

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ЗАКОРАЧИВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ФАЗ ЛИНИЙ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ДУГОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

И. Д. Кутявин, Н. В. Лисецкий, К. К. Рязанцев

Широкое применение быстродействующих релейных защит в сочетании с АПВ или ОАПВ для электрических сетей современных электрических систем явилось наиболее эффективным средством увеличения надежности электроснабжения потребителей. Однако данный способ увеличения надежности работы систем может быть применен далеко не во всех случаях. Затруднения возникают при применении его на линиях, связывающих отдельные станции на параллельную работу, из-за необходимости контроля синхронизма. Большие затруднения возникают также в тех случаях, когда минимально достижимое время цикла АПВ или ОАПВ является недопустимым по условиям устойчивости параллельной работы станций в системе. Эти затруднения возникают сейчас и еще чаще будут возникать в будущем с ростом мощности электрических систем и с объединением их между собой. Это будет происходить, несмотря на то, что современные воздушные выключатели при применении АПВ или ОАПВ позволяют сократить время ликвидации аварий до 0,2—0,3 сек при 110 кВ и до 0,3—0,4 сек при 220 кВ [1 и 2]. В связи с этим необходима дальнейшая работа над увеличением быстроты действия как релейной защиты, так и высоковольтных выключателей.

Однако дальнейшее сокращение времени действия отдельных устройств, участвующих в ликвидации аварий с применением АПВ, на каждую следующую сотую долю секунды будет требовать все больше и больше усилий. Поэтому необходимо сделать попытку достичь значительного сокращения времени ликвидации аварий в электрических системах при помощи новых способов. Одним из этих способов, по нашему мнению, может явиться шунтирование дуги, образовавшейся при однофазном или двухфазном замыкании на землю в воздушной линии или на сборных шинах подстанции, при помощи специальных устройств, которые можно назвать коротчителями. Этот способ может найти применение в сетях с глухим заземлением нейтралей (и с заземлением нейтралей через малоомное сопротивление) и заключается в следующем. В точках питания данного напряжения (например, на сборных шинах повысительных подстанций) устанавливаются коротчители, которые управляются защитой минимального напряжения мгновенного действия. При возникновении в сети однополюсного или двухполюсного короткого замыкания на землю защита минимального напряжения включает коротчители в точках питания на время, необходимое для угасания дуги. Защита сети от двухполюсных коротких замыканий, не сопровождающихся замыканием на землю, и от трехполюсных возлагается на резервную защиту, действующую на выключатели поврежденного участка.

Шунтировка дуги должна производиться не позднее одного — трех полупериодов после возникновения короткого замыкания и должна снижать ток в месте повреждения до такой величины, при которой электрическая дуга становится неустойчивой и способна быстро погаснуть. Исследования В. В. Бургсдорфа [3] показали, что открытая дуга становится неустойчивой и быстро погасает при токах до 150 а. Этот ток, ве-

роятно, и следовало бы принимать во внимание при выборе степени шунтирования дуги, пока не будут получены более точные значения критического тока в дуге с учетом весьма кратковременного протекания через нее полного тока короткого замыкания.

Выше указывалось, что коротители должны начинать шунтировку электрической дуги в течение одного — трех полупериодов после возникновения короткого замыкания. Это требование основывается на том, что, во-первых, только при такой скорости действия релейной защиты и коротителя можно существенно снизить время ликвидации аварий и, следовательно, увеличить надежность работы электрических систем и, во-вторых, чем меньше время протекания полного тока короткого замыкания через дугу, тем она будет менее устойчива при шунтировке и быстрее погаснет. В качестве коротителей можно было бы использовать, например, воздушные выключатели высокого напряжения типа ВВ, включая их по схеме рис. 1, а. Однако время цикла шунтирования и время работы защиты составляет в этом случае не менее 0,4—0,5 сек., т. е. больше, чем время ликвидации аварии при использовании АПВ с этим же выключателем.

Более совершенные коротители можно получить с применением ионных приборов, включенных по схеме рис. 1, б, которая в настоящее время

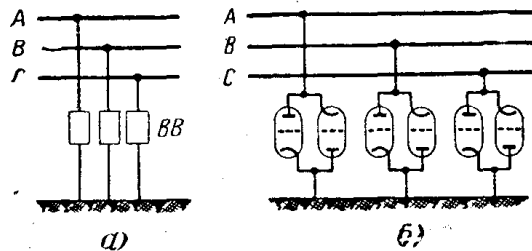


Рис. 1.

