



Emax 2 Синхронность и повторное включение

Содержание

Введение	2
Етах 2, интегрированное решение	3
Преимущества	4
Экономящее место решение	4
Простота использования	4
Режим работы	5
Автоматическая синхронизация	5
Принцип работы	5
Погика контроля	7
Программное обеспечение для пуска в эксплуатацию Ekip Connect 3.0	
Пример применения	9
Электрическая схема для автоматической синхронизации	1 11
Автоматическое повторное включение	. 12
Принцип работы	.12
Программное обеспечение для пуска в эксплуатацию Ekip Connect 3.0	
Анализ чувствительности	.16
Гипотеза параметров программного обеспечения	.21
Пример применения	.23
Электрическая схема для автоматического повторного	
включения	25
включения	
	. 26
Перечень компонентов	26 27

Синхронность и повторное включение

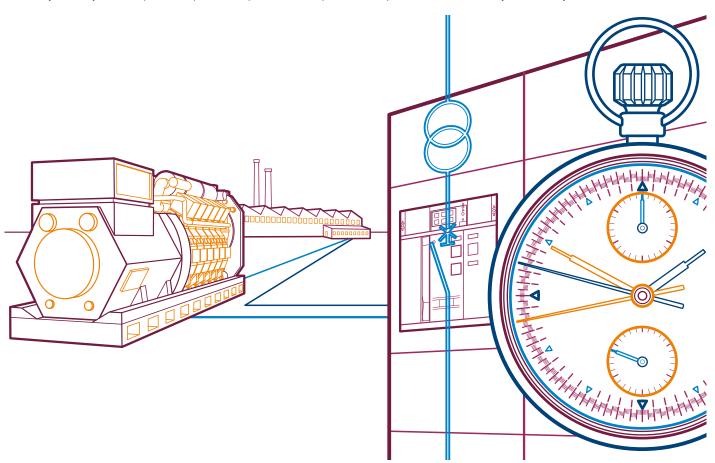
Введение

Распределение электроэнергии эволюционирует из традиционной вертикальной конфигурации сетей в подход "следующего уровня" к ресурсам распределенной энергии. Рядом с крупными электростанциями ширится созвездие маленьких генераторов, которые изменяют распределение энергии, обеспечивая систему производства и потребления энергии на одном уровне низкого напряжения. Короткое расстояние между источником и потребителем гарантирует более высокую степень надежности электрической системы, уменьшая линии, используемые для передачи, повышая энергетическую автономию и улучшая качество самой энергии. Выраженная тенденция в направлении создания микросетей - это результат преобразования типа системы, который начинает самую настоящую революцию в эпоху цифровой энергии. По определению микросеть - это сеть низкого напряжения, способная работать как в режиме подключения к сети среднего напряжения, так и в изолированном. По этой причине гарантируется гибкость в распределении энергии как для распределительных сетей, так и для производителей энергии, помимо высокой степени гибкости в управлении довольно слабыми распределительными сетями, как это случается в удаленных населенных пунктах, которые не охвачены проектами электрификации.

Все это становится возможным благодаря передовому решению, интегрированному в оборудование и машины, которое выполняет функции мониторинга и контроля. В частности, интерфейс с главной сетью играет роль первичной важности для достижения всех пользователей микросети. Выключатели являются не только фундаментально важными защитными компонентами в конфигурации электрической сети, но и выполняют управление ресурсами микросети, поскольку осуществляют непосредственное отключение и повторное включение системы.

Целью данного информационного документа является объяснение того, как выключатель Emax 2 ABB управляет двумя фундаментально важными операциями микросети, используя интегрированные функции и логику, а именно:

- автоматической синхронизацией микросети, поддерживаемой Emax 2, которая управляет локальной выработкой энергии на основе измерений, выполненных в точке сопряжения с главной сетью.
- повторным автоматическим включением интерфейсного выключателя, то есть, Emax 2, когда главная сеть достигает устойчивости и условия удовлетворяют настройки синхронности, которые легко определяются на этапе пуска в эксплуатацию.



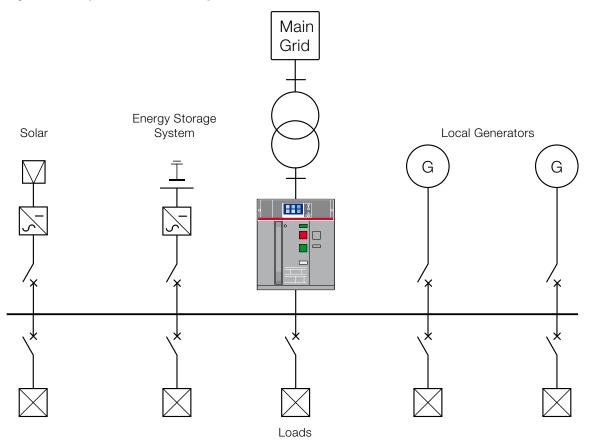
Етах 2, интегрированное решение

Етах 2 ABB - это интегрированное решение, упрощающее архитектуру микросетей и улучшающее отношение затраты-преимущества, поскольку оно интегрирует в себе передовые функции защиты, мониторинга и контроля, основанные на программном обеспечении. Благодаря своей современной электронной части, Emax 2 является первым интеллектуальным выключателем, способным изолировать микросеть от потенциальных помех, которыми могут быть неисправности или события, влияющие на качество энергии¹, а также повторно подключать ее к распределительной сети при наличии необходимых предпосылок. Точнее, эта последняя функция позволяет повторно подключать изолированную микросеть к главной сети, поддерживая синхронизацию и обнаруживая подходящие ситуации синхронности для автоматического повторного включения, даже в условиях очень жестких требований.

Emax 2 объединяет в себе все эти функции, следовательно, позволяет производителям КРУ энерговырабатывающих групп О&М экономить место, облегчает использование консультантам и интеграторам в области систем и устраняет возможные барьеры на пути распространения проектов микросетей.

¹ См. информационный документ 1SDC007119G0201 – Отключение нагрузок.

Рисунок 1: Микросеть низкого напряжения



Синхронность и повторное включение

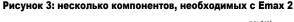
Преимущества

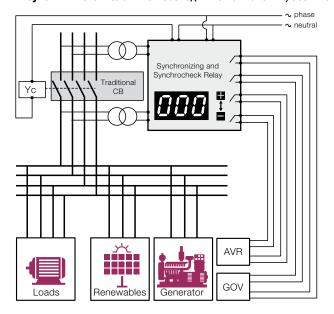
Экономящее место решение

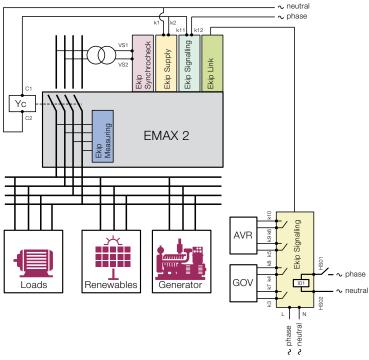
Нет необходимости во внешних устройствах, а также не требуются дорогостоящие инженерные работы, поскольку Emax 2 интегрирует новые функции в свои интеллектуальные расцепители и внутренние модули, гарантируя тем самым простоту использования и предоставляя в распоряжение больше защиты и алгоритмов. Выключатель - это защитный аппарат, который всегда присутствует в распределении электроэнергии, следовательно, благодаря Emax 2 производители КРУ могут уменьшить размеры ячеек, необходимых для подстанций низкого напряжения, а производители энерговырабатывающих групп О&М могут оптимизировать пространства, необходимые для реализации решений микросетей.

Для параллельной работы нет необходимости в контрольных реле синхронности, а также в оборудовании синхронизации. Датчики напряжения на уровне микросети интегрированы в выключатель, поэтому, на уровне главной сети необходим лишь один однофазный трансформатор. Логика полностью интегрирована в расцепитель и пользователь не должен выполнять никаких действий по программированию и инженерному обеспечению. По всем этим причинам Етах 2 может считаться первым решением компактной микросети с интегрированными передовыми функциями, способным снизить количество внешних компонентов в любой сфере применения (Рисунок 2, Рисунок 3).

