

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 6-35 кВ С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

У статті наведено аналітичний огляд конструкцій сучасних розподільних пристроїв середньої напруги 6-35 кВ із элегазовою ізоляцією.

В статті приведено аналітичний огляд конструкцій сучасних розподільних пристроїв середньої напруги 6-35 кВ з элегазовою ізоляцією.

Гексафторид серы (sulfur hexafluoride) или шестифтористая сера SF_6 был впервые описан и получен французскими химиками Анри Муассаном (*Ferdinand Frederic Henri Moissan* – рис. 1, слева) и Полом Лебё (*Paul Marie Alfred Lebeau*) в 1901 г. в ходе совместных работ по изучению химии фтора в г. Париже (лаборатории Faculty of the School of Pharmacy). Фтор, полученный электролизом, вступал во взаимодействие с серой, и в результате экзотермической реакции получался достаточно устойчивый газ. Уже в 1906 г. А. Муассану была присуждена Нобелевская премия в области химии "за большой объем проделанных им исследований и за получение элемента фтора" [1].

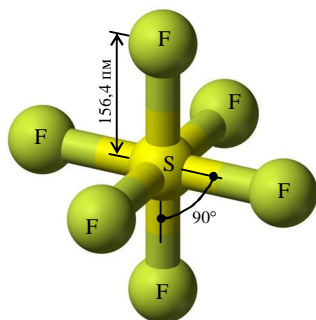


Рис. 1. Анри Муассан (1852-1907) и его "детище" – молекула гексафторида серы

В центре молекулы элегаза (рис. 1, справа) расположен атом серы, а на равном расстоянии от него в вершинах правильного октаэдра располагаются шесть атомов фтора. Это определяет высокую эффективность захвата электронов молекулами, их относительно большую длину свободного пробега и слабую реакционную способность. Поэтому элегаз обладает высокой электрической прочностью. Другими отличительными свойствами элегаза являются значительная теплоемкость и высокий коэффициент теплового расширения. Таким образом, перечисленные характеристики позволяют использовать элегаз в качестве эффективной дугогасящей, охлаждающей и изоляционной среды.

Словосочетание "гексафторид серы" в отечественной электротехнической литературе встречается не так часто, нежели привычное для нас слово "элегаз", которое, кстати, находится в обиходе только в странах бывшего СССР и не используется за рубежом. Название "элегаз" происходит от сокращения слов "электрический газ" и предложено в 30-х годах XX века известным физиком Б.М. Гохбергом (кто-

рый, кстати, являлся членом-корреспондентом АН УССР) [2]. Б.М. Гохберг впервые высказал предположения о возможности применения элегаза в качестве изоляционной среды в оборудовании высокого напряжения. Благодаря работам Б.М. Гохберга, выполненным в Ленинградском физико-техническом институте ещё до войны, СССР имел приоритет по использованию элегаза в высоковольтных устройствах [3]. Так, например, авторское свидетельство на высоковольтный аппарат с применением элегаза было получено еще в 1942 г. [4].

Что касается зарубежных разработок, то первые исследования по практическому применению элегаза были проведены компанией General Electric в 1937 г., а уже в 1939 г. был запатентован принцип применения элегаза для изоляции кабелей и конденсаторов [5]. После окончания Второй мировой войны промышленное применение элегаза стало еще более масштабным. Так, например, в 1960 г. организовано серийное производство элегаза для строительства электростанций в США и Европе. В это же время появляются первые разработки коммутационных аппаратов компании Merlin Gerin для высокого (35-230 кВ) и сверхвысокого (свыше 230 кВ) напряжений с использованием элегаза в качестве как изоляционной, так и дугогасящей сред. В 1964 г. по заказу компании EDF (Франция) начато проектирование первой в мире подстанции с элегазовой изоляцией, которая была введена в эксплуатацию в 1966 г. близ г. Парижа. По другим данным [6] первое распределительное устройство с элегазовой изоляцией (номинальное напряжение 170 кВ) было установлено в центре г. Цюриха в 1966 г.

