

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ	10
1.1. Выключатели в энергосистемах и их номинальные параметры	10
1.2. Отключение коротких замыканий.....	22
1.3. Переходное восстанавливающееся напряжение	24
1.4. Предельная отключающая способность	30
1.5. Электродинамическая и термическая стойкость	33
1.6. Номинальные циклы операций. Коммутационный ресурс	34
1.7. Время отключения. Собственное время включения. Критические токи	36
1.8. Отключение малых емкостных и индуктивных токов	39
1.9. Генераторные выключатели переменного тока высокого напряжения	41
2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА ОТКЛЮЧЕНИЯ В ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ	47
2.1. Основные принципы гашения электрической дуги отключения высокого напряжения.....	47
2.2. Характеристики электрической дуги отключения	51
2.3. Взаимодействие электрической дуги отключения с изоляционными элементами дугогасительных устройств.....	67
3. ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ.....	71
3.1. Номинальные параметры воздушных выключателей высокого напряжения	71
3.2. Характеристики сжатого воздуха применительно к использованию в дугогасительных устройствах	74
3.3. Характеристики воздушных дугогасительных устройств	77
3.4. Системы управления воздушными выключателями высокого напряжения	81
4. ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ.....	85
4.1. Номинальные параметры элегазовых выключателей высокого напряжения	85

4.2. Характеристики элегаза и его смесей применительно к использованию в дугогасительных устройствах	91
4.3. Динамические характеристики элегазовых дугогасительных устройств	99
4.4. Использование сопротивлений и емкостей в элегазовых выключателях	108
4.5. Контактные системы элегазовых выключателей	114
4.6. Элегазовые генераторные выключатели в комплексах аппаратно-генераторных	119
5. МАСЛЯНЫЕ И МАЛОМАСЛЯНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	123
5.1. Номинальные параметры масляных и маломасляных выключателей высокого напряжения	123
5.2. Характеристики масел применительно к использованию в дугогасительных устройствах	127
5.3. Динамические характеристики масляных и маломасляных дугогасительных устройств	129
6. ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	134
6.1. Номинальные параметры вакуумных выключателей высокого напряжения	134
6.2. Характеристики вакуумных дугогасительных устройств	138
6.3. Контактные системы вакуумных дугогасительных устройств	143
6.4. Вакуумные генераторные выключатели в комплексах аппаратно-генераторных	144
7. ПРИВОДНЫЕ УСТРОЙСТВА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	148
7.1. Общие положения	148
7.2. Электромагнитные приводные устройства	152
7.3. Пружинные приводные устройства	180
7.4. Пневматические приводные устройства	182
7.5. Гидравлические приводные устройства	191
8. ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	201
8.1. Методы организации проектирования	201
8.2. Постановка задачи поиска оптимальных решений при проектировании элементов выключателей переменного тока высокого напряжения	203
8.3. Поиск оптимальных решений при экспериментальных исследованиях и испытаниях выключателей переменного тока высокого напряжения	211

ПРИЛОЖЕНИЯ.....	215
Приложение 1. Нормированные параметры переходного восстанавливающегося напряжения и координации изоляции для выключателей переменного тока высокого напряжения.....	216
Приложение 2. Номинальные параметры элегазовых и вакуумных генераторных выключателей переменного тока высокого напряжения	226
Приложение 3. Восстановление напряжения на контактах дугогасительного устройства.....	230
Приложение 4. Модели и постоянная времени электрической дуги отключения	234
Приложение 5. Характеристики идеальных сплошных сред	243
Приложение 6. Термогазодинамические процессы в элементах выключателей переменного тока высокого напряжения	248
Приложение 7. Нестационарные газодинамические процессы в элементах выключателей переменного тока высокого напряжения	257
Приложение 8. Гидродинамические процессы в элементах выключателей переменного тока высокого напряжения.....	259
Приложение 9. Нестационарные гидродинамические процессы в элементах выключателей переменного тока высокого напряжения	261
Приложение 10. Примеры поиска оптимальных решений при проектировании элементов выключателей переменного тока высокого напряжения	264
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	274

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВВ — выключатель переменного тока высокого напряжения