Рисунок 2: многочисленные необходимые компоненты, без Emax 2





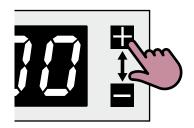


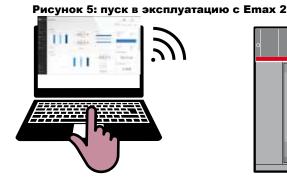
Простота в использовании

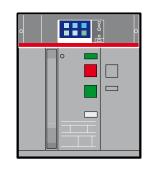
Будучи интегрированным решением, Emax 2 снижает время пуска в эксплуатацию по сравнению с внешними устройствами, нуждающимися в дорогостоящих кабельных системах и интеграции систем. Emax 2 предлагает комплектную функцию плагин для новых систем, снижая до минимума время установки и потенциальные ошибки в электропроводке.

Этот простой подход обеспечивается моделью предварительно заданной конфигурации, позволяющей активировать функции изделия даже после продажи, при оснащении необходимыми аппаратными аксессуарами. Определение настроек облегчается использованием установленного на ПК программного приложения, которое рекомендует параметры, в зависимости от той или иной микросети, без выполнения каких-либо действий на аппарате (Рисунок 4, Рисунок 5). Введя всего лишь несколько данных в конфигурацию системы, консультанты по системам получают указания по основным настройкам параметров синхронности. Цель - гарантия перекрестного контроля с их проектами систем, а также ускорение их реализации.

Рисунок 4: пуск в эксплуатацию без Етах 2







Режим работы

Emax 2 - это единственный выключатель с автоматическим повторным включением с синхронизацией. Эта функция заключается в поддержке синхронизации процедуры повторного подключения микросети или параллельного включения генератора, как предписывается стандартом ANSI 25A, с дополнительными функциями повторного включения, в зависимости от состояния модуля Ekip Synchrocheck.

Используя модуль патронного типа Ekip Synchrocheck (см. приложение A), Emax 2 выполняет мониторинг наиболее важных параметров повторного включения и применяет простую логику для адаптации напряжения и частоты микросети к напряжению и частоте главной сети. Вторичная регулировка локальных генераторов осуществляется контактами модуля Ekip Signalling (см. приложение B) для достижения синхронизации. Выключатель включается автоматически, когда он обнаруживает, что было достигнуто условие синхронности, используя модуль Ekip Synchrocheck и встроенную включающую катушку. Иногда эта операция может быть очень критичной, потому что ток, который проходит в течение переходного периода повторного подключения, не должен достигать таких значений, которые потенциально могут привести к отключению микросети. Иными словами, этап повторного включения можно сравнить с параллельной работой двух разных источников в стационарном состоянии. Когда выключатель интерфейса включается, возникает переходный период, в течение которого должны быть ограничены максимальные токи, так как в противном случае может обнаружиться нежелательное срабатывание защитных систем генератора. Для предотвращения сложных анализов и индивидуальных исполнений программное приложение для пуска в эксплуатацию Ekip Connect дополняет функцию синхронности и повторного включения и рекомендует правильные настройки, в зависимости от конфигурации системы. Как правило, это приложение полезно в следующих инженерных условиях системы:

- во время повторного подключения микросети к главной сети для ускорения процедуры параллельного запуска двух систем с разными состояниями. Эта ситуация обнаруживается после работы микросети в изолированном режиме;
- когда обнаруживается ввод резерва без разрыва цепи, главная сеть должна быть подключена к шине резервной энерговырабатывающей системы микросети, чтобы обеспечить бесперебойность работы нагрузок, с или без соединительного выключателя²;
- помимо случая микросети это решение можно использовать также для параллельной работы всего лишь одной энерговырабатывающей группы³.
- 2 Пример работы ATS без разрыва цепи, интегрированной в выключатель Етах 2, описывается в информационном документе 1SDC007115G0201.
- ³ В данном информационном документе этот пример применения считается похожим на повторное подключение микросети к главной сети.

Автоматическая синхронизация

Принцип работы

Когда главная сеть находится в стабильном состоянии, микросеть, находящаяся в режиме не в сети, может быть переведена в режим в сети. Для процесса повторного подключения проще считать микросеть генератором низкого напряжения. Например, дизель-генераторная группа, работающая параллельно с сетью, идентична активной микросети:

- процесс синхронизации выравнивает напряжение и частоту генератора с установленными величинами, в частности, с величинами распределительной сети.
- когда удовлетворяются необходимые условия синхронности, касающиеся напряжения и частоты, генератор подключается параллельно к сети.

С точки зрения системы, подключение микросети является сложным, потому что она сконцентрирована в одной точке сопряжения с главной сетью и охватывает многочисленные ресурсы, а не только одну машину. Учитывая вышесказанное, необходима автоматизация системы наряду с контролем локального генератора.

Етах 2 использует интегрированную логику и работает как центральное контрольное устройство главных генераторов, способное поддерживать синхронизацию микросети. После достижения требующейся синхронности Етах 2 осуществляет

Синхронность и повторное включение

автоматическое подключение микросети при помощи модуля Ekip Synchrocheck.

Операторы распределительных сетей (DSO) установили предельные допуски по амплитуде, частоте и смещению фазы для параллельной работы генераторов; эти значения могут быть распространены на случай с микросетями (см. Таблицу 1). Допускается взаимоподключение, если электрические параметры микросети низкого напряжения находятся в следующих рабочих пределах:

- ΔV=V_{сети}-V_{микросети}, разница между напряжением главной сети и микросети, выраженная как процент номинального напряжения Un (например, 400 B);
- $-\Delta f = f_{\text{сети}} f_{\text{микросети}}$, разница между частотой главной сети и микросети, выраженная в Гц;
- $\Delta \phi = \phi_{\text{сети}} \phi_{\text{микросети}}$, разница между частотой главной сети и микросети, выраженная в градусах.

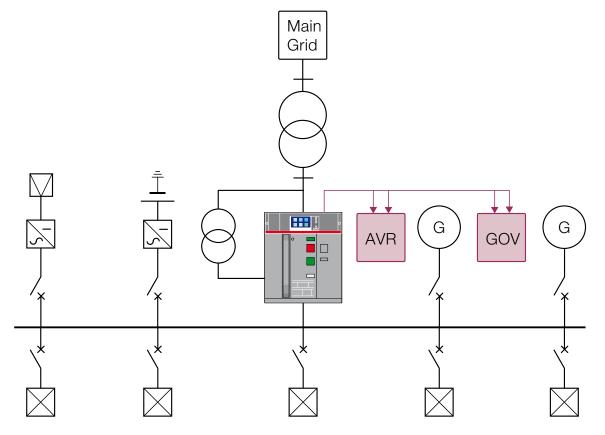
Таблица 1: пример значения, предусмотренного итальянским стандартом для повторного подключения активного источника к главной сети

Размер	ΔV	Δf	Δφ
микросети			
< 400 кВт	±10%	±0,5%	±10°
> 400 кВт	±15%	± 0,5%	±10°

Измеряя напряжение и частоту как на входе, так и на выходе, Emax 2 способен распознать текущее состояние и решить, как действовать, чтобы как можно больше сблизить микросеть с полосой синхронности. Интегрированная логика сопоставляет измеренные значения с двух сторон сети и направляет выходные цифровые сигналы в систему контроля самых больших синхронных генераторов микросети. Эта процедура может выполняться автоматически, когда Emax 2 выключается или же активируется командой, поданной на выключатель, которая запускает синхронизацию, и дезактивируется при обнаружении синхронности.

Например, если напряжение микросети ниже напряжения в главной сети, то Emax 2 подает команду на автоматический регулятор напряжения (AVR) генераторной группы для увеличения (или уменьшения) значения напряжения. Кроме того, если частота микросети ниже частоты главной сети, то Emax 2 направляет команду на ограничитель скорости генераторной группы (GOV) для повышения (или снижения) скорости задействованной машины. Эта рабочая концепция показана на Рисунке 6.

Рисунок 6: Етах 2 для синхронизации микросети



Логика контроля

В случае выключения главного выключателя в точке сопряжения микросеть продолжает работать в изолированном режиме. В этих особенных условиях работы возможно, что генераторы микросети достигнут стабильного состояния, которое характеризуется разницей частоты и напряжения по отношению к номинальным значениям распределительной сети.

