

SmartGrid - больше чем smart grid

Валерий Вяткин, Оклендский университет, Новая Зеландия¹

E-Mail: v.vyatkin@auckland.ac.nz

ВВЕДЕНИЕ

Зачастую, спросив 2-х экспертов, «Что такое SmartGrid?», можно получить, как минимум, пять разных ответов. Исторически, термин SmartGrid относился к системам распределения электроэнергии, однако, в последнее время он всё чаще употребляется как своего рода «торговая марка» любых разработок относящихся к «умному» производству, передаче и потреблению энергии, достигаемому за счёт использования современных встроенных микропроцессорных систем управления и компьютерных систем обработки информации. Таким образом, компьютерная и Интернет революция, которую мы переживаем в последние десятилетия призвана качественно улучшить эффективность энергопотребления. Именно с ней связаны основные ожидания общества в отношении устойчивого и эффективного энергопроизводства и энергопотребления.

Интересно также отметить и противоположную тенденцию. Новые компьютерные технологии вызывают рост потребления энергии, например, в огромных “серверных фермах” Google и др., особенно когда они расположены в регионах, где ситуация с дополнительными энерго мощностями и без того проблематична (например, Калифорния). Широкое распространение ЖК-панелей увеличило потребление электричества до такой степени, что, например в масштабе Великобритании, требует строительства новой электростанции.

В последнее время появилось несколько стратегических документов, касающихся SmartGrid, например [1-4]. Поскольку промышленность в таких документах предлагает решения уже воплощённые в разработках, то мне хотелось бы остановиться лишь на некоторых, но характерных направлениях перспективных исследований проводимых в исследовательских лабораториях, в первую очередь в секторе ICT (информационных и сетевых технологий).

SmartGrid является «горячей темой» в плане исследований и разработок. Крупные энергетические компании (генерирующие электроэнергию и доставляющие её конечным потребителям) имеют собственные «дорожные карты» научно-исследовательских работ, нацеленные на достижение характеристик, заявленных в программных документах по SmartGrid. То же относится и к крупным компаниям, поставщикам оборудования, таким как ABB, General Electric, SIEMENS, Alstom. На государственном уровне исследовательские проекты финансируются такими национальными и международными организациями как NSF(США), Департамент Энергетики (DOE, USA), EU FP7 (Европейская рамочная программа 7), и др. Общий объём средств выделяемых в мире на соответствующие исследования составляет сотни миллионов долларов в год.

В этом докладе, я попытаюсь представить небольшой обзор интересных, с моей точки зрения, работ существенно влияющих на эффективность создания информационно-управляющих

¹ Приглашенный доклад представленный на Международной Энергетической Конференции «Технологическая основа формирования новой энергетики России», Сколково, 26 ноября, 2010 г. <http://www.csr-nw.ru/content/announce/default.asp?shmode=2&ids=21&ida=2578>

систем (ИУС) для энергетики, как имеющих немедленное практическое применение, так более перспективных исследований. Данный доклад, однако, ни в коей мере не претендует на полноту охвата темы.

ЧТО ТАКОЕ SMARTGRID?

В качестве примеров характеристик, ожидаемых от SmartGrid (в широком смысле) можно привести следующие:

Повышение эффективности энергопотребления (demand/response, floating prices, smart metering, peak shaving)

Определённое повышение эффективности энергопотребления может быть достигнуто за счет снижения пиковых нагрузок. Это достигается введением спотового рынка электроэнергии с возможностью динамического установления цены на онлайн-рынке вплоть до конечного потребителя. При наличии информации о текущей цене, система приобретает элементы саморегулирования, стимулируя потребителей отказаться от некоторых услуг или перенести их на другое время. Компьютерные технологии предоставляют большой набор соответствующих сервисов, например: сбор детальных результатов измерений энергопотребления вплоть до каждого электроприбора и представление их потребителю в реальном времени (smart metering), возможность автоматического снижения потребления при росте цены путем отключения неприоритетных нагрузок, и т.д. Наряду с этим, исследуются возможности запасения энергии в периоды низких цен, с использованием в периоды пикового спроса. Соответствующие технологии включают аккумуляторные батареи, конденсаторы, а также механические системы, например, сжатие воздуха. Однако, исследования показывают, что большая часть из этих технологий экономически нерентабельна в настоящее время.