ДУ — дугогасительное устройство выключателя переменного тока высокого напряжения

ГВ — генераторный выключатель переменного тока высокого напряжения

ЭВ — элегазовый выключатель переменного тока высокого напряжения

ВСВ — вакуумные выключатели переменного тока 6–10–35 кВ

ЕЭС — единая электроэнергетическая система России

ОРУ — открытое комплектное распределительное устройство

ЗРУ — закрытое комплектное распределительное устройство

КРУЭ — комплектное распределительное устройство элегазовое

КАГ — комплекс аппаратно-генераторный высокого напряжения

МЭК — Международная электротехническая комиссия (The International Electrotechnical Commission (IEC))

О — операция «отключение»

В — операция «включение»

ОВ — цикл операций «отключение — включение»

ВО — цикл операций «включение — отключение»

КЗ — короткое замыкание

НКЗ — неудаленное короткое замыкание

АПВ — автоматическое повторное включение

ПВН — переходное восстанавливающееся напряжение

СВН — линия сверхвысокого напряжения

ЛЭП — линия электропередачи высокого напряжения

ЕЭС — единая электроэнергетическая система России

ЭП — электромагнитный привод выключателя

ПП — пружинный привод выключателя

ПУ — пневматический привод выключателя

ГП — гидравлический привод выключателя

ЭМ — электромагнит постоянного тока

МС — магнитная система электромагнита постоянного тока

ПЭМ — поляризованный электромагнит

ИДМ — индукционно-динамический механизм

ЭС — электростанция

АЭС — атомная электростанция

ТСН — трансформатор собственных нужд

ГК — система главных контактов выключателя переменного тока высокого напряжения

ДК — система дугогасительных контактов выключателя переменного тока высокого напряжения

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития электроэнергетики предъявляет все более высокие требования к надежности и ресурсу коммутационного электроэнергетического оборудования, прежде всего к выключателям переменного тока высокого напряжения (ВВ).

ВВ предназначены для коммутации электрических сетей в нормальных и аварийных режимах и используются для формирования схем выдачи мощности от электростанций к потребителю, ее передачи на расстояние и управления энергетическими системами.

Отдаленность сырьевых источников России от промышленно развитых районов страны, технико-экономические критерии развития электроэнергетики, передачи и распределения мощностей диктуют необходимость повышения передаваемой мощности линий электропередачи, что требует увеличения номинального напряжения, номинального тока и номинального тока отключения ВВ для высоковольтных линий передачи на большие расстояния (линейные ВВ), повышения их надежности, ресурса (коммутационного и механического), постоянного совершенствования их элементной базы.

Рост мощностей генераторов электростанций (ЭС) вызывает необходимость постоянного развития и совершенствования генераторных выключателей, повышения их номинального тока и номинального тока отключения. Они предназначены для коммутации генераторных сетей в нормальных и аварийных режимах, для формирования схем и управления выдачи мощности от генератора к повышающему трансформатору в тепловых и гидроЭС, атомных ЭС, где необходимо обеспечить надежное электроснабжение собственных нужд ЭС, а также в гидроаккумулирующих ЭС, для частых коммутаций агрегатов с генерирующего режима на двигательный и наоборот. Так как многие современные проекты направлены на выработку электроэнергии из возобновляемых источников (активное внедрение ветряных, солнечных, приливных и тому подобных электростанций), то роль гидроаккумулирующих ЭС возрастает для обеспечения устойчивости и надежности электроснабжения потребителей, устойчивости региональных энергосистем.

Исследования, разработки и внедрение в эксплуатацию ВВ как силового коммутационного оборудования начались с масляных и маломасляных выключателей (1910–1950-е гг.), далее в эксплуатации появились более совершенные воздушные выключатели (1940–1960-е гг.), затем — вакуумные ВВ и элегазовые ВВ.

Значительный вклад в развитие отечественных ВВ, в теорию и практику их проектирования, внесли российские специалисты: на уровне лучших мировых образцов ВВ были разработаны масляные и маломасляные ВВ (Р. А. Бронштейн, В. Б. Гурвич, В. В. Каплан, В. М. Нашатырь, Н. В. Шилин); серия воздушных ВВ 110–750 кВ, 31,5 кА (1961–1963 гг.), 1150 кВ, 40 кА (1969 г.) и воздушных ВВ для генераторных сетей, Ю. И. Вишневский, Ю. А. Филиппов и др.); элегазовые ВВ для КРУЭ 1150 кВ (1980 г., И. М. Бортник, В. С. Чемерис и др.); элегазовые ВВ для КРУЭ 800 кВ, 50 кА с

