

Вакуумные выключатели - история, технологии.

Обзор. А. Бельский 1987г.

Многие производители электрических комплектующих хотят сами производить выключатели для высокого напряжения. Основное направление - это использование свойств электрической дуги в вакууме. Ниже наведен материал который поможет понять какие проблемы необходимо решать при организации такого производства.

Введение.

Почему же все-таки, вакуум?

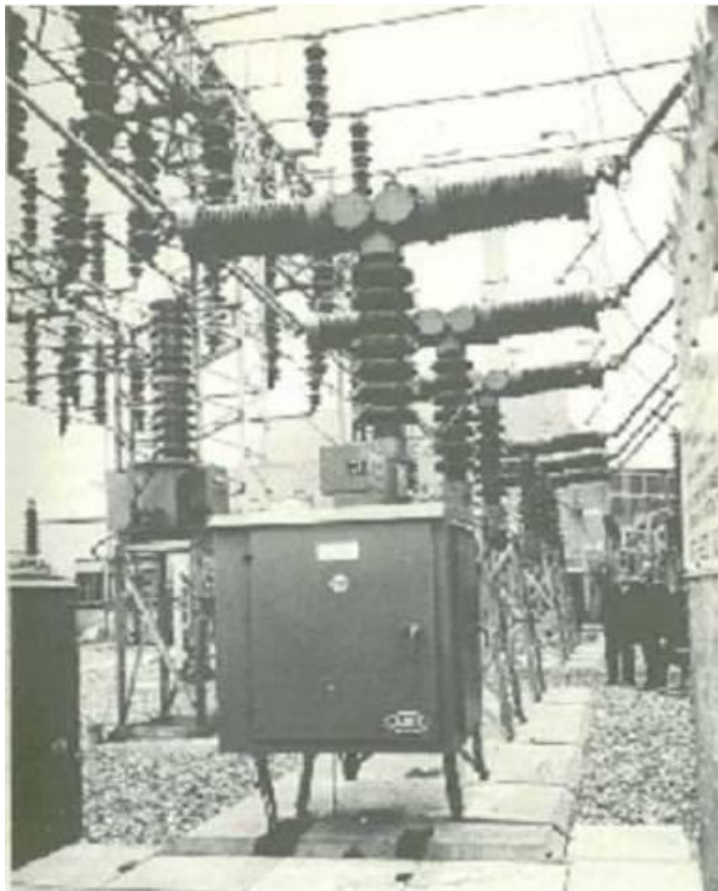
Вакуум обладает уникальными свойствами, которые возможно использовать в процессе коммутации высоковольтных электрических цепей. Такой вывод сделали специалисты Калифорнийского технологического института в 20-х годах прошлого века.

Свойства вакуума:

- ▶ диэлектрическая прочность – 40кВ/мм (125кV/ 1/8 дюйма);
- ▶ естественная отключающая способность – до 4 кА;
- ▶ расширенная отключающая способность – свыше 100кА;
- ▶ в вакууме контакты выдерживают более 50000 срабатываний при номинальных значениях тока;
- ▶ отключение цепи возможно при значениях тока ниже 0,4А;
- ▶ минимум энергии, необходимой для выполнения коммутации (измеряется в Дж);
- ▶ вакуум безопасен для окружающей среды.

