

Авторы: Х. Карденас, Дж. Микаэль, Х. Мойя

Распределенный автоматический ввод резерва (АВР) и восстановление питания с использованием МЭК 61850

АННОТАЦИЯ

Распространение технологий сделало глобальное развитие бизнеса все более зависящим от доступности надежного энергоснабжения. В результате, устанавливаются и развиваются альтернативные энергосистемы для защиты расширяющихся возможностей критически важных потребителей. Ввод резерва переводит заданных важных потребителей на резервный источник питания, когда получаемой энергии становится недостаточно или электроснабжение прерывается по любой непредвиденной причине. В этой статье описывается практическое применение, требования и реализация перевода двигательной нагрузки на резервные источники питания. Предлагается новая высокоскоростная схема автоматического ввода резерва, использующая протокол МЭК 61850 вместо соединения проводами, включающая в себя функции восстановления и реализацию схемы с использованием современных устройств защиты и возможностей связи внутри подстанции.

На практике ввод резерва на любой электростанции или промышленном объекте означает переключение нагруженной шины, нагрузка которой состоит в основном из индуктивных двигателей, на резервный источник питания, когда основной источник питания поврежден или нуждается в отключении для обеспечения непрерывности работы объекта. Любой неправильный или небезопасный ввод резерва может привести к серьезным повреждениям двигателей, подключенной к ним нагрузки и нарушить непрерывность технологического процесса. Ввод резерва должен происходить очень быстро и безопасно, чтобы не было никаких нежелательных экономических последствий для предприятия. Требования к вводу резерва изменяются в зависимости от объекта, от подключенной нагрузки и методов работы предприятия. В данной статье анализируются типовые схемы ввода резерва, применяемые в промышленности. Также в этой статье представлен современный автоматический высокоскоростной метод ввода резерва, а также реализация схемы с использованием современных устройств защиты и связи внутри подстанции, основанной на одноранговой связи по протоколу МЭК 61850. Проанализированы различные схемы с 2, 4 и 5 выключателями, взаимодействующими с резервным Генератором или линией, а также автоматическое восстановление питания.

1 ВВЕДЕНИЕ

На практике ввод резерва на любой электростанции или промышленном объекте означает переключение нагруженной шины, нагрузка которой состоит в основном из индуктивных двигателей, на резервный источник питания, когда основной источник питания поврежден или нуждается в отключении для обеспечения непрерывности работы объекта. Любой неправильный или небезопасный ввод резерва может привести к серьезным повреждениям двигателей, подключенной к ним нагрузки и нарушить непрерывность технологического процесса. Ввод резерва должен происходить очень быстро и безопасно, чтобы не было никаких нежелательных экономических последствий для предприятия. Требования к вводу резерва изменяются в зависимости от объекта, от подключенной нагрузки и методов работы предприятия [1].

2 ТИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА

Ввод резерва может быть разделен на три общих типа:

- Параллельный («горячий») ввод резерва
- Быстрый ввод резерва
- Отложенный ввод резерва

2.1 Параллельный ввод резерва

Это метод для ввода резерва при запуске блока или запланированном отключении. В данном методе выключатель запускающегося источника включается до отключения выключателя трансформатора собственных нужд блока. В данном методе отсутствует переходный режим на шине двигателя, так как разные компоненты системы все время синхронны. Данный метод требует, как минимум, устройство контроля синхронизма, чтобы гарантировать, что разница фаз на включаемом выключателе находится внутри допустимого диапазона.

2.2 Быстрый ввод резерва

При использовании этого метода, выключатель трансформатора собственных нужд блока отключается до включения выключателя подключаемого источника. Шина должна быть всегда полностью отключена от обоих источников на короткое время. Единственный контроль осуществляется через быстродействующее устройство синхронизма. Перед применением этого метода необходимо глубокое изучение нагрузки, чтобы определить точные характеристики напряжения и фазы шины двигателя и таким образом определить точное время подачи

команды на включение выключателя подключаемого источника, чтобы уменьшить переходный крутящий момент в двигателях.