Возобновляемые источники энергии

Существующие технологии пока не позволяют достичь устойчивых систем построенных на 100% использовании возобновляемых источников энергии (ветер, солнце). Интеграция таких источников с традиционными сопряжена со многими проблемами. Задача динамического баланса потребления и генерации может решаться как на макро, так и на микро уровне. Концепция MicroGrid состоит в том, чтобы достичь оптимального соотношения между генерацией и потреблением на уровне микро-района или поселка, предполагая, что во многих домохозяйствах присутствуют собственные генерирующие мощности, и система распределения позволяет продавать энергию соседям или покупать ее по мере необходимости.

Электромобили

Автомобили, заряжаемые из розетки, являются практически реальностью сегодняшнего дня. Практически нет разногласий среди экспертов и в том, что эта технология станет доминирующей в ближайшие годы и десятилетия. Насколько системы электроснабжения готовы к этой радикальной перемене?

В настоящее время ведутся широкие исследования в направлении V2G (vehicle to grid). Огромны перспективы информационных технологий в этой связи. «Умные» автомобили, подключенные к Интернету и обладающие информацией о своём местоположении, будут способны планировать наиболее оптимальное место и время подзарядки. Что для этого необходимо? В первую очередь, стандарты обмена информацией, стандарты физического подключения к электросети.

В этой связи, интерес представляют и технологии беспроводной передачи электроэнергии (например индуктивной или ёмкостной). Соответствующие технологии имеются и достигли высокой эффективности передачи. Беспроводная передача энергии может существенно облегчить создание инфраструктуры подзарядки, вплоть до того, что подзарядка будет осуществляться на каждом светофоре, а расчеты за энергию будут проводиться в электронной форме.

Надёжность, стабильность и безопасность

Электросети являются критической инфраструктурой общества. Обеспечение стабильности, надёжности и безопасности их функционирования является одним из абсолютных приоритетов в исследованиях.

Одной из характеристик, отмеченных во всех «программных» документах является «самовылечение» (self-healing), что включает в себя автоматическую диагностику и ликвидацию аварий, недопущение каскадных отключений, быстрое восстановление подачи энергии на отключенные участки. Традиционный способ решения этих задач состоит в использовании иерархической структуры принятия решений. Однако, в последнее время активно ведутся работы в области реализации стратегий распределенного принятия решений автономными локальными контроллерами, взаимодействующими друг с другом.

Следует отметить, что SmartGrid связывает энергетическую инфраструктуру с коммуникационными инфраструктурами (Интернет, сотовая связь), что может иметь как положительные, так и отрицательные последствия для надежности обоих.

ТЕХНОЛОГИИ

Реализация SmartGrid требует отказа от традиционных иерархических архитектур систем автоматизации и перехода к архитектурам, в которых интеллектуальные устройства управления взаимодействуют как горизонтально, так и вертикально, и обладают определённой автономностью при принятии решений с элементами искусственного интеллекта (Рис. 1).

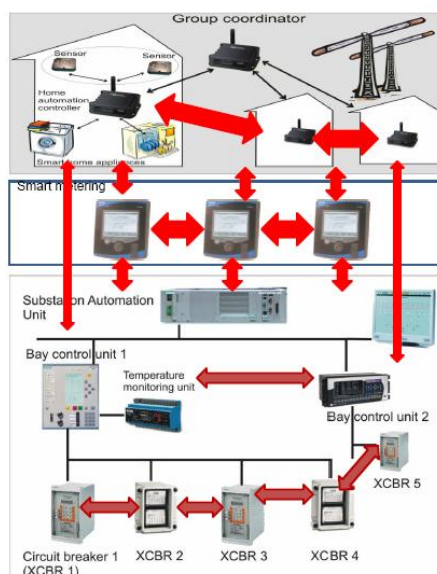


Рис. 1 Взаимодействие устройств в SmartGrid: связь между автоматизацией подстанций и потребителями.

В этом разделе конспективно перечислены некоторые технологии, делающие возможным воплощение идей SmartGrid в жизнь.

Силовая электроника

Новое поколение силовой электроники существенно опирается на использование встроенных контроллеров. Соответственно они легче интегрируются в компьютерные сети.

- Полупроводниковые трансформаторы (Solid State Transformer - SST), которые улучшают качество энергии, позволяют индивидуализировать параметры и достичь «цифрового» качества поставляемой энергии.
- Привода (Variable Speed Drives) для эффективной интеграции ветровых генераторов в сеть.
- Полупроводниковые изолирующие устройства (SS FID – Solid state fault isolation device).
- Устройства измерения векторов токов и напряжений (PMU – phasor measurement units), интегрируемые в системы релейной защиты.

