

К ВОПРОСУ О РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

НЕБОЛЮБОВ Ю. Е.

Доцент, кандидат технических наук

В настоящей статье даны некоторые соображения, касающиеся развития релейной защиты синхронных компенсаторов.

Схемы защиты компенсаторов выполняются в настоящее время так же, как для генераторов и двигателей, и тем самым не учитываются некоторые особенности работы этих машин и схемы коммутации их. Здесь следует иметь в виду наличие пусковых устройств и возможность выпадения компенсаторов из синхронизма.

В журнальной литературе последних лет появились статьи, касающиеся изменения защиты компенсаторов от сверхтоков, но типовые схемы дифференциальной защиты не подвергались обсуждению. Совершенно не рассматривался также вопрос о создании специальной защиты компенсаторов от потери синхронизма.

Продольная дифференциальная защита с циркулирующими токами выполняется по схеме рис. 1. При этом в зону защиты входит один компенсатор без пускового устройства. Мощность автотрансформаторов в современных пусковых схемах достигает значительной величины и, например, для компенсатора 7,5 мва она составляет 2800 ква.

Развитие междупазовых повреждений в пусковом устройстве может привести к длительной остановке компенсатора.

Вполне понятно, что зона продольной дифференциальной защиты должна быть изменена с таким расчетом, чтобы в нее вошло все пусковое устройство. Для этой цели необходимо перенести трансформаторы тока 1, установленные на выводах (рис. 1), разместив их до масляного выключателя ВМ-1, а нулевые точки компенсатора и автотрансформатора объединить

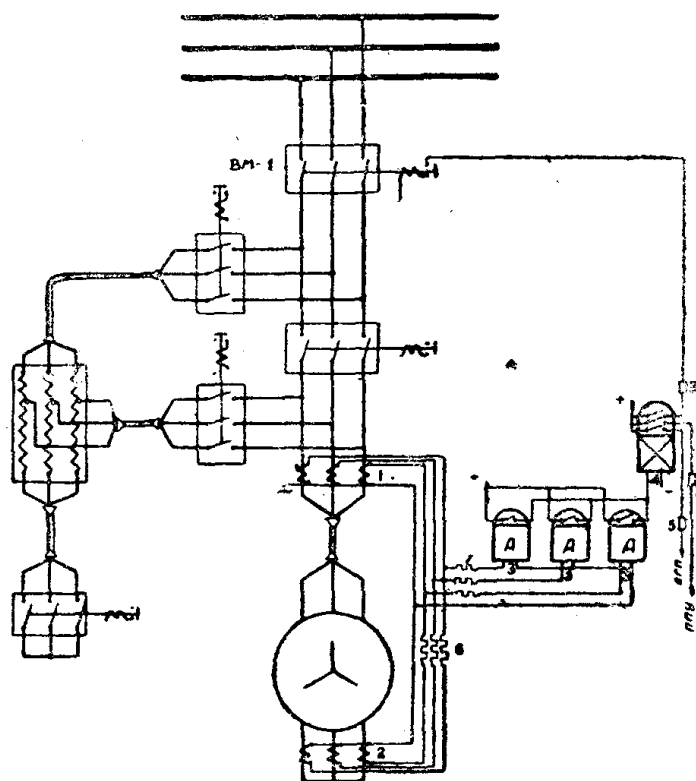


Рис. 1

(рис. 2). При междофазовых коротких замыканиях в автотрансформаторе и соединительных кабелях дифференциальная защита мгновенно выключит компенсатор.

Подобные схемы с объединением нулевых точек можно встретить у синхронных двигателей, но в литературе отсутствуют указания на применение их для синхронных компенсаторов.

