

Синхронная коммутация / управляемое переключение

Д-р Клаус Бёме (Dr. Klaus Böhme) / Штефан Вербен (Stefan Werben), Siemens AG / Кристофер Притчард (Christopher Pritchard), OMICRON

Краткое изложение

Управляемое переключение — это метод отключения и включения выключателей, который позволяет снизить нагрузку на оборудование. На данный момент он реализован в устройствах SIPROTEC 5. Применение этого метода в устройствах защиты / управления открывает новые возможности, в т. ч. и в снижении эксплуатационных расходов на оборудование. В рамках семинара рассматривается реализация данного метода, а также разъясняется процедура испытания устройства.

Введение / краткое изложение вопроса

Управляемое переключение, или же синхронная коммутация (Point on Wave, PoW), позволяет снизить нагрузку на оборудование и выключатель при коммутациях и минимизировать помехи в системе. Благодаря этому оборудование служит дольше и меньше изнашивается. Меньшее число повреждений в системе (например, повторных пробоев в конденсаторах) увеличивает эксплуатационную готовность энергосистемы. Операция переключения (включение и / или отключение, в зависимости от выполняемой задачи) осуществляется фазо-селективно при predetermined углах переключения. Ряд производителей выпускают специализированные устройства для таких переключений.

Поскольку блоки защиты / управления спроектированы или оптимизированы для задач другого типа, при которых точный угол замыкания не имеет принципиального значения (быстрое одно- или трехфазное отключение), применение имеющихся двоичных выходов (реле) не позволяет достичь нужной точности переключения. Платформа SIPROTEC 5 соответствует всем требованиям относительно защиты и управляемого переключения. Для управляемого переключения необходимы новые методы испытаний, которые описаны ниже.

Для объяснения принципа управляемого переключения взят пример подачи напряжения на батарею конденсаторов / емкостную нагрузку. Тот же принцип применим к другому

оборудованию / нагрузке с другими углами переключения.

Влияние величины угла замыкания

Влияние угла замыкания можно без труда определить с помощью моделирования, например RelaySimTest. Процесс мониторинга системы MSCDN (системы, куда входит конденсатор с механическим переключением и демпфирующей сетью) описан в [1]. Система MSCDN будет генерировать пусковые токи, как показано на рис. 1. На нем четко видно, что амплитуда тока при неоптимальном угле замыкания ($\Phi = 90^\circ$) значительно повышается, что создает большую нагрузку на систему, выключатель и систему MSCDN.

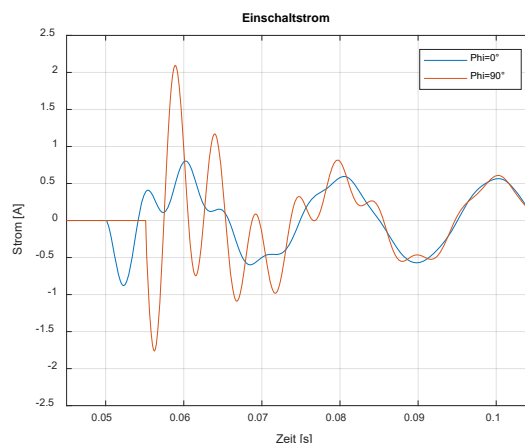


Рис. 1. Пусковой ток при оптимальном и неоптимальном углах замыкания в системе MSCDN

На рис. 2 показан максимальный ток всех трех фаз для операции трехполюсного замыкания при превышении угла замыкания. В данном случае невозможно подобрать величину угла, который снизил бы нагрузку при включении. Чтобы избежать высоких бросков пускового тока, полюса силового выключателя необходимо замыкать пофазно. Примерно то же самое изображено на рис. 3. Пусковой ток при углах замыкания L1: 0°, L2: 120°, L3: 60° (при включении емкостного оборудования) можно значительно уменьшить. На рис. 3 показано смещение к оптимальным величинам угла замыкания.

