

Новые защитно-коммутационные аппараты переменного и постоянного тока

ШУЛЬГА Р. Н., ИВАНОВ В. П.

Рассмотрено соотношение новых технологий комплектующих элементов и уровня комплексов электрооборудования (КЭО) постоянного и переменного тока. Отмечается, что для создания КЭО низкого и среднего напряжений ключевыми элементами являются защитно-коммутационные аппараты и полупроводниковые приборы. Приведены данные и характеристики защитно-коммутационных аппаратов на основе вакуумных и элегазовых выключателей. Отмечены преимущества создания гибридных устройств для низкого и среднего напряжений на основе комбинации вакуумных выключателей, управляемых разрядников и ограничителей перенапряжений, которые могут быть использованы в многоподстанционных кабельных сетях постоянного тока (МСПТ). Выпускаемые отечественной промышленностью фототиристоры, тиристоры и модули IGBT могут явиться основой формирования кабельных МСПТ на низкие и средние напряжения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: комплекс электрооборудования, новая технология, защитно-коммутационный аппарат, полупроводниковый прибор

До 1985 г. ВЭИ был лидером мировой электроэнергетики благодаря разработке и введению в эксплуатацию уникальных комплексов электрооборудования (КЭО) напряжением 1150 кВ переменного тока и 1500 кВ постоянного тока [1, 2]. Внедрение указанных комплексов опередило на 30 лет зарубежные разработки и определило уровень отечественной электроэнергетики и электротехники. Более 40 предприятий и десятки организаций участвовали в разработке и поставке оборудования для этих КЭО, линий электропередачи, мощных испытательных стендов в Тольятти и Белом Расте. Впервые в отечественной практике крупным вкладом стала комплектная поставка оборудования ВЭИ в 1982 г. на Выборгскую вставку постоянного тока (ВПТ) в виде комплектного высоковольтного преобразовательного устройства (КВПУ) [3]. Разработка, испытания и ввод в эксплуатацию указанных КЭО были неразрывно связаны с освоением новых технологий. Например, в ВЭИ было разработано и совместно с «Тольяттинским Трансформатором» выпущено восемь поколений высоковольтных тиристорных вентилях (ТВВ), в которых впервые в мировой практике были применены модульные конструкции, водяное охлаждение, оптическое управление с использованием следящего импульса, новые схемы деления, демпфирования, защиты и др. Уникальные конструкции преобразовательных трансформаторов, вводов, элегазовых КРУЭ 1150 кВ и КАЭ 1500 кВ были впервые разработаны и прошли испытания, также как и статические тиристорные компенсаторы (СТК) от 10 до 1150 кВ.

Выборгская ВПТ мощностью 1,5 ГВт и по сей день является крупнейшей в мире и самой автоматизированной отечественной подстанцией, реализующей впервые разработанную цифровую систему управления, регулирования и защиты СУРЗА, а также системы мониторинга и диагностики оборудования. Таким образом, новые технологии отдельных комплектующих неразрывно связаны с обликом КЭО и определяют его уровень исходя из главных показателей: соотношения качества, надежности и цены.

Приведенные выше примеры соотнесены к уникальным КЭО, наряду с которыми и в большей степени используются крупные, средние и мелкие комплексы, которые в первом приближении можно охарактеризовать уровнями мощности, напряжения, новизны, стоимости, модульности, унификации и др. показателями. Например, ВПТ Могоча мощностью 200 МВт с использованием преобразователей напряжения можно отнести к крупным КЭО, к которым также относятся многочисленные кабельные зарубежные ППТ мощностью до 500 МВт напряжением 320 кВ, преимущественно разработанные фирмой АББ (Швеция) по технологии HVDC Light. Наиболее продвинутой на мировом рынке с 2010 г. технология HVDC Plus фирмы Сименс (Германия) позволила ей обеспечить поставку более 100 объектов, включающих ППТ, ВПТ, СТК, ТУПК и др. за счет разработки модульных многоуровневых конверторов ММС.

Следует отметить, что примерно пять электротехнических фирм благодаря освоению новых тех-

нологий монополизировали мировой рынок электротехники, не пуская с помощью МЭК, СИГРЭ и других организаций производителей и поставщиков из других стран с помощью ограничения стандартов, лицензий, квот и других разных способов. В результате они заставляют покупателей принимать условия поставки под ключ целиком объекта, минимизируя локализацию поставки комплектующих изделий.