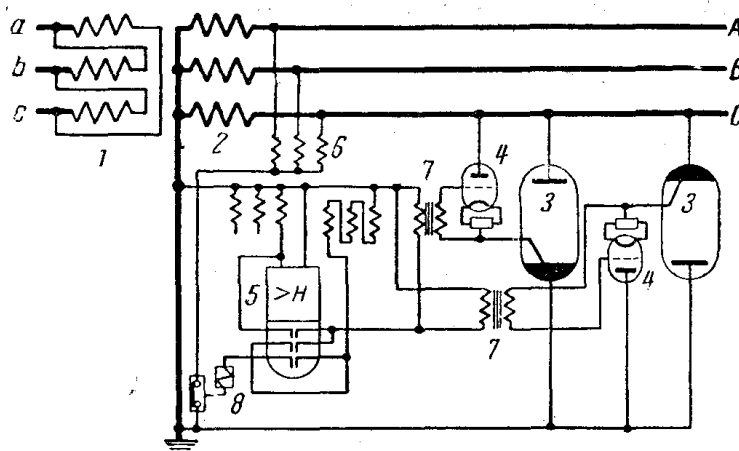


Рис. 2.

не может быть осуществлена из-за отсутствия в производстве мощных ионных приборов на высокое напряжение.

На рис. 2 приведена одна из возможных схем шунтирования дуги при помощи ионного коротителя, выполненная на одной фазе с приборами на среднее напряжение. На этой схеме цифрами 1 и 2 обозначены основные обмотки силового трансформатора, состоящего из трех однофазных. Ионный коротитель подключен к вспомогательной обмотке трансформатора, рассчитанной на кратковременное протекание тока. Такое подключение коротителя может быть применено тогда, когда защищенная сеть питается в данной точке от одного повышающего трансформатора или эта сеть состоит из одной или двух параллельных линий, соединенных в блок с генераторами и повышающими трансформаторами. Однако ионные коротители могут быть подключены к любой точке сети через специальные однофазные трансформаторы или через вспомогательные обмотки компенсирующих дросселей.

В лаборатории электрических станций Томского политехнического института был испытан однофазный ионный коротитель, выполненный

по рис. 2 и питающийся непосредственно от лабораторного генератора с напряжением 450 в.

Показанный на рис. 2 коротитель состоит из двух игнитронов 3 типа ВГ-100/1000, включенных встречно-параллельно. При работе обоих игнитронов нижняя фаза почти накоротко соединяется с нулевым проводом или заземлением, так как внутреннее падение напряжения игнитронов составляет всего 12—15 в.

Зажигание игнитронов осуществляется от тиратронов 4, управляемых при помощи реле минимального напряжения 5, которое питается от вторичной обмотки специального трансформатора напряжения 6.

При нормальном режиме работы на сетки тиратронов подаются от трансформатора напряжения (через вспомогательные трансформаторы 7) соответствующие фазные напряжения, сдвинутые относительно

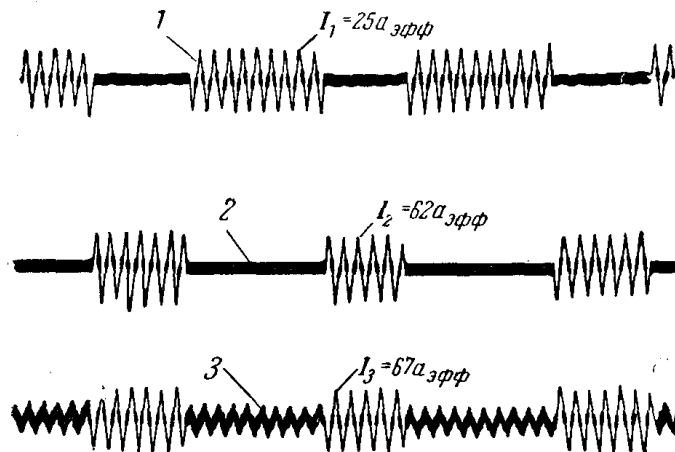


Рис. 3.