Программное обеспечение

- Сервис-ориентированные архитектуры
- Семантические веб-сервисы
- Мета-модели представления знаний
- Онтологии

Компьютерное оборудование автоматизации

- Встроенные контроллеры, следующие поколение удалённых терминальных устройств (RTU), интеллектуальные устройства управления (IED)
- Беспроводные сети датчиков

Теории и технологии управления

- Нелинейное управление, искусственный интеллект, нейронные сети, модели интеллектуального управления (model-predictive control)
- Мультиагентные системы, системы распределённого принятия решений основанные на консенсусе и механизмах голосования
- Новые технологии распределённой автоматизации (IEC 61499)

Сетевые технологии

- Протоколы высокого уровня (IEC 61850, GOOSE, DNP3)
- Широкополосные проводные и беспроводные сети
- Коммуникации через силовые линии (PLC – Power line communication)

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ

Системы распределения электроэнергии уровня подстанций характеризуются большой неоднородностью оборудования. Это вызвано рядом причин. Так, паспортный срок службы многих устройств, таких, например, как трансформаторы, составляет 50-100 лет. В рамках одной подстанции процесс обновления базовых устройств протекает практически непрерывно. Таким образом, разработчикам и эксплуатантам ИУС приходится иметь дело с базовым оборудованием, разных поколений выпущенным различными производителями.

Развернутые в настоящее время ИУС подстанций характеризуются централизованной сетевой архитектурой, в которой на верхнем уровне располагается центр сбора и отображения информации, а на нижнем удалённые терминальные устройства (RTU – remote terminal unit). Связь между уровнями обычно реализована при помощи различных сетевых протоколов, как правило с низкой пропускной способностью.

Современной тенденцией является появление т.н. интеллектуальных управляющих устройств, способных собирать данные о функционировании базового оборудования и передавать их в «центр» по запросу. С целью унификации форматов организации, представления и передачи таких данных был разработан стандарт МЭК 61850 (IEC 61850). Данный стандарт, в настоящее время испытывает «взрывной» интерес со стороны разработчиков и эксплуатантов. Это мотивирует заинтересованные организации к разработке всё новых и новых разделов стандарта. Как показано на Рис. 2, стандарт включает в себя множество разделов и подразделов. Большая часть из уже принятых частей стандарта, находится в переработке для 2-го издания.

Part	Title	Publication	Edition 2
1	Introduction and overview	TR Ed1:2003-04	CD 2010-06
2	Glossary	TS Ed1:2003-08	--
3	General requirements	IS Ed1:2002-02	CD 2010-04
4	System and project management	IS Ed1:2002-01	CDV 2008-12
5	Communication requirements for functions and device models	IS Ed1:2003-07	CDV 2008
6	Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs	IS Ed1:2004-03	IS Ed2: 2010-02
7-1	Basic communication structure – Principles and models	IS Ed1:2003-07	FDIS 2010-05
7-2	Basic communication structure – Abstract communication service interface (ACSI)	IS Ed1:2003-05	FDIS 2010-03
7-3	Basic communication structure – Common data classes	IS Ed1:2003-05	FDIS 2010-06
7-4	Basic communication structure – Compatible logical node classes and data classes	IS Ed1:2003-05	FDIS 2010-02
7-410	Hydroelectric power plants - Communication for monitoring and control	IS Ed1:2007-08	CD 20xx
7-420	Communications systems for distributed energy resources (DER) - Logical nodes	IS Ed1:2009-03	CD 20xx
7-430	Communication system for distribution feeder and network equipment	57/954/NP	
7-5	Basic communication structure – Usage of information models for substation automation applications	DC 2010-08	
7-500	Use of logical nodes to model functions of a substation automation system	DC 2010-08	
7-510	Use of logical nodes to model functions of a hydro power plant	DC 2008-12	
7-520	Use of logical nodes to model functions of distributed energy resources	Draft 2010	
7-10	Web-based and structured access to the IEC 61850 information models	DC 2009-12	
8-1	Specific communication service mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO/IEC 9506-1 and ISO/IEC 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3	IS Ed1:2004-05	FDIS 2010-06
8-1	Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over serial unidirectional multidrop point to point link	IS Ed1:2003-05	withdraw
8-2	Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3	IS Ed1:2004-04	FDIS 2010-06
10	Conformance testing	IS Ed1:2005-05	FDIS 2010-04
80-1	Guideline to exchanging information from a CDC-based data model using IEC 60870-5-101 or IEC 60870-5-104	TS Ed1:2008-12	
90-1	Using IEC 61850 for the communication between substations	TS Ed1:2009-08	
90-2	Using IEC 61850 for the communication between substations and control centres	Draft 2010-01	
90-3	Using IEC 61850 for Condition Monitoring	Draft 2010-06	
90-4	Network Engineering Guidelines	Draft 2010-04	
90-5	Using IEC 61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE C37.118	Draft 2010-06	
		current work in 2009/2010	current work in 2009/2010

Рис. 2 Стандарт МЭК 61850: Сети и системы автоматизации электросетей [5].