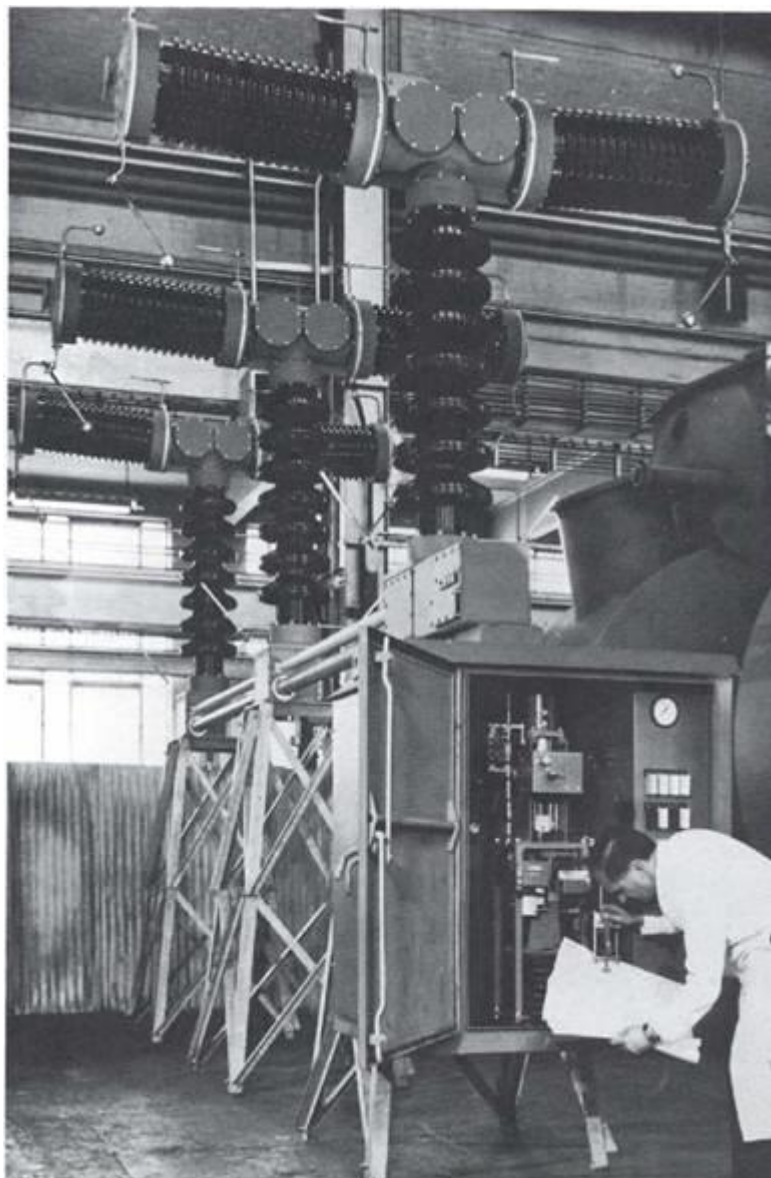
История вакуумных выключателей.

50-е годы. История развития: как все начиналось...