двумя разрывами на фазу и элегазовые ВВ для генераторных сетей (2000 г., Ю. И. Вишневский, И. В. Бабкин). Успехи в разработках отечественных ВВ были связаны с результатами исследований гашения электрической дуги отключения А. М. Залесского, Г. А. Кукекова, Г. В. Буткевича, А. М. Бронштейна, И. С. Таева, контактных систем ВВ Ю. А. Филиппова, Г. С. Белкина, О. Б. Брона, экранированных и изоляционных систем ВВ Г. Н. Александрова, синтетических методов коммутационных испытаний ВВ В. В. Каплана, В. М. Нашатыря, М. М. Акодиса, Н. М. Чернышева, И. В. Бабкина и др.

Постоянный рост мощностей энергосистем и отдельных электроэнергетических установок вызывает необходимость постоянного развития и совершенствования ВВ.

Эксплуатационная надежность ВВ определяется не только техническим совершенством их конструкции и уровнем технологии, но и их рациональным выбором в соответствии с условиями эксплуатации, своевременным и качественным профилактическим обслуживанием в процессе работы.

Проблема эксплуатации ВВ обширна и многогранна. В энергосистемах России работают как отечественные ВВ 1970-х гг., так и современные последних поколений известных отечественных и зарубежных фирм.

Каждый ВВ имеет технические (номинальные) параметры (характеристики), инструкцию по монтажу и эксплуатации, поэтому только их перечень занял бы не один том. Имеются и многочисленные официальные документы, например ГОСТы России, рекомендации международной электротехнической комиссии (МЭК), а также инструкции по планированию технического обслуживания и ремонтов, приемки и допуска в эксплуатацию новых и модернизированных ВВ.

Из многочисленных видов коммутационного оборудования (выключатели, выключатели нагрузки, разъединители, заземлители и т. д.) в пособии рассмотрены ВВ как наиболее сложные и дорогостоящие коммутационные аппараты открытых и закрытых распределительных устройств (ОРУ и ЗРУ), элегазовых комплектных распределительных устройств (КРУЭ) и комплексов аппаратно-генераторных (КАГ).

Современные пакеты прикладных программ, наиболее известные из которых AnsysEmag (США), Flux 2D/3D (Франция), MagNet 2D/3D (Canada), Opera 2D/3D (Англия), Elcut (Россия) и т. д., разработанные для решения задач различной физической природы, в том числе и для расчетов элементов ВВ, значительно расширили возможности для интеллектуального творчества конструктора при проектировании элементов ВВ и поиска оптимальных решений. Однако их использование требует не только компетенции в использовании современных вычислительных средств, но и знаний по основным характеристикам и параметрам ВВ: понимание особенностей функционирования ВВ, технических требований содержащихся в техническом задании к ВВ, построения хода решения и экспертной оценки при выборе оптимальных параметров проектируемого ВВ (компетенции при анализе результатов численных и натурных испытаний ВВ и их элементов).

Основное внимание в пособии уделено анализу эксплуатационных требований к ВВ и их основных характеристик, методам и средствам обеспечения

повышения номинальных параметров ВВ, отключающей способности ВВ, механического и коммутационного ресурсов, базовым принципам совершенствования ВВ.

Автор будет благодарен за отзывы об учебном пособии, которые следует направлять по адресу: ООО «Издательство „Лань“» 196105, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 1 лит. «А».

1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

1.1. Выключатели в энергосистемах и их номинальные параметры

Эксплуатационные требования к ВВ определяются требованиями электроэнергосистемы к функционированию ВВ в конкретной точке электроэнергосистемы. В системе «Генерация, передача, распределение и потребление электроэнергии» (рис. 1.1) взаимосвязанное функционирование электростанций, подстанций, распределительных устройств, линий электропередачи, электроустройств потребителей невозможно без надежной работы ВВ (см. рис. 1.1, где ВВ различного назначения обозначены как Q_i , Q_c , Q_j , Q_k ; РЗ — устройства релейной защиты; ПА — устройства противоаварийной автоматики; ПК — паровые котлы; ГТС — гидротехнические сооружения; T_δ — турбины; G — генераторы; ЭП — потребители электрические; ЛЭП — линии электропередачи различных конструкций и напряжений; КУ — устройства продольной и поперечной компенсации; ИРМ — источники реактивной мощности (конденсаторные батареи); T — трансформаторы; ТСН — трансформатор собственных нужд [1]).

