СИНХРОННАЯ КОММУТАЦИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

АВТОР:

Р.Н. ШУЛЬГА, К.Т.Н.,
ВЭИ — ФИЛИАЛ ФГУП
«РФЯЦ-ВНИИТФ
ИМ. АКАД.
Е.И. ЗАБАБАХИНА»

Синхронная коммутация батарей конденсаторов наиболее распространена во всем мире. Такая коммутация весьма эффективна в использовании за счет снижения примерно на порядок импульсного тока разряда конденсаторов.

Ключевые слова: синхронная коммутация; батарея конденсаторов; вакуумная дугогасительная камера; вакуумный управляемый разрядник; гибридный генераторный выключатель.

Современный высоковольтный выключатель

ВВЕДЕНИЕ

Сетевые выключатели продолжают успешно выпускаться в нашей стране, хотя и ограничены током отключения 63 кА и напряжением преимущественно до 500 кВ для элегазовых выключателей. Диапазон сетевых выключателей на напряжения до 35–110 кВ безусловно принадлежит вакуумным выключателям, которые вытеснили масляные и воздушные выключатели по массогабаритным показателям, надежности, быстродействию и условиям эксплуатации. В указанном диапазоне вакуумные выключатели имеют очевидные преимущества и перед элегазовыми выключателями в части экологических показателей, простоты и быстродействия, хотя и страдают наличием повторных отключений при малых токах и в ряде применений. Необходимость разработки сетевых выключателей на токи выше 63 кА, связанная с увеличением мощности электрических сетей и токов короткого замыкания (КЗ) в мегаполисах, заставляет искать новые нетрадиционные решения в части сетевых выключателей. При этом идея реализации синхронизируемых (управляемых) выключателей, впервые предложенная Л.Г. Клепарской [5], стала определяющей для широкой гаммы выключателей при коммутации батарей конденсаторов (БК), шунтирующих реакторов, силовых трансформаторов и генераторных выключателей (ГВ).

В статье рассмотрены вопросы реализации схемотехники синхронных (управляемых) выключателей для коммутации БК и ГВ с учетом опыта наработок ВЭИ. Синхронная коммутация БК наиболее распространена в России и мире, дает очевидные эффекты применения за счет снижения импульсного тока разряда конденсаторов примерно на порядок, а применительно к ГВ затруднена из-за большой массы ГВ, инертности привода, наличия апериодической составляющей и разброса фаз при несимметричных режимах работы ГВ. Вопросы традиционных решений в части реализации контактных, дугогасительных устройств и резистивной шунтировки в статье не рассматриваются, так же как и реализация приводов и систем их управления. В качестве средств реализации показано применение вакуумной техники в виде вакуумных дугогасительных камер (ВДК), вакуумных управляемых разрядников (РВУ), тиристорных коммутаторов, модульных принципов построения выключателей с использованием как вакуумных, так и элегазовых выключателей для создания гибридных генераторных выключателей (ГГВ).

СИНХРОННАЯ (УПРАВЛЯЕМАЯ) КОММУТАЦИЯ БК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВДК И РВУ

Синхронная (управляемая) коммутация БК за прошедшие четверть века стала наиболее действенным средством ограничения перенапряжений и токов включения при их коммутации. По данным СИГРЭ [15], к началу века из общего числа установленных в мире управляемых выключателей (2500 шт.) 67 % предназначалось для коммутации БК, 17 % — для коммутации шунтирующих реакторов, 17 % — для включения силовых трансформаторов, 2 % — для включения линий электропередачи без больших бросков тока и перенапряжений. К настоящему времени число таких выключателей существенно выросло. Например, фирма ABB за 25 лет поставила на международный рынок более 1000 подобных устройств. Для управляемой коммутации должны использоваться приводы с пофазным управлением либо комбинация электромеханических выключателей с тиристорными ключами или РВУ.

Условия работы синхронных выключателей для БК формируют требования к их реализации [14, 17]. Разбежка срабатывания фаз не должна превышать ±1 мс, что для существующих приводов практически недостижимо в условиях эксплуатационных и температурных воздействий. При указанном допуске относительно включения в нуле напряжения уровни воздействий не превышают номинальных значений тока и напряжения, однако для исключения переходного режима точность коммутации должна быть сопоставима со значением порядка 0,1 мс. Следует иметь в виду, что сопротивление замкнутых контактов вакуумных и элегазовых выключателей составляет десятки микроом, в то время как для тиристоров оно на один–два порядка выше, что приводит к повышенным потерям, особенно в сетях среднего и высокого напряжения, и ограничивает применение тиристорных коммутаторов.