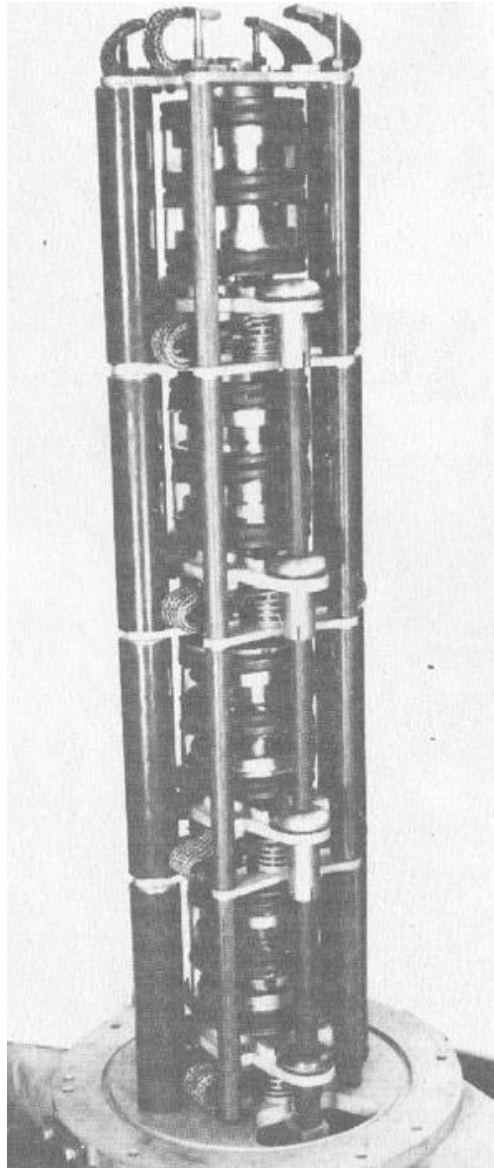


Один из первых высоковольтных выключателей магистральной электросети. На фото изображен АЕИ на 132кВ – вакуумный выключатель, работающий в Вест Хэме (Лондон) с 1967г. Этот, как и большинство подобных ему устройств, эксплуатировался вплоть до 1990-х годов.

История развития: вакуумный выключатель VGL8 на 132кВ.



На фото результат совместной разработки СЕГВ (Центральный Совет Электростанций – основной поставщик электроэнергии в Англии) и General Electric Company. Первые шесть устройств были введены в эксплуатацию в период 1967 - 1968 гг. Напряжение распределяется с помощью параллельно подключенных конденсаторов и сложному подвижному механизму. Каждая группа защищена фарфоровым изолятором и находится под давлением в элегазе. Вакуумный выключатель конфигурации «Т» с четырьмя вакуумными дугогасительными камерами в каждой группе – соответственно, на каждую фазу подключается серия из 8 вакуумных дугогасительных камер.



Общий вид дугогасительной камеры.

История эксплуатации данного аппарата:

- бесперебойная эксплуатация в Лондоне течении 30 лет. В 1990-х годах был выведен из обслуживания за ненадобностью и демонтирован.
- вакуумные выключатели этого типа использовались до 1980-х годов на электростанции Tir John (Уэльс), после чего, в результате реконструкции сети, были демонтированы в графство Девон.

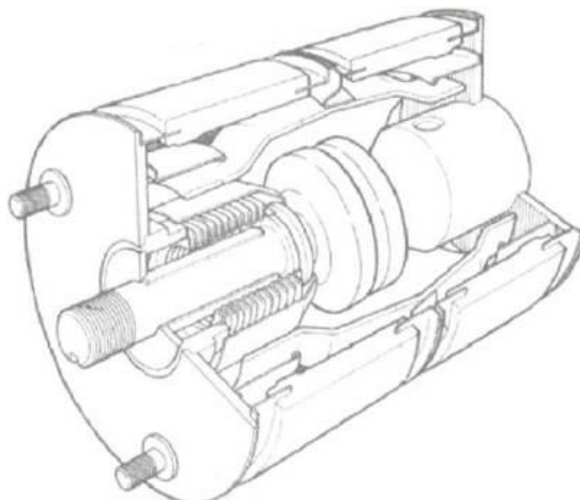
История развития: проблемы 60-х.

В тоже время, наряду с разработкой высоковольтных вакуумных выключателей, компании-производители меняли свои масляные и воздушные выключатели на элегазовые.

Элегазовые коммутаторы были проще и дешевле в эксплуатации по следующим причинам:

- использование в высоковольтных вакуумных выключателях 8 вакуумных выключателей на фазу, требует наличия сложного механизма для обеспечения одновременной работы 24 контактов в группе;
- использование существующих масляных выключателей было экономически не целесообразно.

Вакуумный выключатель.



В вакуумных выключателях сначала использовались вакуумные дугогасительные камеры серии V3, а позже – серии V4.

Вакуумные дугогасительные камеры серии V3 изначально разрабатывались для использования в трехфазных распределительных сетях, напряжением 12кВ. Тем не менее, успешно использовались в электрических цепях тяги электровозов и подключений в «полосе отчуждения» – в однофазных сетях, напряжением в 25кВ.

Устройство вакуумного выключателя:

Вакуумный выключатель состоит из основной камеры, размером 7/8" (22.2мм), и дополнительного отсека, размером 3/8" (9,5 мм), для работы контактных пружин.

Рекомендуемые рабочие характеристики:

- средняя скорость закрытия камеры – 1-2 м/сек.
- средняя скорость открытия камеры – 2-3 м/сек.