Указанная практика частично преодолевается Китаем, Индией благодаря государственной поддержке. В России, которая с 90-х годов потеряла электротехническую и электронную отрасли, а государство реально ушло из энергетики, к сожалению, не сложилась практика государственной поддержки развития указанных отраслей и, следовательно, создания крупных КЭО, для реализации которых требуется осуществить многомиллиардные вложения в преодоление технологического отставания в сфере силовой и микроэлектроники, а также частично в коммутационных и защитных аппаратах.

В статье рассматривается уровень отечественных разработок в области коммутационных, защитных аппаратов и полупроводниковых приборов низкого и среднего напряжения (НН и СН), применяемых в мелких и средних КЭО. К этим КЭО можно отнести электроприводы, системы электро-

снабжения и резервирования и др. до 35 кВ переменного и постоянного тока. Комплексы постоянного тока НН и СН особенно востребованы для освоения новых технологий в части ВИЭ, накопителей, электротранспорта, электрических судов, автономного энергоснабжения, в которых они являются ключевыми составляющими. Последние две сессии СИГРЭ на основе многочисленных глобальных проектов энергоснабжения выдвинули программу создания многоподстанционной кабельной сети постоянного тока МСПТ, которая требует разработки новых образцов защитно-коммутационной аппаратуры и устройств, которые, на наш взгляд, должны стартовать с создания КЭО НН и СН.

Защитно-коммутационные аппараты и устройства. За последние годы вакуумные коммутационные аппараты (КА) в области НН и СН существенно вытеснили другие КА (масляные, воздушные и отчасти элегазовые) благодаря многочисленным преимуществам и, в частности, надежности, стоимости, компактности, удобству обслуживания и др. Для устройств НН, наиболее широко применяемыми наряду с автоматическими выключателями, являются вакуумные контакторы (ВК), типоряд которых в диапазоне 25–1600 А представлен в верхней части табл. 1 как для постоянного тока от 48 В до 3,3 кВ, так и для переменного тока до 10 кВ. Следует отметить, что автоматические выключатели

Таблица 1

Типоряд защитно-коммутационных аппаратов и устройств для применения в комплексах электрооборудования НН и СН

Значение тока, кА	Напряжение									
	Постоянное						Переменное			
	48 В	110 В	440 В	1000 В	3,3 кВ	6-10 кВ	10-100 кВ	1,14 кВ	3,3 кВ	6 – 10 кВ
25	ВК	ВК	ВК	ВК	ВК			ВК	ВК	ВК
0,1	ВК	ВК	ВК	ВК	ВК			ВК	ВК	ВК
0,4		ВК	ВК	ВВ ВК	ВВ ВК			ВВ ВК	ВВ ВК	ВВ ВК
0,6				ВВ ВК	ВВ ВК			ВВ ВК	ВВ ВК	ВВ ВК
1,0				ВВ ВК	ВВ ВК			ВВ ВК	ВВ ВК	ВВ ВК
1,6				ВВ ВК	ВВ ВК			ВВ ВК	ВВ ВК	ВВ ВК
3,15				ВВ	ВВ			ВВ	ВВ	ВВ
10,0				УЗИП		УЗИП	ВВПТ СПИН	УЗИП	УЗИП	УЗИП
25,0				УЗИП		УЗИП	ВВПТ СПИН	УЗИП	УЗИП	УЗИП
50,0				УЗИП		УЗИП	ВВПТ СПИН	УЗИП	УЗИП	УЗИП
150,0				УЗИП		УЗИП		УЗИП	УЗИП	УЗИП
ВВ	Вакуумный выключатель									
ВК	Вакуумный контактор									
УЗИП	Устройство защиты систем электрооборудования образцов ВВТ от электромагнитных импульсов ядерного взрыва, молнии и коммутационных перенапряжений									
ВВПТ СПИН	Вакуумный выключатель постоянного тока для сверхпроводящих накопителей энергии									

напряжением до 660 В на ток до 400 А могут применяться как на постоянном, так и переменном токе.

Вакуумные выключатели (ВВ) могут применяться на постоянном напряжении до 3,3 кВ вплоть до токов 3150 А, а на переменном напряжении до 10 кВ наряду с выключателями 35 и 110 кВ (последние на ток до 2000 А).

С ростом токовых нагрузок (10 кА и выше), а также особых требований по защитным характеристикам целесообразно использовать различные гибридные схемы из сочетания ВВ и ОПН; ВВ и РВУ (разрядник вакуумный управляемый); ВВ, РВУ и КБ (конденсаторная батарея) – для выключателя постоянного тока (далее DC выключателя конденсаторного типа); ВВ и набор тиристоров или приборов IGBT – для гибридного DC выключателя; ВВ, РВУ и предвключенные резисторы – для ограничения бросков тока в трансформаторах и КБ и др. В табл. 1 DC выключатель конденсаторного типа обозначается как в оригинале ВВПТ – высоковольтный вакуумный выключатель постоянного тока, который первоначально был разработан для сверхпроводящего индуктивного накопителя СПИН.