Но главное, конечно же, не точная дата начала промышленного применения элегаза в распределительных устройствах, а то, что, подобно снежному кому, практически во всех частях света (Канада, ЮАР, Бразилия, Китай) начинается триумфальное шествие элегаза в электротехнической промышленности. Это связано с перечисленными ранее неоспоримыми преимуществами элегаза, главным из которых, применительно к использованию в комплектных распределительных устройствах (КРУ), является его высокие изоляционные свойства. Электрическая прочность элегаза в зависимости от внешних факторов (давление, температура) в 2-3 раза выше прочности воздуха. Высокая электрическая прочность элегаза позволяет сократить изоляционные расстояния в электроустановках, что, в свою очередь, дает возможность существенно уменьшить габариты самого КРУЭ. Данный факт имеет ре-

шающее значение, например, для объектов, в которых занимаемая площадь без преувеличения является "на вес золота" – торговые центры, офисные помещения, промышленные предприятия, терминалы аэропортов, вокзалов и т.п. Применяя электрооборудование с элегазовой изоляцией в открытых распределительных устройствах (ОРУ) высокого и сверхвысокого напряжения, можно также значительно сократить занимаемые площади (рис. 2).

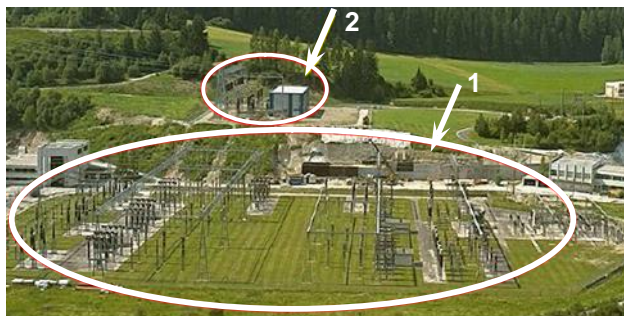


Рис. 2. Сравнение ОРУ напряжением 220 кВ с воздушной (1) и элегазовой (2) изоляцией

В данной статье рассмотрены наиболее распространенные на сегодняшний день на рынке электрооборудования КРУЭ, а именно:

- КРУЭ серии КУ35С производства концерна "Высоковольтный союз" (Россия, Украина);
- КРУЭ серии 8DN10 производства компании Siemens (Германия);
- КРУЭ серии RM6 производства компании Schneider Electric (Германия);
- КРУЭ SafeRing и SafePlus производства концерна ABB (Германия).

Концерн "Высоковольтный союз" [7] в 2010 г. представил первое на территории СНГ КРУ с элегазовой изоляцией серии КУ35С на номинальное напряжение 35 кВ (рис. 3). В данном КРУЭ в качестве коммутационного аппарата используются вакуумный выключатель ВРС-35, три полюса которого совместно с системой сборных шин размещены в полностью герметичном объеме (баке), заполненном элегазом.

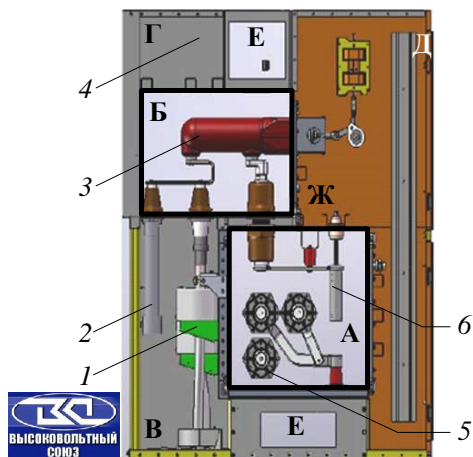


Рис. 3. Конструкция КРУЭ серии КУ35С

На рис. 3 обозначено: А – отсек сборных шин 5; Б – отсек вакуумного выключателя 3; В – отсек кабельных присоединений, трансформаторов тока 1 и ограни-

чителей перенапряжения 2; Г – отсек трансформаторов напряжения 4; Д – отсек низковольтной аппаратуры; Ж – отсек приводов вакуумного выключателя и трехпозиционного заземляющего разъединителя 6; Е – каналы сброса газов при аварийном давлении внутри газонаполненных корпусов.

Три полюса выключателя с помощью изолирующих тяг связаны через сильфоны с пружинным приводом, который расположен в верхней части КРУЭ со стороны фасада. Благодаря применению элегазовой изоляции удалось сократить межполюсное расстояние вакуумного выключателя, а также уменьшить расстояние между сборными шинами. Так, ширина нового КРУЭ по фасаду составляет 600 мм для номинальных токов до 1600 А и 800 мм – для токов свыше 1600 А. Для сравнения КРУ этого же производителя на номинальное напряжение 35 кВ, но уже с применением воздушной изоляции (серия КУ35 [7]), имеет ширину по фасаду в 1,8-2,5 раза большую (1500 мм) для всего диапазона значений номинального тока.

