



PS3 – Poster-04



Улучшенные схемы частотной разгрузки, восстановления питания и управления подстанцией, основанные на протоколе МЭК 61850, для распределительных подстанций

А. ЛОПЕС де ВИНЬЯСПРЕ¹, Х. РУИС¹, И. ДИАС¹, А. ЛОПЕС¹, З. НИР²,
В. ТРАХТЕНХЕРЦ²
GE Digital Energy¹, Israel Electric Corp.²
Испания¹, Израиль²
alberto.lopezdevinaspre@ge.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Система управления подстанцией, частотная разгрузка, схема восстановления питания, МЭК 61850, GOOSE.

1 ВВЕДЕНИЕ

В данной статье описывается практика, требования и реализация комплексной системы управления и защиты подстанции, включая улучшенную схему частотной разгрузки и восстановления нагрузки, на пяти подстанциях Израильской электрической компании, использование преимуществ современных устройств защиты с протоколом связи МЭК 61850, получая более высокий уровень управления подстанцией.

В данной статье представлена современная высокоскоростная управляемая система частотной разгрузки и восстановления нагрузки, в которой информация совместно используется устройствами в различных присоединениях и достигается полностью контролируемое восстановление нагрузки.

Также представлены две схемы частотной разгрузки с восстановлением: традиционная схема, основанная на топологии Звезды с запуском восстановления по частоте и по приоритетным группам, а также схема с кольцевой топологией с полностью управляемым восстановлением фидер за фидером. Эта улучшенная топология может быть получена, используя современные устройства и связь внутри подстанции, основанную на одноранговой связи сообщениями GOOSE по МЭК 61850. Она предоставляет высокий уровень управления каждым фидером в отличие от управления группой фидеров.

В статье также рассказывается о резервировании управления, разработанном в этих новых улучшенных схемах восстановления нагрузки.

Представлена полная реализация Системы управления подстанцией, основанная на МЭК 61850, включая детали и соображения по реализации логических схем подстанции таких, как УРОВ, управление включением конденсаторных батарей на двойной системе шин или контроль системы заземления (катушка Петерсона или глухозаземленная нейтраль) подключенной к различным системам шин, учитывая их соединение и блокировку или разблокировку различных функций защиты, используя только GOOSE сообщения по стандарту МЭК 61850.

2 ИНФОРМАЦИЯ ПО 161 кВ ПОДСТАНЦИИ

Подстанция состоит из следующих основных компонентов:

- Высоковольтной части 161 кВ. Имеется два варианта высоковольтной части. Открытая часть, состоящая из двух одиночных систем шин, одного шинного соединения и обычно четырех линейных фидеров и четырех трансформаторных фидеров, а также элегазовой части, которая состоит из элегазовой двойной системы шин, одного шинного соединения и обычно четырех линейных фидеров и четырех трансформаторных фидеров.
- Часть среднего напряжения имеет три варианта:
 - Стандартная элегазовая коммутационная аппаратура (24 или 36 кВ), которая состоит из четырех элегазовых одиночных систем шин. Каждая система шин включает в себя один ввод трансформатора (30 МВА или 45 МВА), два шинных соединителя, один ввод конденсаторной батареи, один заземляющий трансформатор (на 45 МВА) и до 8 линейных фидеров.
 - Расширенная элегазовая часть (24 или 36 кВ) состоит из максимум четырех элегазовых одиночных систем шин. Каждая система шин включает в себя один ввод трансформатора (75 МВА), два шинных соединителя, ввод двух конденсаторных батарей, один заземляющий трансформатор (на 75 МВА) и до 12 линейных фидеров.
 - Плакированная часть 13.2 кВ с воздушной изоляцией состоит из двух одиночных систем шин для каждого трансформатора (50/25/25 МВА). Каждая система шин включает один ввод, один шинный соединитель, один фидер батареи конденсаторов и до восьми линейных фидеров.
- Трансформаторы 161/24 кВ или 161/36 кВ 30, 45 или 75 МВА; или трансформаторы 161/13.2/13.2 кВ 50/25/25 МВА.