Так какие же вопросы решались производителями вакуумных высоковольтных выключателей в 60-х годах?

Во-первых, напряжение коммутации первых вакуумных выключателей ограничено 17,5 или 24кВ.

Во-вторых, технологии того времени требовали наличия большого количества вакуумных дугогасительных камер в серии. Это, в свою очередь, повлекло за собой использование сложных механизмов.

Еще одна проблема состояла в том, что производство вакуумных дугогасителей того времени рассчитано на большие объемы продаж. Разработка узкоспециализированных устройств была экономически не целесообразна.

Технология вакуумных выключателей.



Главная горизонтальная линия покрытия в «чистой комнате». VII, Финчли, 1978 год.

Изготовление вакуумных дугогасительных камер происходит в *специальных установках*, используя современные технологии – *«чистая комната»*, *вакуумные печи* и т.п.



Цех по производству вакуумных выключателей в Южной Африке, 1990 г.

Изготовление вакуумной камеры является высокотехнологическим производственным процессом. После сборки, камеры выключателя помещают в вакуумную печь, где их герметично запаивают.

Четыре основных момента в производстве вакуумной дугогасительной камеры:

- полный вакуум;
- детальный расчет электрических параметров;
- система управления дугой;
- материал контактных групп.

Четыре ключевых момента при производстве вакуумных выключателей:

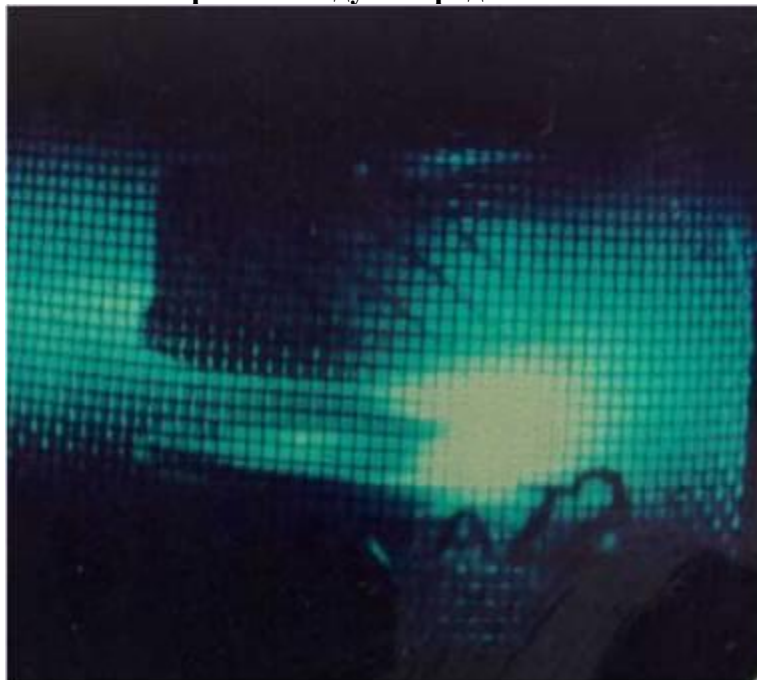
1. Идеальное общее качество сборки устройства.
2. Точный расчет электромагнитных параметров устройства. При ошибках в проектировании устройства, возможны электромагнитные помехи между разъединителями.
3. Механизм. Необходимо обеспечить короткий ход механизма и низкий уровень энергозатрат. Например, при коммутации на 38кВ, требуемый ход механизма составляет 1/2" (30,5мм) и, при этом, расход энергии не превышает 150Дж.
4. Идеально герметичные сварочные швы.

Устройство классической вакуумной дугогасительной камеры.



На фото изображены основные узлы конструкции вакуумной дугогасительной камеры V8 на 15кВ (4 1/2" диам.). Начало 70-х годов.