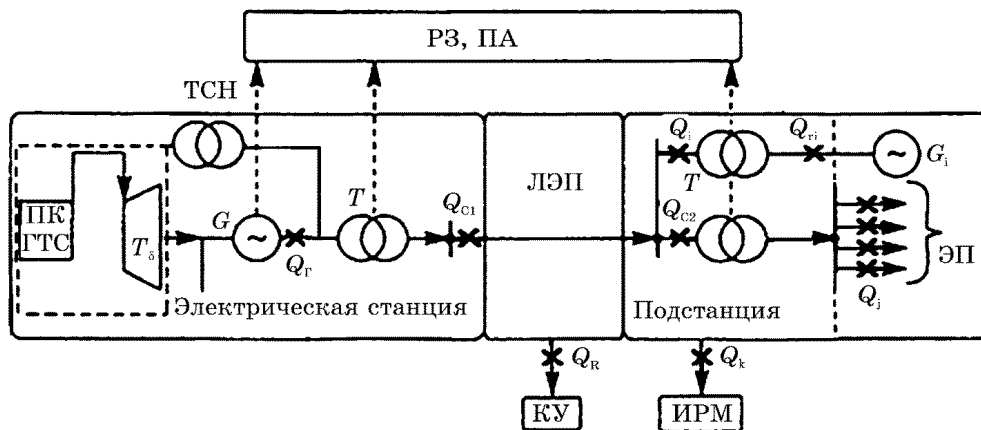


Рис. 1.1

Система «Производство, передача,
распределение и потребление электрической энергии»

В этой системе ВВ обеспечивают управление, распределение электроэнергии, защиту компонентов системы, включение и отключение токоведущих элементов системы в нормальных и аварийных режимах (отключение токов короткого замыкания). ВВ должны многократно выполнить коммутацию (включение и отключение) токоведущих цепей при номинальном токе (либо при меньших то-

ках) в течение срока службы (25–30 лет) и иметь постоянную готовность к осуществлению коммутации. При возникновении КЗ выключатель должен выдержать воздействие сквозных токов КЗ и обеспечить отключение поврежденного участка сети в течение нескольких полупериодов промышленной частоты.

Необходимость постоянного совершенствования ВВ связана с развитием и увеличением энергопотребления, повышением качества и надежности электроснабжения, что требует от ВВ повышения коммутационной способности, ресурса и уменьшения массогабаритных показателей конструкции. Увеличение номинальных напряжений, токов, номинальных токов отключения связано для ВВ с развитием удаленных источников производства электроэнергии и необходимостью передачи ее на все большие расстояния.

Сети переменного тока высокого напряжения России. Основу потенциала российской электроэнергетики в настоящее время составляют более 700 электростанций общей мощностью около 230 ГВт и линии электропередачи переменного тока высокого напряжения протяженностью более 2,5 млн км [2, 3]. Как базовые сети в Единой энергосистеме России (ЕЭС) [2, 3], в составе которой энергосистемы Центра, Средней Волги, Урала, Северо-Запада, Юга, Сибири, Востока, следует выделить линии электропередачи (ЛЭП) с номинальным напряжением 330–500–750–1150 кВ (сети сверхвысокого напряжения — СВН). ЛЭП 1150 кВ была запущена в 1985 г.: первый участок от Экибастузского энергетического комплекса в Казахстане по двум линиям электропередачи 1150 кВ переменного тока Экибастуз — Урал (5–6 ГВт). После отделения Казахстана от России все ЛЭП 1150 кВ работают при напряжении 500 кВ [2, 3]. При создании и эксплуатации этих ЛЭП были решены сложнейшие задачи по разработке ВВ всех классов напряжения на основе отечественных исследований и разработок.

Экономически целесообразные параметры линий переменного тока России представлены в таблице 1.1 [1].