2.3 Отложенный ввод резерва

Имеется два вида отложенного ввода резерва:

а) В фазе. Это по существу высокоскоростная автоматическая синхронизация между шиной двигателя и запускаемым источником. Запускаемый источник должен подключаться в момент нулевого расхождения фаз на выключателе.

б) Остаточное напряжение. Перед включением выключателя подключаемого источника ожидается пока напряжение на шине не окажется меньше заранее заданного значения: обычно 25% от номинального значения.

3 НАПРЯЖЕНИЕ И ФАЗА НА ШИНЕ ВО ВРЕМЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

В схеме на рис. 1 могут быть использованы один или два блока, выключатель 1 нормально замкнут, а выключатель 2 нормально разомкнут, при отключении трансформатора собственных нужд блока автоматически включается выключатель 2, чтобы продолжить электроснабжение двигателей станции. Обычно применяется схема быстрого ввода резерва.

В общем случае характеристика напряжения шины двигателей при переключении определяется работой нагрузки двигателей в момент переключения. Когда шина отключается от ТСН, двигатели будут создавать напряжение из-за энергии, запасенной полем двигателя. Начальное значение напряжения зависит от целостности источника перед отключением. Трехфазное замыкание в ТСН, генераторе, повышающем трансформаторе или на высоковольтной шине около электростанции может полностью разрядить поля двигателя, и результирующее напряжение будет минимальным. Однако для всех других случаев на шину двигателя будет наведено значительное напряжение. Наведенное напряжение будет иметь динамическую характеристику напряжения и фазы, которая будет зависеть от инерции нагрузки двигателей и запасенной энергии поля двигателей.