Основные технические характеристики КРУЭ КУ35С приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	35
Номинальный ток сборных шин, А	1250-2500
Номинальный ток отключения силового вакуумного выключателя, кА	31,5
Номинальный ток термической стойкости 3 сек, кА	31,5
Номинальный ток электродинамической стойкости, кА	81
Габаритные размеры:	
- ширина, мм	600(800*)
- глубина, мм	1650
- высота, мм	1965
Масса, кг	650-730

* – для номинального тока сборных шин 1600, 2000, 2500 А.

Основными преимуществами КРУЭ КУ35С являются экологическая безопасность, высокая степень надежности, удобство в обслуживании, широкий выбор типоразмеров и схем реализации релейной защиты и автоматики на микропроцессорах разных типов. Также, благодаря применению элегазовой изоляции в герметичном объеме, возможна установка КРУЭ на объектах, находящихся в тяжелых климатических условиях (пыль, грязь, соляной туман).

КРУЭ серии 8DN10 производства компании Siemens [8] предназначены для использования в распределительных подстанциях 10-20 кВ средней мощности (до 15 МВт). Корпус КРУЭ (рис. 4) выполнен из стали с гальваническим покрытием. Все элементы, находящиеся под высоким напряжением, имеют степень защиты IP65, а отсеки сборных шин и кабельного присоединения – IP20. Это достигается благодаря размещению силового оборудования (вакуумного выключателя и трехпозиционного переключателя) и системы сборных шин в цельносварном резервуаре 8 из нержавеющей стали, заполненном элегазом на весь срок без необходимости дополнительного обслуживания.

Трехпозиционный переключатель выполняет одновременно три функции – является выключателем нагрузки, разъединителем с возможностью включения

на номинальный ток короткого замыкания и заземляющим выключателем. Применение механической системы блокировок исключает возможность ошибочных коммутаций трехпозиционного переключателя.

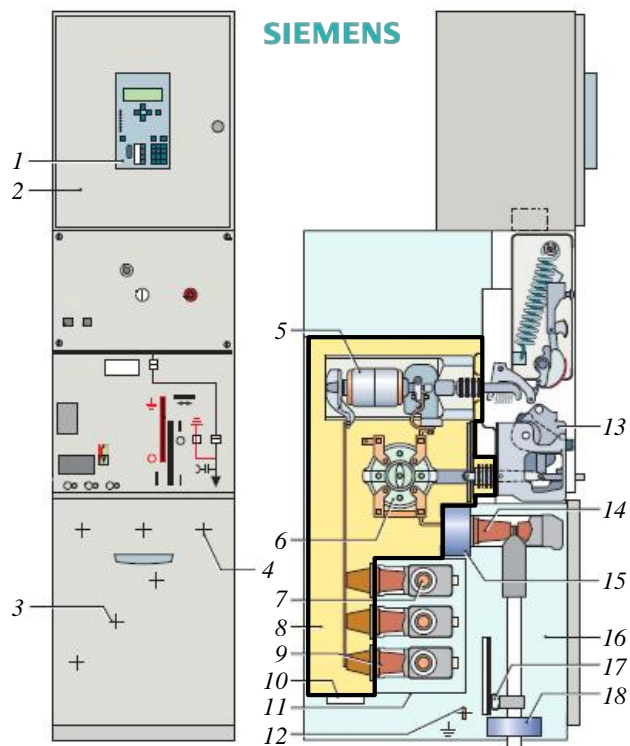


Рис. 4. Конструкция КРУЭ серии 8DH10, тип LS1 (с силовым выключателем без трансформатора напряжения)

На рис. 4 обозначено: 1 – панель системы управления; 2 – низковольтный отсек; 3 – расположение сборных шин; 4 – расположение кабельных присоединений; 5 – вакуумный выключатель; 6 – трехпозиционный выключатель нагрузки с функцией заземляющего разъединителя; 7 – система сборных шин; 8 – резервуар, заполненный элегазом; 9 – подключение для сборных шин; 10 – устройство сброса давления; 11 – перегородка для сборных шин; 12 – шина заземления; 13 – пружинный привод вакуумного выключателя; 14 – проходной изолятор; 15 – трехфазный трансформатор тока; 16 – кабельный отсек; 17 – кабельная несущая шина; 18 – кабельный съемный трансформатор тока.

