёт робастного управления и для достижения эффективного распределения мощности средствами управления по статизму.

Литература

1. Chiang, S. and Chang, J. (2001). Parallel control of the UPS inverters with frequency-dependent droop scheme. In Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual, volume 2, 957-961.

2. Coelho, E., Cortizo, P., and Garcia, P. (2002). Small-signal stability for parallel-connected inverters in stand-alone ac supply systems. Industry Applications, IEEE Transactions on, 38(2), 533-542.

3. De Brabandere, K., Bolsens, B., Van den Keybus, J., Woyte, A., Driesen, J., and Belmans, R. (2007). A voltage and frequency droop control method for parallel inverters. Power Electronics, IEEE Transactions on, 22(4), 1107-1115. Erickson, M., Jahns, T., and Lasseter, R. (2011). Comparison of PV inverter controller configurations for CERTS microgrid applications. In Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2011 IEEE, 659-666.

4. Etemadi, A., Davison, E., and Iravani, R. (2012a). A decentralized robust control strategy for multi-DER microgrids—Part I: Fundamental concepts. Power Delivery, IEEE Transac¬tions on, 27(4), 1843-1853.

5. Etemadi, A., Davison, E., and Iravani, R. (2012b). A decentral-ized robust control strategy for multi-DER microgrids—Part II: Performance evaluation. Power Delivery, IEEE Transac¬tions on, 27(4), 1854-1861.

6. Guerrero, J., Chandorkar, M., Lee, T., and Loh, P. (2013a). Advanced control architectures for intelligent microgrids— Part I: Decentralized and hierarchical control. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 60(4), 1254-1262. Guerrero, J., Loh, P.C., 9. Lee, T.L., and Chandorkar, M. (2013b). Advanced control architectures for intelligent microgrids— Part II: Power quality, energy storage, and ac/dc microgrids. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 60(4), 1263¬1270.

7. He, J. and Li, Y.W. (2011). Analysis, design, and implemen-tation of virtual impedance for power electronics interfaced distributed generation. Industry Applications, IEEE Trans¬actions on, 47(6), 2525-2538.

8. He, J. and Li, Y.W. (2012). An enhanced microgrid load de¬mand sharing strategy. Power Electronics, IEEE Transac¬tions on, 27(9), 3984-3995.

9. Hossain, M.J., Saha, T.K., Mithulananthan, N., and Pota, H.R. (2013). Control strategies for augmenting LVRT capability of DFIGs in interconnected power systems. IEEE Transac¬tions on Industrial Electronics, 60(6), 2510 -2522.

10. Johnson, B., Davoudi, A., Chapman, P., and Sauer, P. (2011). A unified dynamic characterization framework for microgrid systems. Electric Power Components and Systems, 40(1), 93-111.

11. Kamel, R., Chaouachi, A., and Nagasaka, K. (2013). Three control strategies to improve the microgrid transient dynamic response during isolated mode: A comparative study. Indus¬trial Electronics, IEEE Transactions on, 60(4), 1314-1322.

12. Katiraei, F., Iravani, M., and Lehn, P. (2005). Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process. Power Delivery, IEEE Transactions on, 20(1), 248-257.

13. Lasseter, R. (2002). Microgrids. In Power Engineering Society Winter Meeting. IEEE, volume 1, 305-308.

14. Lasseter, R. (2011). Smart distribution: Coupled microgrids. Proceedings of the IEEE, 99(6), 1074-1082.

15. Lasseter, R., Eto, J., Schenkman, B., Stevens, J., Vollkommer, H., Klapp, D., Linton, E., Hurtado, H., and Roy, J. (2011). CERTS microgrid laboratory test bed. Power Delivery, IEEE Transactions on, 26(1), 325-332.

16. Li, Y.W. and Kao, C.N. (2009). An accurate power control strat¬egy for power-electronics-interfaced distributed generation units operating in a low-voltage multibus microgrid. Power Electronics, IEEE Transactions on, 24(12), 2977-2988.

17. Lidula, N. and Rajapakse, A. (2011). Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems. Renew-able and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 186-202.

18. Mahmud, M.A., Pota, H.R., and Hossain, M.J. (2012). Dy-namic stability of three-phase grid-connected photovoltaic system using zero dynamic design approach. IEEE Journal of Photovoltaics, 2(4), 564-571.

19. Roy, N.K., Pota, H.R., and Hossain, M.J. (2013). Reactive power management of distribution networks with wind gen-eration for improving voltage stability. Renewable Energy, 58, 85-94.

20. Sao, C. and Lehn, P. (2005). Autonomous load sharing of volt¬age source converters. Power Delivery, IEEE Transactions on, 20(2), 100-1016.

21. Tuladhar, A., Jin, H., Unger, T., and Mauch, K. (1997). Parallel operation of single phase inverter modules with no control interconnections. In Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1997. APEC '97 Conference Proceedings 1997., Twelfth Annual, volume 1, 94-100.

22. Tuladhar, A., Jin, H., Unger, T., and Mauch, K. (2000). Control of parallel inverters in distributed AC power systems with consideration of line impedance effect. Industry Applica-tions, IEEE Transactions on, 36(1), 131-138.

23. Vandoorn, T., Kooning, J.D., Meersman, B., and Vandevelde, L. (2013). Review of primary control strategies for islanded microgrids with power-electronic interfaces. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19(0), 613 - 628.

24. Zhong, Q.C. (2013). Robust droop controller for accurate pro¬portional load sharing among inverters operated in parallel. Industrial Electronics, IEEE Trans. on, 60(4), 1281-1290.

Источник:

19th IFAC World Congress, Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014

H. R. Pota, M. J. Hossain
M. A. Mahmud, R. Gadh
R. C. Bansal