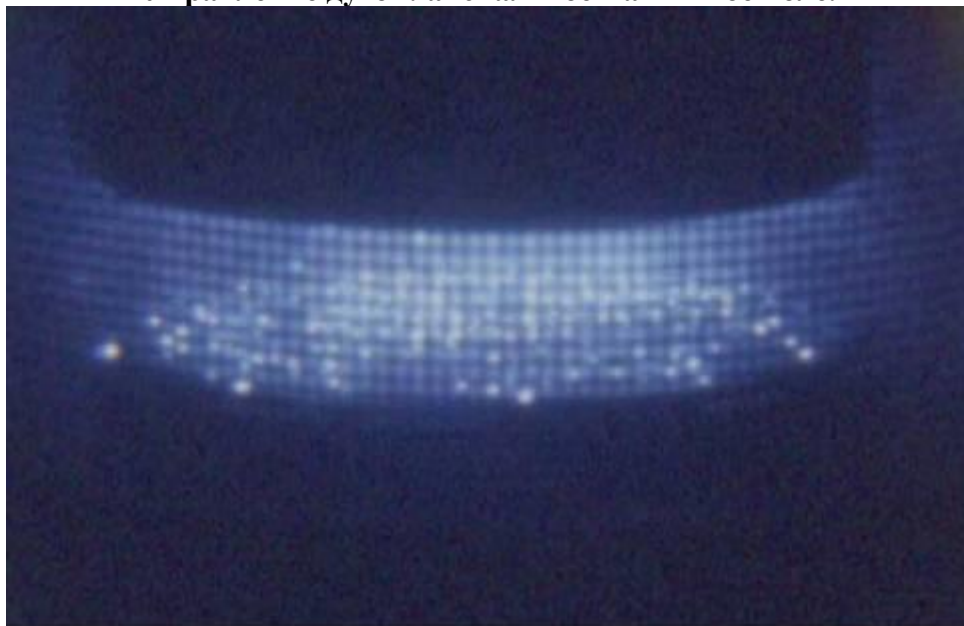
Управление электрической дугой: радиальное магнитное поле.



Кадр высокоскоростной съемки (5000 кадров в секунду). Контактная площадка прерывателя. Диаметр 2". Радиальное магнитное поле 31,5kArms 12kVrms.

Данный процесс происходит благодаря самоиндукции радиального магнитного поля (вектор поля направлен вдоль радиального направления), которое создает движение дуги над электрическим контактом, снижая при этом, локальное нагревание контактной площадки. Материал контактов должен быть таким, что бы электрическая дуга свободно перемещалась по поверхности. Все это позволяет реализовать коммутацию токов до 63 кА.

Управление дугой: аксиальное магнитное поле.

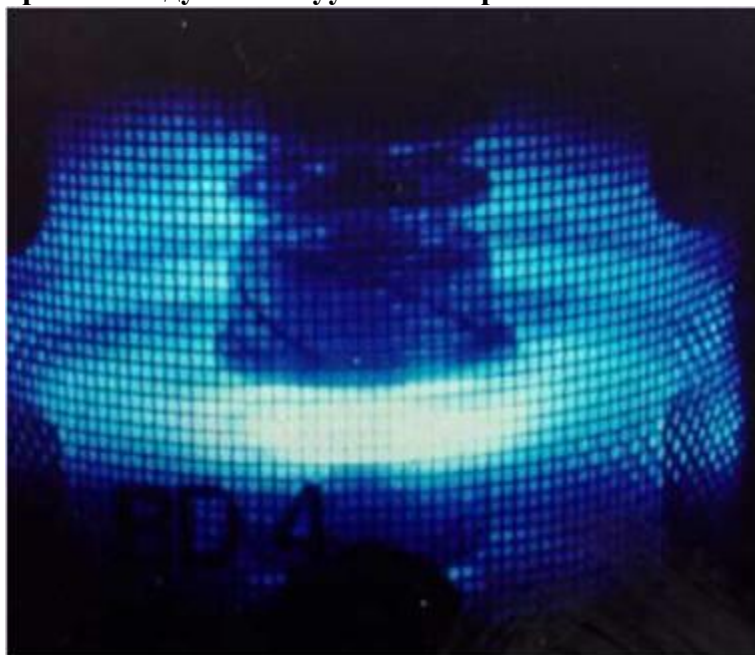


Кадр высокоскоростной съемки (9000 кадров в секунду). Изображение аксиального магнитного поля 40kArms 12kVrms