Первый тип защитного устройства из сочетания ВВ и ОПН называется устройство защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Устройство защищает КЭО от электромагнитных импульсов ядерного оружия, молнии и коммутационных перенапряжений [4]; выпускается на напряжения до 10 кВ в диапазоне токовых нагрузок от 10 до 150 кА. Принципиальная схема УЗИП приведена

на рис. 1. Схема содержит два модуля: ограничивающий – в составе трех ОПН и коммутационный – в составе РВУ и поджигающего разрядника Р. Схема работает следующим образом. При воздействии импульса небольшой длительности конденсатор С не успеет зарядиться, разрядники Р и РВУ не могут сработать и только ОПН ограничивает амплитуду импульса. При воздействии импульса с большой энергией и длительностью конденсатор успевает зарядиться, приводя к срабатыванию разрядников Р и РВУ, которые закорачивают ОПН на время, определяемое длительностью импульса. После выхода схемы на сопровождающий ток РВУ гаснет после первого перехода тока через нуль. Индуктивность L в виде нескольких витков провода (см. рис. 1) несколько затягивает фронт самых коротких импульсов.

Первоначально ВВПТ СПИН был разработан для отключения постоянного тока в накопителе электроэнергии на напряжение от 10 до 100 кВ и ток от 10 до 50 кА. Указанные диапазоны по напряжению достигались последовательным включением до четырех ВВ 35 кВ в цепи, а по току параллельным соединением двух цепей. Одна из первых схем ВВПТ была разработана для РЖД.

Принципиальная электрическая схема испытательного стенда и выключателя постоянного тока напряжением 3,3 кВ на ток 3 кА показана на рис. 2 [5]. Выключатель содержит две параллельно соединенные ВДК (Q_3 и Q_4) с индукционно-динамическими приводами $П_1$ и $П_2$. Эти камеры предназначены для отключения как номинального тока, так и тока к.з. Время разведения контактов этих камер