Таблица 1.1

Оптимальные параметры электропередачи переменного тока

Напряжение, кВ	Наибольшая передаваемая мощность, МВт	Наибольшее расстояние передачи, км
10	2,0–3,0	10–15
110	25–50	50–150
330	200–300	200–400
550	700–900	800–1200
750	1800–2200	1000–1500
1150	4000–6000	2000–3000

В программе развития Единой электроэнергетической системы (ЕЭС) России указано на необходимость обеспечить «...надежность системы электроснабжения страны...», дальнейшее развитие «...основных сетей объединенных энергосистем, так и общегосударственной (национальной), высшего уровня системообразующей сети, связывающей западные и восточные регионы страны

мощными линиями электропередачи, позволяющими обеспечивать баланс мощности и электроэнергии...» [2–4].

Международная электротехническая комиссия (МЭК) МЭК (The International Electrotechnical Commission (IEC)) является всемирной организацией по стандартизации и унификации системы, представленной на рисунке 1.1, в международном масштабе. В ее работе принимают участие национальные электротехнические комитеты МЭК (IEC National Committees), поэтому в требованиях электроэнергосистем, предъявляемых к ВВ и изложенных в ГОСТ Р 52565-2006 [5], учтены основные нормативные положения и рекомендации Международной электротехнической комиссии МЭК (МЭК 62271-100, 2001 г.; МЭК 60694, 1996 г.).

Официальные решения или соглашения МЭК по техническим вопросам выражают, насколько это возможно, международное согласованное мнение по актуальным вопросам электроэнергетики. Их подготовка возлагается на технические комитеты МЭК. МЭК публикует международные стандарты, технические условия, технические отчеты, руководства (IEC Publication(s)). Публикации МЭК имеют форму рекомендаций для международного использования. В их подготовке участвуют представители национальных комитетов МЭК. Все ГОСТы России по элементам системы (см. рис. 1.1) в основном соответствуют документам МЭК. Документы МЭК постоянно совершенствуются на основании современных требований и опыта эксплуатации оборудования этой системы, а также новых разработок электротехнической и электроэнергетической аппаратуры.

В современной идеологии интеллектуализации энергосистем (Публикация МЭК 61850) ВВ — основные «исполнители» защитных и нормированных коммутаций в высоковольтных сетях переменного тока [6].

Этот документ МЭК, разработанный для применения в рамках систем автоматизации подстанций («цифровая подстанция»), в настоящее время распространяется и на другие объекты энергосистем как архитектура системы автоматизации, включающая уровень процесса, уровень присоединения и уровень станции, а также взаимосвязь между уровнями и внутри их. В структуре информационного обмена широкое распространение получают аппаратно-программные средства (интерфейсы), обеспечивающие обмен данными между исполнительными устройствами автоматической системы или между оператором и устройствами (рис. 1.2, где 1–3, 5, 6, 9 — нумерация аппаратно-программных средств обеспечивающих обмен сигналами функций защиты и управления между уровнями присоединения и станции; 4 — передача мгновенных значений тока и напряжения от измерительных преобразователей (уровень процесса) устройствам уровня присоединения; 7, 10 — обмен данными и сигналами функций управления между уровнем станции и удаленным рабочим местом оператора; 8 — прямой обмен данными между присоединениями, в частности для реализации быстродействующих функций, таких как оперативная блокировка) [6].

Как следует из рисунка 1.2, интеллектуализация энергосистем предполагает важную роль ВВ и измерительных трансформаторов тока и напряжения и невозможна без постоянного совершенствования ВВ, их систем диагностики, измерительных трансформаторов тока и напряжения. В частности, в современных ВВ все больше усиливается тенденция введения элементов релейной защи-

ты, трансформаторов тока и напряжения непосредственно в конструкцию ВВ (интегрирование этих элементов с ВВ).