Процесс с использованием самоиндукции магнитного поля вдоль оси электрической дуги не позволяет дуге сжиматься и предохраняет от перегрева контактную площадку, отводя избыток

энергии. В данном случае, материал контактной площадки не должен способствовать передвижению дуги вдоль поверхности контакта. Существует возможность в промышленных условиях выполнять коммутацию токов свыше 100кА.

Электрическая дуга в вакууме – материал контактных групп.



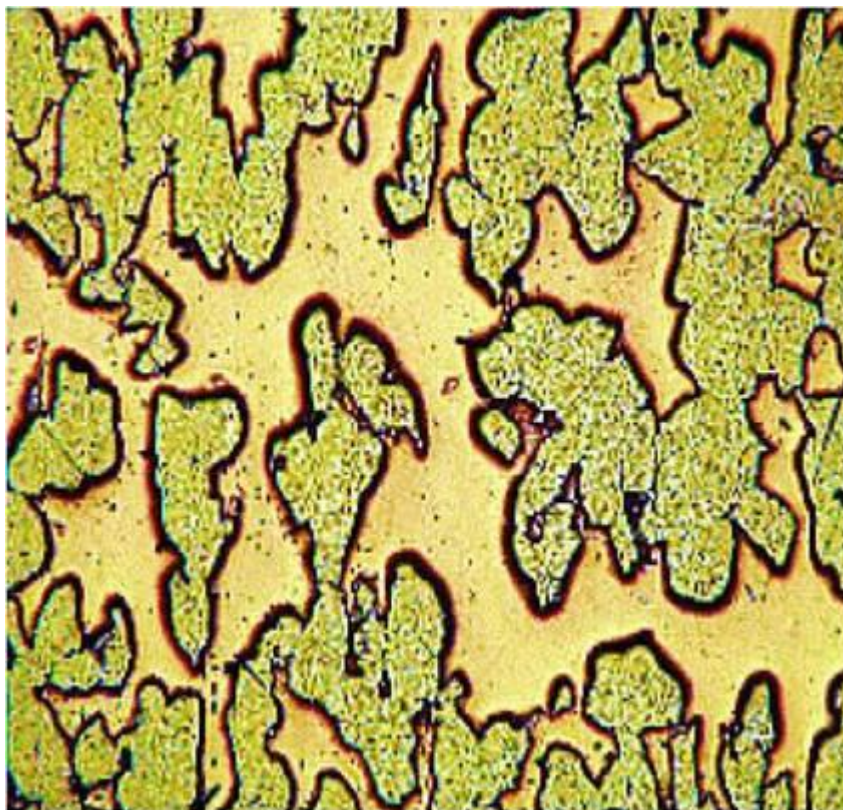
Кадр высокоскоростной съемки (5000 кадров в секунду). Изображение контактной площадки диаметром в 35мм. Радиальное магнитное поле. 20kArms 12kVrms

При размыкании контактов в вакууме, с поверхностей контактов испаряется металл, который и образует электрическую дугу. При этом свойства дуги меняются в зависимости от материала, из которого изготовлены контакты.

Рекомендуемые параметры контактных пластин:

Напряжение	Изделие	Требования
1,2-15 кВ	контактор	Минимальный порог срабатывания < 0,5 А Механическая износостойкость – 3000000 раз Бесшовный корпус
15-40 кВ	коммутатор	Высокая диэлектрическая прочность – (до 200кВ на 12 мм) высокая отключающая способность – (до 100кА) Бесшовный корпус
132 кВ и выше	коммутатор	Очень высокая диэлектрическая прочность – (до 800кВ на 50 мм) высокая отключающая способность – (до 63кА) Бесшовный корпус

Материалы



Микрофотография.