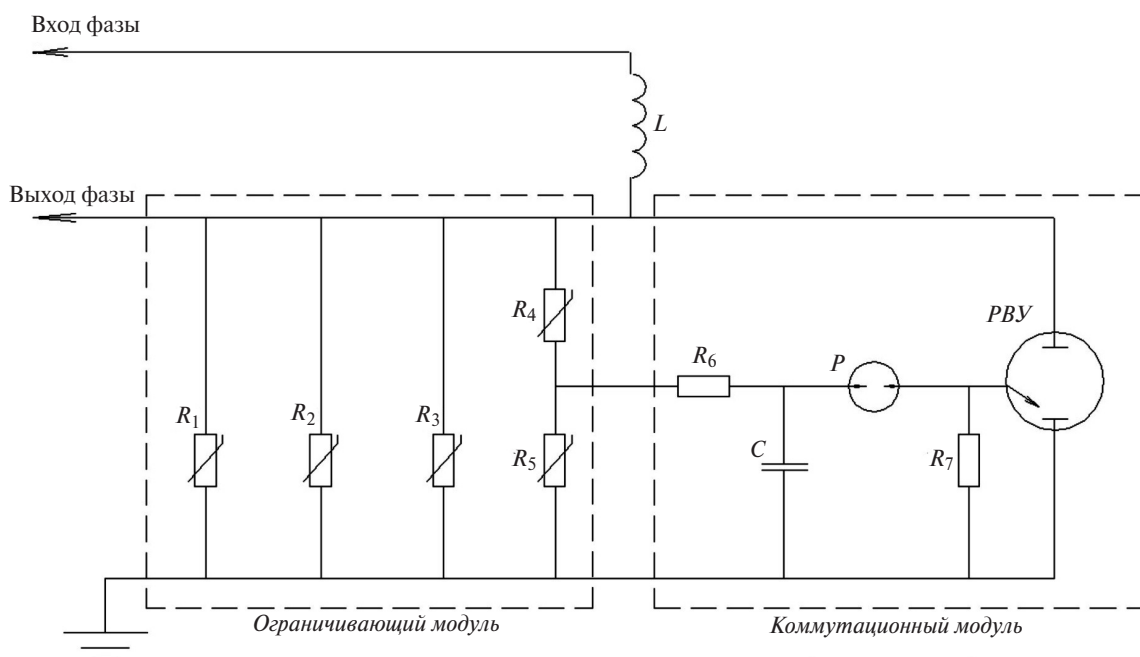


Рис. 1. Принципиальная схема УЗИП

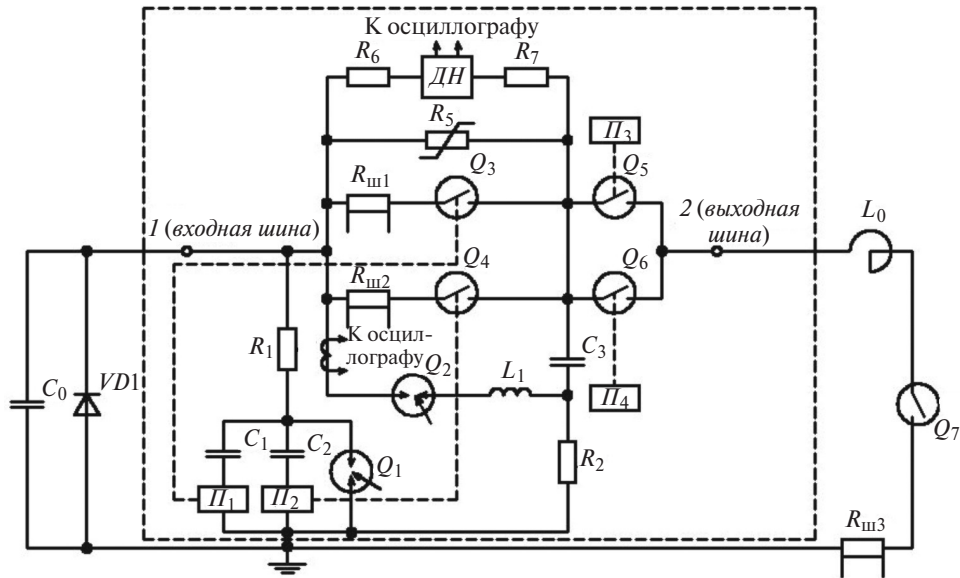


Рис. 2. Принципиальная схема испытательной установки и выключателя постоянного тока

составляет 3 мс. Последовательно с камерами Q_3 и Q_4 подсоединены камеры (Q_5 и Q_6) с электромагнитными приводами $ПЗ$ и $П4$. Камеры Q_5 и Q_6 служат в качестве разъединителей и для отключения сопровождающего тока в нелинейном резисторе R_5 , подключенного параллельно камерам Q_3 и Q_4 . Нелинейный резистор служит для поглощения энергии и ограничения перенапряжения на уровне 8–9 кВ.

Индукционно-динамические приводы срабатывают в результате разряда конденсаторов C_1 и C_2 после включения управляемого вакуумного разрядника Q_1 . Для отключения постоянного тока в выключателе используется метод искусственного перевода тока в электрической дуге между контактами Q_3 и Q_4 через нулевое значение путем разряда предварительно заряженного конденсатора C_3 током обратного направления относительно направления отключаемого тока. Подключение цепи контура противотока осуществляется с помощью управляемого вакуумного разрядника Q_2 . Время включения разрядников Q_1 и Q_2 не превышает единиц микросекунд.

Выключатель содержит также контроллер, который управляет временем последовательного срабатывания элементов выключателя (Q_1 – Q_4), следит за током в главной цепи, напряжением на конденсаторе C_3 и готовностью выключателя к выполнению операции включения (отключения). Для измерения тока использовались сопротивления $R_{ш1}$ и $R_{ш2}$ для выравнивания токов в камерах Q_3 и Q_4 .

Отечественные DC выключатели вполне соответствуют требованиям создания МСПТ среднего напряжения. В ВЭИ на протяжении многих лет разрабатывалась линейка указанных DC выключате-

лей для железнодорожного транспорта на 4 кВ, кабельных сетей 10, 15, 20 кВ, для ускорителей и для накопителей электроэнергии на напряжения до 200 кВ и коммутируемые токи до 50 кА.

На рис. 3,а приведен габаритный чертёж, на рис. 3,б – принципиальная схема конденсаторного DC выключателя [6]. Характеристики указанного выключателя постоянного тока типа ВПТВ-15-5/400: номинальное напряжение 15 кВ (максимальное 20 кВ); номинальный ток 400 А; ток отключения 5 кА; время отключения 3–7 мс; время включения менее 100 мс; коммутационная стойкость 10 тыс. коммутаций; срок службы 10 лет.