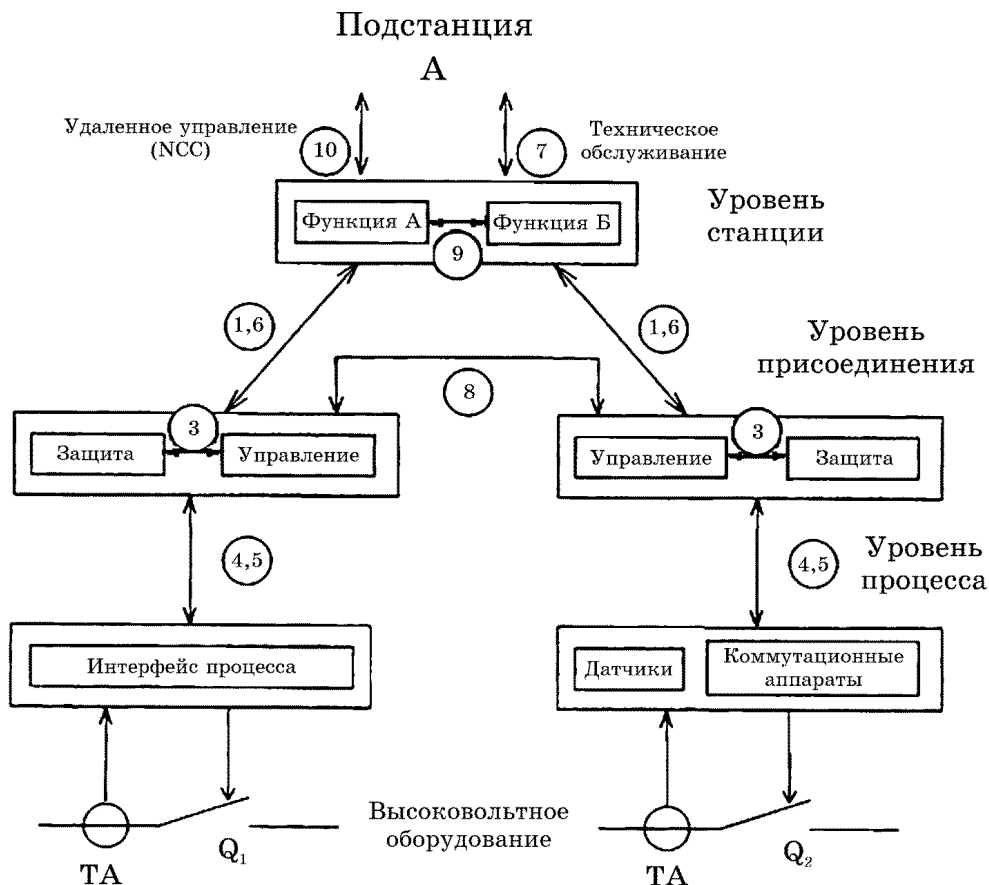


Рис. 1.2

Выключатели (Q_i) и измерительные трансформаторы тока и напряжения (ТА) в трехуровневой архитектуре интеллектуализации энергосистем

Назначение ВВ. Выключатели делят на следующие группы:

1. Линейные ВВ (см. рис. 1.1 ЛВ — Q_{cl}) на номинальное напряжение 110 кВ и выше (в настоящее время до 1150 кВ), применяемые в электрических сетях и предназначенные для пропуска и коммутации тока в нормальных условиях работы цепи и при коротких замыканиях (КЗ).

2. Генераторные ВВ (см. рис. 1.1 ГВ — Q_r) на напряжения 6–24 (27) кВ, предназначенные для пропуска и коммутации токов в нормальных условиях, а также в пусковых режимах и при КЗ.

3. Сетевые ВВ на средние классы напряжения 6–10–35 кВ (см. рис. 1.1 СВ — Q_j), применяемые в электрических сетях и предназначенные для пропуска и коммутации тока в нормальных условиях работы цепи и при коротких замыканиях (КЗ).

4. ВВ специального назначения (например, см. рис. 1.1 для коммутации реакторов — Q_R , для подключения конденсаторных батарей — Q_k , для защиты трансформаторов Q_{c2} , Q_i).

По виду установки ВВ можно разделить на следующие группы:

1) колонковые (основная изоляция относительно земли опорного типа, дугогасительное устройство находится в изоляционном корпусе);

2) баковые (дугогасительное устройство находится в металлическом заземленном баке), снабженные высоковольтными газонаполненными изоляционными вводами.

Каждые из отмеченных на рисунке 1.1 точек в системе, где установлены выключатели Q_i , Q_j , в действительности представляют собой точки расположения ОРУ, ЗРУ, КРУЭ или АГК (см. рис. 1.1 ВВ — Q_T) подстанций или электроустановок высокого напряжения, где основным, дорогостоящим и наиболее ответственным коммутационным аппаратом является ВВ.