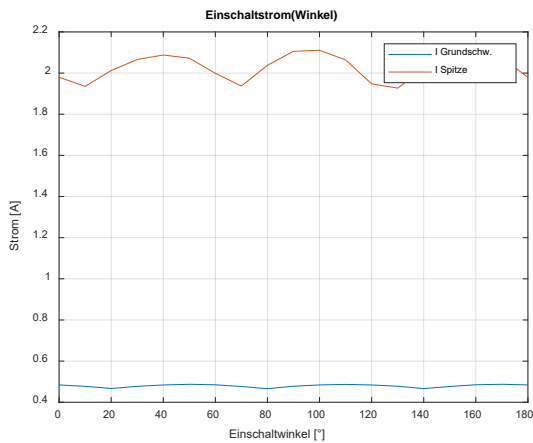


Рис. 2. Максимальный ток в зависимости от угла замыкания при трехфазном включении

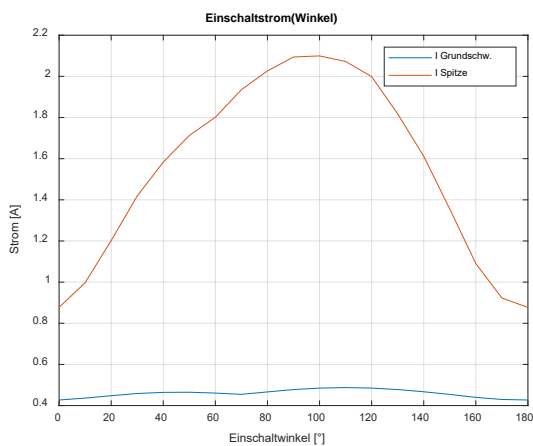


Рис. 3. Максимальный ток в зависимости от угла замыкания при однофазном включении (L1: 0° / L2: 120° / L3: 60°)

Управляемое переключение

Оптимальный угол переключения зависит от типа оборудования. В случае емкостной нагрузки или батареи конденсаторов пересечение нуля напряжения соответствующей фазы является лучшим вариантом. Чтобы выключатель включился вовремя, момент замыкания контакта устройства определяют расчетным путем, используя пересечение нуля ($\Phi = 0^\circ$) измеренного опорного значения, данные выключателя и заданный угол замыкания. При опорном напряжении U_{L1} для переключения емкостной нагрузки необходима последовательность замыкания L1: 0° / L2: 120° / L3: 60° относительно пересечения нуля опорного напряжения. Чтобы вычислить момент приведения в действие отключающего контакта, необходимо знать время механического и электрического переключения (соответственно время замыкания и время срабатывания). Эти показатели варьируются в зависимости от времени, в течение которого дуга в выключателе создает электрический контакт. Кроме того,

время замыкания / размыкания зависит от следующих факторов:

- напряжение цепей замыкания / размыкания;
- температура;
- давление в выключателе.

При необходимости все эти факторы можно учесть во время переключений, измеряя их на входах разделительного усилителя. Они могут иметь как линейные, так и специфические характеристики. Эти переменные используются при расчете момента переключения.

На рис. 4 изображен принцип операции замыкания.

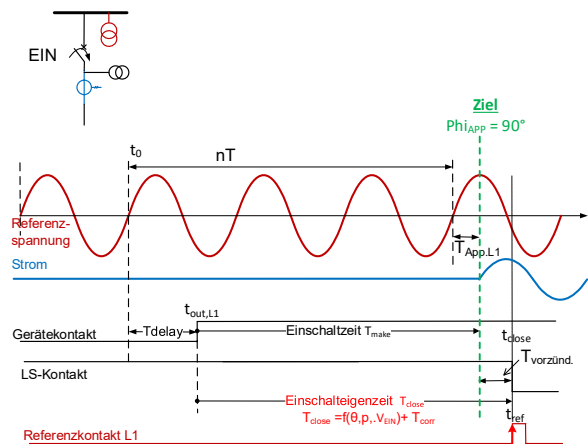


Рис. 4. Принцип управляемого переключения

Для достижения хорошей результативности переключения нужно, чтобы разброс времени замыкания устройства был небольшим. Разброс времени замыкания стандартных механических двоичных выходов (реле) составляет от 1 до 2 мс. Угловая погрешность замыкания при разбросе времени в 1 мс в системе, работающей на частоте 50 Гц, составляет 18°. Это приводит к увеличению пикового тока примерно на 30 % (см. рис. 3). Погрешность времени включения устройства должна составлять менее 100 мкс, что равно 1,8°. Используемый контакт должен иметь как можно меньший разброс времени замыкания. Механические контакты в таком случае не подходят. При расчете момента замыкания можно принять во внимание постоянные систематические составляющие времени замыкания.

Система SIPROTEC 5 оснащена «полупроводниковыми реле», которые, помимо очень кратких задержек срабатывания, характеризуются весьма низким разбросом времени замыкания. Благодаря этому погрешность времени включения устройства не превышает 50 мкс.

Метод испытания

Опорной точкой времени включения является точка пересечения нуля заданного напряжения, например U_{LL} . С этой точкой пересечения нуля соотносятся все времена включения. Время переключения используется для расчета времени срабатывания реле устройства, при котором выключатель включится в нужный момент. Источник, используемый для проведения испытания, должен отличаться высокой временной стабильностью. Таковыми являются, например, устройства СМС 256/356. Чтобы вывести последовательность переключения, можно задействовать генератор последовательности, а замыкание контакта относительно опорного напряжения измеряется с помощью осциллографа. Принцип измерения и его схема показаны на рис. 5.

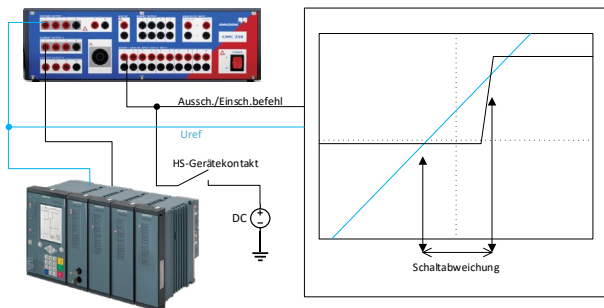


Рис. 5. Настройка / схема измерения

Измеряется отклонение по времени замыкания между моментами пересечения нуля опорного напряжения и срабатывания контакта устройства. На рисунке видно, что отклонение по времени замыкания контакта устройства составляет менее 30 мкс ($0,18^\circ$). Более важным в данном случае является малый разброс времени результатов. Систематически фиксируемые неточности можно компенсировать с помощью настроек. Выборочное измерение (рис. 6) показывает, что отклонение по времени замыкания между точкой пересечения нуля опорного напряжения и точкой срабатывания контакта составляет 3,0 мкс ($0,054^\circ$).

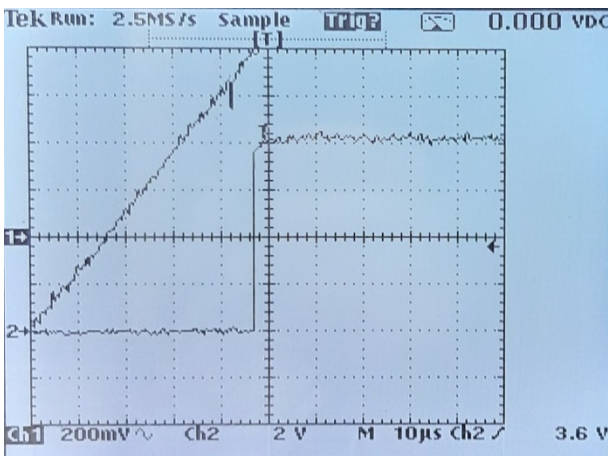


Рис. 6. Измерение отклонения по времени замыкания

Подобный простой метод измерения заключается в использовании входов разделительного усилителя. Обычно они применяются для компенсации контрольного напряжения замыкающих / размыкающих цепей или для записи эталонных контактов (если используются силовые выключатели Siemens, эталонный контакт сигнализирует о механическом замыкании контакта выключателя) и т.д. Внешнее постоянное напряжение (≤ 10 В) подается на разделительный усилитель через контакт. Оценка записи аварийного процесса ($f_{\text{выбор.}} = 8$ кГц) позволяет приблизительно определить параметры замыкания / размыкания в лабораторных условиях для исследовательского испытания (временное разрешение: 125 мкс).

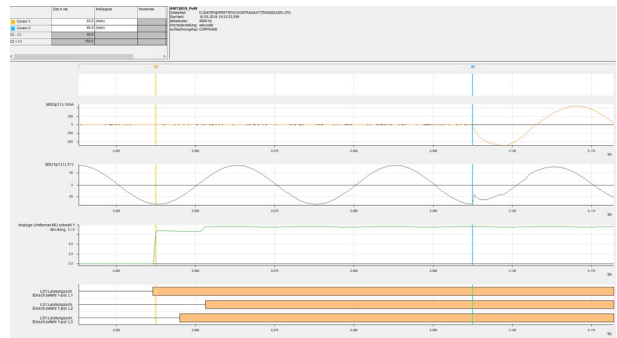


Рис. 7.

Генератор последовательности также позволяет выполнить прямое измерение с использованием подходящего испытательного комплекта СМС. Прямое измерение через двоичные входы комплекта СМС 356 не обеспечивает точность, сравнимую с точностью осциллографа, поскольку двоичные входы считываются с частотой дискретизации 10 кГц (иными словами, каждые 100 мкс). Однако для проведения исследовательского испытания функции и/или настроек такая точность приемлема, поскольку соответствует угловому отклонению $1,8^\circ$. Устаревшие модели комплекта СМС, например СМС 156, не обеспечивают такой частоты дискретизации.