Пуск компенсатора через автотрансформатор сопровождается появлением токов неустановившегося режима в обмотке статора. Эти токи значительно превышают номинальный ток машины. Согласно материалам по

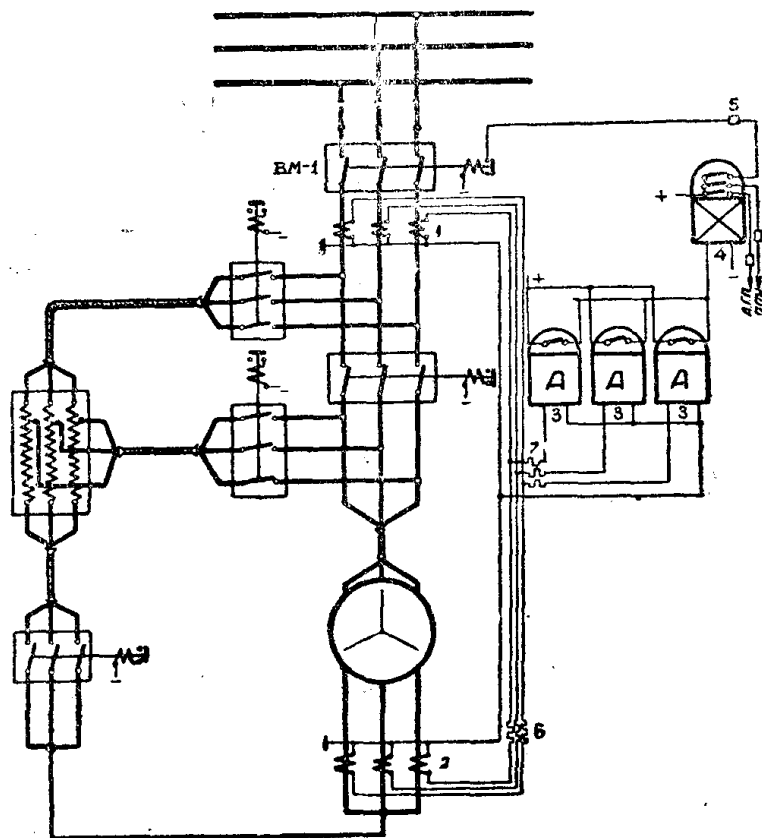


Рис. 2

испытанию синхронного компенсатора завода „Электросила“ 7,5 мва, 6 кв, пиковый толчок тока в случае включения компенсатора на разность напряжений сети и машины составляет 1550 А при номинальном токе машины 722 А.

Пусковые токи, безусловно, увеличат ток небаланса в цепи дифференциальной защиты. Точно учесть изменение тока небаланса чрезвычайно трудно, но есть все основания предполагать, что он не достигнет значения тока трогания защиты и не произведет неселективного отключения компенсатора. Поэтому нет смысла угрублять защиту, и уставку тока трогания можно оставить без изменения ($i_{рт} = 1-2$ А).

Переходя к вопросу релейной защиты компенсаторов от потери синхронизма, следует отметить, что выпадение их из синхронизма и переход в устойчивый асинхронный режим является вполне реальным [1], несмотря на известную возможность самосинхронизации (втягивания в синхронизм) при определенных соотношениях параметров системы.

Асинхронный режим компенсаторов опасен по целому ряду причин. Во-первых, в обмотке статора, в демпферных контурах и в обмотке возбуждения протекают значительные токи, которые могут вызвать недопу-

стимый перегрев этих обмоток и нарушить тепловой режим машины. Во-вторых, вследствие меняющихся значений мощности компенсатора за период скольжения асинхронного режима появляются опасные механические пульсирующие усилия. В-третьих, в случае неправильной работы автомата гашения поля или разрыва цепи возбуждения, напряжение на зажимах обмотки возбуждения при больших скольжениях может достичь значительной величины. Наконец, в-четвертых, если мощность компенсатора велика, то качания, возникающие в момент нарушения его нормального режима работы, могут привести к возникновению качаний близко расположенных станций и выпадению их из синхронизма.

Все существующие защиты не будут четко реагировать на появление асинхронного режима. Защита минимального напряжения может работать тогда, когда асинхронный режим вызван резким снижением напряжения системы, но не повреждением цепи возбуждения машины.

В некоторых случаях не исключена возможность действия защиты от сверхтоков. Для этого необходимо, чтобы ток и напряжение достигли значений, достаточных для трогания реле. Однако напряжение на зажимах компенсатора при асинхронном режиме не всегда может снизиться до значения уставки трогания реле минимального напряжения и защита откажет в действии. Это может иметь место при малых скольжениях устойчивого асинхронного режима, когда ток в обмотке статора незначительно превышает номинальный ток машины.