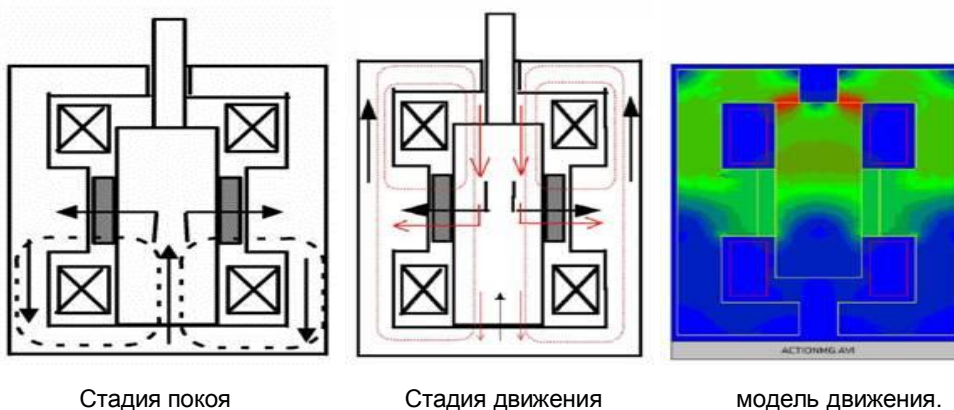
Изначально, для изготовления контактных пластин использовался сплав из меди и хрома. Этот материал был разработан и запатентован компанией English Electric в 1960-х годах. На сегодня, это самый используемый металл при производстве вакуумных дугогасительных камер.

Принцип работы механизма.

Механизм вакуумных выключателей устроен таким образом, что количество затраченной на коммутацию энергии не играет никакой роли – происходит простое перемещение контактов. Типичному АПВ, для управления достаточно затратить энергию в 150-200Джоулей, в отличие от элегазового магистрального коммутатора, которому необходимо 18000-24000Джоулей для осуществления одного переключения. Этот факт позволил использовать в работе постоянные магниты.

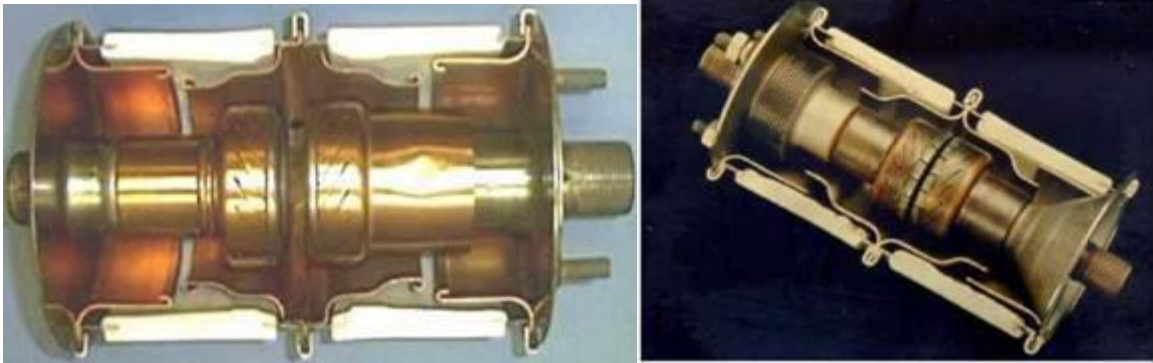
Магнитный привод.

Принцип действия магнитного привода.



Какова ситуация на сегодняшний день?

Полученные за последние сорок лет научные достижения, позволили объединить, при производстве вакуумного разъединителя, камеры для 38кВ и 72/84кВ в одну. Максимально возможно напряжение на одном разъединителе сегодня достигает 145кВ – таким образом, высокий уровень коммутируемого напряжения и низкое энергопотребление позволяют использовать надежные и недорогие устройства.