напряжений на их анодах на угол 180° , поэтому тиратроны не работают. В случае замыкания на землю какой-либо фазы первичной цепи происходит резкое снижение одноименного фазного напряжения на вспомогательной обмотке, питающей коротитель. В результате этого срабатывает реле минимального напряжения 5 (если $U_p \leq U_{ср}$), которое снимает с сеток тиратронов данной фазы запирающее напряжение и

подает на них отпирающее от обмоток трансформатора напряжения, включенных в фильтр нулевой последовательности. Это напряжение находится в фазе с напряжением на анодах тиратронов и немедленно вызывает их работу, а следовательно, и работу игнитронов.

Как видно из схемы рис. 2, реле минимального напряжения подает также управляющий импульс на однополюсный контактор 8, который отключается и прекращает работу коротителя на время, несколько превышающее выдержку времени резервной релейной защиты линии, и затем снова включается, в результате чего вся схема возвращается в исходное положение.

На рис. 3 приведена осциллограмма работы коротителя, выполненного по схеме рис. 2. Кривая 1 этой осциллограммы представляет шунтируемый ток короткого замыкания, кривая 2 — ток, протекающий через коротитель, и кривая 3 — суммарный ток цепи. Эта осциллограмма была снята при устойчивом коротком замыкании в цепи и при искусственной периодической работе коротителя. Как видно из рис. 3, коротитель почти полностью шунтирует ток в цепи короткого замыкания.

При защите линии или сети при помощи рассмотренной схемы полный ток короткого замыкания будет протекать через дугу, образовавшуюся в месте пробоя изоляции, в течение времени, необходимого для срабатывания реле минимального напряжения. Это время не превышает 0,01—0,02 сек. Однако если запирающие напряжения, подаваемые на сетки тиратронов, выпрямить, то возможно исключить из схемы и это реле минимального напряжения. Тогда работа коротителя будет начинаться одновременно с возникновением короткого замыкания. В результате этого ствол дуги не успеет сформироваться, и поэтому дуга, вероятно, может быть погашена через несколько полупериодов после возникновения короткого замыкания.

Питание коротителя от вспомогательной обмотки трансформаторов или компенсирующих дросселей, наконец, специальных трансформато-

ров позволяет применить игнитроны на любое напряжение. Мощность вспомогательной обмотки (или специального трансформатора) может быть невелика, так как при нормальном режиме они не обтекаются током, а в период работы коротителя нагружаются током короткого замыкания в течение нескольких полупериодов.

В качестве основных приборов коротителя были применены игнитроны потому, что они, по литературным данным, допускают 20—100-кратный ток кратковременной перегрузки. Таким образом, номинальная мощность ионных приборов коротителей сети данного напряжения может быть в 20—100 раз меньше мощности короткого замыкания, протекающей по данной цепи.

Однако использование ионных приборов на среднее напряжение делает коротители громоздкими и малопригодными. Большого внимания в этом отношении заслуживают дуговые вентили Маркса, которые могут быть изготовлены на номинальное напряжение линии и на полную мощность короткого замыкания.

Быстрый износ анодов этих выпрямителей не будет препятствовать их применению в коротителях, так как они будут работать весьма кратковременно.

Было проведено предварительное опробование в качестве коротителей дросселей насыщения. Это опробование показало, что дроссельные коротители возможно будут иметь несколько большее сопротивление, чем ионные, но зато они могут оказаться более дешевыми и доступными. Основные характеристики дроссельных коротителей пока не выявлены, но установлено, что компенсирующие дроссели линий передачи, имеющие воздушный зазор, не могут быть использованы в качестве коротителей.

Затем была выявлена возможность использования подмагничивания главных силовых трансформаторов, которое оказалось весьма эффективным и может составить конкуренцию ионному коротителю.

Для проведения этого опыта была изготовлена модель однофазного трансформатора с броневым расщепленным сердечником, половины которого в случае возникновения короткого замыкания за трансформатором подмагничивались постоянным током в противоположных направлениях. В результате этого наибольшая доля тока короткого замыкания протекала через ветвь намагничивания трансформатора.

Схема опыта с подмагничиванием трансформатора показана на рис. 4, а соответствующая осциллограмма — на рис. 5.