Непосредственно приводные механизмы силового выключателя и трехпозиционного переключателя смонтированы вне резервуара с элегазом и легко доступны для внешнего осмотра. Доступ в кабельный отсек осуществляется спереди, причем крышка кабельного отсека снимается только в случае, если кабельное присоединение заземлено.

КРУЭ серии 8DH10 отличается модульным принципом построения. В зависимости от назначения различают пять основных видов ячеек: ячейка отходящей линии; трансформаторная ячейка; вводная ячейка; ячейка секционного выключателя; ячейка секционного разъединителя без силового выключателя. Наряду с этим также выпускаются дополнительные ячейки, расширяющие возможности применения КРУЭ – кабельные ячейки, ячейки заземлителя сборных шин, ячейки соединения в кольцевую схему электроснабжения,

ячейки секционирования сборных шин, а также широкий набор измерительных ячеек, отличающихся как комплектацией, так и схемами подключения измерительных трансформаторов. Объединение соседних ячеек выполняется путем соединения сборных шин с помощью специальных зажимных вкладышей. Расширение или замена ячеек выполняется непосредственно в помещении подстанции.

Основные технические характеристики КРУЭ серии 8DH10 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	7,2-24
Номинальный ток сборных шин, А	400-630
Номинальный ток отключения силового вакуумного выключателя, кА	20-25
Номинальный ток термической стойкости 3 сек, кА	20
Номинальный ток электродинамической стойкости, кА	50-63
Габаритные размеры:	
- ширина, мм	500
- глубина, мм	1100
- высота, мм	1600
Масса, кг	320-380

КРУЭ серии RM6 производства компании **Schneider Electric** [9] предназначено для установки в радиальных, магистральных и петлевых распределительных сетях электроснабжения 6-20 кВ (рис. 5). Данное КРУЭ может выполнять функции присоединения, питания и защиты одного или двух распределительных трансформаторов мощностью до 3000 кВА с помощью установки следующих аппаратов – комбинации выключателя нагрузки с плавкими предохранителями или же силового выключателя.



Рис. 5. КРУЭ серии RM6

Все коммутационные аппараты, сборные шины, токоведущие части КРУЭ, находящиеся под напряжением, размещаются в герметичном металлическом корпусе из нержавеющей стали, и обеспечивают степень защиты IP67. Вызывает интерес тот факт, что, например, в соответствии с требованиями ИЕС 60529 [10] и ГОСТ 14254 [11], которые предъявляются к оборудованию со степенью защиты IP67, КРУЭ RM6 успешно подтвердило свою работоспособность, будучи помещенным в воду в течение 30 минут (!) при подаче номинального напряжения 20 кВ (!).

Построение КРУЭ серии RM6 также основано на модульном принципе – имеется возможность установки ячеек на 1, 2, 3 или 4 кабельных присоединения без возможности дальнейшего расширения. В зависимости от типа защищаемого оборудования выпускаются КРУЭ пяти функциональных видов (табл. 3) в трех модификациях корпусов (табл. 4). Защита оборудования от сверхтоков осуществляется либо выключателем нагрузки в комбинации с плавкими предохранителями либо силовым выключателем (на номинальный ток 200 А, либо, в случае необходимости – на 630 А). КРУЭ серии RM6 обеспечивает возможность Г- или Т-образного модульного наращивания для дальнейшей модернизации существующей подстанции.

Таблица 3

Тип защиты	Функция
Сетевой выключатель нагрузки	I
Защита трансформатора – комбинация выключателя нагрузки и плавкого предохранителя	Q
Защита трансформатора – силовой выключатель на 200 А	D
Защита линии – силовой выключатель на 630 А	B
Трансформатор напряжения телеуправления	T

Таблица 4

Тип корпуса	Маркировка
Нерасширяемый	NE
Расширяемый Г-образно	RE
Расширяемый Т-образно	DE

Основные технические характеристики КРУЭ серии RM6 приведены в табл. 5.