Серийные AC выключатели переменного тока среднего напряжения СН. Серийные AC выключатели напряжения 10, 35 и 110 кВ выпускаются преимущественно в виде вакуумных выключателей (ВВ) и имеют характеристики, приведенные в табл. 2. (там же приведены характеристики элегазовых выключателей LF фирмы Шнайдер Электрик). Значение прямого сопротивления всех выключателей в замкнутом состоянии располагается в диапазоне от 20 до 70 мкОм, которое определяет потери в энергосистеме и недостижимо для полупроводниковых приборов. Собственное время включения ВВ существенно определяется типом привода и для пружинных приводов составляет от 40 до 100 мс, а для элегазовых выключателей LF 60 мс, в то время как для полупроводниковых приборов это время не превышает 10 мкс. Время отключения ВВ и LF находится в диапазоне от 15–50 мс, в то время как для полупроводниковых приборов составляет от 100 до 400 мкс. Полное время включения и отключения ВВ показано в табл. 2 в скобках.

Средний ресурс выключателей ВВ зависит от класса напряжения и составляет от 10 до 50 тыс. коммутаций, а для элегазовых выключателей LF –

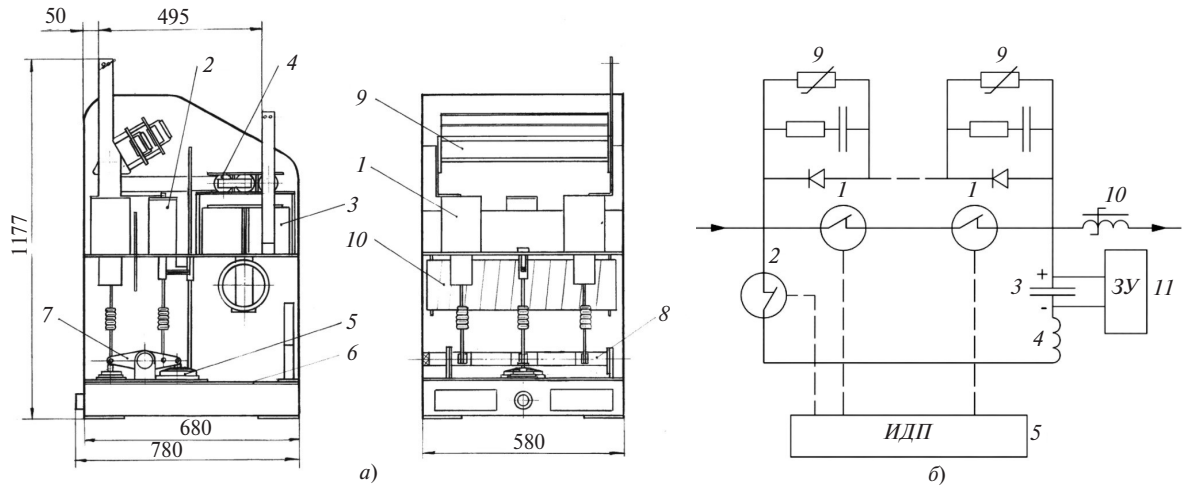


Рис. 3. Габаритный чертеж (а) и принципиальная схема (б) конденсаторного DC выключателя: 1 – вакуумная дугогасительная камера основного контура; 2 – то же противотока; 3 – конденсатор; 4 – индуктивность; 5 – индукционно-динамический привод; 6 – опорная плита; 7 – рычаг; 8 – вал; 9 – диодный блок; 10 – дроссель; 11 – зарядное устройство

до 100 тыс. коммутаций. Стоимость существенно зависит от масштаба выпуска и условий рынка и для ВВ колеблется в диапазоне от 50 до 2000 тыс. руб. Срок эксплуатации всех выключателей примерно 30 лет, а температурный диапазон для ВВ от -60 до $+60$ °С, а для LF выключателей от -50 до $+50$ °С, хотя для всех выключателей требуется использовать подогрев при отрицательных температурах.

Схемотехника DC выключателей. Полупроводниковый выключатель (рис. 4) содержит два вентиля обратной полярности D_1 и D_2 , включённых параллельно IGBT приборам S_1 , S_2 , а также ОПН SA_1 и SA_2 . Время выключения 1 мс или менее. Однако высокая стоимость IGBT приборов при большом числе DC выключателей ограничивает их применение, также как их высокое прямое сопротивление в МОм сравнительно с мКОм для конденсаторных выключателей, что приводит к росту потерь в ПН на 30%.

Снижение потерь в полупроводниковом DC выключателе достигается применением гибридного DC выключателя, приведённого на рис. 5.