Из списка разделов стандарта видно, что область его действия существенно расширилась, и покрывает не только непосредственно электросети, но и системы генерации (7-510, 7-520).

Стандарт включает в себя коммуникационный протокол высокого уровня GOOSE – своего рода общий язык для обмена информацией. Также, стандарт определяет семантику данных, генерируемых и хранимых в логических узлах (Logical Node). Следует отметить, что существует альтернативный коммуникационный протокол DNP3 широко распространенный в Северной Америке, однако автору неизвестны другие подобные стандарты представления информации.

СДЕЛАТЬ МОДЕЛЬ МЭК 61850 ВЫПОЛНИМОЙ

Одним из недостатков стандарта МЭК 61850 является статичность модели данных. В [11] и ряде последующих работ мы предложили метод устранения этого недостатка за счет реализации логических узлов средствами исполняемых спецификаций стандарта МЭК (IEC 61499). Это позволяет создавать исполняемые модели SmartGrid системного уровня и производить их комплексную верификацию.

ИНТЕГРАЦИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ, MicroGrid

Широкий интерес к возобновляемым источникам энергии представляет новые вызовы. Размещение генерирующих мощностей (солнечных, ветровых, основанных на теплообмене или совмещении электрогенерации и отопления) в непосредственной близости от потребителя требует совершенно нового подхода к управлению электросетью. Одним из новых подходов является концепция MicroGrid. В этой части доклада мы рассмотрим, в качестве примера, два соответствующих проекта: FREEDM финансируемый NSF и COPN финансируемый EFRI.

Проект FREEDM объединяет несколько американских университетов и их партнеров в Европе и Новой Зеландии. Целью проекта является разработка действующей модели MicroGrid обладающего характеристиками SmartGrid (Рис. 3) и позволяющего легко интегрировать системы предыдущих поколений. Архитектура FREEDM основана на концепции универсального устройства EnergyRouter которое будет осуществлять динамическое распределение энергии между локальными потребителями и генераторами.

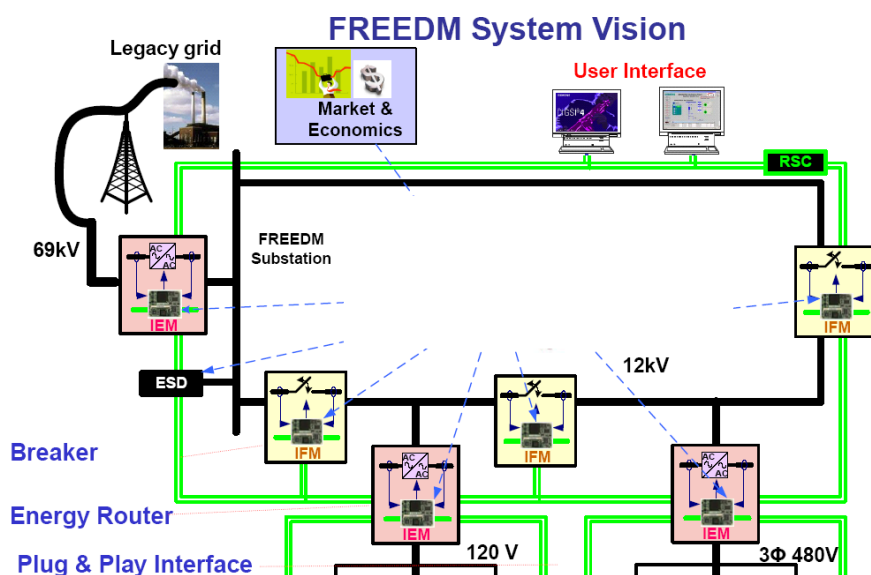


Рис. 3 Кольцевая структура сети FREEDM.

Сочетание взаимно-противоречивых задач управления приводит к задаче нелинейного управления большой размерности. Прямое вычислительное решение таких задач является

нереальным и на помощь должны прийти методы интеллектуального управления. Целью амбициозного проекта COPN [8,10] является отработка интеллектуального управления MicroGrid – системой с использованием нейронных сетей. С этой целью построена экспериментальная установка в которой модель MicroGrid подключена к живому мозгу крысы (Рис. 4). Таким образом MicroGrid управляется при помощи живой нейронной сети, которая наблюдается в реальном масштабе времени при помощи томографа. Полученные данные будут использованы для настройки и обучения искусственной нейронной сети.