Таким образом, все приведенные соображения приводят к мысли о создании специальной защиты синхронных компенсаторов от выпадения из синхронизма, которая должна отключать от сети компенсаторы, перешедшие в устойчивый асинхронный режим. Такую схему защиты можно осуществить на токовом принципе, используя индуктированный переменный ток, появляющийся в обмотке возбуждения в рассматриваемом случае.

Если компенсатор находится в синхронизме, то в обмотке возбуждения протекает только постоянный ток. С возникновением асинхронного режима в этой обмотке появляется переменный ток, имеющий частоту скольжения. Этот переменный ток можно отфильтровать с помощью трансформатора тока, у которого первичная обмотка включена в цепь обмотки возбуждения, а во второй обмотке присоединено электромагнитное токовое реле (рис. 3).

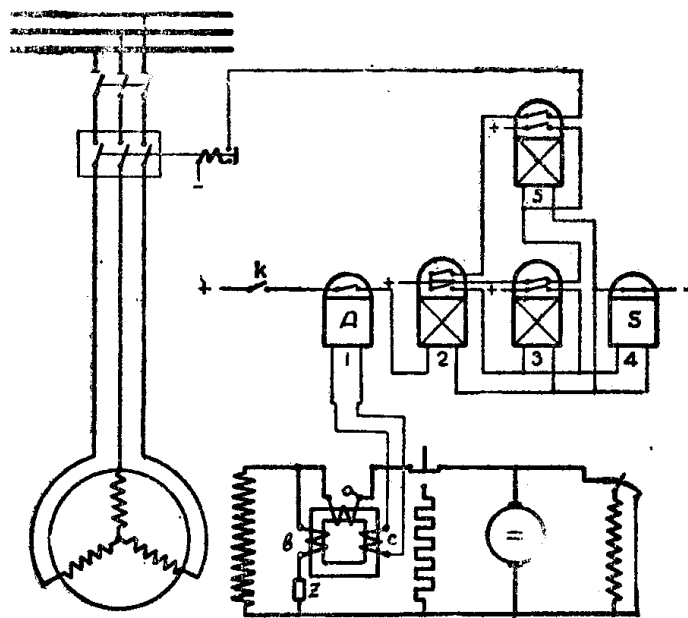


Рис. 3

В схеме указан специальный трехобмоточный трансформатор тока [2], устраняющий сильное насыщение сердечника и возможность неправильного действия реле при процессах регулирования возбуждения компенсатора. Обмотки а и б (рис. 3) имеют одинаковое число витков и включены так, что при нормальных условиях и при любых изменениях напряжения в сердечнике нет никакого потока.

Последовательно с обмоткой *b* включено полное сопротивление *z*, обобщающее цепи этой обмотки такую же постоянную времени, как и у обмотки возбуждения компенсатора (цепь *a*). При асинхронном режиме электродвижущая сила, индуктированная в обмотке возбуждения, создает токи в обмотках *a* и *b*, ампервитки которых сложатся. В сердечнике возникнет поток, и реле, присоединенное к обмотке *c*, сработает.

Кроме того, в схему защиты входят три промежуточные реле (2, 3, 5) и реле времени (4). Промежуточное реле (2) имеет три пары контактов: одна пара контактов действует на размыкание, а две другие пары — на замыкание цепи оперативного тока. Промежуточные реле (3 и 5) имеют по два нормально разомкнутых контакта. Реле времени (4) предусмотрено для снятия оперативного тока по истечении времени 5—10 секунд и обеспечивает возврат схемы в исходное положение.