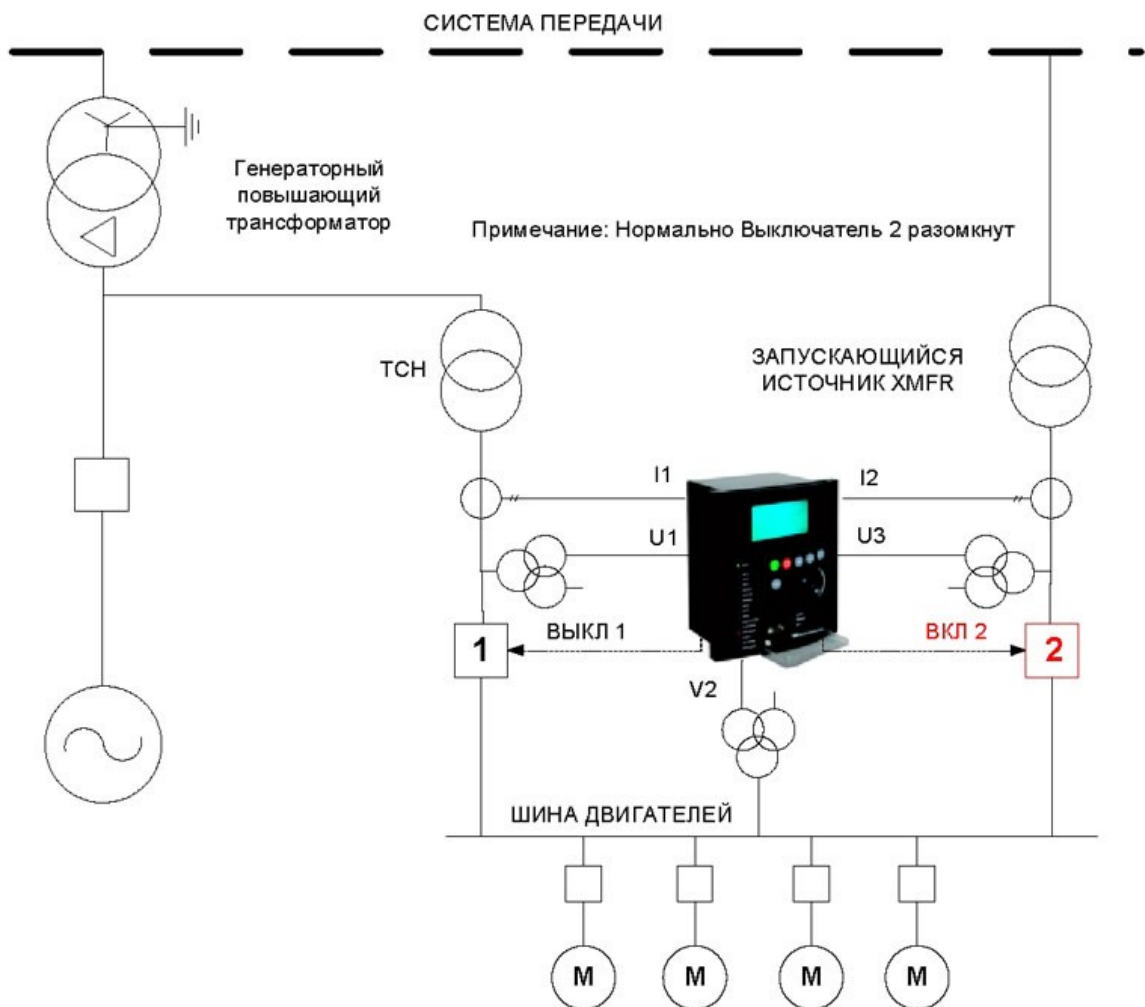


Рис. 1: Схема шин, используемая на ТЭЦ

Когда шина отключена, мощные двигатели с высокоинерционной нагрузкой будут работать, как асинхронные генераторы, снабжая энергией меньшие двигатели. Общее напряжение на шине будет иметь такой сложный средний отклик, что напряжение будет спадать быстрее, чем напряжение отдельных наибольших двигателей и медленней, чем у единичного небольшого двигателя.

Отношение напряжения к частоте разомкнутой цепи U_{oc} можно вычислить, используя закон косинуса. Если резервный источник работал на частоте 60 Гц перед переключением:

$$U_{oc} = \sqrt{U_R^2 + \left(\frac{U_B}{f}\right)^2 - 2 \frac{U_B}{f} * U_R \cos \theta}$$

f = частота на шине в о.е. при 60 Гц. $U_R = 1$ о.е. при 60 Гц.

Это напряжение должно быть ограничено значением равным 1.33 о.е. В/Гц, как это задано стандартом ANSI/IEEE C50.41-77: Многофазные асинхронные двигатели для электростанций.

Используя схему рис.1, были проведены некоторые расчеты для определения критических параметров, необходимых для оценки возможности использования схемы быстрого ввода резерва.

Модель двигателя, параметры и рабочие условия приведены только для сведения с единственной целью показать явление. Аналогичный подход должен применяться для каждого конкретного случая для принятия решения об используемой схеме ввода резерва.

Когда шина двигателей отключена, частота и напряжение падает с переменной скоростью, зависящей от инерции двигателей, нагрузки и условий работы. На рисунке красным цветом показано напряжение на шине двигателей, а синим - напряжение пускающей шины, которое в данном конкретном примере изначально имеет ту же фазу, что и шина ТСН блока.

Как два компонента напряжения (Пускающая шина в качестве опорного и шина двигателей) изменяются, мы можем увидеть на рис. 2.

На рис. 3 мы можем видеть изменение амплитуды напряжения на шине двигателя и фазы по времени после отключения ТСН.