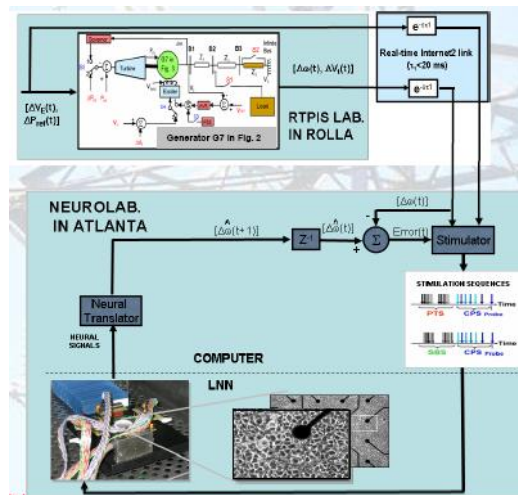


Рис. 4 Экспериментальная установка проекта EFRI-COPN.

СОЦИО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Становится понятно, что электросети не могут рассматриваться (проектироваться) не только в отрыве от систем генерации и передачи, но и в отрыве от потребителя в широком смысле этого слова, включая рынок электроэнергии на макро-уровне и умные дома на микро уровне.

Концепция SmartGrid не является в достаточной мере всеохватывающей для того, чтобы включить в себя все эти аспекты. В результате, появились новые архитектуры, например EnergyWeb [6] и eNetworks [7]. Например, архитектура EnergyWeb включает в себя пять уровней, от чисто технических (распределение энергии) до чисто социально-экономических, включающих моделирование стимулов индивидов. Разумеется, невозможно напрямую управлять социальными структурами, но можно попытаться их промоделировать.

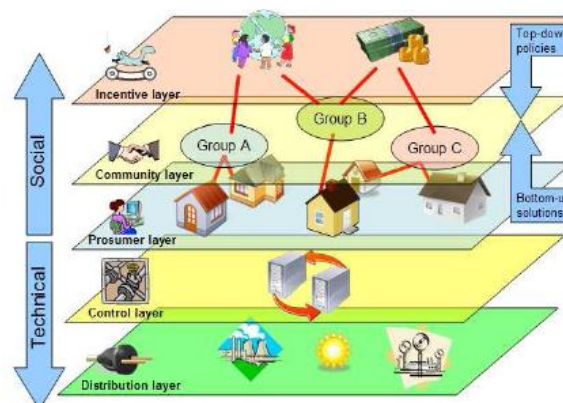


Рис. 5 Многоуровневая архитектура EnergyWeb.

Задача комплексного моделирования таких сложных социо-технических систем решается при помощи таких методов, как мульти-агентное моделирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. THE GERMAN ROADMAP E-ENERGY / SMART GRID, DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE, VDE Association for electrical, Electronic & information technologies.
2. The European Electricity Grid Initiative (EEGI), Roadmap 2010-18 and Detailed Implementation Plan 2010-12
3. IEC Standardization Management Board (SMB), Smart Grid Strategic Group (SG3), "IEC Smart Grid Standardization Roadmap", June 2010.
4. Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap," Electric Power Research Institute (EPRI) August 10 2009
5. K.H. Schwarz, "IEC 61850 - Communication networks and systems for power utility automation", private communication, 2010
6. I. Carreras, et al., "Bottom-Up Design Patterns and the Energy Web", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans , Vol: 40 , Issue: 4, 2010, Page(s): 815 - 824
7. M. Uliuru, "eNetworks in an Increasingly Volatile World: Design for Resilience of Networked Critical Infrastructures," Proc. IEEE Conference on Digital Ecosystems, 2009.
8. Venayagamoorthy GK , EFRI-CORN "Neuroscience and Neural Networks for Engineering the Future Intelligent Electric Power Grid", RESIN NSF Workshop, Alexandria, 2009
9. R. Akela, et al., "Distributed Power Balancing for the FREEDM System", IEEE International Conference on SmartGrid Communications, Gaithersburg, MD, October, 2010
10. Venayagamoorthy GK, Welch R, "Energy Dispatch Controllers for a Photovoltaic System", Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2010
11. N. Higgins, et al., "Intelligent Decentralised Power Distribution Automation with IEC 61850, IEC 61499 and Holonic Control," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics— Part C: Applications and Reviews, vol. 40, 2010