Назначение промежуточных реле становится ясным из анализа работы защиты. Если представить характер изменения переменного тока во вторичной обмотке трансформатора тока в соответствии с рис. 4, то токовое

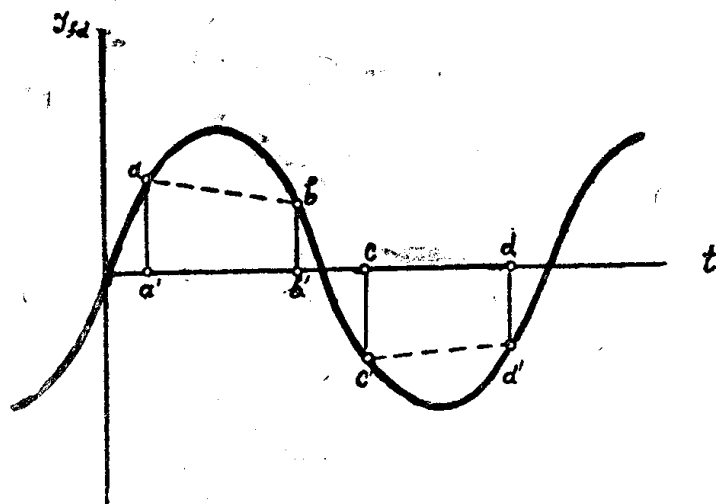


Рис. 4

реле (1) будет работать при достижении током значений, отмеченных ординатами *aa'* и *cc'*, соответствующих току трогания. Период кривой переменного тока определяется величиной скольжения *s*, очевидно, чем больше скольжение, тем медленнее нарастает и убывает ток в течение одной четверти периода и тем медленнее реле (1) замыкает и размыкает свои контакты.

Схема защиты работает в следующей последовательности. Если ток в реле (1) достигнет величины *aa'*, равной уставке тока трогания

(рис. 4), то замкнется контакт этого реле и оперативный ток будет подведен к промежуточным реле (2), (3) и к реле времени (4). Реле (2), (3) действуют мгновенно и реле (3), имеющее цепь самоблокировки, надежно удерживается во включенном положении.

Когда переменный ток снизится до значения, определяемого ординатой *bb'*, соответствующей току возврата, реле (1) разомкнет свой контакт, а промежуточное реле (2) вернется в исходное положение. При этом средний контакт реле (2) размыкается, но цепь включения промежуточного реле (5) уже подготовлена для дальнейшей работы схемы защиты.

При дальнейшем изменении переменный ток снова достигнет значения тока трогания (ордината *cc'*) и реле (1) опять замкнет контакт. Вслед за этим включается реле (2) и реле (5), имеющее самоблокировку.

В тот же момент оперативный ток попадает в катушку отключения главного масляного выключателя и синхронный компенсатор отключается от сети.

Таким образом, рассматриваемая схема защиты обеспечивает отключение от сети компенсатора, потерявшего синхронизм, и дает возможность машине втянуться в синхронизм. В самом деле, когда компенсатор имеет возможность втянуться в синхронизм в первом цикле асинхронного режима, схема защиты обеспечивает необходимую для этого выдержку времени и не производит мгновенного отключения.

Выдержка времени определяется частотой скольжения и собственным временем действия реле (2), (3) и (5), а продолжительность первого цикла асинхронного режима определяется часто весьма незначительным временем и будет меньше выдержки времени защиты.

При незначительном отклонении числа оборотов машины от синхронного, защита также не должна действовать, потому что ток в реле (1) не достигнет значения тока трогания реле, выбираемого из условия стационарного асинхронного режима. Тем самым исключается возможность ложного отключения компенсаторов от сети.

Основные требования ко всем защитам: простота схемы, надежность, быстрота действия, чувствительность и селективность действия полностью удовлетворяются рассмотренной схемой защиты компенсаторов от выпадения из синхронизма.

В состав схемы защиты входит один пусковой орган—обычное максимальное токовое реле типа ЭТ-60 или РЭ-100, три промежуточных реле типа ЭП-240 или РП-2 и реле времени ЭВ-182.

Вся аппаратура и цепи оперативного постоянного тока отличаются простотой.

Простота схемы обеспечивает ее надежность, так как чем меньше элементов, тем надежнее схема.

При правильном выборе тока трогания защита должна иметь достаточную чувствительность и будет реагировать на сравнительно небольшой индуктированный ток асинхронного режима.

Селективность действия защиты характеризуется тем, что она реагирует только на асинхронный режим компенсаторов.

В случае симметричных и несимметричных коротких замыканий в сети в обмотке возбуждения также появятся индуктированные переменные токи, связанные с протеканием процесса повреждения. Однако компенсатор не будет отключен от сети, потому что переменная составляющая тока в цепи возбуждения будет изменяться в этом случае с частотой 50—100 Hz и подвижная система токового реле (1) не сможет замыкать и размыкать контакты реле в соответствии с изменением тока.