Как уже указывалось, перед фактом включения микросети должны быть удовлетворены определенные требования напряжения и частоты, в зависимости от спецификаций, предусмотренных местными стандартами (напр., Таблица 1 иллюстрирует итальянскую норму ИЭК 0-16). Из этого следует, что напряжение и частота должны быть адаптированы таким образом, чтобы синхронизировать микросеть с рабочими условиями распределительной сети. Для достижения этого результата вводится последовательность внешней ответной реакции для изменения установленных значений первичных последовательностей контроля, имеющихся в ограничителе скорости (GOV) и в автоматическом регуляторе скорости (AVR).

Этот контроль - чисто пропорциональный и изменяет заданное значение GOV и AVR. В частности, напряжение и частота измеряются на входе и на выходе интерфейсного выключателя. Затем рассчитывается разница и, в зависимости от соответствующего знака, заданное значение напряжения и тока изменяются должным образом фиксированной операцией, как описывается в Рисунке 7 и Рисунке 8.

Рисунок 7: логика контроля, интегрированная в выключатель Етах 2

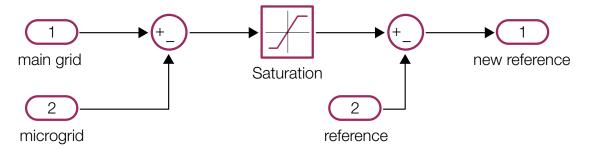
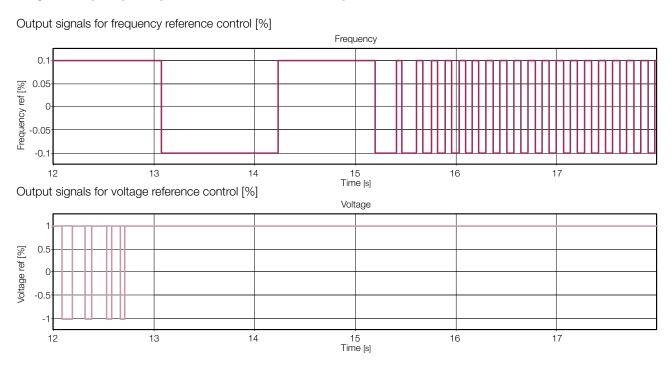


Рисунок 8: пример контроля заданного значения напряжения и частоты Етах 2.



Синхронность и повторное включение

Программное обеспечение для пуска в эксплуатацию Ekip Connect 3.0

Логика синхронизации может быть легко запрограммирована благодаря установленной модели, которая гарантирует упрощенный подход в программном обеспечении для пуска в эксплуатацию Ekip Connect 3.0. Поупражняться и ознакомиться с функцией синхронности и повторного включения можно до приобретения лицензии, а после приобретения - передать логику на выключатель. Кроме того, можно загрузить эту функцию также и после установки выключателя в КРУ. Проекты можно сохранить в специальных файлах и загрузить их в "системы-близнецы".

На Рисунке 9 описывается процедура запуска и пуска в эксплуатацию функции синхронности и повторного включения. Программирование фазы синхронизации выполняется простой операцией, как описывается на Рисунке 10.

Рисунок 9

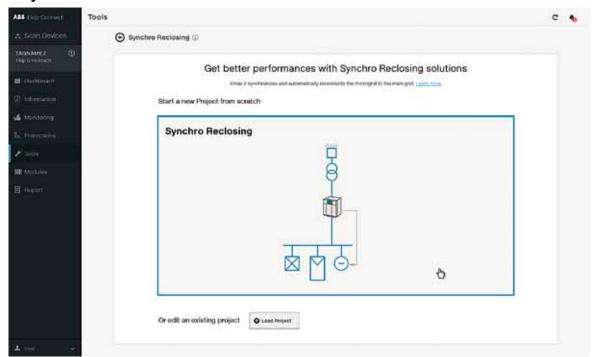
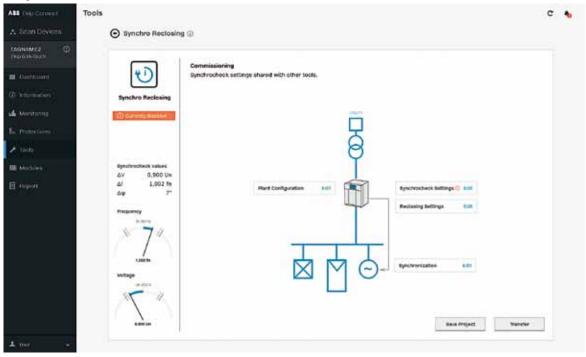


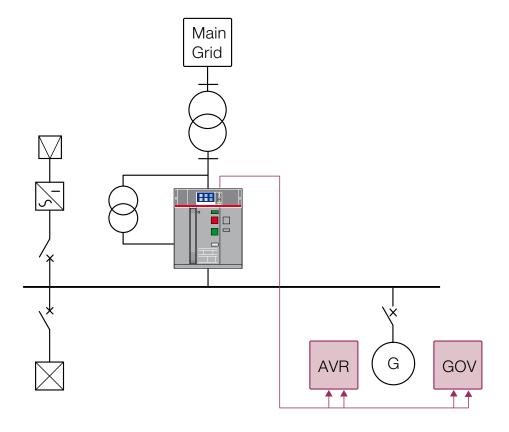
Рисунок 10



Пример применения

Рассматриваемая здесь микросеть идентична той, что показана на Рисунке 12: система низкого напряжения с энерговырабатывающей группой на 450 кВА, нагрузка такого же размера и солнечная система, подключенная через трансформатор на 400 кВА.

Рисунок 11: Пример микросети



Микросеть подключена к стороне HH (низкого напряжения) распределительной сети при помощи Emax 2 со следующими характеристиками

 $In = 2 \times I_{n_reh} = 1300 \text{ A}$, затем при помощи трансформатора HH/CH на 630 кВА к стороне CH (среднего напряжения) распределительной сети.

На Рисунке 12 графически показывается напряжение и частота микросети при наличии последовательности внешней ответной реакции, выполненной Emax 2.

Синхронность и повторное включение

Микросеть запускается в изолированном режиме, поэтому, ее частота и напряжение, характерные для изолированного режима, отличаются от значений сети среднего напряжения. В примере приводятся значения 320 В (80% Vn) и 49 Гц (98% Vn). В этих условиях требования, предусмотренные оператором распределительной сети (DSO), не позволяют подключить микросеть к главной сети.

Emax 2 решает эту проблему, потому что он способен измерить напряжение и частоту на концах микросети и поддерживать системы регулировки синхронного генератора. Рабочая точка микросети восстанавливается рядом с распределительной сетью, что позволяет выполнить операцию повторного включения.

Рисунок 12: пример синхронизации напряжения и частоты со значениями In на единицу

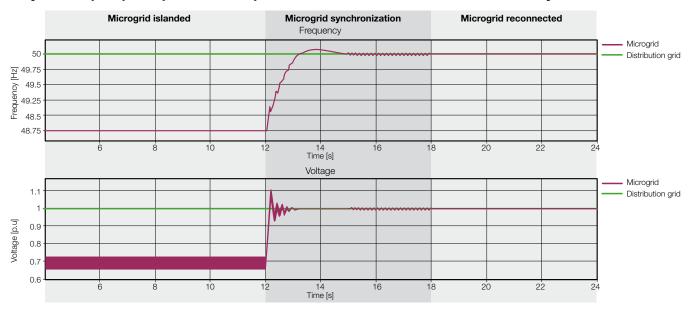
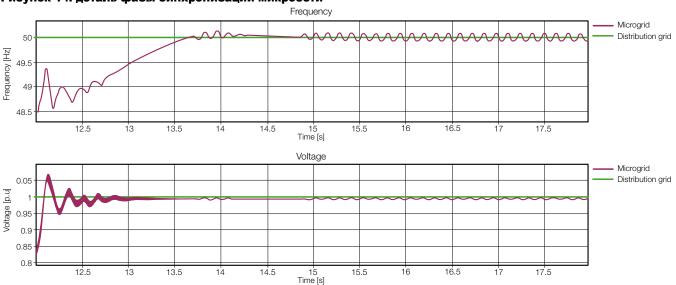