В нормальном режиме ток проходит через механический выключатель 3 и вспомогательный вентиль 2. При аварии вспомогательный вентиль 2, за-

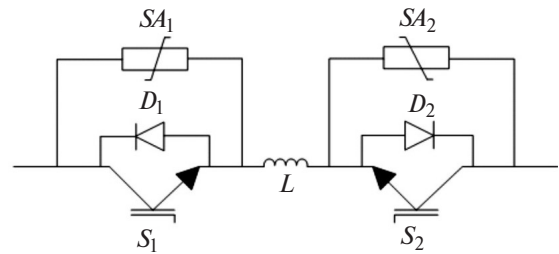


Рис. 4. Схема полупроводникового DC выключателя

крываясь, переводит ток в главный вентиль 1, создавая падение напряжения на уровне 3–4 кВ. Полная энергия разряда выделяется на ОПН, входящем в состав главного вентиля 1. Вспомогательный выключатель 4, размыкаясь, защищает ОПН от пе-

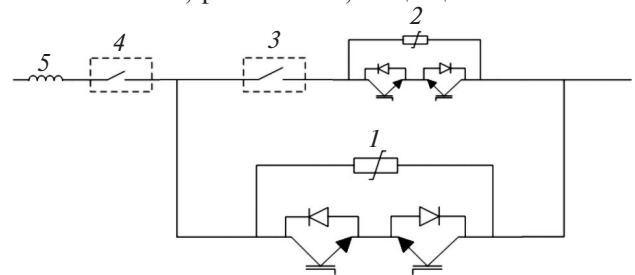


Рис. 5. Схема гибридного DC выключателя: 1 – главный выключатель; 2 – вспомогательный вентиль; 3 – механический выключатель; 4 – вспомогательный выключатель; 5 – токоограничитель

Таблица 2

Тип	$U/I_{\text{НОМ}}/I_{\text{ОТК}}$ кВ/кА/кА	Прямое сопротивление, мКОм	Время вкл/отк, мс (полн.)	Ресурс, тыс. коммут.	Масса, кг	Стоимость, тыс. руб.	Срок эксплуатации, лет	Температурный диапазон, °С	Тип выключателя
Вакуум	10/1±1,6/40	(80) 20–30	40/15 (25)	50 (30)	50	50/200	25	$-40 \pm +55$	ВВ/TEL-10
	35/0,63±1,6/40	70	100/55	30	520	150/300	25-40	$-60 \pm +50$	ВР35
	110/2/31,5	60	(120/50)	2/10	~1000	2000	30	$-60 \pm +50$	ВБП-110-2/31,5
Элегаз	$U=10-20-35-110$ $I_{\text{НОМ}}=0,63 \div 3150$ $I_{\text{ОТК}}=12,5 \div 31,5$	20–50	60/50		100–150		20	$-50 \pm +50$	LF Schneider El.

регрева и обеспечивает изоляцию DC выключателя от остальной системы. Преимущество гибридного DC выключателя состоит в том, что номинальный ток не проходит через главный выключатель I и он остается в холодном состоянии, позволяющем повысить пропускную способность полупроводниковых приборов. Указанный выключатель позволяет снизить время коммутации до 2–3 мс, что важно для применения в кабельных МСПТ, хотя и сопряжено с повышением стоимости и площади размещения такого выключателя.

Полупроводниковый и гибридный DC выключатели, несмотря на высокое быстродействие и высокий ресурс, ограничены применением на низкие и средние напряжения из-за высокой стоимости, большого прямого падения напряжения и потерь, а также большой пропускной способности ОПН. Конденсаторный DC выключатель по схеме рис. 4 существенно превосходит эти выключатели по габаритам, стоимости, надежности и условиям эксплуатации и вполне может быть использован при создании кабельных сетей СН на постоянном токе. Указанные сети требуют использования преимущественно статических преобразователей напряжения ПН на основе приборов IGBT, хотя и преобразователи тока (ПТ) на основе тиристоров и фототиристоров могут применяться на отправных концах системы из-за меньшей стоимости, большей пропускной способности, стойкости к перегрузкам и освоенности отечественными заводами.

Отечественные полупроводниковые приборы для преобразователей тока и напряжения. Характеристики передовых фототиристоров производства ОАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск) приведены далее по данным [7], которые сопоставимы с лучшими зарубежными образцами:

Параметр	Тип фототиристора	
	ТФ 183-2000	ТФ 283-3000
U , кВ	8,0	8,5
I , кА	2,5	3,2
$I_{уд}$, кА	55	90
$T_{пер}$, °С	120	90
dI/dt , А/мкс	300	–
dU/dt , кВ/мкс	2000	–
$P_{упр}$, мВт	40	–
d , мм	101	120

Указанные приборы выпускаются на шайбах диаметром 100 и 120 мм и в зависимости от запросов рынка могут быть реализованы на предельных на сегодня диаметрах 150 мм. Эти приборы разработаны для модернизации Выборгской ВПТ и вполне отвечают условиям применения в ПТ для кабельных сетей постоянного тока МСПТ. Наряду с указанными приборами предприятие выпускает АС полупроводниковые ключи на токи 100–5000 А

напряжением 0,4–6,3 кВ; импульсные коммутаторы на ток 2,5–250 кА напряжением 1–25 кВ, а также ПН по требованиям заказчика.