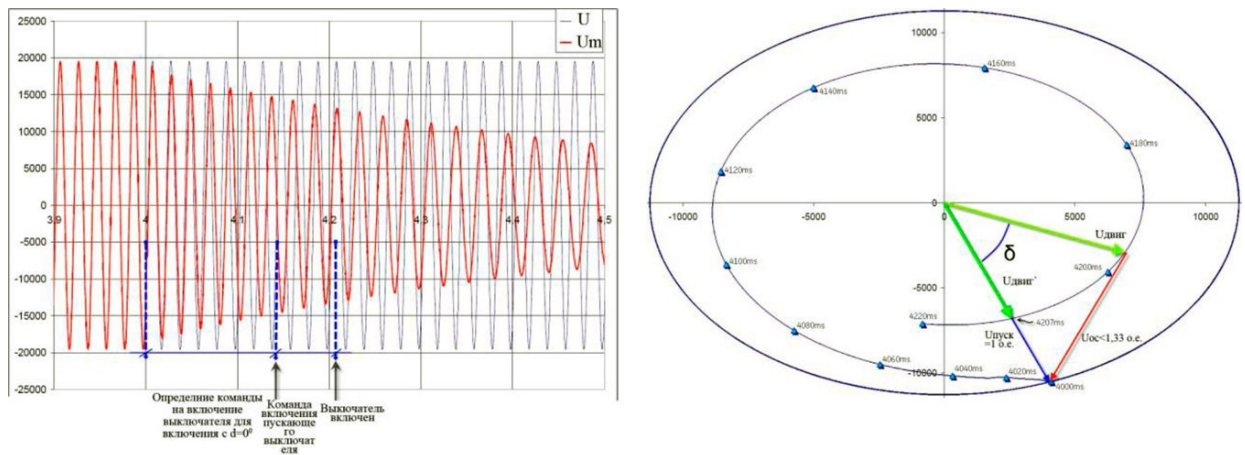


Рис. 2

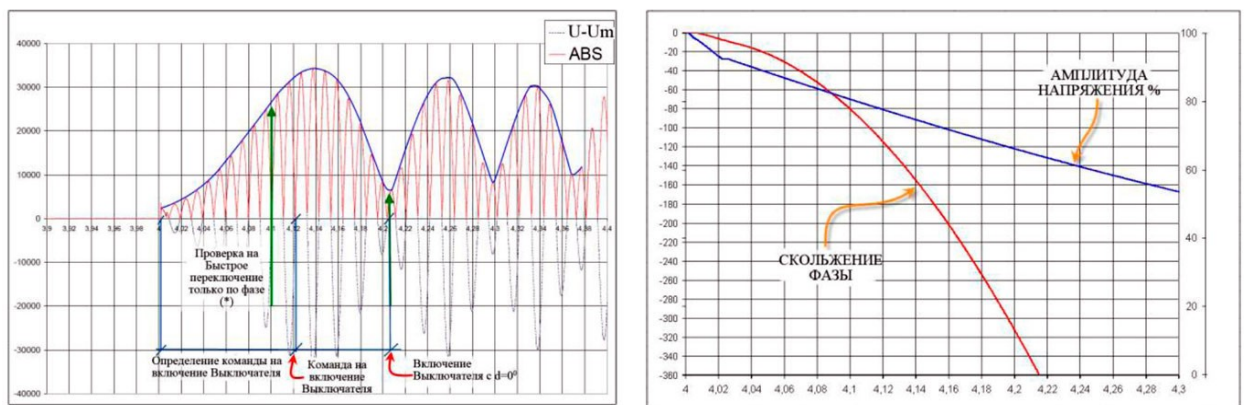


Рис. 3: Изменение напряжения $U_{ос}$ во времени (слева) и напряжение на шине двигателей и фаза (справа)

4 ФУНКЦИИ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВВОДА РЕЗЕРВА

4.1 Быстрый ввод резерва

Быстрый ввод резерва требует, чтобы выключатель включающегося источника был включен до того, как фаза сдвинется выше 30° - 45° , а напряжение снизится менее чем на 20% от номинального (остаточное напряжение превышает 80% от номинального). Быстрый ввод резерва требует функцию быстрой проверки синхронизма, которая может сработать достаточно быстро, чтобы предотвратить включение выключателя резервного источника при большой или быстро меняющейся фазе.