Сопротивление Z_1 в схеме рис. 4 имитировало сопротивление цепи генератора и первичной обмотки трансформатора, а сопротивление Z_2 — сопротивление вторичной цепи до места короткого замыкания.

Кривая 1 осциллограммы рис. 5 представляет ток короткого замыкания, кривая 2 — ток подмагничивания и кривая 3 — суммарный пер-

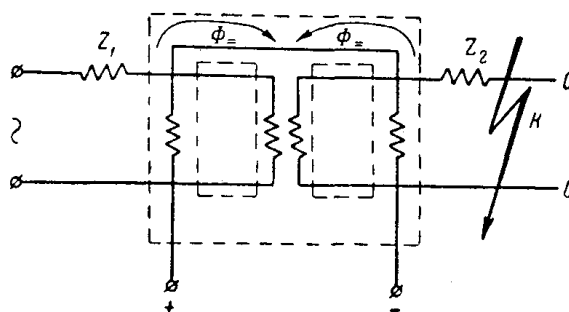


Рис. 4.

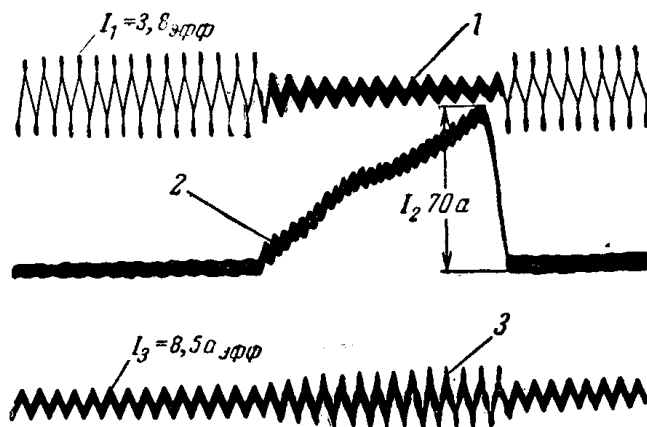


Рис. 5.

вичный ток. Ток подмагничивания получался от шунтовой динамомашины путем включения ее на обмотку подмагничивания с малым сопротивлением, поэтому у динамомашины происходил сброс возбуждения, этим и объясняется такая форма кривой тока подмагничивания.

Использование сброса возбуждения динамомашин для прекращения протекания тока подмагничивания избавляло от необходимости выключать этот ток.

Интересно здесь отметить, что ток подмагничивания нарастает достаточно быстро, в результате этого шунтировка тока короткого замыкания наступает практически одновременно с включением цепи подмагничивания. Большая скорость нарастания тока подмагничивания, полученная в опыте, не является случайной. Нарастание тока подмагничивания форсируется намагничивающей силой переменного тока, поэтому можно ожидать, что процесс подмагничивания будет оказывать эффект столь же быстро и в реальных схемах.

Несколько неудачной оказалась кривая тока подмагничивания. Желательно, чтобы эта кривая была прямоугольной формы и ток подмагничивания продолжался бы не более 5—10 периодов.

Подмагничивание главных трансформаторов может найти применение, в первую очередь, в блочных передачах, состоящих из последовательно соединенных генераторов, повышающих трансформаторов, линий передачи и понижающих трансформаторов. Однополюсные и двухполюсные замыкания на землю в линии передачи такого блока будут ликвидироваться со скоростью до 0,1—0,2 сек путем подмагничивания главных трансформаторов, а всякие другие повреждения — отключением блока на приемном конце и повторным включением его методом самосинхронизации. В таких блоках не потребуется устанавливать выключатели по концам высоковольтной линии.

Крупным недостатком использования подмагничиваемых дроссельных коротителей или основных трансформаторов является то, что для глубокого насыщения стали сердечника может потребоваться большая мощность постоянного тока. Однако этот вопрос на данной стадии разработки темы пока совершенно не ясен.

Литература

1. Цейров Е. М., Воздушные выключатели на 110 и 154 кв конструкции ВЭИ, «Вестник электропромышленности», 1950, № 10.
2. Афанасьев В. В. и Макарова Н. А., Воздушный выключатель на 220 кв, 1000 а, 5000 мквч типа ВВ-220, «Вестник электропромышленности», 1954, № 6.
3. Бургсдорф В. В., Открытые электрические дуги большой мощности, «Электричество», 1948, № 10.