Рисунок 14: деталь фазы синхронизации микросети

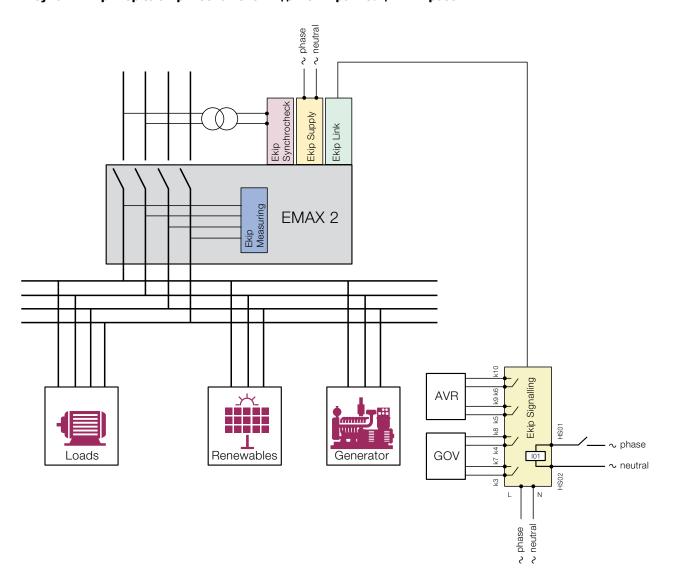


Электрическая схема для автоматической синхронизации

Модуль Ekip Synchrocheck подключается как показано на Рисунке 14. Точки отбора напряжения выключателя располагаются со стороны микросети (на выходе), в то время как однофазный трансформатор напряжения подключается со стороны главной сети (на входе).

Выходные контакты модуля Ekip Signalling (см. приложение В) подключаются к AVR и к GOV. На Рисунке 14 приводится модуль Ekip Signalling 10к, подключенный к Emax 2 при помощи Ekip Link (см. приложение С) по кабелю Ethernet. Если генератор находится рядом с КРУ, в котором установлен Emax 2, то в качестве альтернативы может использоваться модуль Ekip Signalling 4к.

Рисунок 14: пример электрической схемы для синхронизации микросети



Синхронность и повторное включение

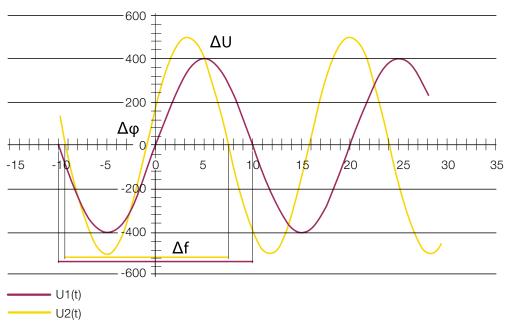
Автоматическое повторное включение

Принцип работы

Основными параметрами для ограничения пиков тока во время переходной параллельной работы является смещение фазы и разница амплитуды напряжения между микросетью и главной сетью в окне времени, зависящем от разницы частоты между двумя сетями.

Emax 2 оборудуется защитой ANSI 25, которая разрешает автоматическое повторное включение только при наличии таких значений смещения фазы, напряжения и частоты, которые равны или ниже значений, касающихся переходного максимального тока, допустимого в критических условиях.

Рисунок 15: формы волны несинхронизированных источников



Защита синхронности для микросетей позволяет включить режим взаимоподключения с "шиной под напряжением", что позволяет повторно включить интерфейсный выключатель на главной рабочей сети. В этом режиме Emax 2:

проверяет, что главная сеть на самом деле устойчива. Если требуется местным стандартом (напр., см. Таблицу
 2), то напряжение и частота главной сети должны находиться в установленных пределах в течение определенного промежутка времени;

Таблица 2. Пример условий стабильности, требуемых итальянским стандартом ИЭК 0-16

Интервал	Заданные настройки
90% Un <u <sub="">главной сети< 110% Un</u>	30 c
99,5% <f <sub="">главной сети< 100,5% fn</f>	30 c

- проверяет условие синхронности, устанавливая, что разница напряжения ΔV, частоты Δf и угла фазы Δφ между микросетью и главной сетью остается в указанных пределах в течение заданного промежутка времени t_{sin}.
 Параметры должны быть заданы на основе конфигурации микросети. Ekip Connect предлагает несколько заданных параметров настройки (более подробную информацию см. в пункте 4.2.2);
- проверяет, что выключатель находится в выключенном положении.

После проверки вышеназванных условий Emax 2 выполняет операцию повторного включения, направляя команду на катушку включения при помощи модуля Ekip Signalling.

Программное обеспечение для пуска в эксплуатацию Ekip Connect 3.0

Функция автоматического повторного включения может быть легко конфигурирована благодаря программному обеспечению для пуска в эксплуатацию Екір Connect 3.0, которое предоставляет полезные указания по критическим значениям ΔV, Δf, Δφ, tsin во время проектирования микросети.

Это программное обеспечение полностью персонализируется и позволяет пользователю вводить реальные данные элементов микросети в процедуре с подсказкой "Plant Configuration" (конфигурация системы), чтобы получить рекомендации по основным настройкам синхронности ("Synchrocheck Settings") (Рисунок 18). Опция "Plant Configuration" (конфигурация системы) включает в себя так называемые "Specialist Parameters" (параметры для специалиста), которые могут изменяться лишь только опытными пользователями. В отсутствие изменений в модели будут содержаться предварительно заданные значения.

Рисунок 16: Конфигурация системы для пуска в эксплуатацию функции Синхронность и повторное включение

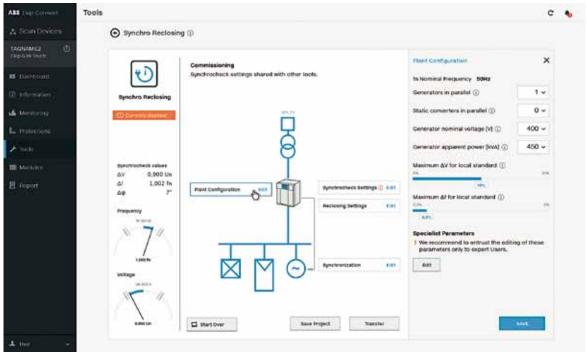
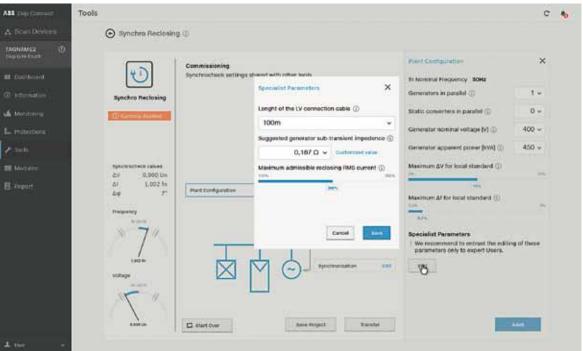


Рисунок 17: параметры для специалиста для конфигурации системы



Синхронность и повторное включение

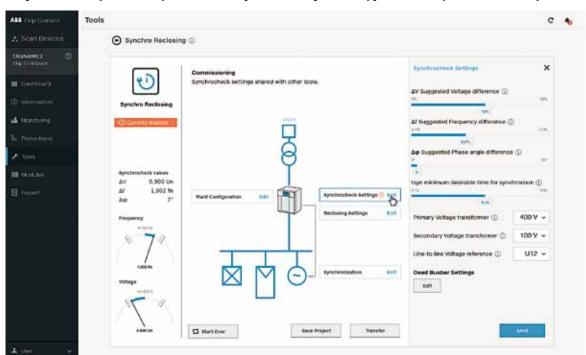
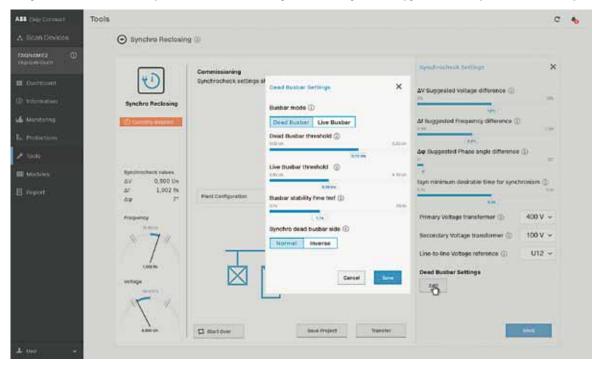


Рисунок 18: Настройки синхронности для пуска в эксплуатацию функции Синхронность и повторное включение

Последняя часть пуска в эксплуатацию касается фазы "Контакта повторного включения", которая определяет контакт, который повторно включает Emax 2 после проверки наличия синхронности (Рисунок 19). Затем можно передать созданную логику в выключатель для работы функции Синхронности и повторного включения. Ее можно отключить в любой момент, использовав специальную кнопку.