Рис. 1: Архитектура связи на ПК Иерусалим С

3 РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА

3.1 УРОВ

УРОВ для системы шин СН на подстанции, основывается на МЭК 61850. Эта функция обеспечивает резерв для выключателей СН и проводов управления, определяя, что выключатель не отключился при КЗ. В этих обстоятельствах сообщения GOOSE МЭК 61850 будут переданы во все присоединения, подключенные к одной системе шин, и в вышестоящие выключатели, чтобы отключить замыкание.

Каждое устройство защиты фидеры СН получит сообщение GOOSE и оценит имеющиеся ли условия для отключения выключателя. В случае если разъединитель не разомкнут, то есть замкнут или в неопределенном состоянии, устройство отключит присоединение и заблокирует АПВ.

Получение сообщения GOOSE Отключение УРОВ непосредственно не отключает присоединение. Если выключатель был отключен перед получением сообщения GOOSE, состояние выключателя MVCPU подразумевается в логике и не будет предпринято никаких действий.

фидеров среднего напряжения, посылая соответствующие команды в сообщении GOOSE МЭК 61850.

Частота может быть измерена на первой или второй системы шин 161 кВ ТН, и решение принимается диспетчером, путем выбора соответствующей опции в ИЧМ клиента МЭК 61850.

Три ступени защиты минимальной частоты и по скорости изменения частоты были выбраны, чтобы задать три разных приоритета: Приоритет 1 «Низкая частота», приоритет 2 «Очень низкая частота» и приоритет 3 «Сверхнизкая частота».

Приоритет независимый для каждого фидера СН и может быть изменен диспетчером в ИЧМ SCADA. Когда диспетчер выбирает новый приоритет для фидера в ИЧМ, система передаст команду в выбранное устройство защиты, чтобы задать его. Одновременная активация нескольких приоритетов последовательно запрещена благодаря использованию взаимоблокировок.

Когда устройство минимальной частоты обнаруживает, что частота упала ниже одной из заданных частот или превышает один из уровней скорости изменения частоты, оно передаст сообщение GOOSE об отключении во все присоединения СН. Задано три разных сообщения об отключении, одно для каждого приоритета.

Устройства F650, защищающие каждый фидер СН, получают сообщение GOOSE об отключении и сравнят его с предустановленным приоритетом. Если они совпадают, линия будет отключена и будет установлен внутренний флаг, делающий фидер доступным для дальнейшего автоматического восстановления нагрузки, отличая отключение от частотной разгрузки от отключения защитой фидера. Функция АПВ устройства защиты также будет внутренне заблокирована, чтобы избежать ее срабатывания после частотной разгрузки.

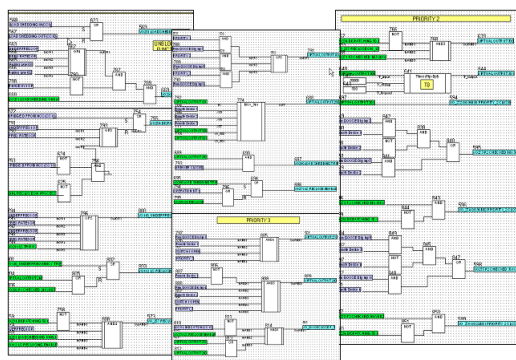


Рис. 5: Логика частотной разгрузки в устройстве UF F650 и устройстве F650

Реализованы две схемы частотной разгрузки с восстановлением: традиционная схема, основанная на топологии Звезды с запуском восстановления по частоте и по приоритетным группам, а также схема с кольцевой топологией с полностью управляемым восстановлением фидер за фидером.

3.3.1 Топология Звезда

Эта схема восстановления следует традиционному подходу запуска восстановления фидеров по группам приоритетов, но она была реализована, используя сообщения GOOSE вместо проводов между присоединениями.

Когда необходимо, схема может быть задействована принудительно оператором или диспетчерским центром, чтобы заменить полностью управляемую схему с Кольцевой топологией, путем активации контактного входа устройства минимальной частоты, заданного как "50.1".

В данном форсированном режиме задается, что процесс восстановления нагрузки начнется сразу после восстановления частоты выше заданного уровня. В этих условиях устройство минимальной частоты ВН передаст сообщение GOOSE с командой на включение всех присоединений фидеров СН, начиная с Приоритета 3 и заканчивая Приоритетом 1. Устройства F650 сравнят свой собственный приоритет с приоритетом полученного сообщения GOOSE и отправят команду на включение выключателя, когда они совпадают, только если внутренний флаг указывает, что фидер был отключен из-за частотной разгрузки, а не другой функцией защиты.