Чтобы понять, как переключение сказывается на работе оборудования, следует провести моделирование с обратной связью. Реакции (или действия) устройства оказывают непосредственное влияние на процесс моделирования. Эту сложную процедуру можно провести только с помощью дорогостоящих средств моделирования, работающих в режиме реального времени, например RTDS (Real Time Digital Simulator).

Более простой подход заключается в использовании функции моделирования с итеративной обратной связью в ПО RelaySimTest. В данном случае, чтобы достоверно оценить реакцию оборудования на переключение, следует провести моделирование несколько раз. Процедура моделирования описана ниже.

1. Выдача выходных величин, команды реакции игнорируются. Измерение команд при втором запуске.
2. Выдача выходных величин с учетом ранее измеренных команд.
3. Если разница между первым и вторым наборами команд очень незначительна, моделирование проведено правильно и может быть завершено. В противном случае необходимо провести еще несколько циклов моделирования.

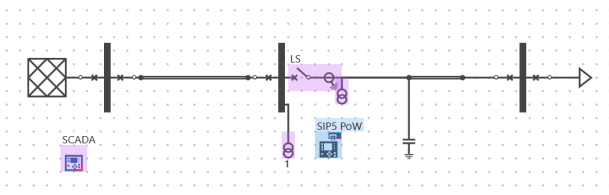


Рис. 8. Смоделированная система (емкостная нагрузка)

Для емкостной нагрузки (или батареи конденсаторов) моделирование с итеративной обратной связью было выполнено для системы, изображенной на рис. 8, при оптимальном переключении (рис. 9) и переключении с неоптимальным углом замыкания (рис. 10). При этом наглядно прослеживается повышенное содержание гармоник.

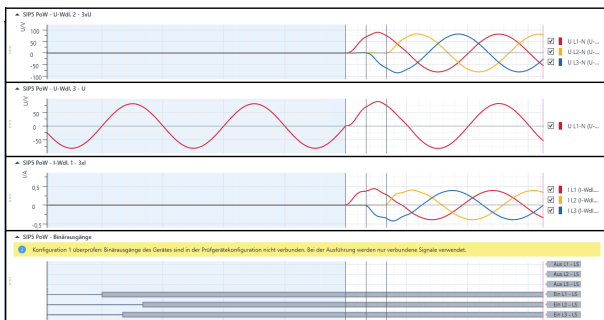


Рис. 9. Оптимальная операция переключения

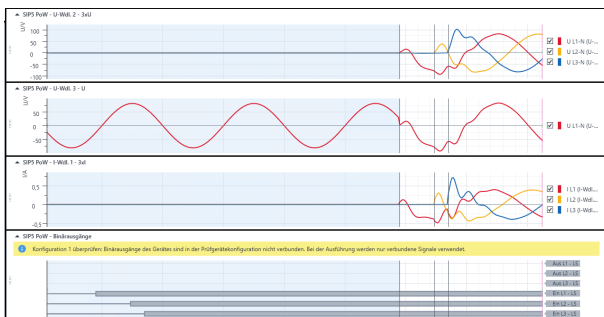


Рис. 10. Неоптимальная операция переключения

Интеграция с функцией управления

Сегодня управление силовым выключателем осуществляется с помощью комбинированного блока защиты / управления. Для реализации синхронного переключения выключателя необходимо ещё одно дополнительное устройство. Чтобы обеспечить его взаимодействие с блоком защиты / управления, необходимы дополнительные внешние связи. При полной интеграции функции синхронной коммутации в блок защиты / управления потребуется на одно устройство меньше, а также снизятся затраты на проектирование и установку. No sense, not necessary Если в устройстве предусмотрена (и активирована) функция синхронной коммутации, она обеспечит управление всеми операциями переключения.

Синхронная коммутация входит в блок функций «Силовой выключатель». Кроме того, для ее включения и выключения служат отдельные функциональные блоки, поэтому данную функцию можно настроить для конкретного приложения.