Защита от потери синхронизма должна выводиться из действия при асинхронном запуске компенсаторов для того, чтобы исключить возможность ненужного отключения машины в период ее разворота до синхронной скорости. С этой целью плюс оперативного тока следует пропустить через контактор ручного управления (К) или через блок-шайбы главного масляного выключателя.

Рассмотренная схема защиты компенсаторов была испытана в лабораторных условиях и при различных скольжениях показала четкость действия.

Расчет защиты компенсаторов от потери синхронизма

Токовое реле защиты (рис. 3) должно реагировать на переменную составляющую тока в обмотке возбуждения при стационарном асинхронном режиме. Этот переменный ток (I_{fd}) соответствует среднему скольжению (s) установившегося асинхронного режима, определяемому с учетом конкретных условий работы компенсатора в системе [1]. С некоторым допущением можно считать скольжение (s) для возможных случаев возникновения асинхронного режима компенсаторов равным 0,05—0,1 и использовать эти значения в расчете защиты.

Определение тока I_{fd} производится методом, основанным на теории Park'a (см. статью автора в настоящем сборнике „Построение асинхронных характеристик компенсаторов“).

Для сокращения вычислений тока I_{fd} можно внести ряд упрощений в расчет и воспользоваться обобщенными средними значениями реактивно-

стей и сопротивлений, входящих в формулы Park'a. В результате упрощений, сводящихся к пренебрежению малозначимыми членами, получим.

1) Операторные сопротивления в комплексном выражении:

$$x_d(js) = x_d - j0,2,$$

$$x_q(js) = x_q - j0,1,$$

где s — принятое в расчете скольжение установившегося асинхронного режима компенсатора; x_d и x_q — синхронные реактансы компенсатора по продольной и поперечной оси.

2) Продольная составляющая тока статора в асинхронном режиме

$$i_d = \frac{jx_q(js) - \frac{0,01}{1-s}}{2x_d(js)}.$$

3) Индуктированный переменный ток в обмотке возбуждения

$$I_{fd}^* = \frac{(-s^2 0,2 + js 0,06) i_d}{-s^2 0,2 + js 0,1}.$$

Ток I_{fd}^* получен здесь в относительных единицах и численно равен току возбуждения I_f , выраженному в долях тока возбуждения I_{fk} , дающего нормальный ток в статоре при трехфазном коротком замыкании

$$I_{fd}^* = \frac{I_f}{I_{fk}}.$$

В свою очередь, имеет место соотношение: $\frac{I_{fk}}{I_{fo}} = x_{afd}$, где I_{fo} — ток возбуждения (в амперах) при холостом ходе и нормальном напряжении компенсатора (по данным каталога); $x_{afd} = (0,6-0,8)$ — взаимная реактивность статорной обмотки и обмотки возбуждения по продольной оси. Тогда ток I_{fd} в амперах

$$I_{fd} = I_f = I_{fk} \cdot I_{fd}^*.$$

Эффективное значение полного тока в обмотке возбуждения при асинхронном режиме компенсатора с учетом постоянной слагающей

$$I_{\text{эф}} = \sqrt{\left(\frac{I_{fd}}{\sqrt{2}}\right)^2 + I_{fn}^2}.$$

По действующему значению тока в цепи возбуждения ($I_{\text{эф}}$) выбирается трансформатор тока защиты.

Ток трогания электромагнитного реле вычисляется по известному соотношению

$$i_{\text{рт}} = k_n \frac{I_{fd}}{n_T},$$

где $k_n = (0,6-0,7)$ — коэффициент надежности; n_T — коэффициент трансформации трансформатора тока. Погрешность трансформатора тока при работе в области низких частот скольжения возрастет, но введением коэффициента надежности это увеличение погрешности компенсируется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев С. А. и Жданов П. С. — „Устойчивость синхронных компенсаторов“ (Бюллетень ВЭИ № 5, 1941).
2. Пинес Н. М. — „Защита генераторов от выпадения из синхронизма“ (Сборник трудов КИИ № 2, 1937).