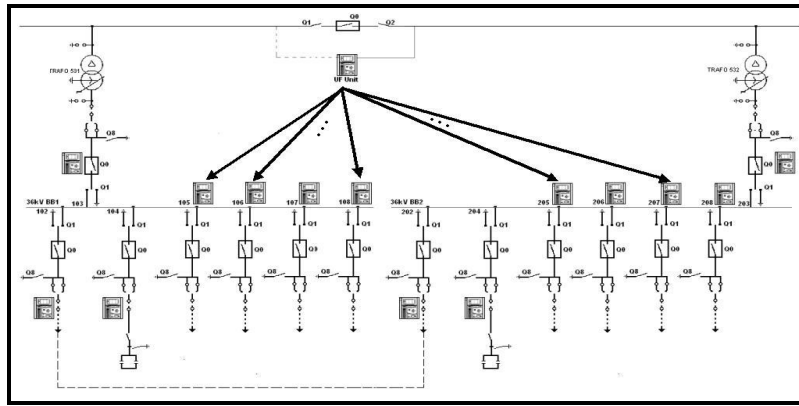


Рис. 6: Пример передачи GOOSE-сообщений при восстановлении нагрузки с радиальной топологией

3.3.2 Кольцевая топология

Когда с контактного входа «50.1» устройства минимальной частоты F650 (UF) снимается напряжение, система задается на использование улучшенной Кольцевой топологии в схеме восстановления нагрузки. В данной схеме начинается полностью управляемое восстановление фидер за фидером, когда частота восстанавливается выше предустановленного уровня. Устройство минимальной частоты отправит команду на начало восстановления нагрузки фидеров с Приоритетом 3 в два первых устройства первой системы шин. На примере ПС Иерусалим С, приведенном на рисунке ниже, GOOSE-сообщения восстановления нагрузки будут передаваться из устройства UF в две первые Линии 36 кВ системы шин-1. Далее GOOSE-сообщения пройдут вдоль системы шин-1, пока все присоединения не будут проверены. В данном месте схемы, устройство UF получит обратно другое GOOSE-сообщение, указывающее, что восстановление нагрузки системы шин-1 и Приоритета 3 было закончено, так что устройство UF может начинать процесс со следующей системой шин. Этот процесс будет продолжаться пока все системы шин и Приоритеты не будут проверены.

Когда присоединение получает сообщение на включение выключателя при восстановлении нагрузки, проверяется выполнение всех условий для восстановления (Приоритет присоединения и совпадение сообщения восстановления нагрузки, предыдущее отключение выключателя частотной разгрузкой, а не функцией защиты и т.д.). Если условия выполняются, присоединение включится и подождет заданное время перед отправкой GOOSE-сообщения о восстановлении нагрузки в следующее присоединение системы шин. Если условия не выполняются, присоединение сразу отправит GOOSE-сообщение о восстановлении нагрузки в следующее присоединение, не производя никаких действий с Линией.

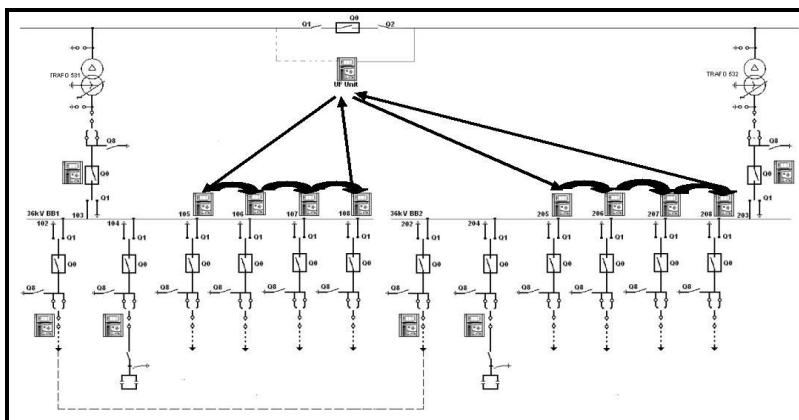


Рис. 7: Пример передачи GOOSE-сообщений при восстановлении нагрузки с кольцевой топологией

Резервная кольцевая топология была реализована в случае восстановления нагрузки с кольцевой топологией, чтобы получить больший уровень надежности и способности системы работать при повреждении в логическом кольце восстановления нагрузки. С этой целью были реализованы два различных GOOSE-сообщения восстановления нагрузки во всех

присоединениях. Устройство минимальной частоты запустит схему, пошлав сообщение восстановления нагрузки в первое и второе устройство системы шин, и так будет делать каждое устройство, посылая сообщение восстановления нагрузки в следующие два устройства. В конце последние два устройства системы шин вернут сообщение восстановления нагрузки обратно в устройство минимальной частоты.