Рисунок 19: Контакт повторного включения для пуска в эксплуатацию функции Синхронность и повторное включение



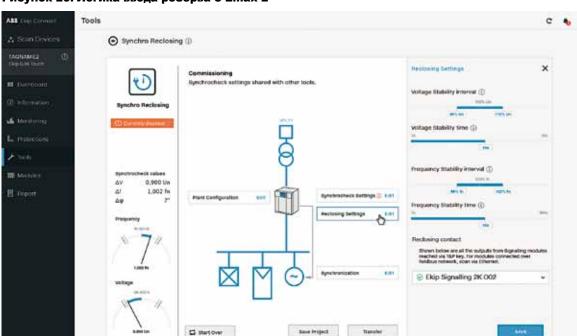
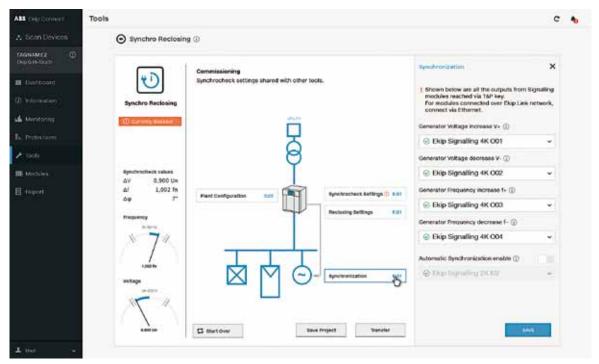


Рисунок 20: Логика ввода резерва с Emax 2⁴

⁴ Функция синхронности и повторного включения несовместима с защитой интерфейса IPS (см. информационный документ 1SDC007117G0201 - Система защиты интерфейса и Устройство интерфейса).





Синхронность и повторное включение

Анализ чувствительности

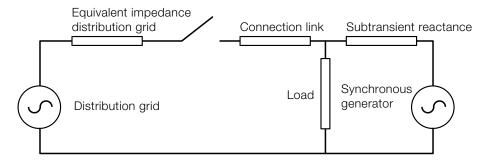
Отсутствие всей информации, необходимой для синхронизации активной системы, является нормальным явлением. Программное обеспечение Ekip Connect, ввиду его реально простого использования, рекомендует самые важные параметры в разделе "Plant Configuration" (конфигурация системы) (см. пункт 4.2.2), которые основываются на эталонной модели. Оно не заменяет инженерный проект как таковой, но упрощает выбор настроек для консультантов по системам.

- Главная сеть представляет собой генератор напряжения и эквивалентное полное сопротивление, Z_{сеть}. В этом случае следует учитывать также трансформатор подстанции.
- В этой модели соединительная линия это ответвление RL, которое физически состоит из кабеля, соединяющего выключатель интерфейса с микросетью, Z_{пиния}.
- В этой модели микросеть это синхронный генератор, теоретический источник напряжения с последовательным полным сопротивлением, который в данном случае считается равным сверхпереходному полному сопротивлению с параллельно подключенной нагрузкой, Z_{генератора} и Z_{нагоузки}.

Ток, поступающий в интерфейсный выключатель, определяется по следующей формуле:

$$I_{breaker} = \frac{V_{grid} - V_{microgrid}}{\left(Z_{generator} // Z_{load}\right) + Z_{grid} + Z_{line}}$$

Рисунок 22: Модель микросети для программного приложения

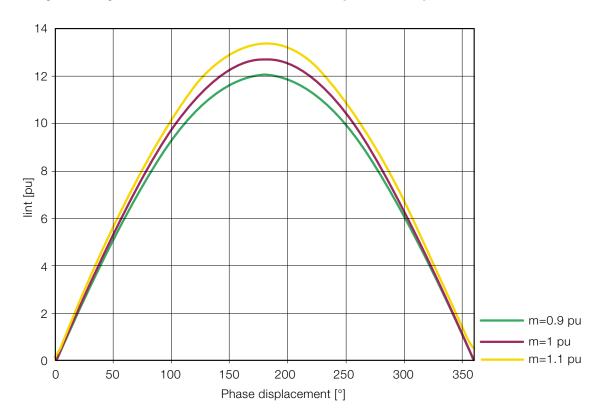


Заданные настройки, рекомендованные программным обеспечением Ekip Connect, были установлены на основе упрощенной модели, вытекающей из анализа чувствительности, касающегося всех элементов, представленных на Рисунке 22.

Чувствительность в зависимости от напряжения микросети

На Рисунке 23 показывается кривая переходного тока во время повторного включения (на единицу номинального тока выключателя) со ссылкой на разные значения напряжения микросети (на единицу напряжения главной сети) в интервале, установленном местными стандартами для повторного включения микросети.

Рисунок 23: Чувствительность в зависимости от напряжения микросети



Абсолютное значение ΔV , где ΔV = $V_{\text{сети}}$ - $V_{\text{микроссети}}$, является максимальным, когда смещение фазы между двумя формами волны напряжения равно 180°. При смещении фазы менее 40° возможно, что ΔV будет идентично различным значениям $V_{\text{микроссети}}$.

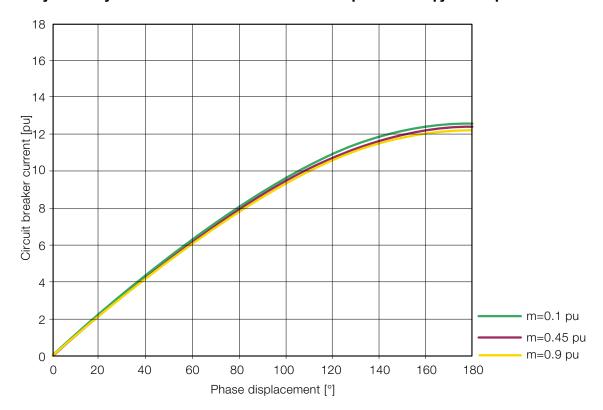
Предполагая, что включение выполняется со смещением фазы менее 40° , переменная ΔV становится малозначительной.

Синхронность и повторное включение

Чувствительность в зависимости от нагрузки

На Рисунке 24 показывается график переходного тока во время повторного включения с учетом различных нагрузок микросети, в зависимости от единичных значений размера генератора микросети.

Рисунок 24: Чувствительность в зависимости от электрической нагрузки микросети

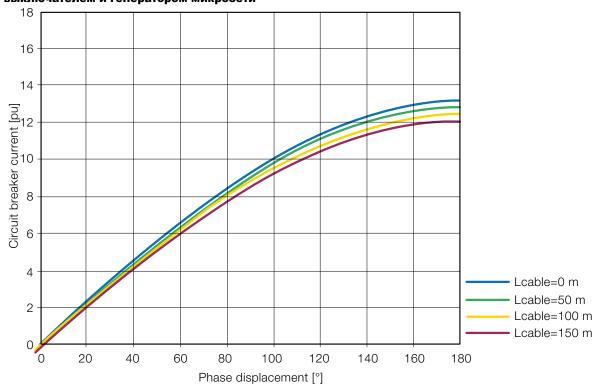


Переходный период, вызванный операцией повторного включения, характеризуется быстрой динамикой, поэтому, эквивалентным полным сопротивлением генератора является реактивное сверхпереходное сопротивление генератора, которое невелико в сравнении с полным сопротивлением параллельно подключенной нагрузки. В соответствии с этим заключением можно предположить, что различные размеры нагрузок, вероятно, имеют минимальное влияние на пиковое значение тока в течение переходного периода.