Для открытых распределительных устройств (ОРУ) ВВ и другие высоковольтные аппараты подвергаются непосредственному воздействию климатических, метеорологических и других факторов: различные осадки, обледенение (корка льда до 20 мм), ветровые нагрузки (скорость ветра до 40 м/с), изменения температуры в широких пределах. Все эти факторы создают дополнительные проблемы для конструкции и обеспечения надежности ВВ в эксплуатации. Наиболее передовые современные технологии для ВВ нашли свое применение и получили развитие в КРУЭ и в АГК.

КРУЭ — трехполюсные комплектные распределительные устройства, где коммутационные, измерительные аппараты, устройства блокировки, защиты, заключены в герметичные металлические оболочки, заполненные элегазом, и предназначены для приема, распределения и передачи электроэнергии, измерения и диагностики параметров, коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока. Технологии КРУЭ позволили разрабатывать экономически обоснованные РУ, адаптированные к использованию в экстремальных условиях эксплуатации: в крупных городах, где высока плотность застройки и стоимость земли, где необходим кабельный ввод напряжения; в промышленных центрах металлургии и химии, а также в районах с высокой загрязненностью атмосферы; на морских и нефтяных мобильных платформах; на контейнерах для Крайнего Севера, пустынь, высокогорья и т. д. КРУЭ отличает компактность и малогабаритность, широкое использование стандартных модулей и блоков, высокая заводская готовность их элементов поступающих на монтаж, короткие сроки ввода в эксплуатацию подстанций, защита обслуживающего персонала от воздействия электрических и магнитных полей, отсутствие атмосферных воздействий на работу внутренней изоляции КРУЭ, контактных и конструктивных элементов и высокая сейсмостойкость. Из многочисленных вариаций ячеек КРУЭ на рисунке 1.3 представлена линейная ячейка с двумя системами сборных шин с выходом на кабельные вводы [7], где Q — выключатель; $QS1$, $QS2$ — разъединители шинные; $QSG1$ — заземлитель шинный; TA — трансформатор тока; TV — трансформатор

напряжения; K1E, K2E — шины сборные, QS3 — линейный разъединитель; QSG2 — линейный заземлитель; QSG — быстродействующий заземлитель.

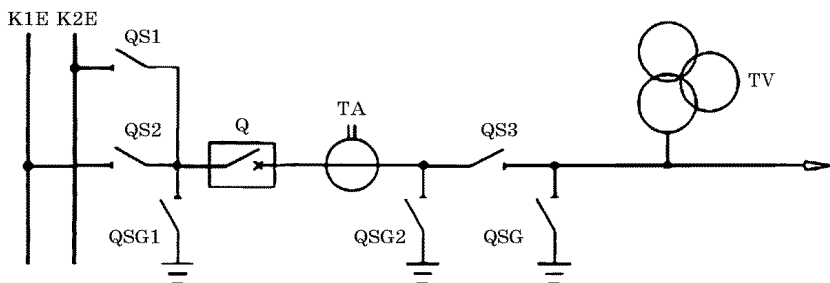


Рис. 1.3

Принципиальная схема линейной ячейки КРУЭ
с двумя системами сборных шин

Один из вариантов компоновки полюса линейной ячейки 110 кВ (тип ЯГК-110Л-23[7]) представлен на рисунке 1.4, где 1 — выключатель; 2 — трансформатор тока; 3 — шкаф аппаратный; 4 — разъединитель линейный; 5 — гидропривод; 6 — заземлитель линейный; 7 — разъединитель кабельного ввода; 8 — ввод кабельный; 9 — разъединитель шинный; 10 — силовый компенсатор; 11 — заземлитель шинный; 12 — рама; 13 — привод разъединителя или заземлителя (трех фаз); 14 — сборная трехфазная шина; 15 — мембрана; 16 — датчик плотности элегаза; 17 — элегаз.