Тиристоры АО «Протон-Электротекс», выпускаемые на шайбе диаметром 100 мм, имеют характеристики, приведенные далее, причем их время включения составляет единицы мкс, а время выключения – до 400 мкс [8]:

Параметр	Тип тиристора	
	T193C-3200	T193C-2500
U , кВ	4,8	6,5
I_{TAV} , кА	3,2	2,5
$d_{п/п}$, мм	100	100
$d_{корп}$, мм	150	150
h , мм	26	35

Выпускаемые АО «Протон-Электротекс» IGBT модули имеют характеристики, приведенные далее:

Параметр	Тип IGBT модуля	
	PIMA-AS45XX-2000N	PIMA-AS33XX-3700N
U_{CES} , кВ	4,5	3,3
I_c , кА	2,0	3,7
T_j , °С	125	125
$d_{п/п}$, мм	125	125
$d_{корп}$, мм	168	168
h , мм	26	26

IGBT модули выпускаются на шайбе диаметром 125 мм; время включения и отключения указанных модулей не превосходит соответственно единиц и десятка мкс.

Выводы. 1. Рассмотрено соотношение новых технологий комплектующих элементов и уровня комплексов электрооборудования КЭО постоянного и переменного тока. Отмечается, что для создания КЭО НН и СН ключевыми элементами являются защитно-коммутационные аппараты и полупроводниковые приборы.

2. Приведены данные и характеристики защитно-коммутационных аппаратов на основе вакуумных и элегазовых выключателей на постоянном и переменном токе. Отмечены преимущества создания гибридных устройств для НН и СН на основе комбинации вакуумных выключателей, управляемых разрядников и ОПН, которые могут быть использованы в многоподстанционных кабельных сетях постоянного тока МСПТ.

3. Выпускаемые отечественной промышленностью фототиристоры, тиристоры и модули IGBT могут явиться основой формирования кабельных МСПТ на низкие и средние напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Электропередачи 1150 кВ:** Сб. статей/Под общ. ред. Г.А. Илларионова, В.С. Ляшенко. М.: Энергоатомиздат, 1992, 320 с.

2. Ивакин В.Н., Сысоева Н.Г., Худяков В.В. Электропередачи и вставки постоянного тока и статические тиристорные компенсаторы. М.: Энергоатомиздат, 1993, 336 с.

3. **Электротехническое** оборудование для вставки постоянного тока/Сб. статей под ред. И.М. Бортника, В.П. Кулакова. М.: Энергоатомиздат, 1986, 129 с.

4. Алферов Д.Ф., Иванов В.П., Мирошниченко В.А., Перунов А.А., Присеко Ю.С., Сидоров В.А., Филиппов В.Г. Комбинированное устройство защиты от импульсных перенапряжений. – Электричество, 2011, № 9, с. 40–44.

5. Алферов Д.Ф., Иванов В.П., Сидоров В.А., Будовский А.И., Евсин Д.В., Неугодников И.П. Вакуумный выключатель постоянного тока. – Электро, 2008, № 3, с. 25–28.

6. **TU 16-674.068-86.** Выключатель постоянного тока вакуумный типа ВПТВ-15-5/400.

7. Гришанин А.В., Мартыненко В.А., Хапугин А.А., Плотников А.В., Конохов А.В., Самойлов А.А., Наумов Д.Э. Высоковольтные тиристоры для модернизации блока вентилей ПС 400 кВ Выборгская. – Научно-техн. конф. «Опыт и перспективы применения силовых полупроводниковых приборов и электропередач постоянного тока...», Москва, 7 декабря 2017.

8. Майоров М.В., Писарев А.А., Сурма А.М. Силовые полупроводниковые приборы АО «Протон-Электротекс» для высоковольтных вентилей электропередач и вставок постоянного тока. – Научно-техн. конф. «Опыт и перспективы применения силовых полупроводниковых приборов и электропередач постоянного тока...», Москва, 7 декабря 2017.

[12.03.2018]

А в т о р ы: Шульга Роберт Николаевич окончил факультет машиностроения МВТУ им. Баумана в 1966 г. В 1970 г. защитил кандидатскую диссертацию «Исследования некоторых процессов, определяющих технические требования к отдельным видам оборудования электропередачи постоянного тока Экибастуз-Центр» в ФГУП ВЭИ. Ведущий научный сотрудник ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ».