Чувствительность в зависимости от соединительной линии

На Рисунке 25 показывается график переходного тока на этапе повторного включения с учетом разной длины соединительной линии между интерфейсным выключателем и генератором микросети.

Рисунок 25: Чувствительность в зависимости от линии подключения между интерфейсным выключателем и генератором микросети



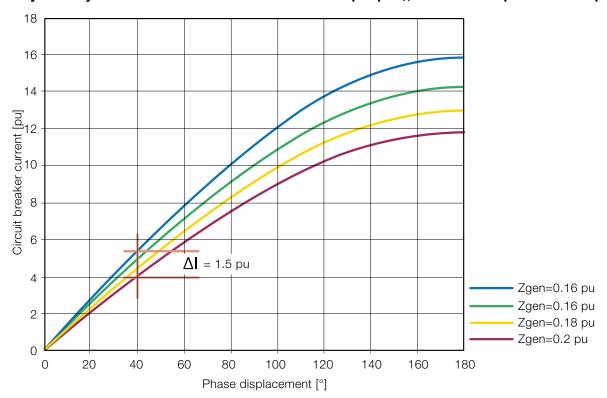
Длина линии подключения говорит о том, что она не является критическим параметром для смещения фазы в пределах 40°, поэтому, она не оказывает критического влияния на пиковый ток.

Синхронность и повторное включение

Чувствительность в зависимости от сверхпереходного полного сопротивления

На Рисунке 26 показывается поведение тока на переходном этапе повторного включения, ссылаясь на значения динамического полного сопротивления генератора микросети.

Рисунок 26: Чувствительность в зависимости от значения сверхпереходного полного сопротивления генератора микросети



Ток, проходящий по интерфейсному выключателю, не является проблемой в плане зависимости от размера синхронных генераторов ввиду пропорциональности между элементами микросети.

И наоборот, если учитываются разные значения сверхпереходного полного сопротивления, то получаются разные значения для тока: при 40°, с разницей сверхпереходного полного сопротивления в 0,06 р.ш., получается разница по току в 1,5 р.ш.

Обобщая, большая разница полного сопротивления между синхронными генераторами, полного сопротивление нагрузки и параметров сети позволяют упростить данные клиента, необходимые для нахождения максимальной фазы для допустимости повторного включения: полное сопротивление генератора - это элемент, влияющий в наибольшей степени на критические значения для повторного включения.

Гипотеза параметров программного обеспечения

Учитывая вышеназванные оценки чувствительности, в программном приложении принимались во внимание следующие параметры.

Для заданного трансформатора СН/НН:

An=630 кВА

V1n=20 кВ

V2n=400 B

vcc=4%

Для заданной распределительной сети:

Acc=1000 MBA

V=20 KF

- Заданный кабель НН имеет длину 100 м и номинальный ток, превышающий в 1,1 раза номинальный ток генератора со следующими значениями сопротивления и реактивности на единицу длины:

 $r = 0.642 \Omega / km$

 $x = 0.083 \Omega / km$.

- Статические преобразователи имеют два разных полных сопротивления для расчета вклада в ток повторного включения, в зависимости от способа подключения, например, имеется или нет подключенный трансформатор⁵.
- Статические преобразователи учитываются по эквивалентному полному сопротивлению, измеренному выключателем во время операции повторного включения. Программное приложение измеряет нижнее значение полного сопротивления микросети и делит его на количество параллельно подключенных генераторов. Следовательно, расчет тока, поступающего в выключатель в переходный период повторного включения, является консервативным. С другой стороны, для анализа значения тока, касающегося генераторов, предполагается, что статические преобразователи отключаются после динамического перехода, являющегося фактором стресса для чувствительности их интегрированной защиты. На основе этого заключения, предположив настройку максимального тока на интерфейсном выключателе на то же значение, что и у генераторов, чтобы не срабатывала защита генераторов во время повторного включения микросети, необходимо проверить следующие условия:
 - если в микросети имеются два генератора

$$\begin{cases} k_{gen}I_{n_a} \ge \frac{1}{2} k_{int} \left(I_{n_a} + I_{n_b} \right) \\ k_{gen}I_{n_b} \ge \frac{1}{2} k_{int} \left(I_{n_a} + I_{n_b} \right) \end{cases}$$

- если в микросети имеются три генератора

$$\begin{cases} k_{gen}I_{n_a} \ge \frac{1}{3} k_{int} \left(I_{n_a} + I_{n_b} + I_{n_c} \right) \\ k_{gen}I_{n_b} \ge \frac{1}{3} k_{int} \left(I_{n_a} + I_{n_b} + I_{n_c} \right) \\ k_{gen}I_{n_c} \ge \frac{1}{3} k_{int} \left(I_{n_a} + I_{n_b} + I_{n_c} \right) \end{cases}$$

где k_{gen} - это уровень максимального допустимого тока по отношению к номинальному для предотвращения срабатывания защиты генератора (избирательная защита от короткого замыкания), в то время как k_{int} идентичен k_{ln} , который является максимальным допустимым током повторного включения выключателя.

⁵ Предполагается, что статические преобразователи, при их наличии, подключаются к микросети при помощи трансформатора, что является предварительно заданным выбором. Этот параметр может быть настроен во время пуска в эксплуатацию "Plant Configuration" (конфигурация системы), принимая во внимание все подключенные статические преобразователи с или без трансформатора.

Синхронность и повторное включение

В Таблице 3 приводится пример возможных размеров энерговырабатывающих групп, отвечающих вышеуказанным ограничениям.

Таблица 3: пример размеров генераторов в зависимости от программного приложения

3 [re	рфициент ащиты нератор/ пючатель]	Номина мощн генера [генерато	торов	ток гене [генер	альный ераторов атор А, С]	выклк максима	пьный ток очателя, льный ток очателя	Максима ток для з генера	ащиты	Максим реальнь генера	ій ток в
К _{ген}	3	AnA [κBA]	400	InA [A]	600	InCB [A]	1800	InAmax [A]	1800	InAmax [A]	1800
К	2	AnB [кBA]	810	InB [A]	600	ImaxCB [A]	1800	InBmax [A]	3600	InBmax [A]	1800
К	3	AnA [κBA]	400	InA [A]	600	InCB [A]	2600	InAmax [A]		InAmax [A]	1733,3
К	2	AnB [κBA]	810	InB [A]	1200	ImaxCB [A]	5200	InBmax [A]		InBmax [A]	1733,3
		AnC [κBA]	545	InC [A]	800			InCmax [A]		InCmax [A]	1733,3

- Программное приложение анализирует пиковое значение переходного тока, несмотря на то, что защитные средства генератора, как правило, срабатывают с задержкой по соображениям избирательности. Этот подход является консервативным, поскольку расчетный пик уменьшается, возможно, со скоростью, которая прямо пропорциональна динамике самой системы. Из этого следует, что пиковое значение тока повторного включения является меньшим, чем критическое, потому что оно не уменьшается в течение всего рассматриваемого периода.
- Задержка, установленная между командой повторного включения и реальным включением, равна 100 мс, что является консервативным значением для механических выключателей. Это означает, что заданное условие синхронности должно продолжаться не менее заданного интервала времени.

В Таблице 4 обобщаются все параметры, требуемые программным приложением и заданными значениями.

Таблица 4: перечень параметров, требуемых для программного приложения

Требуемые параметры	Заданное значение
Максимальное значение ΔV - это разница максимального допустимого напряжения, соответствующая местным стандартам, между главной сетью и микросетью в момент повторного включения.	ΔV=10%
Номинальной частотой является номинальная частота распределительной сети.	f=50 Гц
Максимальное значение ΔV - это разница максимальной допустимой частоты, соответствующая местным стандартам, между главной сетью и микросетью в момент повторного включения.	Δf=0,5%
Максимальный допустимый эффективный ток для повторного включения выключателя, lmax, определяется как кратное значение номинального тока выключателя; этот масштабный множитель определяется как kln=lmaxln	kln=2
Длина соединительного кабеля НН	I=100 м
Количество параллельно подключенных генераторов	Количество активных генераторов = 1
Количество параллельных статических преобразователей	Количество статических преобразователей = 0
Номинальное напряжение генератора [B]	Номинальное напряжение генератора = 400 В
Кажущаяся мощность генератора [кВА]	Кажущаяся мощность генератора = 175 кВА
Сверхпереходное полное сопротивление [Ω]	Значение для генераторов ABB или же введенное пользователем в окне "Specialist Parameters" (параметры для специалиста)

Главной целью программного обеспечения для пуска в эксплуатацию модуля Ekip Synchrocheck является предоставление качественных указаний о критической фазе при повторном включении микросети. Тем не менее, оно не может заменить собой обычное инженерное исследование, в особенности, при наличии сложных систем.