Не зависимо от состояния фазы, устройство должно следить, чтобы максимальная разница напряжений, а также максимальная разница частот не были достигнуты в любой момент времени, чтобы соответствовать требованиям стандарта ANSI/IEEE C50.41-77.

4.2 Переключение в фазе

Переключение в фазе означает, что включение выключателя пускающегося источника происходит, когда напряжение на шине находится в фазе с напряжением пускающегося источника. Основным критерием является разрешение включения в диапазоне напряжений от 33% до 80% от номинального, используя алгоритм предсказания появления условия по фазе, и запустить процесс включения выключателя пускающегося источника заранее (на время работы выключателя) до появления нулевой фазы.

4.3 Остаточное напряжение

Функция остаточного напряжения используется для определения уменьшения напряжения на шине ниже заранее заданного уровня и для запуска процесса включения выключателя без какого-либо дополнительного контроля. Обычно эта функция допускается к использованию, если напряжение опускается ниже 25% от номинального. Также может понадобиться выход частотной разгрузки, который может использоваться для отключения нагрузки от шины перед включением выключателя. Это применяется только для двигателей, подключенных через выключатель, так как двигатели, подключенные через электромагнитный пускатель, изначально имеют схему разгрузки, основанную на амплитуде напряжения.

5 ПРИМЕНЕНИЕ

Перед оценкой применимости схемы Быстрого ввода резерва, необходимо оценить следующие параметры:

1. Определить характеристику остаточного напряжения на шинах либо аналитически, либо экспериментально.

2. Время включения Выключателя, который будет восстанавливать питание шины двигателей.
3. Начальную частоту скольжения остаточного напряжения на шинах двигателя.
4. Время необходимое фазе остаточного напряжения на шине двигателей по отношению к новому источнику питания, чтобы повернуться на 360° . Это будет Время Ввода резерва.

6 РЕАЛИЗАЦИЯ СХЕМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ШИН

Ввод резерва имеет различные уровни сложности, которые соответствуют заданной конфигурации шин.

Наиболее часто в промышленности используется конфигурация шин, показанная на рис. 4, где Ввод А и Ввод В питают каждый свои соответствующие двигательные нагрузки. Два источника соединены с помощью шиносоединительного выключателя (3). Ввод А подключен к своей двигательной нагрузке через стационарный трансформатор и выключатель (1), и также через стационарный трансформатор и выключатель (2) подключен Ввод В.

Схема автоматического ввода резерва предназначена для применения с тремя выключателями в двухсекционной системе шин, два из которых (Ввод А и В) подключают источники энергии к двум шинам, которые могут быть включены параллельно с помощью секционного выключателя. Нормальная конфигурация системы – с двумя включенными выключателями вводов и отключенным шиносоединительным выключателем. Реализованная схема ввода резерва известна, как Открытое переключение, с последовательностью операций «Отключение перед Включением» в «Схеме Быстрого ввода резерва» (в соответствии со стандартом ANSI C50.41 2000 это означает переключение менее чем за 10 периодов); это означает, что поврежденный ввод отключается раньше, чем включается шиносоединительный выключатель (включение происходит с контролем синхронизма).

Схема автоматического ввода резерва требует большого количества логических связей и электрических взаимоблокировок между различными устройствами защиты, выключателями, разъединителями, предохранителями и т.д. Устройство ввода резерва должно постоянно контролировать заданные ключевые элементы системы, чтобы определить безопасный и надежный способ ввода резерва.

Традиционные устройства защиты означают наличие большого количества соединительных проводов между устройствами, что приводит к необходимости наличия двух- трех панелей для создания схемы ввода резерва со всеми элементами управления. Развитие современных устройств защиты, которые могут связываться с другими устройствами, используя одноранговую связь по протоколу МЭК 61850, привело к возможности реализации схем с меньшим количеством проводов, уменьшению

стоимости компонентов, увеличению надежности, а также появлению функций осциллографирования и регистрации событий для анализа процесса ввода резерва. Современные устройства предоставляют широкие возможности, отсутствующие в традиционных устройствах, которые включают в себя встроенный программируемый логический контроллер, таймеры, цифровые входы и выходы, аналоговые выходы и т.д., которые могут значительно помочь в реализации схем автоматического ввода резерва. На рис. 5 и 6 приведены примеры таких схем.

Примечание: Нормально Выключатель 3 разомкнут



Рис. 4: Типовая схема шин в промышленности

Примечание: Нормально Выключатель 24-1 разомкнут

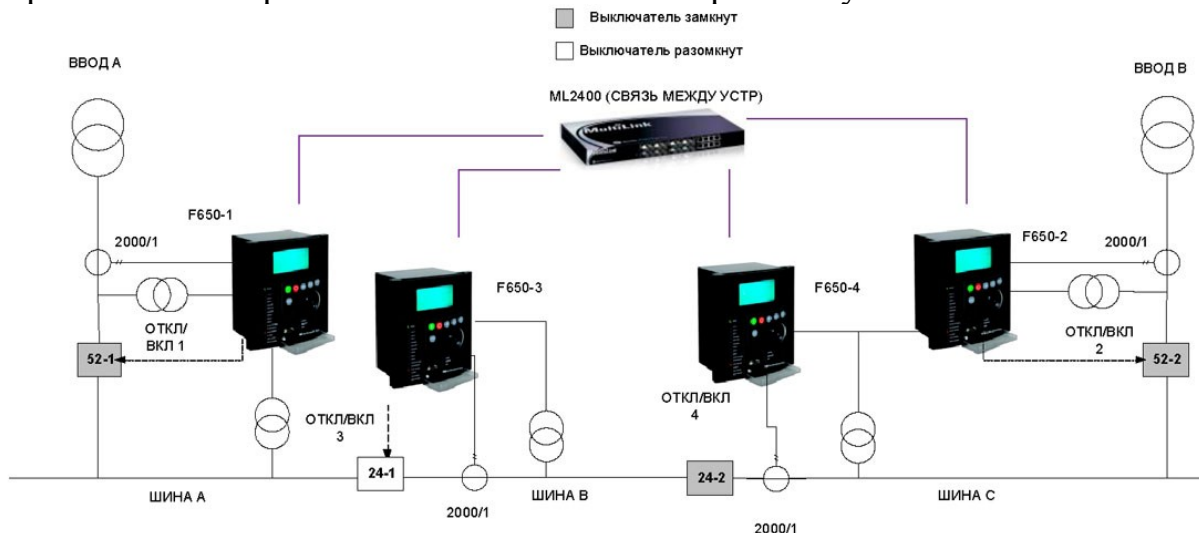


Рис. 5: Вариант схемы шин с 4 выключателями (выключатель 24-1 нормально разомкнут)

Примечание: Нормально Выключатели 24-1 & 53-3 разомкнуты

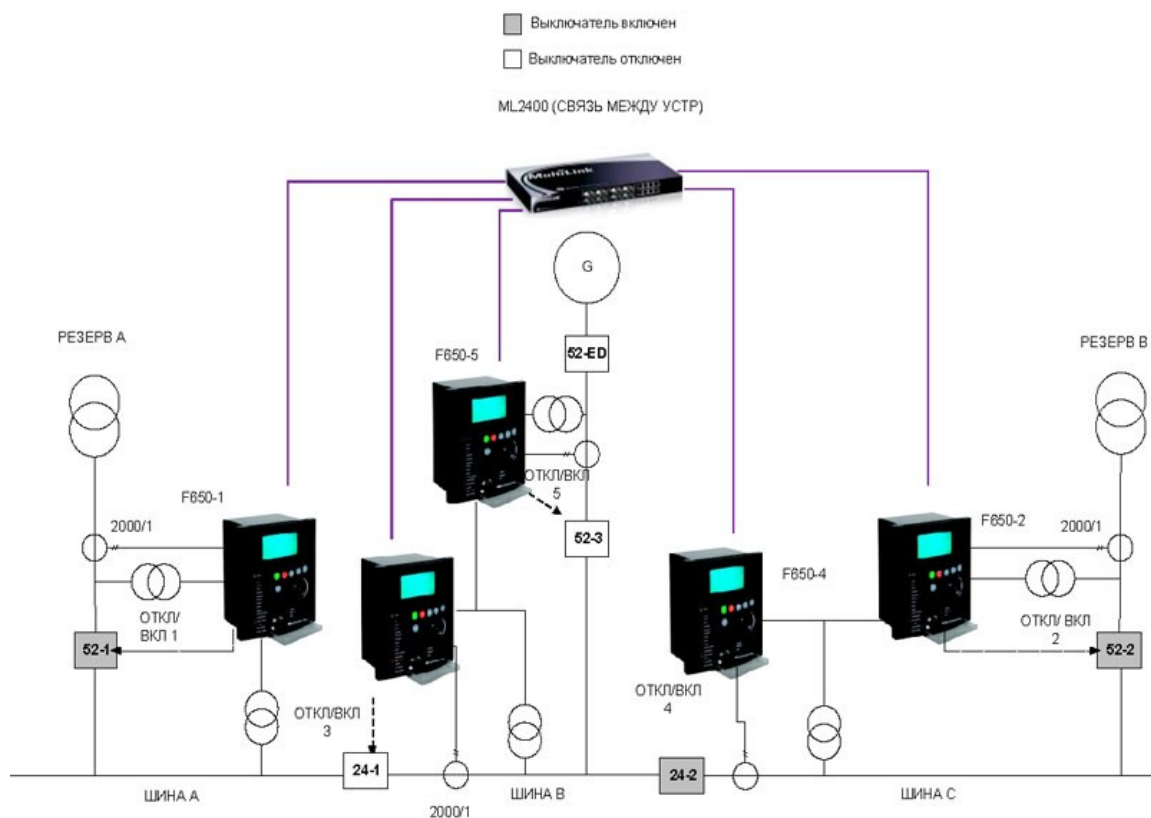


Рис. 6: Схема шин, используемая на ТЭЦ с 5 выключателями и резервным дизельным питанием

На рис. 6, в нормальных рабочих условиях, 52-1, 52-2&24-2 находятся в замкнутом состоянии, 24-1 - в разомкнутом. 52-3 и 52-ED, подключенные к дизель-генератору, также разомкнуты.

В случае потери напряжения на 52-1 или 52-2, но не на обоих, система автоматического перевода отключит соответствующую линию и включит секционный выключатель (24-1), чтобы запитать сборные шины А+В+С от одной линии.

После восстановления поврежденной линии, соответствующий линейный выключатель будет включен (каждый выключатель подходящей линии снабжен отдельным реле выдержки времени, позволяющим иметь выдержку времени при повторном включении, чтобы задать время включения после восстановления напряжения), затем после непродолжительной параллельной работы линии 1 и 2 отключится выключатель 24-1. В случае потери напряжения на обоих выключателях 52-1 и 52-2 имеется последовательность подготовки к включению дизель-генератора и автоматического включения выключателя 52-3, когда выполняются условия «СИНХРОНИЗМА». В этих условиях, когда поврежденные линии (52-1, 52-2) будут восстановлены, соответствующие выключатели автоматически включаются в следующей последовательности:

1. Если напряжение восстановилось только на одном выключателе (52-1 или 52-2), произойдет включение соответствующего выключателя

с непродолжительной параллельной работой с дизель-генератором, после чего выключатель 52-3 автоматически отключится после получения подтверждения отключения от выключателя 52-ED (генераторного выключателя).

2. Если напряжение восстановлено на обоих выключателях (52-1 и 52-2), имеется схема внешней взаимоблокировки, которая вводит восстановление на первой доступной линии (выключатель 52-1 или 52-2), создавая параллельное подключение с дизель-генератором на короткое время, после этого автоматически размыкается выключатель 52-3 после получения подтверждения отключения от выключателя 52-ED (генераторного выключателя). После этого, выключатель 24-1 будет автоматически разомкнут.

Как мы можем видеть, из-за уровня сложности схем ввода резерва и восстановления питания, решения с соединением проводами, особенно, когда выключатели находятся в отдалении, не жизнеспособны. Решения, использующие распределенную схему с одноранговой связью по протоколу МЭК 61850, приводит тому, что время работы близко ко времени, получаемому при схеме с соединением проводами.

7 ВЫВОДЫ

Применение схем Быстрого ввода резерва и схем ввода резерва в фазе с использованием соответствующих алгоритмов (в частности алгоритма контроля синхронизма), предоставляют интересные возможности, но имеют следующие ограничения:

1. Быстрый ввод резерва (менее чем за 30 мс после принятия решения) возможно только для двигательной нагрузки с достаточной инерцией, чтобы обеспечить угол включения (30° максимум) в течение не более 100 мс после отключения выключателя ТСН или ввода. В 100 мс входит время контроля синхронизма и время включения выключателя. Перед применением этого метода необходимо тщательное изучение и хорошее знание нагрузки. Это наиболее рискованный в применении метод. Его преимуществом является скорость, но, как и в любом другом случае, большая скорость означает меньшую надежность.
2. Схема отложенного ввода резерва в фазе (являющаяся другим типом схемы быстрого переключения) также ограничена двигательной нагрузкой с достаточной инерцией для обеспечения правильного вычисления времени, когда $\delta=0^\circ$. Принимая во внимание, что предиктивным алгоритмам необходимо минимум 100 мс, данных для правильного вычисления угла, полный оборот фазы на 360° должен происходить менее чем за 180 мс (мы считаем время включения выключателя равным 80 мс). В этом случае также важно хорошее

знание нагрузки и полный расчет эффективности, чтобы проверить, можно ли без риска применять данный метод. Другой возможный метод - собрать данные (напряжение шины двигателя (амплитуда и фаза)) из магнитного поля после отключения от ТСН или от соответствующего ввода.

3. Функция остаточного напряжения может быть применена практически без ограничения по времени. В этом случае важно включить схему частотной разгрузки, особенно, если пускающийся источник имеет недостаточно мощности для одновременного запуска двигателей уже подключенных к шине двигателей после исчезновения напряжения. Это может быть критично, если пускающийся источник состоит только из дизель-генератора. В этом конкретном случае, вероятно, будет невозможно применять схему ввода резерва.
4. Использование протокола МЭК 61850 способствует реализации схем ввода резерва с более сложными механизмами и большей функциональностью, такой, как автоматическое восстановление питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tarlochan S. Sidhu, Vinayagam Balamourougan, Manish Thakur, and Bogdan Kasztenny " A Modern Automatic Bus Transfer Scheme", International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 3, no. 2 (special edition), pp. 376-385, June 2005.
2. R. H. Daugherty, "Analysis of transient electrical torques and shaft torques in induction motors as a result of power supply disturbances," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-101, pp. 2826-2836, August 1982.
3. M. Thakur, B. Kasztenny, and J. Eapen, "Implementation of automatic bus transfer scheme on multi-function microprocessor based relays," Proc. of 57th Annual Conference for Protective Relay Engineers, Texas A&M University, Texas, Mar. 30-Apr. 1, 2004.