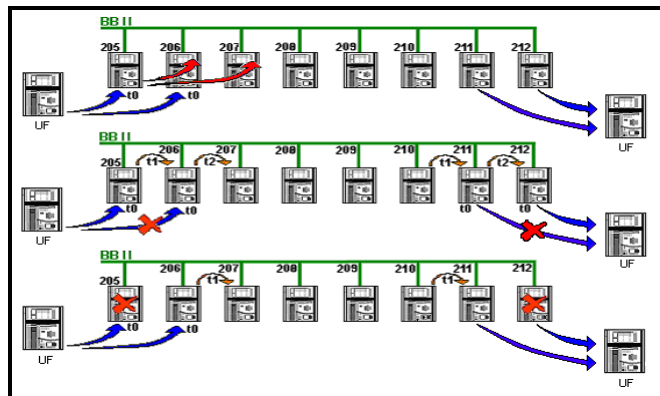


Рис. 8: Резервирование GOOSE-сообщений о восстановлении нагрузки в кольцевой топологии

3.4 Состояние заземления

Система шин среднего напряжения снабжены катушками Петерсона и заземляющим переключателем, чтобы обеспечить два разных метода заземления системы. Имеются две возможные схемы:

- Система шин снабжена заземляющим трансформатором с катушкой Петерсона и заземляющим переключателем для прямого заземления, обычно в трансформаторах 45 МВА.
- В нейтральной точке трансформатора устанавливается катушка Петерсона и заземляющий переключатель для прямого заземления, обычно в трансформаторах 30 МВА.

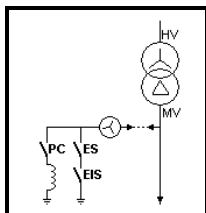


Рис. 9: Трансформатор 5 МВА

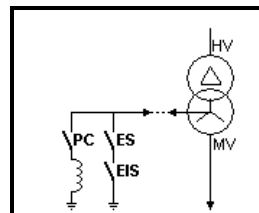


Рис. 10: Трансформатор 30 МВА

В зависимости от состояния катушки Петерсона, заземляющего переключателя и заземляющего разъединителя, различные функции защиты будут введены или заблокированы:

- Защита от замыкания на землю: когда система шин и системы шин, соединенные с ней через ШСВ, глухозаземлены.

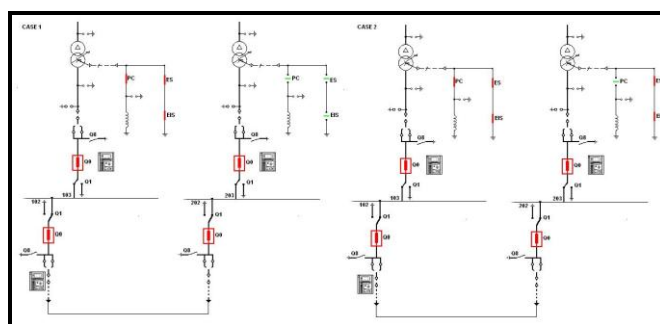


Рис. 11: Примеры глухозаземленных систем шин

- Ваттметрическая защита: Когда все системы шин, которые соединены, заземлены через катушку Петерсона и активирован входной сигнал «Резистор вкл» катушки Петерсона системы шин или одной из систем шин, подключенной к ней.