Примеры применения

Приведенные ниже примеры применения касаются разных конфигураций микросети, согласно программному приложению.

Таблица 5: пример 1

Данные, введенные в программное обеспечение	Данные, рассчитанные программным		
	обеспечением		
∆Vmax стандартный = 10%	Δ Vmax для повторного включения Emax 2 = 10%		
∆fmax стандартный = 0,5%	Δf max для повторного включения Emax 2 = 0,4%		
f=50 Гц	Максимальное время повторного включения = 100 мс		
kint=2	Критическая фаза для повторного включения = 19,7°		
Длина соединительной линии = 100 м	Критическая фаза контроля синхронности для		
	повторного включения = 19°		
Активные генераторы в микросети = 1			
Статические преобразователи в микросети = 0			
Номинальное напряжение синхронного генератора = 400 В			
Кажущаяся мощность синхронного генератора = 175 кВА			
Сверхпереходная реактивность = 0,2 Ω			

Таблица 6: пример 2

Данные, введенные в программное обеспечение	Данные, рассчитанные программным		
	обеспечением		
∆Vmax = 10%	∆Vmax для повторного включения = 10%		
∆fmax = 0,5%	Δf max для повторного включения = 0,4%		
f=50 Гц	Максимальное время повторного включения = 100		
	мс		
kint=2	Критическая фаза для повторного включения = 8,5		
Длина соединительной линии = 100 м	Критическая фаза контроля синхронности для		
	повторного включения = 8°		
Активные генераторы в микросети = 1			
Статические преобразователи в микросети = 1			
Статический преобразователь с подключенным трансформатором			
Номинальное напряжение синхронного генератора = 400 B			
Кажущаяся мощность синхронного генератора = 175 кВА			
Сверхпереходная реактивность = 0,2 Ω			

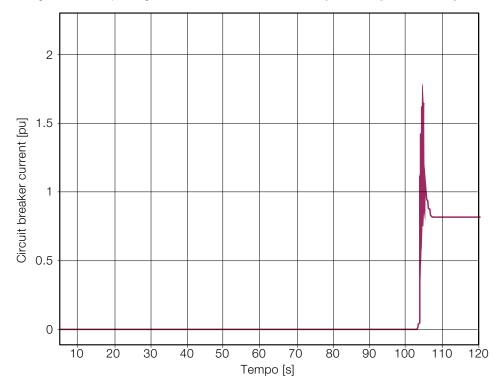
Операция повторного включения предусматривает необходимость подключения генератора к шине под напряжением, поэтому, необходимо определить следующие настройки в добавление к тем, которые включают модуль Ekip Synchrocheck (см. приложение A):

- Выбор напряжения между рассматриваемыми фазами
 U12. Выбранное напряжение принимается как ориентир для контроля синхронности.
- Первичное напряжение ТН [В] в зависимости от сетевого напряжения, указанного в начальных данных, должно быть введено значение 400 В
- Вторичное напряжение ТН [H] в зависимости от вторичного напряжения выбранного ТН (например, 100 В), в расцепитель должно быть введено значение 100 В.

Синхронность и повторное включение

Результат описывается на Рисунке 27, где показывается динамика значения тока, проходящего в главный выключатель во время повторного включения микросети с вышеуказанными настройками синхронности. Значение тока выражается как унитарное значение номинального тока выключателя.

Рисунок 27: ток, поступающий в выключатель во время операции повторного включения микросети

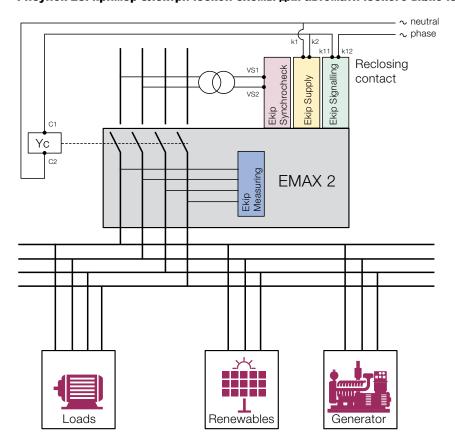


Электрическая схема для автоматического повторного включения

Подключение между модулем Ekip Synchrocheck и защитным расцепителем выполняется при помощи модуля Ekip Supply, который питает как расцепитель, так и модуль Synchrocheck.

По достижении синхронности и стабильности главной сети активируется контакт модуля Ekip Signalling, который обычно интегрирован в Emax 2, как показывается на Рисунке 28, что позволяет повторное включение выключателя непосредственно при помощи подключения к включающему расцепителю YC (при 220 В пер. тока⁶).

Рисунок 28: пример электрической схемы для автоматического включения микросети



 $^{^{6}}$ Для других напряжений питания рекомендуется вспомогательный блок питания.

Синхронность и повторное включение

Перечень компонентов

Автоматическая функция Синхронность и повторное включение доступна в линейке выключателей Emax 2 с аксессуарами, перечисленными в Таблице 7.

Таблица 7: перечень компонентов для функции Синхронность и повторное включение

Описание	Изделие	Коды для заказа	Примечания ⁷
Расцепитель	Платформа расцепителя Ekip Touch + Ekip Measuring Pro	Интегрирован в выключатель Emax 2	В качестве альтернативы - расцепители Ekip Hi Touch, Ekip G Touch, Ekip G Hi Toucl
Питание	Ekip Supply 110-240 В пост./ пер. тока	Ekip Supply 110-240 В пост./ пер. тока 1SDA074172R1	В качестве альтернативы - модуль Ekip Supply 24-48 В пост. тока (1SDA074173R1)
Контакты І/О	Ekip Signalling 4k + Ekip Signalling 2K-1	1SDA074170R1 + 1SDA074167R1	В качестве альтернативы - Ekip Signalling 10k (1SDA074171R1) + в качестве опции Ekip Link (1SDA074163R1)
Включающая катушка	YC E1.2E6.2 220-240V AC/ DC	1SDA073687R1	В качестве альтернативы - включающая катушка YC с другим напряжением питания
Модуль контроля синхронности	Ekip Synchrocheck	1SDA074183R1	
Лицензия программного обеспечения на USB- накопителе	Синхронность и повторное включение	1SDA082923R1	

 $^{^{7}}$ Коды заказа см. в 1SDC200023D0204 для МЭК и в 1SDC200039D0201 для UL.

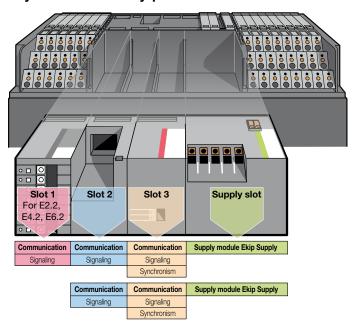
Приложение A – Ekip Synchrocheck

Модуль Ekip Synchrocheck располагается в полости в зоне аксессуаров Emax 2, точно так, как остальные модули подключения. В том, что касается функции Синхронности и повторного включения, модуль считывает напряжение между фазами линии при помощи внешнего однофазного трансформатора напряжения, подключенного со стороны главной сети, и три напряжения фаза-фаза при помощи внутренних разъемов напряжения Emax 2, находящихся на стороне микросети⁸.

Рисунок 29: патронный модуль Ekip Synchrocheck



Рисунок 30: зона аксессуаров Етах 2



В Таблице 8 перечисляются все вводимые параметры для функции Синхронности и повторного включения. В качестве расширения этого применения можно сконфигурировать рабочий режим с "шиной не под напряжением", используя для этого значения, описанные в Таблице 9. На Рисунке 31 представлена соответствующая электрическая схема.