Иванов Валерий Павлович окончил электроэнергетический факультет Московского энергетического института в 1972 г. Главный специалист ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ».

Elektrichestvo, 2019, No. 3, pp. 24–30

DOI:10.24160/0013-5380-2019-3-24-30

New Protective-Interconnect Apparatus of Alternating and Direct Current

SHUL'GA Robert N. (All-Russian Institute of Electrical Engineering (ARIEE), Moscow, Russia) – Leading researcher, Cand. Sci. (Eng.)

IVANOV Valery P. (ARIEE, Moscow, Russia) – Main specialist

The article considers the relation between the new technologies of components and the level of AC and DC equipment sets. It is pointed out that switching and protection apparatuses and semiconductor devices are the key components for development of low- and medium-voltage electrical equipment sets. The data and characteristics of switching and protection apparatuses made on the basis of vacuum and SF6 circuit breakers are presented. The advantages of constructing hybrid low- and medium-voltage devices by using a combination of vacuum circuit breakers, controlled surge arresters, and overvoltage suppressors that can be used in multi-substation DC cable networks (MDCN) are pointed out. The domestically produced light-activated thyristors, thyristors, and IGBT modules may serve as a basis for constructing low- and medium-voltage cable MDCNs.

Key words: electrical equipment set, new technology, switching and protection apparatus, semiconductor device

REFERENCES

1. **Elektroperedachi 1150 kV: Sb. statei/Pod obshchei red. G.A. Illarionova and V.S. Lyashenko** (Electricity transmissions are 1150 kV. Collection of reasons. Under the general release G.A. Illarionov and V.S. Lyashenko). Moscow, Energoatomizdat, 1992, 320 p.

2. **Ivakin V.N., Sysoyeva N.G., Khudyakov V.V. Elektroperedachi i ustavki postoyannogo toka i staticheskiye kompensatory** (Electricity transmissions and insertions of direct-current and static compensators). Moscow, Energoatomizdat, 1993, 336 p.

3. **Elektrotekhnicheskoe oborudovaniye dlya vstavki postoyannogo toka/Sb. statei pod red. I.M. Bortnika, V.P. Kulakova** (Electrotechnical equipment for DC insertions/Collection of reasons. Edit. by I.M. Bortnik, V.P. Kulakov). Moscow, Energoatomizdat, 1986, 129 p.

4. **Alferov D.F., Ivanov V.P., Miroshnichenko V.A., Perunov A.A., Priseko Yu.S., Sidorov V.A., Filippov V.G. Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)**, 2011, No. 9, pp. 40–44.

5. **Alferov D.F., Ivanov V.P., Sidorov V.A., Budovskii A.I., Yevsin D.V., Neugodnikov I.P. Elektro – in Russ. (Electro)**, 2008, No. 3, pp. 25–28.

6. **TU 16-674.068-86. Vyklyuchatel' postoyannogo toka vakuumnyi tipa VPTV-15-5/400** (Technical requirements

16-674.068-86. The switch of direct-current vacuums type VPTV-15-5/400).

7. **Grishanin A.V., Martynenko V.A., Khapugin A.A., Plotnikov A.V., Konyukhov A.V., Samoilov A.A., Naumov D.E. Vysokovol'tnyye tiristory dlya modernizatsii bloka ventilei PS 400 kV Vyborgskaya. Nauchno-tekhn. konf. «Opyt i perspektivy primeneniya silovykh poluprovodnikovykh priborov i elektroperedach postoyannogo toka...»** (High-voltage thyristors for upgrading the valve unit at the Vybrog 400 kV substation, in Proceedings of the Scientific-Technical Conference «Experience with and Prospects for Using Power Semiconductors and HVDC Power Lines...»), Moscow, 7th December 2017.

8. **Maierov M.V., Pisarev A.A., Surma A.M. Silovye poluprovodnikovye pribory AO «Proton-Elektroteks» dlya vysokovol'tnykh ventilei elektroperedach i vstavok postoyannogo toka. Nauchno-tekhn. konf. «Opyt i perspektivy primeneniya silovykh poluprovodnikovykh priborov i elektroperedach postoyannogo toka...»** (Power semiconductors produced by JSC Proton-Electrotex for high-voltage valves of HVDC lines and back-to-back links, in Proceedings of the Scientific-Technical Conference «Experience with and Prospects for Using Power Semiconductors and HVDC Power Lines...») Moscow, 7th December 2017.

[12.03.2018]