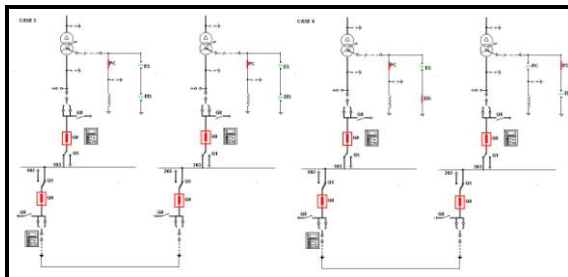


Рис. 12: Примеры индуктивно заземленных систем шин

- Недопустимые состояния системы заземления: Смешанный режим работы с глухозаземленными и индуктивно заземленными системами шин на двух или более системах шин, которые соединены, должен активировать защиту от замыкания на землю и блокировать ваттметрическую защиту. Например, у системы шин 2 заземляющий переключатель замкнут (глухозаземлена), и она подключена к системе шин 3, которая заземлена через катушку Петерсона. Когда подстанция находится в «Недопустимом состоянии системы заземления», будет активирован сигнал на ИЧМ подстанции, а также в Диспетчерском центре.

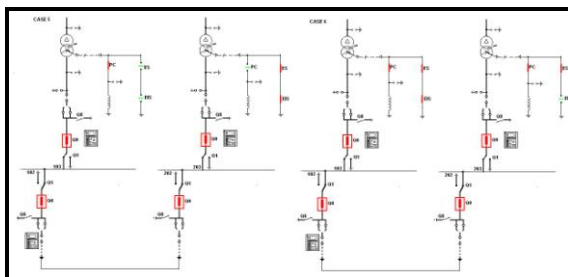


Рис. 13: Примеры недопустимого состояния системы заземления

Устройство настроено вводить и блокировать различные функции защиты автоматически. Если система шин глухозаземлена, устройство заблокирует защиту 32N и введет защиту 50/51G, а если система шин индуктивно заземлена (подключена катушка Петерсона и разомкнут заземляющий переключатель) устройство активирует функцию 32N и блокирует защиту 50/51G.

- Потеря системы заземления: Если потеря системы возбуждения вызывается преднамеренными командами, в ИЧМ подстанции и в Диспетчерский центр будет передан сигнал. Если через 15 минут это не будет исправлено, будет передана GOOSE-команда на отключение выключателей присоединений линий СН и в соответствующие присоединения трансформаторов ВН.

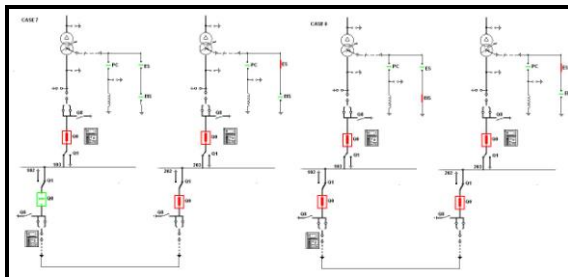


Рис. 14: Примеры потери системы заземления

Были разработаны особые библиотеки для устройств управления фидерами, чтобы реализовать логическую оценку всех различных комбинаций заземляющих переключателей и

ШСВ между всеми системами шин. Максимально возможная конфигурация, заданная для подстанций имеет до 4 систем шин среднего напряжения 24 кВ. Используя информацию от других присоединений и шиносоединителя, полученную в GOOSE-сообщениях по МЭК 61850, каждое устройство имеет возможность проверить тип заземления контролируемой им системы шин, систем шин, подключенной к ней.

3.5 Используемые устройства

Система управления и защиты подстанции основывается на использовании устройств GE F650, работающих по протоколу МЭК 61850 и имеющих возможности программируемых логических контроллеров. Независимые устройства F650 были установлены на присоединения 161 кВ, 24 кВ и 36 кВ, включая измерительные и шиносоединительные.

Система управления и защиты подстанции имеет многоуровневую децентрализованную архитектуру, которая состоит из следующих основных компонентов и оборудования:

- ССУ1000: Центральное устройство управления, расположенное в диспетчерском пункте подстанции, работающее, как Клиент МЭК 61850 для всех устройств и как Сервер ИЧМ GE Power, обеспечивая оператору контроль над всей подстанцией.
- 161кВ ВН: Одно устройство F650, работающее по протоколу МЭК 61850, для каждого присоединения линии и трансформатора для мониторинга и контроля высоковольтной коммутационной аппаратуры.
- 36 кВ и 24 кВ СН: Одно устройство F650 на каждое присоединение, обеспечивающее защиту и управление для каждого фидера, линии, шинного соединителя и батареи конденсаторов.
- Система центральной сигнализации: Основывается на нескольких устройствах F650, контролирующих традиционные Панели сигнализации для операторов.
- ML2400 Ethernet свитчи: Несколько устройств ML2400 для построения оптоволоконной локальной сети подстанции.