Таблица 5

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6-20
Номинальный ток сборных шин, А	200-630
Номинальный ток отключения силового вакуумного выключателя, кА	16-21
Номинальный ток термической стойкости 1 сек, кА	16-21
Номинальный ток электродинамической стойкости, кА	40-52,5
Габаритные размеры:	
- ширина, мм	572
- глубина, мм	710
- высота, мм	1140
Масса, кг	250-390

КРУЭ SafeRing производства концерна **ABB** [12, 13] предназначено для вторичного распределения энергии, главным образом, в городских электрических сетях, которые построены по кольцевому принципу при напряжении 6-10 кВ и относительно небольших рабочих токах сборных шин (до 630 А) [13]. Основное назначение КРУЭ SafeRing – защита трансформаторов мощностью до 630 кВА.

Система SafeRing – это система полностью герметичных блоков, в корпусах которых, изготовленных из нержавеющей стали, размещаются два, три или четыре модуля с электрическими аппаратами – трехпозиционные переключатели, вакуумные силовые выключатели, плавкие предохранители, заземлители, короткозамыкатели. Все перечисленные аппараты размещаются в герметичном баке (аппаратном отсеке А – рис. 6), заполненном элегазом.



Рис. 6. КРУЭ SafeRing: А – аппаратный отсек, Б – отсек управления, В – кабельный отсек

Основные технические характеристики КРУЭ SafeRing приведены в табл. 6.

Таблица 6

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	12-24
Номинальный ток сборных шин, А	630
Номинальный ток отключения силового вакуумного выключателя, кА	16-21
Номинальный ток термической стойкости 3 сек, кА	21
Номинальный ток электродинамической стойкости, кА	52,5
Габаритные размеры:	
- ширина, мм	325
- глубина, мм	765
- высота, мм	1336
Масса, кг	320-380

В систему SafeRing входят четыре вида модулей, заканчивающиеся снизу кабельными выводами, а сверху присоединяются к общей питающей шине (рис. 7).

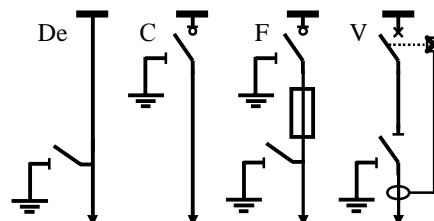


Рис. 7. Модули системы SafeRing

Модуль De – это прямое соединение общей шины с кабельным выводом, к которому подключен заземлитель. **Модуль C** – это соединение общей шины с кабельным выводом через трехпозиционный переключатель (аппарат, объединяющий в себе функции выключателя-разъединителя и заземлителя). **Модуль F** – это прямое соединение общей шины с кабельным выводом через комбинацию трехпозиционного переключателя с предохранителем. В данном модуле применяется дополнительный заземлитель, который подключает свой заземляющий вал к кабельному выводу, так как при отсутствии плавкой вставки (или ее перегорании) трехпозиционный переключатель не обеспечивает заземление фидерного кабеля. **Модуль V** содержит вакуумный силовой выключатель, который автоматически срабатывает при коротких замыканиях, датчиками которых служат трансформаторы тока,

встроенные непосредственно в модуль. Кроме вакуумного выключателя модуль V содержит еще один коммутационный аппарат – заземлитель, расположенный в нижней части аппаратного отсека.

В систему SafeRing входят 10 блоков, состоящие из рассмотренных 4 модулей, а именно: блоки DeF, DeV, CCC, CCF, CCV, CCCC, CCCF, CCCV, CCFF, CCVV. Данные блоки могут иметь различное применение, с которыми можно ознакомиться в [13].

В системе SafePlus (рис. 8) от АБВ [12, 14] к четырем рассмотренным выше модулям добавляется еще семь модулей (D, CB, Be, S1, Sv, M, Mt), каждый из которых может поставляться как в виде отдельного блока, так и в комбинации с другими модулями (рис. 9). Такая концепция позволяет обеспечить высокую гибкость системы, дает возможность проектировать сложные распределительные устройства.