В нормальных режимах работы тиристоров с БК уровень перенапряжений не превышает 2 о. е., а при сбое в системе управления или при повторяющихся пробоях изоляции уровень перенапряжений при отключении может достигать 3–4 о. е. Указанные требования существенно удорожают тиристорные коммутаторы, которые в установках прямой или косвенной коммутации редко применяются в сетях среднего и высокого напряжения. Для применения в указанных сетях ранее требовалась установка выключателей на класс выше номинального напряжения, а в настоящее время возможно применение

комбинированных выключателей в виде сочетания электромеханических ключей, которые зашунтированы РВУ, или тиристорных ключей. При включении БК в трехфазной цепи ток определяется реактивными сопротивлениями фаз и при их равенстве и одновременности замыкания контактов выключателя не зависит от способа заземления нейтрали. При отключении, после гашения дуги в одном из полюсов выключателя (как правило, дуга гаснет при переходе тока через ноль), схема становится несимметричной, и процессы коммутации в сетях с изолированной и заземленной нейтралью протекают по-разному.

В сетях с заземленной нейтралью обычно емкости между фазами пренебрежимо малы по сравнению с емкостями каждой секции БК. Поэтому можно считать, что при включении каждая фаза действует независимо от двух других фаз и нет существенных различий с рассмотренным выше однофазным случаем. В сетях с изолированной нейтралью возможно повышение межфазного напряжения вследствие переходных процессов при разновременном замыкании контактов [2]. Так, при включении БК в трехфазной цепи после замыкания первого полюса ток пренебрежимо мал до тех пор, пока не замкнется второй полюс. В этом случае возможно возникновение высокого межфазного напряжения и, как следствие, появление больших бросков тока.

В сетях с изолированной нейтралью отключение первой фазы приводит к возникновению напряжения на емкости в этой фазе. В результате под воздействием двух оставшихся проводящих фаз возрастет напряжение на нейтрали, к которой присоединена эта емкость. Если неодновременность отключения полюсов превышает четверть периода, то восстанавливающееся на выключателе напряжение может превышать 2,5 о. е. (2,5 pu). На рис. 1 показан наихудший случай, когда восстанавливающееся напряжение достигает 4,1 о. е. (4,1 pu). Здесь сначала отключается фаза А, затем через 90° фаза В, и через 270° после А отключается фаза С. Второй пик восстанавливающегося напряжения на фазе А представляет меньшую опасность для выключателя, так как к этому времени межконтактный зазор уже существенно возрастет.

Для уменьшения уровня восстанавливающегося напряжения время задержки между размыканием полюсов коммутирующего устройства должно быть минимально.

Управляемая коммутация с использованием ВДК и РВУ позволяет использовать последний как для включения, так и для отключения с малым переходным током и напряжением [2]. Время включения и отключения РВУ не превышает 10 мкс. Если напряжение на ВДК составляет не менее 200 В, что обеспечивается наличием индуктивности в ее цепи, то при подаче соответствующей команды на коммутацию РВУ включается или отключается, причем разрядник шунтирует выключатель до тех пор пока его контакты не разойдутся полностью. После этого снимается управление с разрядника и он отключается в первом нуле тока. РВУ обеспечивает протекание номинального тока 0,1–10 кА длительностью 0,1 с и более. Диапазон рабочих напряжений достигает 35 кВ, а при последовательном включении — 110–220 кВ. Например, РВУ-31 на рабочее напряжение 10 кВ, ток 1 кА с напряжением поджига 6 кВ и током поджига 600 А позволяет осуществлять управляемую коммутацию БК в сочетании с ВДК с помощью комбинированного выключателя ВВУ–10–20/1000 УХЛ3, показанного на рис. 2.

По сравнению с другими схемами коммутаторов схема с РВУ выгодно отличается более простой конструкцией, высоким уровнем выдерживаемых напряжений, высокой коммутационной способностью по току и передаваемому заряду, стойкостью к аварийным перегрузкам, высокой надежностью и относительно низкой стоимостью. По сравнению с синхронным выключателем такая схема отличается более высокой точностью коммутации в заданной фазе сетевого напряжения и позволяет оставить существующий трехфазный привод, не изменяя его конструкцию.

Реализация экспериментальных и опытных образцов синхронных выключателей для коммутации БК на напряжения от 10 до 35 кВ отражена во многих исследованиях [см., напр., 8, 9, 12]. В зарубежной практике подобные выключатели нашли широкое применение вплоть до напряжений 500 кВ и выпускаются всеми ведущими фирмами.

На рис. 3 показано включение БК в сети 500 кВ при неконтролируемой коммутации вблизи максимума напряжения (рис. 3 а) и при использовании синхронной коммутации с помощью контроллера PWC 600 (изготовлен фирмой ABB) (рис. 3 б) [6]. Видно, что в первом случае бросок тока включения достигает 10 о. е., а во втором случае снижается до 2 о. е. Несмотря на выдачу сигнала управления с точностью 0,1 мс, разброс срабатывания приводов в каждом из трех полюсов по крайней мере на уровне 1 мс приводит к двухкратному броску тока, заметным гармоническим искажениям из-за высокочастотных колебаний переходного режима.

ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЕСЯ НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ НЕОДНОВРЕМЕННОМ РАЗМЫКАНИИ ПОЛЮСОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ БК

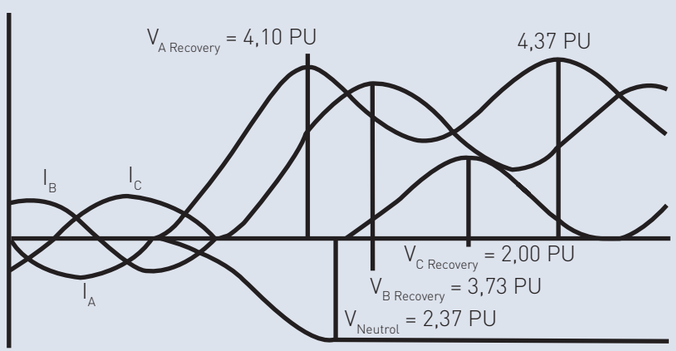


Рис. 1

СИНХРОННАЯ (УПРАВЛЯЕМАЯ) КОММУТАЦИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГВ

Более напряженная ситуация складывается по отношению к ГВ, которые выпускались в стране до 24 кВ на номинальные токи до 30 кА и токи отключения до 160 кА в виде воздушных и масляных выключателей, и в настоящее время заменяются на элегазовые и вакуумные ГВ преимущественно импортного исполнения (ABB, Siemens, GE). Выпуск реакторных блоков и синхронных генераторов для АЭС мощностью свыше 1000 МВт и наличие зарубежных санкций на поставку оборудования для АЭС заставляют искать новые нетрадиционные решения в части разработки ГВ большой разрывной мощности, для которых в российских [4] и зарубежных стандартах [16, 18] сформулированы недостаточные требования, частично потом дополненные [13]. Для ГВ большой разрывной мощности приходится либо расщеплять токовые шины и сам ГВ на параллельные цепи (Ленинградская АЭС-2), либо использовать нетрадиционные решения, связанные с гибридизацией ГВ. В свою очередь, ГВ прошли большой путь в попытках реализации серийных образцов, причем наибольший эффект дала идея синхронной коммутации, которая, как мы уже отмечали, трудно реализуется в тра-

Рис. 2
Фотография экспериментального образца быстродействующего вакуумного выключателя ВВУ-10-20/1000 УХЛ3. Слева — ВДК, справа — РВУ-31, внизу — блок управления

ИЗ ГОСТ Р 52565–2006

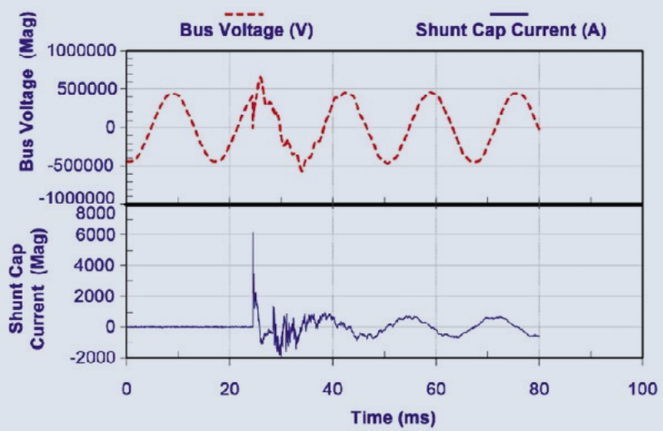
ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА НАПРЯЖЕНИЯ ОТ 3 ДО 750 КВ

ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

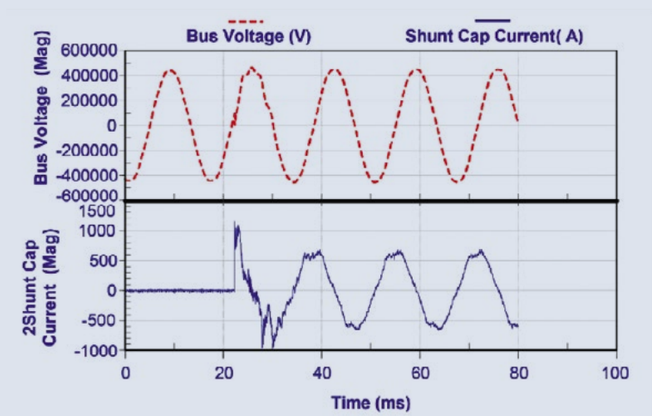
4. Классификация

4.1. Выключатели подразделяют по следующим основным признакам.
4.1.1. По роду установки для работы.
4.1.2. По принципу устройства (виды).
4.1.3. По размещению дугогасительного устройства.
4.1.4. По конструктивной связи между полюсами.
4.1.5. По функциональной связи между полюсами.
4.1.6. По виду привода в зависимости от рода энергии, используемой в процессе оперирования.
4.1.7. По характеру конструктивной связи выключателя с приводом.
4.1.8. По механической стойкости.
4.1.9. По наличию или отсутствию в дугогасительном устройстве шунтирующих резисторов.
4.1.10. По наличию или отсутствию шунтирующих конденсаторов.
4.1.11. По пригодности выключателя для работы при автоматическом повторном включении (АПВ).
4.1.12. По пригодности выключателя для коммутации конденсаторных батарей.
4.1.13. По пригодности выключателя для коммутации токов шунтирующих реакторов.