Таблица 8: необходимые параметры для модуля Ekip Synchrocheck

	Максимальная допустимая разница между значениями напряжения для разрешения		
	выполнения операции повторного включения		
порог Δf - разница частоты	Интервал (0,1-1) Гц с увеличением в 0,1 Гц.		
	Максимальная допустимая разница между значениями частоты для разрешения выполнение операции повторного включения		
Δφ - разница угла фазы	Интервал (3°-50°) с шагом 1°.		
	Максимальная допустимая разница между значениями угла фазы для разрешения выполнения операции повторного включения		
Первичное напряжение ТН [В]	100,115,120,190,208,220,230,240,277,347,380,400,415,440,480,500,550, 600,660,690,910,950,1000,1150 B		
	Уровень напряжения на первичных обмотках внешнего ТН (сторона модуля Synchrocheck).		
Вторичное напряжение ТН [B]	V=100,110,115,120		
	Уровень напряжения на вторичных обмотках внешнего ТН (сторона модуля Ekip Synchrocheck).		
Выбор напряжения между	V12, V23, V31		
рассматриваемыми фазами	Можно настроить эталонное напряжение фазы (сторона генератора) в зависимости от подключения		
Желательное минимальное время для	Интервал (0,1-3) с шагом 0,1 с		
условия синхронности t_{sin} (мс)	Минимальное желательное время для условия синхронности определяет имеющиеся значения Δf и $\Delta \phi$ таким образом, чтобы состояние синхронности сохранялось хотя бы в течение установленного времени $_{\rm sin}$.		
	t _{sin} может быть рассчитано по следующей формуле: 360°·∆f·t≤2·∆φ. Программное приложение для пуска в эксплуатацию рекомендует время в 100 мс.		

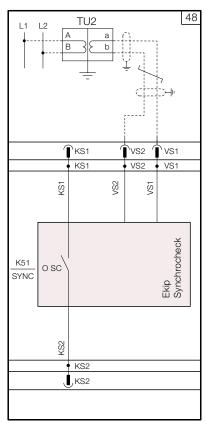
⁸ Для напряжений микросети, превышающих 690 В, также на стороне выключателя, необходимо установить и подключить трехфазный трансформатор напряжения к внешним разъемам Етах 2 на главной плате.

Синхронность и повторное включение

Таблица 9: Параметры модуля Ekip Synchrocheck для режима шины не под напряжением

Модуль Ekip Synchrocheck включен	ДА/НЕТ		
	Включает модуль Ekip Synchrocheck		
Опция с шиной не под напряжением	Выберите рабочий режим, напр., "шина под напряжением" (выберите HET), или "шина не под напряжением" (выберите ДА)		
Пороговое напряжение в режиме с шиной	Интервал (0,5-1,1)xVn с шагом 0,01xVn.		
под напряжением V _{под напряжением}	Напряжение системы, в которую должен быть повторно включен модуль, должно быть		
	выше порогового напряжения в режиме с шиной под напряжением.		
	Это условие должно быть удовлетворено для t _{лг}		
Пороговое напряжение в режиме с шиной не	Интервал (0,02-0,2)хVn с шагом 0,01хVn.		
под напряжением V _{под напряжением}	Напряжение системы, в которую должен быть повторно включен модуль, должно быть		
	ниже порогового напряжения в режиме с шиной не под напряжением.		
	Это условие должно быть удовлетворено для t _{лг}		
Время стабилизации шины t _{if}	Интервал (0,1-30) с шагом 0,1 с		
	Время, в течение которого контрольное напряжение должно оставаться в шине под		
	напряжением (пороговое напряжение с шиной под напряжением $V_{_{ m nog напряжением}}$) или с шиной		
	не под напряжением (пороговое напряжение с шиной не под напряжением $V_{_{\text{не под напряжением}}}$		
Настройка синхронности на стороне шины не	Нормальное/Обратное		
под напряжением	В том, что касается режима с шиной не под напряжением, выберите НОРМАЛЬНОЕ, если		
	модуль Ekip Synchrocheck находится на стороне шины не под напряжением		

Рисунок 31: электрическая схема модуля Ekip Synchrocheck



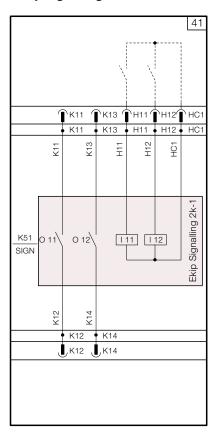
Приложение В - Ekip Signalling

Ekip Signalling - это контактный программируемый модуль, который может поставляться уже встроенным в Emax 2, напр., Ekip Signalling 2k и Ekip Signalling 4к⁹, или же поставляться отдельно, в качестве внешнего модуля на рейке DIN, напр., Ekip Signalling 10k.

Последний подключается к Emax 2 по локальной шине или же через Link Bus (см. приложение C).

Для функции Синхронность и повторное включение необходимо не менее 5 выходов для операций синхронизации и повторного включения¹⁰. Кроме того, необходим вход для запуска синхронизации.

Рисунок 32: электрическая схема модуля Ekip Signalling 2к



⁸ Ekip Signalling 4k доступен для размеров E2.2-E6-2.

⁹ Этот контакт Ekip Signalling сохраняет свое положение не менее 200 мс. По истечении этого времени, если параллельный выключатель еще выключен, контакт остается возбужденным, если еще гарантируются условия синхронности. В противном случае, при отсутствии условия обеспечения синхронности, контакт возвращается в нормально разомкнутое состояние.

Синхронность и повторное включение

Рисунок 33: электрическая схема модуля Ekip Signalling 4к

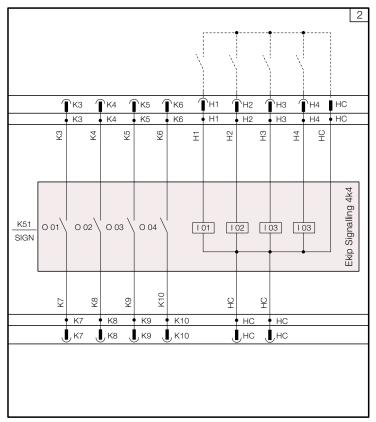
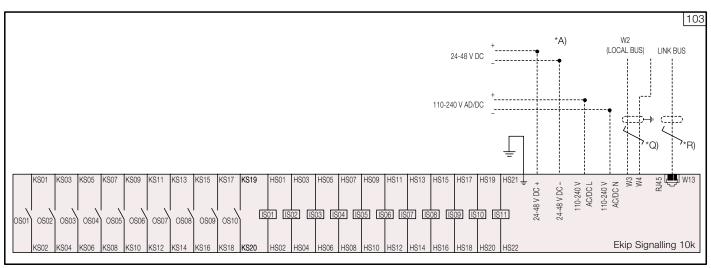


Рисунок 34: электрическая схема модуля Ekip Signalling 10к



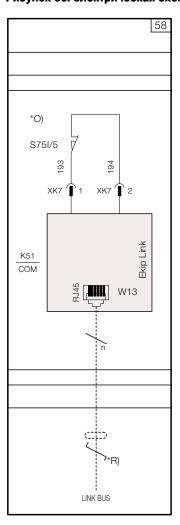
Приложение С - Ekip Link

Ekip Link - это патронный модуль для выделенного сетевого обеспечения Ethernet, использующего протокол атрибутов передачи данных. В функции Синхронность и повторное включение он может использоваться в качестве опции для подключения модуля на рейке DIN Ekip Signalling 10k к Emax 2 в случаях, когда контролируемый генератор физически удален от главного выключателя.

Рисунок 35: Патронный модуль Ekip Link



Рисунок 36: электрическая схема модуля Ekip Link



Контакты

За более подробной информацией обращайтесь:

ABB SACE Подразделение компании ABB S.p.A. L.V. Breakers

Via Pescaria, 5 24123 Bergamo – Italia Тел.: +39 035 395 111 Факс: +39 035 395306 433

www.abb.com



Данные и иллюстрации являются необязывающими. Мы оставляем за собой право на изменение содержимого данного документа, вызванное техническим совершенствованием продукции, без предварительного уведомления.

Авторское право 2017 ABB. Все права сохранены.