Рис. 8. КРУЭ SafePlus

Модуль D, в отличие от модуля De, обеспечивая прямое соединение общей шины с кабельным выводом, не имеет в своем составе заземлителя, то есть не обеспечивает заземление общей шины и кабельного вывода. В **модуль CB** устанавливается силовой вакуумный выключатель с номинальным током 630 или 1250 А, следовательно, данный модуль необходимо использовать в качестве фидерного.

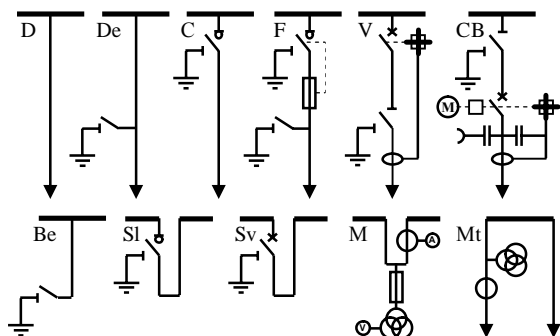


Рис. 9. Модули системы SafePlus

Модуль Be предназначен для заземления общей шины при, например, расширении распределительного устройства. **Модуль S1** позволяет осуществить секционирование распределительного устройства с использованием выключателя-разъединителя в качестве секционного аппарата. **Модуль Sv** также предназначен для секционирования распределительного устройства, но в нем в качестве секционного аппарата применяется вакуумный силовой выключатель. **Модули M** и **Mt** в отличие от всех остальных модулей имеют воздушную

изоляцию и выпускаются в виде отдельных блоков. В них устанавливаются измерительные трансформаторы для учета потребленной электроэнергии. В модуль M устанавливаются специальные узкие трансформаторы тока и напряжения, а в модуль Mt – трансформаторы других конструкций и производителей.

КРУЭ системы SafeRing и SafePlus являются высоконадежными, обеспечивают длительную безотказную эксплуатацию, легкий монтаж и удобство в эксплуатации, отсутствие необходимости обслуживания, в том числе любых работ с элегазом, отсутствие доступа к частям КРУЭ, которые находятся под высоким напряжением, поскольку блоки являются полностью герметизированными и экранированными.

Таким образом, в статье проведен аналитический обзор конструкций современных распределительных устройств среднего напряжения 6-35 кВ с элегазовой изоляцией ведущих мировых производителей, показаны преимущества их применения по сравнению с традиционными для Украины распределительными устройствами с воздушной изоляцией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Moissan.
2. Коробейников С.М. Диэлектрические материалы. – НГТУ, 2000.
3. Иоффе А.Ф., Гохберг Б.М. Физико-технический институт Академии Наук СССР // Наука и жизнь (Изд-во АН СССР). – № 10. – 1940. – С. 59-63.
4. Мазурин И.М. Направленная кристаллизация как основной процесс очистки и регенерации элегаза: дис. д-ра техн. наук 01.04.14 Москва, 2006. 290 с. РГБ ОД, 71:07-5/260.
5. Кох Д. Свойства SF₆ и его использование в коммутационном оборудовании среднего и высокого напряжения // Schneider Electric.
6. Вальтер Холаус, Фредди Штуки. Прорыв в области коммутации // АБВ Ревю. – № 4. – 2008.
7. <http://www.vsoyuz.ru/russian/>.
8. <https://www.cee.siemens.com/web/ua/ru/Pages/Home.aspx>.
9. <http://www.schneider-electric.ru/sites/russia/ru/home.page>.
10. IEC 60529. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
11. ГОСТ 14254. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP).
12. <http://www.abb.ua/>.
13. Розподільні пристрої з элегазовою ізоляцією SafeRing & SafePlus: безпечність, надійність, компактність // Електротехніка і електромеханіка. – 2010. – № 5. – С. 67-72.
14. Розподільні пристрої з элегазовою ізоляцією SafeRing & SafePlus: безпечність, надійність, компактність // Електротехніка і електромеханіка. – 2010. – № 6. – С. 74-78.

Поступила 10.01.2011

Гречко Александр Михайлович, к.т.н.

Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт"
61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21
НТУ "ХПИ", кафедра "Электрические аппараты"
тел. (057) 707-62-81,
e-mail: a.m.grechko@mail.ru

A.M. Grechko

SF₆ switchgear for average voltage 6-35 kV.

The article gives a constructions' analytic review of modern SF₆ switchgear for average voltage 6-35 kV.

Key words – SF₆, switchgear, average voltage.