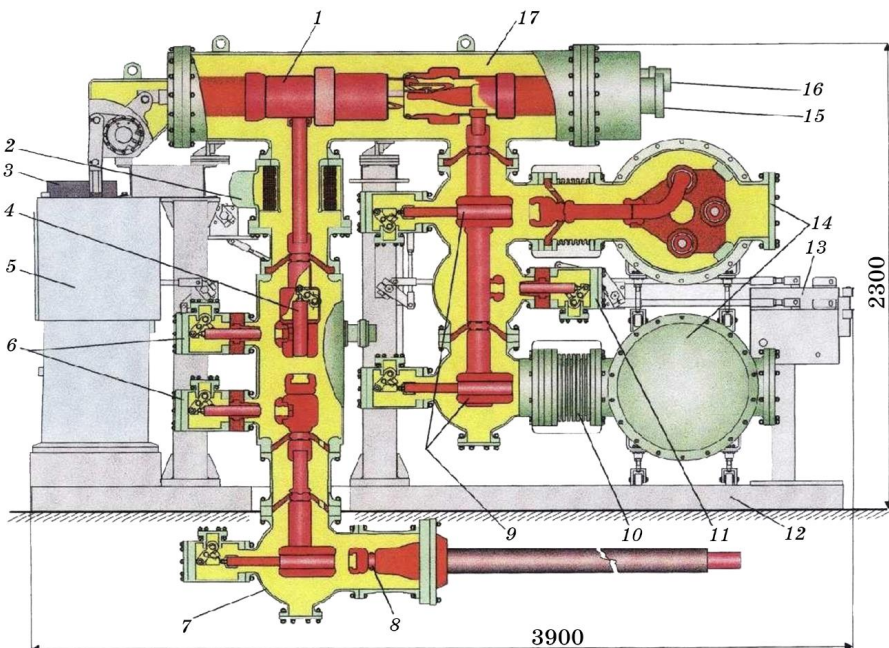


Рис. 1.4

Полюс ячейки линейной 110 кВ

Аппаратно-генераторные комплексы (АГК) — комплектные распределительные устройства генераторных цепей, где электрические коммутационные аппараты (выключатели, разъединители, заземлители и т. д.), измерительные аппараты, устройства защиты заключены в герметичные металлические оболочки, заполненные элегазом. АГК предназначены для коммутации, измерения и диагностики генераторных цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока. Рост единичных мощностей генераторов, внедрение сетей с номинальным напряжением 500–750–1150 кВ, модернизация мощных гидроэлектростанций, развитие атомных электростанций, где необходима высокая надежность системы собственных нужд реактора, развитие гидроаккумулирующих станций, характеризующихся частой сменой генераторно-турбинного и насосно-двигательного режимов работы, потребовали внедрения передовых технологий в разработку АГК для генераторных цепей с повышенными параметрами по номинальному току (до 40 кА) и номинальному току отключения (до 300 кА) с предельными для электроэнергетики токами электродинамической стойкости [8].

Токопроводы между главными выводами генераторов и повышающих трансформаторов выполняются в пофазно экранированном исполнении, поэтому и АГК имеют пофазное исполнение, где в едином комплексе взаимодействуют генераторные ВВ, элегазовые разъединители, заземлители, короткозамыкатели, трансформаторы тока и напряжения, защитные конденсаторы, нелинейные ограничители перенапряжений, системы управления, контроля, диагностики и т. д. (рис. 1.5).

Значительное влияние на развитие КАГ оказали передовые современные технологии, которые получили развитие в герметичных трехполюсных элегазовых комплектных распределительных устройствах (КРУЭ). КРУЭ, где коммутационные, измерительные аппараты, устройства блокировки, защиты заключены в герметичную металлическую оболочку, заполненную элегазом. КРУЭ обеспечивает прием, распределение и передачу электроэнергии, измерение и диагностику параметров и коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока.

КАГ отличается компактностью и малогабаритностью, широкое использование стандартных модулей и блоков, высокая заводская готовность их элементов, поступающих на монтаж, короткие сроки ввода в эксплуатацию подстанций, защита обслуживающего персонала от воздействия электрических и магнитных полей, отсутствие атмосферных воздействий на работу внутренней изоляции КАГ, контактных и конструктивных элементов и высокая сейсмостойкость.

Генераторный выключатель (ГВ) — наиболее ответственный и дорогостоящий коммутационный аппарат высокого напряжения в современных КАГ. ГВ устанавливается между генератором и стороной низкого напряжения повышающего трансформатора электростанций. ГВ осуществляет следующие функции: включение и отключение генератора с рабочими токами; отключение ненагруженного трансформатора; отключение генератора в режиме синхронного двигателя (т. е. обеспечивают процессы пуска и останова агрегатов); отключение токов КЗ в генераторе, трансформаторе и в цепях генераторного напряже-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru