

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФУНКЦИИ «РЕСИНХРОНИЗАЦИЯ» СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЦИФРОВЫХ РЕЛЕ SEPAM 2000

В.В. Курганов, О.П. Каптуров, Ю.В. Крышнев, А.Г. Баранов

Рассмотрены вопросы повышения надежности самозапуска синхронных двигателей с гашением поля, осуществляемым функцией ресинхронизации, запрограммированной в цифровых реле Sepam 2000 фирмы «Шнейдер Электрик».

Цифровые (микропроцессорные) реле защиты типа Sepam 2000 фирмы «Шнейдер Электрик» применяются на ряде предприятий стран СНГ, в частности, на нефтеперекачивающих станциях (НПС) РУП «Гомельтранснефть Дружба».

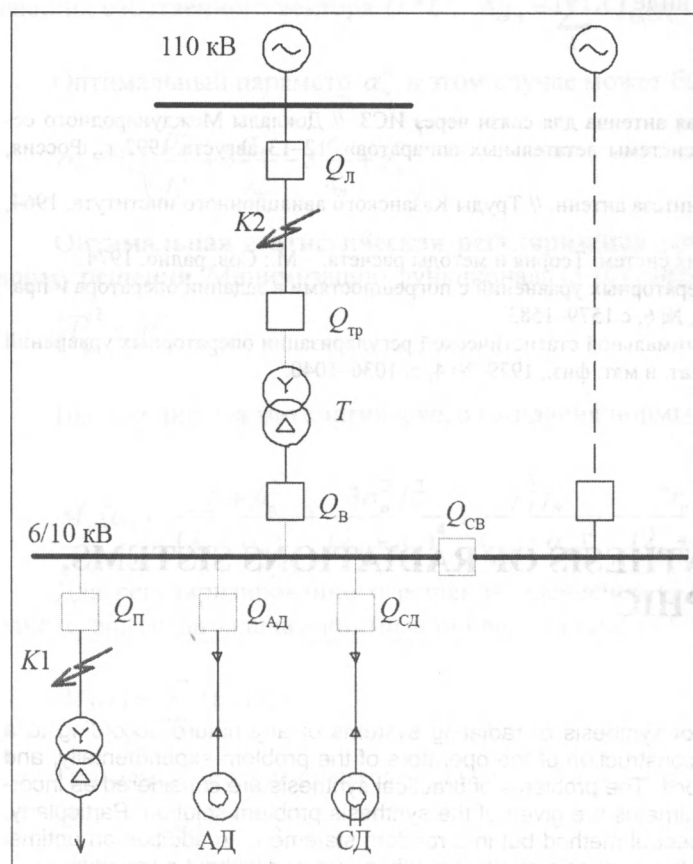


Рис. 1. Упрощенная схема двухтрансформаторной подстанции НПС

включенных СД, переводящий их в инверторный режим. По окончании гашения поля, которое контролируется величиной остаточного напряжения  $0,4U_{ном}$ , отключается выключатель ввода  $Q_B$  и включается  $Q_{СВ}$ .

Опыт эксплуатации такого алгоритма ресинхронизации на подстанциях РУП «Гомельтранснефть Дружба» выявил его недостаток, заключающийся в том, что в ряде случаев срабатывания АВР либо происходит с задержкой на недопустимо большое время, либо вообще от-

Функция ресинхронизации, запрограммированная в реле, предназначена для самозапуска синхронных электродвигателей. Алгоритм ее действия поясняется на примере двухтрансформаторной подстанции 110/6 кВ НПС, питающей мощные синхронные (СД) и асинхронные (АД) двигатели (рис.1). Число и состав электродвигателей, подключенных к секции шин 6 кВ, может быть различным, в зависимости от режима перекачки нефти.

На секционном выключателе  $Q_{СВ}$  установлено устройство автоматического включения резерва (АВР), срабатывающее при потере питания секции шин после гашения поля СД, которое осуществляется функцией ресинхронизации. Пусковой орган АВР состоит из измерительного органа минимальной частоты  $ИО_f$ , контролирующего частоту напряжения на секции шин, и измерительных органов реверса (обратной) активной мощности ( $ИО_P$ ), установленных в цифровых реле СД (код 32Р). Пуск АВР осуществляется по факту снижения частоты и реверса активной мощности хотя бы в одном СД. При этом через выдержку времени  $0,3...0,5$  с на шинку ресинхронизации подается сигнал в тиристорные возбудители

казывает, что негативно сказывается на бесперебойности транспорта нефти. Кроме того, при отказе функции ресинхронизации возбужденные СД длительно генерируют ЭДС в питающую линию 110 кВ. В результате системная автоматика АПВ линии на выключателе  $Q_L$  срабатывает со значительной задержкой, оставляя без питания на это время другие потребители энергосистемы, подключенные к данной линии с помощью отпаек. Такие претензии иногда поступают от работников служб энергосистемы.

Проанализируем поведение пускового органа (ПО) АВР при различных аварийных режимах в системе электроснабжения (см. рис.1):

1. Короткое замыкание (КЗ) произошло на отходящей от подстанции линии присоединения 6 кВ (точка К1). В этом случае СД подпитывают место КЗ и по реверсу мощности ИО.<sub>р</sub> срабатывает, но частота напряжения в сети остается неизменной (50Гц) и в результате ПО АВР не запускается. Рассматриваемое КЗ, как правило, отключается быстродействующей защитой присоединения  $Q_{П}$  и СД не выпадают из синхронизма;

2. Короткое замыкание произошло в питающей линии (точка К2). В этом случае от собственной защиты отключается выключатель линии  $Q_L$ , СД теряют питание и при выбеге подпитывают место КЗ и нагрузку на секции шин 6кВ. Создаются все условия для срабатывания ПО АВР – снижение частоты и реверс активной мощности;

3. Оперативное или неоперативное (ложное) отключение выключателя  $Q_L$  без КЗ на линии 110 кВ. Такой же режим появляется при самоустранившемся КЗ после отключения  $Q_L$ . В этом случае при наличии нагрузки на секции шин в СД появляется обратная мощность, снижается частота и ПО АВР срабатывает;

4. Тот же режим, что и в п.3, но кроме СД, к секции шин подключена незначительная по величине сторонняя нагрузка (АД отключены). В этом случае в начале выбега обратная мощность в СД может быть недостаточная для срабатывания ИО.<sub>р</sub> и ПО АВР запускается со значительной задержкой во времени;

5. При аварии в энергосистеме возникает дефицит активной мощности и происходит общесистемное понижение частоты. В этом случае устройство АВР не должно срабатывать, иначе функция ресинхронизации, направленная на гашение поля СД, переведет их в асинхронный режим и увеличит и без того возникший при аварии дефицит реактивной мощности. В данном режиме работает ИО.<sub>р</sub>, но активная мощность в СД будет направлена на потребление, а не на отдачу, и ИО.<sub>р</sub> заблокирует работу ПО АВР.

Таков алгоритм действия устройства АВР, заложенного в цифровых реле СД и секционного выключателя.

Анализируя поведения ПО АВР в рассматриваемых режимах, можно сделать вывод, что измерительные органы ИО.<sub>р</sub> в СД необходимы только для отличия режима дефицита активной мощности в системе от режима выбега СД. Во всех остальных случаях 1, 2, 3, 4 для пуска АВР достаточно иметь один измерительный орган минимальной частоты (ИО.<sub>р</sub>).

Разработчики цифровых реле Seram 2000 для выявления режима дефицита активной мощности использовали известный (классический) способ блокировки устройства автоматической частотной разгрузки (АЧР) при выбеге СД [1].

Согласно этому способу, на выключателе ввода  $Q_V$  устанавливается реле направления мощности, которое ориентировано так, что при прямом направлении мощности от источника питания к шинам реле находится в сработанном состоянии и разрешает работу реле минимальной частоты устройства АЧР, что соответствует режиму дефицита активной мощности в энергосистеме. При потере питания и выбеге СД частота напряжения также снижается, но протекающая мощность по  $Q_V$  либо отсутствует, либо направлена в противоположную сторону. В обоих случаях реле направления мощности работает на возврат, запрещая действие АЧР.

В цифровых реле Seram 2000, в отличие от классического способа, при выбеге СД реле направления мощности (ИО.<sub>р</sub>) работает на срабатывание, а не на возврат. Любое реле направление мощности имеет зону нечувствительности при малых значениях тока или его отсутствии, т.е. для срабатывания ИО.<sub>р</sub> необходима, хотя и малая, но конечная величина обратной активной мощно-

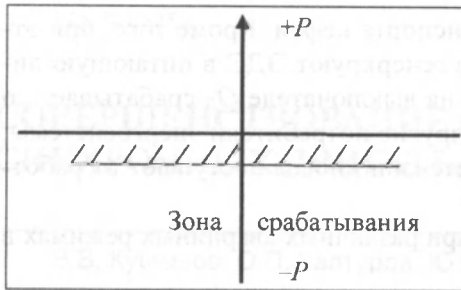


Рис. 2. Характеристика срабатывания существующего ИО.<sub>р</sub> в реле Seram 2000

сти. Характеристика срабатывания ИО.<sub>р</sub> реле Seram 2000 приведена на рис. 2. В зоне срабатывания (незаштрихованная область) с выхода ИО.<sub>р</sub> поступает в ПО АВР разрешающий сигнал – логическая единица.

На действующих подстанциях НПС «Гомельтранснефть Дружба» были проведены экспериментальные исследования режимов выбега СД с осциллографированием токов синхронного и асинхронного двигателей и напряжения секции шин с помощью цифрового регистратора. На рис. 3 приведена осциллограмма тока СД и напряжения на секции шин при выбеге синхронного двигателя мощностью 3150 кВт и асинхронного 4000 кВт, а также незначительной сторонней нагрузки. Как показали эксперименты, именно при групповом выбеге СД и АД наблюдаются отказы устройства АВР.

На действующих подстанциях НПС «Гомельтранснефть Дружба» были проведены экспериментальные исследования режимов выбега СД с осциллографированием токов синхронного и асинхронного двигателей и напряжения секции шин с помощью цифрового регистратора. На рис. 3 приведена осциллограмма тока СД и напряжения на секции шин при выбеге синхронного двигателя мощностью 3150 кВт и асинхронного 4000 кВт, а также незначительной сторонней нагрузки. Как показали эксперименты, именно при групповом выбеге СД и АД наблюдаются отказы устройства АВР.

Обработка полученных данных с вычислением активной и реактивной составляющих мощности СД проводилась в пакете Matlab, затем полученные данные обрабатывались в программе Excel. Изменение знака и модуля активной и реактивной составляющих мощности синхронного двигателя, а также напряжения на секции шин, приведены на рис. 4.

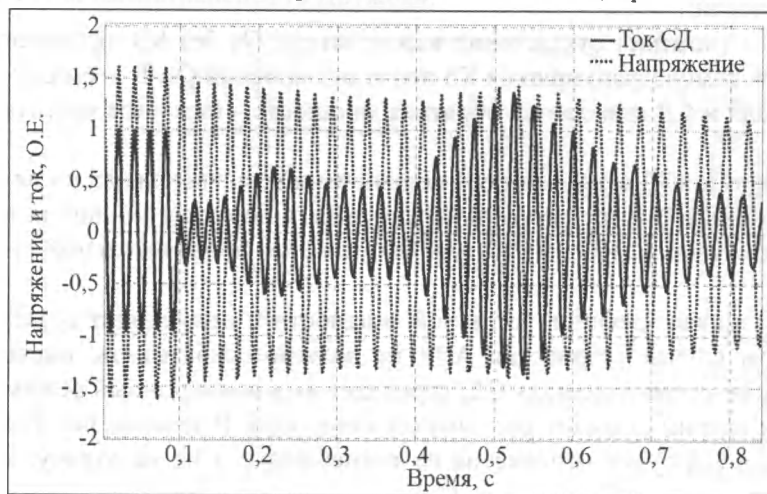


Рис. 3. Осциллограммы напряжения и тока СД при выбеге СД и АД

На рис. 3, 4 видны следующие характерные особенности совместного выбега синхронного и асинхронного двигателей.

В нормальном режиме синхронный двигатель потреблял практически только активную мощность ( $\cos \varphi \approx 1$ ). В момент потери питания (отключили выключатель трансформатора  $Q_{тр}$ ) произошел резкий провал напряжения на шинах примерно на 10%, активная мощность СД при этом снизилась до нуля, а реактивная (отдаваемая) мощность немного возросла.

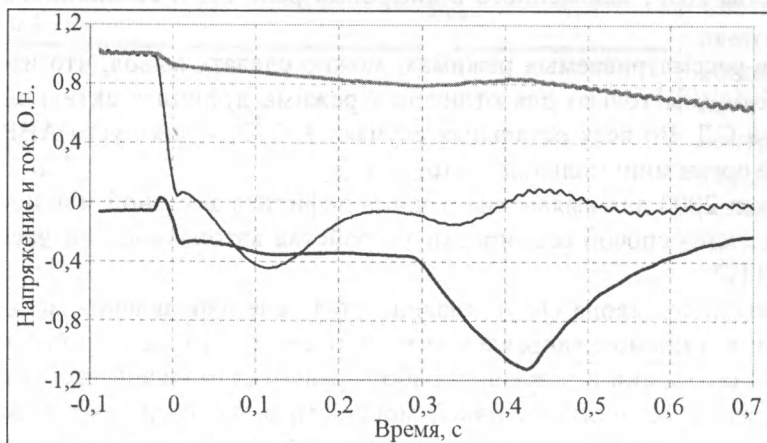


Рис. 4. Напряжение на шинах и активная и реактивная составляющие мощности синхронного двигателя при выбеге

В процессе выбега двигателей напряжение постепенно снижается, а реактивная мощность растет. В момент времени 0,3 с от начала выбега напряжение снизилось до значения  $0,8U_{ном}$  и автоматика возбуждательного устройства включила форсировку возбуждения СД. Это вызвало рост напряжения и реактивной мощности СД. Однако через 0,13 с при частоте вращения около 44,5 Гц напряжение и реактивная мощность стали снижаться с большой скоростью. С набросом реактивной нагрузки произошло ускоренное торможение СД, а следовательно, и затухание кинетической энергии двигателей.

Кроме того, ток возбуждательного устройства, питающегося от пониженного напряжения, стал резко снижаться, что и вызвало дальнейшее снижение отдаваемой мощности СД и в итоге – отключение двигателей от защиты минимального напряжения.

Активная мощность СД изменяется по более сложному закону. В первоначальный момент времени после отключения питания за счет инерционности электрических машин активные составляющие мощностей двигателей снижаются до нуля. Затем через 0,15 с происходит рост обратной (отдаваемой) активной мощности СД в течение примерно 0,1 с, потом снова ее снижение почти до нуля – так периодически происходят колебания обратной активной мощности. Эти колебания можно объяснить переходными электромеханическими процессами обмена энергией между выбегающими СД и АД, а также аperiodической составляющей тока в начале процесса. Постоянные времена агрегатов двигатель-механизм различны для СД и АД, поэтому торможение двигателей при совместном их выбеге происходит по разному. Максимум («горб») активной мощности свидетельствует о синхронизации выбега асинхронного и синхронного двигателей в этот промежуток времени. Форсировка возбуждения СД также вносит дополнительные колебания активной мощности. При этом отмечается даже кратковременное изменение знака активной мощности (момент  $t = 0,4 \dots 0,5$  с на рис. 4).

В литературе [2, 3] при описании совместного выбега асинхронного и синхронного двигателей предполагается, что синхронный двигатель, переходя в генераторный режим, подпитывает своим током асинхронный. Однако результаты проведенных экспериментов и последующего моделирования показывают, что данное утверждение справедливо только для реактивной составляющей тока. Активная же составляющая тока имеет колебательный характер с периодичностью, равной разности угловых частот СД и АД, причем эта величина зависит от соотношения мощностей выбегающих двигателей, их постоянных времени и коэффициентов загрузки агрегатов.

Таким образом, измерительный орган направления активной мощности (ИО<sub>р</sub>) в реле СД в таких условиях будет периодически срабатывать и возвращаться, а учитывая, что согласно алгоритму ресинхронизации сигнал от ИО<sub>р</sub> должен быть непрерывным в течение времени не менее 0,3...0,5 с, необходимый для срабатывания выходного реле времени ресинхронизации, то в данном узле нагрузки произойдет отказ в срабатывании устройства АВР. На табло цифрового реле секционного выключателя в этом случае высвечивает информация «отказ ресинхронизации». При совместном выбеге СД и сторонней нагрузки, питающейся через трансформаторы 6/0,4 кВ, АВР, как правило, срабатывает, но со значительной задержкой во времени.

В работе с целью ускорения АВР и повышения надежности предлагается усовершенствовать алгоритм ресинхронизации СД следующим образом.



Рис. 5. Характеристика срабатывания предлагаемого ИО<sub>р</sub>

В идеале было бы правильно изменить характеристику срабатывания измерительного органа направления активной мощности в цифровых реле СД и привести ее к виду, показанному на рис. 5, т.е. применить ИО<sub>р</sub> направления прямой (потребляемой), а не обратной, активной мощности СД с повышенной зоной нечувствительности, равной  $P_{\min} = 0,1 \dots 0,2 P_{\text{ном.СД}}$ . Цель – при малых значениях активной мощности или при ее колебаниях ИО<sub>р</sub> будет устойчиво (непрерывно) находиться в зоне несрабатывания (возврата). При этом сигнал с выхода ИО<sub>р</sub> будет соответствовать логическому 0.

Для того, чтобы алгоритм ПО АВР в дальнейшем не нарушился, рекомендуется этот сигнал логического 0 инвертировать в логическую 1 с помощью дополнительно включенного элемента НЕ. В этом случае логическая 1, разрешающая срабатывания ПО АВР, будет подаваться при снижении активной мощности от  $+P_{\min}$  до  $-P$ , т.е. при выбеге СД. Предлагаемый ИО<sub>р</sub> также будет находиться в несрабатанном (разрешающем) состоянии при подпитке КЗ от СД.

В режиме дефицита активной мощности в энергосистеме ИО<sub>р</sub> будет находиться в срабатанном состоянии, поскольку СД потребляет активную мощность, значительно превышающую  $P_{\min}$ . В этом случае с элемента НЕ будет поступать логический 0, который заблокирует работу ПО АВР.

Предлагаемая схема формирования знака активной (потребляемой) мощности в реле СД приведена на рис. 6. Для исключения ложного срабатывания ИО<sub>р</sub> при отключении выключателя СД в схему, кроме того, введен логический элемент И, на один из входов которого подается сигнал, соответствующий положению выключателя СД. Информация о положении выключателя имеется в существующем цифровом реле СД.



Рис. 6. Предлагаемая схема формирования выходного сигнала ИО<sub>р</sub> в реле СД

Данное предложение предполагает изменение программного обеспечения измерительного органа ИО<sub>р</sub> в цифровых реле СД, но для пользователя оно недоступно (только для фирмы производителя), кроме случая, если для изменения знака активной мощности в меню реле СД имеется *status* параметра *ввод* или *отходящий фидер*, как у функции F541 (код 32Q). В то же время реле Sepam 2000 относится к свободно программируемому устройству, но только в логической части реле и при наличии специального программатора, который имеется у компании-наладчика этих реле. Таким образом, в условиях эксплуатации с помощью наладчиков можно перепрограммировать выходную логику цифровых реле.

В этой связи предлагается второй вариант изменения алгоритма ресинхронизации (он хуже первого). Измерительный орган ИО<sub>р</sub> оставить такой же, как он есть в реле СД, и дополнительно к нему включить расширитель импульсов, который после первого срабатывания ИО<sub>р</sub> выдает непрерывный импульс в ПО АВР в течение времени примерно 1 с, достаточного для формирования выходного сигнала ресинхронизации СД. Расширитель можно выполнить в виде стандартного элемента временной задержки при возврате.

Схема второго варианта совершенствования функции ресинхронизации СД приведена на рис. 7.

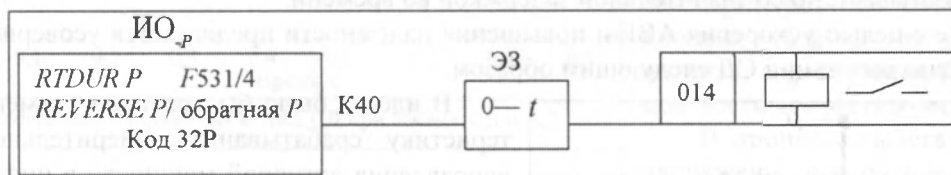


Рис. 7. Схема формирования выходного сигнала ИО<sub>р</sub> цифрового реле-фидера СД

Новым элементом в этой схеме является элемент задержки на возврат (ЭЗ). Запрограммировать дополнительно элемент ЭЗ в цифровое реле СД не представляет сложности, поскольку точно такой же элемент временной задержки применяется в существующей логической части формирования выходного сигнала ресинхронизации в цифровом реле секционного выключателя.

Для отстройки от кратковременных помех в существующем ИО<sub>р</sub> имеется собственная выдержка времени на срабатывание, которая регулируется в реле СД и должна быть выставлена минимальной, равной 0,1 с.

## Литература

1. Слодарж М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. – М.: Энергия, 1977.
2. Гамзин С.И., Садыкбеков Т.А. Переходные процессы в системах электроснабжения с электродвигательной нагрузкой. – Алма-Ата: Гылым, 1991.
3. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Баранов А.Г., Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Комплексный датчик потери питания синхронной двигательной нагрузки // Сборник научных работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС 2002», Минск, 2003, с. 363 – 366.

Поступила 16 июля 2008 г.



---

# THE PERFECTION OF RE-POWERING FUNCTION OF SYNCHRONOUS MOTOR ALGORITHM IN DIGITAL PROTECTION RELAY SEPAM 2000

V.V. Kurganov, O.P. Kapturov, Yu.V. Kryshnev, A. G. Baranov

---

The article is concerned of reliability of re-powering high voltage synchronous motors by the Sepam 2000 function with prior rotor field discharge.

The fact reveals the power loss of synchronous motor according to the motor, according to the synchronization algorithm is determined by reducing of voltage and active power reverse on synchronous motor. But the exploitation experience of such a relay in «Gomeltransoil» plant shows if load consist of asynchronous and synchronous motors the failure of resynchronization function is often occurs.

The experimental research and modeling of transient processes shows that reasons of the failures was a measurement element of active power backspacing due to the oscillatory process of active power flow between asynchronous and synchronous motor. There are two variants of the perfection of re-powering function. One of the variant is to change proposed characteristic of operation, the other one is to change the logical part of relay with addition of return delay element.