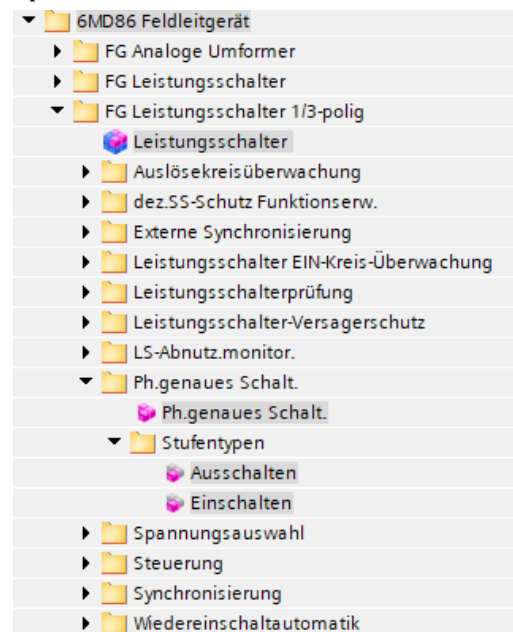


Рис. 11а. Синхронная коммутация в библиотеке DSGI 5



Рис. 11б. Параметр функции синхронной коммутации в блоке функций «Силовой выключатель»

Выводы

Управляемое переключение позволяет снизить нагрузки, которые испытывает оборудование при размыкании и замыкании. Интегрирование управляемого переключения в функцию управления позволяет автоматизировать процесс синхронной коммутации, а также эффективно его использовать. Для проверки результатов подходят разные методы испытаний. Моделирование с итеративной обратной связью с помощью ПО RelaySimTest позволяет операции замыкания напрямую влиять на параметры энергосистемы.

Литература

[1] Стендовый доклад: Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Kondensatorbänken und deren Auswirkungen auf den Schutz, Schutz- und Leittechnik 2018, [Investigation into the Dynamic Response of Capacitor Banks and their Effects on Protection, Protection Technology and Process Control] Dr. Klaus Böhme, Stefan Werben, Siemens AG, Andrea Ludwig, Ulf Hoffmann, 50 Hertz Transmission

[2] Handbuch, Anwenderprogramm PSD-Control 2.x Für die Geräte PSD01, PSD02 und PSD03 [Manual, PSD-Control 2.x User Program for PSD01, PSD02 and PSD03 Devices], Siemens AG 2012

Об авторах



Д-р Клаус Бёме (Klaus Böhme) родился в Берлине в 1963 году. До 1989 года он обучался в Техническом университете Берлина по специальности «электротехника». В 1994 году это заведение присвоило ему докторскую степень. Клаус Бёме работает в компании Siemens AG с 1992 года. Здесь он занимается разработкой цифровых защитных устройств. Как разработчик и руководитель проекта он курировал создание различных устройств: сначала 7UM5 V2.x, а затем более современных SIPROTEC 4 и SIPROTEC 5. Ключевыми вопросами его деятельности являлись защита генераторов, функция синхронизации и защитные устройства для фидеров. В настоящее время Клаус Бёме занимает должность ведущего специалиста по разработке нового приложения для платформы SIPROTEC 5.



Штефан Вербен (Stefan Werben) родился 1 июня 1964 года в Неймегене (Нидерланды). Аттестат зрелости он получил в гимназии им. Гете в Айнбеке, Германия, в 1983 году. Штефан окончил Брауншвейгский технический университет (г. Брауншвейг, Германия). В 1990 году он был удостоен ученой степени. В 1991 году Вербен уехал на год в США, где изучал деловое администрирование в университете Южного Иллинойса в Карбондейле. В 1992 году его приняли на работу в берлинский офис компании Siemens AG в качестве разработчика ПО для цифровых защитных устройств. Проработав несколько лет в области разработки программного обеспечения и управления научно-техническими проектами, в 1998 году Штефан перешел на должность руководителя проекта в Нюрнберге, где с 2001 года отвечает за разработку и производство защитных устройств.

OMICRON — ведущий мировой производитель высокотехнологичного испытательного и диагностического оборудования для предприятий электроэнергетической отрасли. Устройства OMICRON позволяют с высокой точностью оценивать состояние первичного и вторичного оборудования энергосистем. Компания также предоставляет услуги по вводу устройств в эксплуатацию, тестированию и диагностике оборудования, консультированию и обучению персонала.

Клиенты из более чем 160 стран доверяют опыту компании OMICRON, используя высококачественное передовое оборудование ее производства. Сервисные центры компании расположены по всему миру, что позволило создать обширную базу знаний и обеспечить всестороннюю поддержку клиентов. Благодаря всем этим преимуществам, а также развитой дистрибьюторской сети компания прочно занимает лидирующие позиции в области электроэнергетики.

Посетите наш веб-сайт, чтобы
узнать больше о компании и
получить контактную информацию
по региональным офисам.