ВКЛЮЧЕНИЕ БК ПРИ НЕКОНТРОЛИРУЕМОЙ КОММУТАЦИИ ВБЛИЗИ МАКСИМУМА НАПРЯЖЕНИЯ (А) И ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВА СИНХРОННОЙ КОММУТАЦИИ (Б)



а)



б)

Рис. 3

диционных ГВ из-за их большой массы, высокой мощности привода, его инерционности, разброса фаз в несимметричных режимах и наличия апериодической составляющей переходного тока отключения ГВ. Естественными требованиями для синхронной коммутации ГВ являются пополюсный привод, наличие устройства синхронизации (контроллера), увеличение средней скорости размыкания подвижных контактов, взаимодействие сигналов разрешения отключения от РЗА и контроллера (синхронизатора).

Если в ВЭИ на протяжении полувека сложился коллектив разработчиков и испытателей синхронных выключателей применительно к высоковольтным сетевым выключателям (Н.М. Чернышев, И.П. Щеглов, Г.С. Белкин, А.А. Перцев и др.), то во ВНИИВА и АО «Электроаппарат» (Санкт-Петербург) сложилась школа разработчиков, конструкторов, испытателей синхронных выключателей применительно к ГВ (В.В. Афанасьев, Н.М. Адоньев, А.И. Локш и др.). Изложенные в работе Н.М. Адоньева, В.В. Афанасьева и А.И. Локша подходы к реализации схемотехники ГВ актуальны до сих пор, хотя в основном были использованы для воздушных и масляных ГВ, которые вытеснены вакуумными и элегазовыми выключателями. В работе Н.М. Адоньева, В.В. Афанасьева и А.И. Локша описаны различные способы синхронизации: с отсчетом от базисного нуля на полупериод, подходящий для симметричных токов; на период с учетом апериодической составляющей тока; на малое время упреждения около 0,5 мс до нуля тока при аппроксимации линейной функцией (схема Н.М. Чернышева) с измерением тока и его производной, которая дает приемлемую погрешность даже при наличии апериодической составляющей, правда, на начальной части переходного тока (примерно пять периодов). Логика работы современных синхронизаторов такова: выбор фазы с переходом тока через ноль, отключение фазы, после погасания дуги в этой фазе происходит одновременное отключение тока двух других фаз при переходе в них тока через ноль.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОЛЮСА ВАКУУМНОГО ГВ

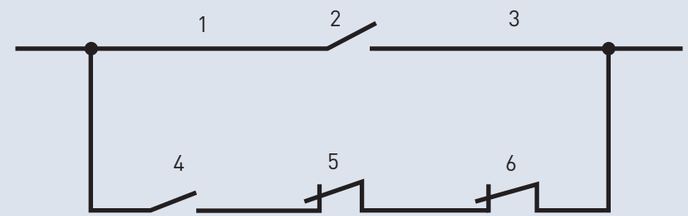


Рис. 4

Рассматриваемые в работе Н.М. Адоньева, В.В. Афанасьева и А.И. Локша способы не могут быть реализованы в традиционных схемах ГВ. Это связано с неспособностью синхронного выключателя справляться с отключением токов КЗ, не имеющих естественного перехода через нулевое значение. Возможным решением является создание устройств для получения большого напряжения на дуге, которые могут либо уменьшать ток до нуля, либо переключать отключаемый ток на шунтирующие резисторы, создавая тем самым более благоприятные условия для дугогашения.

Другим способом создания выключателей с большими токами отключения является разделение всего диапазона отключаемых выключателем токов на два поддиапазона. В первом поддиапазоне (нижнем по отключаемым токам) выключатель базируется на известных принципах дугогашения и обеспечивает выполнение нормированного числа операций. Во втором поддиапазоне (при превышении отключаемым током заданного значения) срабатывание происходит только один раз, причем к дугогасительному устройству в этом случае автоматически подключается блок разового действия, например, с предохранителями или взрывным устройством, что трудно осуществить с учетом многообразия возникающих в эксплуатации режимов при сохранении требований к надежности функционирования энергоснабжения потребителей.