4 ЗАВОДСКИЕ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ (ПСИ)

Чтобы провести ПСИ улучшенной Системы управления и защиты подстанции, аналогичной той, что представлена в этой статье, всю систему необходимо собрать, запитать и настроить.

Для каждой такой системы, разработанной для каждой подстанции этого проекта, все шкафы с устройствами F650 были настроены и запитаны, все оптоволоконные кабели установлены, чтобы построить кольцевую локальную сеть Ethernet подстанции и чтобы подключить все устройства, а Центральное устройство управления связано со всеми устройствами F650 и ИЧМ доступен для всех испытаний.



Рис. 15: Шкафы ПС Кабри во время ПСИ

Вся система, включая связь по протоколу МЭК 61850 Клиент-Сервер, GOOSE-сообщения и все функции защиты могут быть испытаны и подтверждены при реальных условиях.

5 ПОЛЕВЫЕ ПУСКО-НАЛАДОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ (ПНИ)

Процедуры испытаний, проведенные во время ПНИ, те же что и при ПСИ. Виртуальная коммутационная аппаратура, используемая во время заводских испытаний, делает возможным испытать полную Систему управления подстанцией и все таблицы логики различных схем.

Во время ПНИ, виртуальная коммутационная аппаратура была выведена и были проведены те же испытания, используя сигналы с подстанции.

Наборы испытаний двойных вторичных наложений были использованы для воспроизведения условий замыкания, чтобы подтвердить работоспособность функций защиты и схем управления на объекте, и все события и сигналы, относящиеся к каждой функции, были проверены на ИЧМ GE Power.



Рис. 16: Ввод в эксплуатацию ПС Кфар Саба и общий вид подстанции

6 ВЫВОДЫ

Работа, представленная в данной статье, отражает текущее развитие систем защиты и управления подстанцией, включая улучшенные схемы частотной разгрузки и восстановления нагрузки на распределительных подстанциях, используя преимущества современных устройств защиты, работающих по протоколу связи МЭК 61850.

Применение этой технологии в проекте полного решения показало следующие характеристики:

- Используя эту технологию был достигнут больший уровень контроля над подстанцией.
- Стандартизация интерфейсов между первичным оборудованием и вторичными системами.
- Уменьшение количества сигнальных кабелей, установленных внутри ОРУ, а также между панелями защиты и управления подстанции, что уменьшает потенциальные ошибки монтажа и минимизирует возможные места повреждений.
- Проведены полные заводские ПСИ для всех подстанций, имея возможность испытаний всей системы и логических схем на заводе с меньшей необходимостью временных соединений между панелями и устройствами или дополнительных устройств для имитации выключателей или разъединителей.
- Стандартизация системы и оптимизация ее ввода в эксплуатацию и технического обслуживания, благодаря возможности испытания всей системы и логических схем при заводских приемо-сдаточных испытаниях.
- Более простая и быстрая замена панелей защиты и управления и более быстрый процесс подключения проводов и подключения нового оборудования подстанции.
- С применением этих новых технологий в системах защиты и управления подстанцией профессиональный профиль специалистов по вводу в эксплуатацию, оперативному и техническому обслуживанию изменился в соответствии с эволюцией технологий.
- Качество работы подстанции должно быть гарантировано путем специальных тренировок, методов и процедур испытаний, документации и работы квалифицированного персонала.
- Содержание тренировочных курсов должно быть адаптировано, а также будет необходимо проводить периодические обновления этих курсов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nir Z. "STR-1023 Specification for substation control and protection system", IECo, Haifa July 2004.
- [2] IEC61850 Communication networks and systems in substations – Part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Abstract communication service interface (ACSI).
- [3] IEC61850 Communication networks and systems in substations – Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM).
- [4] SC B5 WG B5.06: Petrini M., Lopez De Viñaspre A., Loukkalahti M., Leitloff V.: "The impact of digital technology on the maintenance of Substation Automation Systems". Paper #104 Study Committee B5 Colloquium October 19-24, 2009 Jeju Island, Korea.
- [5] GET-6449, "Load Shedding, Load Restoration and Generator Protection Using Solid-state and Electromechanical Underfrequency Relays" published by GE Multilin.