Отключающая способность современных сильноточных ВДК доходит до 100 кА (имеются сообщения об отключении ВДК токов до 200 кА), номинальное напряжение до 20 кВ и номинальные токи до 2500–3000 А. Механический ресурс сильноточных ВДК составляет 10 тыс. циклов включения–отключения и более. Необходимо отметить, что масса подвижного контакта таких камер достигает 8–10 кг, что позволяет использовать их для синхронной коммутации. При горизонтальном расположении ВДК на подвижный контакт камеры действуют большие изгибающие усилия. В связи с этим сильноточные камеры целесообразно располагать в аппарате вертикально. Описываемые ниже конструкции вакуумных ГВ предназначены для встраивания в пофазно экранированные токопро-

ПРИМЕР ИМИТАЦИИ ОТКЛЮЧЕНИЯ ТОКА КЗ ГРУ НВЗ-80 (SIEMENS) ПРИ НАЛИЧИИ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОТКЛЮЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

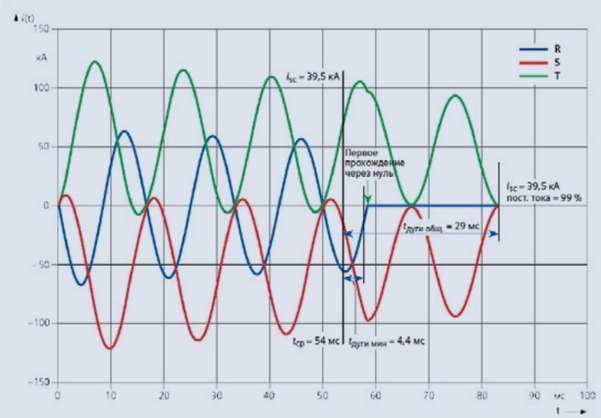


Рис. 5

ОДНОЛИНЕЙНАЯ СХЕМА ГГВ С ТИРИСТОРНЫМ КОММУТАТОРОМ

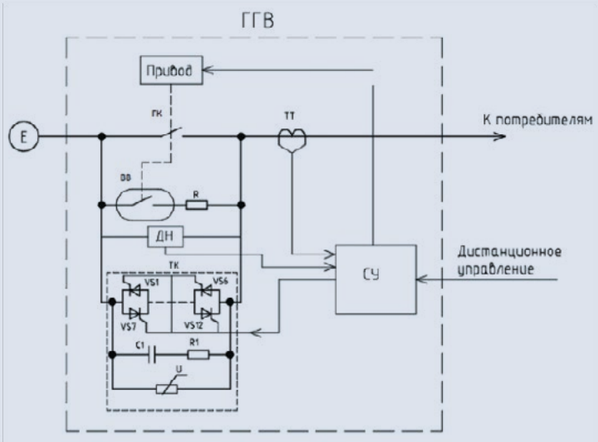


Рис. 6

Обозначения: ВВ — вакуумный выключатель; ГК — главные контакты; ТТ — трансформатор тока; ДН — датчик напряжения; C1, R1 — демпфирующие конденсатор и резистор; U — ограничитель перенапряжения ОПН; СУ — система управления

воды при естественном воздушном охлаждении [3].

ВАКУУМНЫЙ ГВ

Вакуумный ГВ предназначен для выполнения коммутационных операций в цепях агрегатов ГАЭС и пиковых ГЭС с оперативными токами и токами КЗ до 100 кА при частых коммутациях вплоть до 5–10 тыс. циклов соответственно отключения и включения. Выключатель может также использоваться на тепловых электростанциях с мощностью блоков до 300 МВт, рассчитан на номинальное напряжение 20 кВ и номинальный ток 16 кА. Предельный ток включения выключателя составляет 180 кА. В дугогасительной системе применена ВДК с Uном = 20 кВ, Iном = 1600 А и Io.ном = 100 кА, разработанная в ВЭИ. Вакуумный ГВ состоит из трех одинаковых полюсов и распределительного шкафа, который связывает между собой электрически и пневматически три полюса выключателя и соединяет их с магистралью сжатого воздуха. Полюс выключателя рассчитан на вертикальную установку. Габариты полюса таковы: высота

Рис. 7
Коммутатор тиристорный силовой трехфазный 10 кВ

1600 мм, длина 1520 мм, ширина 1200 мм. Функциональная электрическая схема полюса выключателя приведена на рис. 4. Главный токоведущий контур выключателя содержит два неподвижных токоведущих цилиндра 1, 2 и подвижный контакт 3. Дугогасительный контур состоит из последовательно соединенных розеточного контакта отделителя 4 и дугогасительных контактов двух последовательно соединенных ВДК 5, 6. Во включенном положении выключателя все контакты замкнуты, и основная часть тока протекает через контакты 1–3. Отключение выключателя происходит в несколько этапов. Сначала при отключении размыкается контакт 3, и весь ток переходит в дугогасительный контур 4–6. Затем размыкаются контакты ВДК 5, 6, и при первом переходе тока через ноль цепь обесточивается. Обесточенную цепь размыкает контакт отделителя 4, который и создает окончательный разрыв цепи выключателя. После отключения отделителя 4 контакты 5, 6 под действием пружин, установленных в приводах, возвращаются во включенное положение. Включение выключателя осуществляется контактом 3 главного токоведущего контура. Выполнение операций включения и отключения и приведенная выше последовательность работы отдельных узлов обеспечиваются пневматической системой полюса выключателя, что является недостатком конструкции в основном из-за отсутствия нужного уровня быстродействия пневматического привода.

Воздушные выключатели нагрузки и аппаратный комплекс КАГ-24 имеют достаточный ресурс для оперативных коммутаций и отключения токов нагрузки, но не предназначены для отключения сверхтоков КЗ. Их недостатки определяются низким быстродействием привода (до 0,2 с при включении), ограниченной пропускной способностью шунтирующих резисторов, большой массой главных контактов, расходящихся с недостаточной скоростью для синхронного отключения, недостаточной стойкостью в части переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН) для большой разрывной мощности современных ГВ. Противоречивые и взаимоисключающие требования к ГВ заставляют разделить процесс отключения тока на три этапа: протекание номинального тока через главные контакты с низким сопротивлением (до 40–50 мкОм), перевод тока КЗ в дугогасительное устройство с достаточным падением напряжения на дуге и, наконец, перевод тока на третий контур тиристорным коммутатором или РВУ, которые должны быть заперты спустя полупериод при первом переходе тока через ноль и выдержать ПВН с высокой скоростью нарастания. Логика работы ГВ при использовании трех параллельно соединенных ВДК при отключении тока трехфазного КЗ с помощью ГРУ НВЗ–80 (Siemens) на ток отключения 80 кА, напряжение 24 кВ при наличии апериодической составляющей на уровне 99 % показана на рис. 5.

ГГВ С ТИРИСТОРНЫМ КОММУТАТОРОМ

За основу ГГВ с тиристорным коммутатором может быть принята схема, состоящая из главных контактов, вакуумного выключателя, токоограничивающего резистора (R) и трехфазного силового тиристорного коммутатора, системы управления, привода. Однолинейная схема ГГВ показана на рис. 6. Привод должен иметь как ручное (не показано), так и дистанционное управление. ГГВ должен содержать также разъединители, заземлители и другие вспомогательные устройства, которые не показаны.

ОДНОЛИНЕЙНАЯ СХЕМА ГГВ С ВАКУУМНЫМ КОММУТАТОРОМ

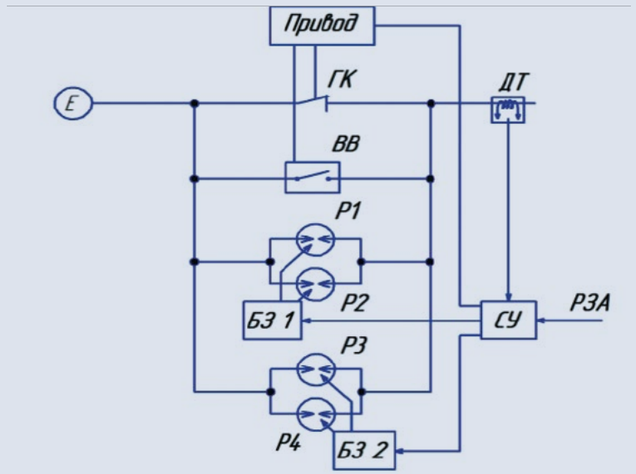


Рис.8

Обозначения: E — генератор электрической энергии; ГК — главные контакты; ВВ — вакуумный выключатель; P — вакуумный управляемый разрядник; БЗ — блок запуска; ДТ — датчик тока; СУ — система управления ГГВ; РЗА — релейная защита и автоматика

Указанная схема была предложена НПО РИФ (Санкт-Петербург) [7] и использована для сравнительного анализа на первом этапе разработки ГГВ. Недостатками применения тиристорного коммутатора в составе ГГВ являются высокая стоимость тиристоров, сложности деления тока по параллельным ветвям тиристоров, необходимость применения делительных цепочек при последовательном соединении тиристоров, разнотипность используемых компонентов в составе ГГВ.

На рис. 7 приведено изображение трехфазного тиристорного коммутатора 10 кВ, который вместе с системой управления может служить прототипом тиристорного коммутатора для ГГВ при увеличении числа последовательно-параллельно включенных тиристоров. Величина ограничивающего сопротивления будет определяться компромиссом между мощностью резистора и допустимым значением тока КЗ на выходе электронного генератора.

ГГВ С РВУ

Для разработки ГГВ более целесообразна замена тиристорных коммутаторов на вакуумные коммутаторы в виде РВУ, которые гораздо дешевле тиристорных, имеют более высокую пропускную способность и проверены на функционирование в составе быстродействующих токоограничителей 35 и 110 кВ.

Для реализации макета ГГВ используется вакуумный коммутатор на основе РВУ-57. Однолинейная схема ГГВ приведена на рис. 8 и отличается

от схемы на рис. 6 наличием сдвоенного комплекта РВУ [15]. Прототипом вакуумного выключателя по-прежнему является ВДК [5]. Ожидается, что меньшая стоимость и большая пропускная способность вакуумного коммутатора по сравнению с тиристорным коммутатором обеспечат преимущества применения схемы, приведенной на рис. 8, в которой уже нет проблемы деления токов между ветвями тиристоров.

На рис. 9 приведен макет на основе вакуумных управляемых разрядников и блоков запуска, указанных на рис. 8, который прошел апробацию в составе высоковольтного быстродействующего коммутатора 35 и 110 кВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены вопросы реализации схемотехники синхронных (управляемых) выключателей для коммутации БК и ГВ с учетом опыта их наработки в ВЭИ. Синхронная коммутация БК наиболее распространена в России и в мире, дает очевидные эффекты применения путем снижения импульсного тока разряда конденсаторов примерно на порядок. Синхронная коммутация ГВ затруднена большой массой контактов ГВ особенно для токов на десятки килоампер, инертностью привода, а также наличием апериодической составляющей и разбросом фаз при несимметричных режимах работы ГВ. В качестве средств реализации рассмотрено применение вакуумной техники в виде ВДК, РВУ, тиристорных коммутаторов, модульных принципов построения выключателей с использованием как вакуумных, так и элегазовых выключателей для создания ГГВ. В ГГВ предусмотрена реализация трех контуров: первого — с главными контактами низкого сопротивления для протекания номинального тока, второго — с ВДК для создания значительного падения напряжения

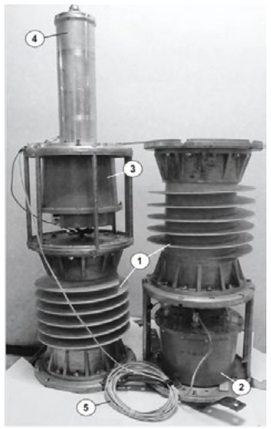


Рис. 9
Макет на основе вакуумных управляемых разрядников и блоков запуска

Обозначения: 1 — изоляционная оболочка, в которой расположены вакуумные управляемые разрядники, 2, 3 — блоки запуска; 4 — цилиндр, в котором расположен коаксиальный измерительный шунт; 5 — оптоволоконный кабель

на дуге, третьего с РВУ — для запирания при первом переходе тока через ноль и выдерживании переходного восстанавливающегося напряжении с высокой скоростью восстановления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адоньев Н.М., Афанасьев В.В., Локш А.И. Генераторные выключатели и аппаратные комплексы высокого напряжения. СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение, 1992.
2. Алферов Д.Ф., Иванов В.П., Сидоров В.А. Управляемые вакуумные разрядники: основные свойства и применение//Электро. 2002. № 2. С. 31–37.
3. Белкин Г.С., Перцев А.А., Рыльская Л.А. Перспективы разработки вакуумного выключателя для применения в цепях генераторов//VII Симпозиум «Электротехника 2010». Т. 2, 1.12. С. 34–39.
4. ГОСТ Р 52565–2006. Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Общие технические условия.
5. Клепарская Л.Г. Синхронизированные выключатели. М.: Энергия, 1973.
6. Краячич А.В., Сушок Ю.В., Страдомский А.Ю. Актуальные вопросы развития устройств синхронной коммутации//Доклад на XXIV Международной научно-технической конференции ТРАВЭК. Москва, 29.11.2016.
7. Рубашев Г.Н., Аптекарь Д.И., Чиканков Д.В., Федосеев В.К., Гончаров И.К. Тиристорное токоограничивающее устройство для сетей 6, 10 кВ переменного напряжения//Электротехника. № 1/02. С. 10–13.
8. Шульга Р.Н., Иванов В.П., Лавринович В.А. Перенапряжения и токи включения конденсаторных батарей и способы их ограничения//НРЭ. № 1. С. 25–57.
9. Шульга Р.Н., Иванов В.П., Лавринович В.А. Управляемая коммутация конденсаторных батарей//XXVII Международная научно-техническая конференция ТРАВЕК «Перспективы развития электроэнергетики и высоковольтного электротехнического оборудования». Москва, 7–8 ноября 2018 г.
10. Шульга Р.Н., Лавринович В.А., Иванов В.П., Сидоров В.А., Смирнова Т.С. Исследования и разработка гибридного генераторного выключателя//Энергия единой сети. 2019. № 3 (45). С. 63–72.
11. Шульга Р.Н., Лавринович В.А., Иванов В.П., Сидоров В.А., Смирнова Т.С. Разработка гибридного генераторного выключателя для АЭС//Электричество. 2020. № 9. С. 17–22.
12. Шульга Р.Н. Новые защитно-коммутационные аппараты переменного и постоянного тока// Электричество. 2019. № 3. С. 24–31.
13. Шульга Р.Н., Смирнова Т.С., Глушков Д.А. Стандарты и коммутационные испытания генераторных выключателей//Энергия единой сети. 2020. № 6 (49). С. 56–64.
14. Andersen E., Bernerid S., Lidahl S. Syncronous energing of shunt reactors and shunt capacitors// CIGRE Rep. # 13–12, Paris, 1988.
15. CIGRE WG 13.07. Controlled switching of HVAC circuit breaker: planning, specification and testing of controlled switching systems// ELECTRA. 2001. N 197.
16. IEC/IEEE 62271–37–013. High Voltage Alternating Current-Breakers.
17. Switching of capacitive currents//Draft prepared by CIGRE WG 13.04, May 1993.
18. Technical Application Paper. N 22: Medium voltage generator circuit-breaker, [Electronic resource]: https://www.library. e.abb. com/public/2017.03/pdf (date of the application 05.09.2019).

БЕСПИЛОТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЭП: БЫСТРО, ВЫГОДНО, ЭФФЕКТИВНО

На правах рекламы

В целях сокращения рисков возникновения аварийных ситуаций и обеспечения надежного электроснабжения потребителей необходимо выполнять периодический мониторинг линий электропередач (ЛЭП).

Наряду с привычным натурным обследованием активное применение находит обследование с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Так, осенью 2019 г. специалисты ГК «Геоскан» выполнили обследование с помощью БПЛА 110 км ЛЭП АО «Дальневосточная Распределительная Сетевая Компания «ХЭС». После аэрофотосъемки и ее фотограмметрической обработки был получен массив пространственных данных, в том числе трехмерные модели проводов. Это позволило оценить состояние ЛЭП в части определения параметров и характеристик воздушных линий и древесно-кустарниковой растительности в пределах охранной зоны.

Работа с помощью БПЛА заняла 4 дня против 14 дней натурного обследования, а стоимость оказалась в 2 раза ниже. И если стоимость натурного обследования напрямую зависит от района работ, то стоимость обследования с БПЛА остается постоянной.

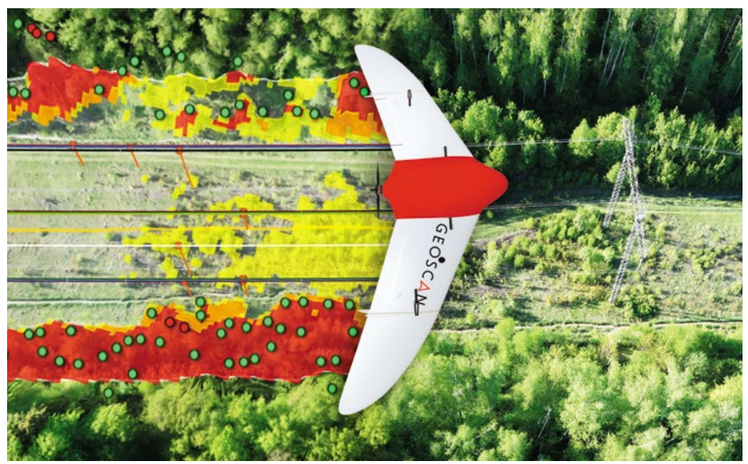
Обследование с БПЛА по точности не уступает натурному, а в некоторых случаях даже превосходит его. Например, при расчете расстояния между опорами ЛЭП погрешность данных с БПЛА составляет менее 10 см, тогда как ручные GPS-приемники могут дать погрешность до 5 м.

Группа компаний «Геоскан» с 2016 года выполняет работы по воздушному обследованию высоковольтных ЛЭП с применением уникальных беспилотных технологий собственной разработки. Компания выполняла мониторинг ЛЭП для «Россети ФСК ЕЭС» и других энергетических компаний. Общая протяженность обследованных ВЛ — более 20 тыс. погонных километров.

Мониторинг ЛЭП с помощью БПЛА — самый эффективный и экономически выгодный способ получения полной информации о состоянии электростанций, ЛЭП, теплотрасс и других объектов энергетической инфраструктуры.

GEOSCAN

ГК «Геоскан»
www.geoscan.aero
8 800 333-84-77
+7 (812) 363-33-87
info@geoscan.aero

СПРАВКА О КОМПАНИИ

«Геоскан» — российский разработчик и производитель беспилотных летательных аппаратов, а также ПО для фотограмметрической обработки данных и трехмерной визуализации. Это единственная в мире компания, владеющая полным циклом технологий по созданию БПЛА для аэрофотосъемки и геологоразведки. «Геоскан» первым в мире решил задачу по автоматическому созданию 3D-модели объекта по серии разноракурсных фотографий. Его продукция сейчас поставляется в 140 стран.