Прерыватель на фото слева рассчитан на работу под напряжением 95кВ, а на фото справа – на работу под напряжением 250кВ. Длина обоих устройств одинакова. Такой прогресс стал возможным благодаря усовершенствованию материалов из которых изготовлены электрические поверхности контактов.

Проблемы, которые появляются при использовании вакуумных выключателей на сетях с более высоким напряжением:

- Для работы требуются физически большие размеры вакуумной камеры, что влечет за собой сокращение производительности и ухудшение качества обработки самих камер.
- Увеличение физических размеров устройства повышает требования к обеспечению герметизации самого устройства и к контролю производственного процесса.
- Длинный (длиннее 24мм) промежуток между контактами влияет на возможность управления дугой радиальным и аксиальным магнитным полем, и снижает работоспособность устройства.
- Используемые на сегодняшний день материалы для изготовления контактов, рассчитаны на средние значения напряжения. Для работы на столь больших промежутках между контактами, необходима разработка новых материалов.
- **Необходимо учитывать наличие рентгеновских лучей.**

В связи с последним пунктом, нужно отметить еще несколько фактов:

При выключенном контакторе излучение рентгеновских лучей отсутствует.

При средних значениях напряжения (до 38кВ) рентгеновское излучение равно нулю или ничтожно мало. Как правило, в коммутаторах напряжения до 38кВ рентгеновское излучение появляется только при испытательных напряжениях.

Как только напряжение в системе поднимается до **145кВ, мощность излучение рентгеновских лучей возрастает и тут уже необходимо решать проблемы безопасности.**

Вопрос, который сейчас стоит перед разработчиками вакуумных прерывателей, насколько велико будет облучение окружающего пространства, и как это повлияет на полимеры и электронику, которые монтируются непосредственно на сам выключатель.

Сегодняшний день.



Вакуумный выключатель высокого напряжения, рассчитан на работу 145кВ.
Современная вакуумная дугогасительная камера.



Производство вакуумной дугогасительной камеры, рассчитанной на работу в сетях 145кВ, значительно упрощает производство вакуумного выключателя на 300кВ с двумя местами разрыва на фазу. Однако, такие высокие значения напряжения, вносят свои требования к материалу контактов и методам управления электрической дугой.

Общие выводы:

Технологически возможно промышленное производство и эксплуатация вакуумных выключателей на сетях напряжением до 145кВ.

Используя только лишь известные сегодня технологии, возможна работа вакуумных прерывателей на сетях до 300-400кВ.

На сегодняшний день, существуют серьезные технические проблемы, не позволяющие в ближайшем будущем использовать вакуумные прерыватели на сетях свыше 400кВ. Однако, работа в этом направлении ведется, цель таких работ – производство вакуумных дугогасительных камер для работы на сетях до 750кВ.

На сегодняшний день не существует больших проблем при использовании вакуумных дугогасительных камер на магистральных линиях. Вакуумные выключатели, на протяжении 30 лет, успешно используются при передаче тока на сетях напряжением до 132кВ.

Выводы для организации производства:

Т. о., если речь идет о вакуумных выключателях для среднего напряжения (до 35кВ), то производственный процесс можно выполнить собирая вакуумные выключатели, используя готовые комплектующие изделия для этого: камеры, магнитный привод, механизмы контроля и установки с одним **НО** - ***покупка качественных вакуумных камер практически не возможна, т.к. производители не хотят делиться основным узлом своего оборудования. А то, что можно приобрести очень сомнительно по качеству.***

Можно приобретать готовое изделие для однофазной сети и собирать выключатели для 2-х, 3-х или 4-х фазных сетей со своими механическими и электрическими узлами.

Оправдается ли это экономически – сомнительно. Т.к. необходим участок сборки, рабочие руки, участок испытаний. Разово необходимо понести затраты на получения разрешительных и утвержденных документов, сертификатов.

Целесообразнее всего, организация производства готовых устройств, ячеек с вакуумными выключателями. При этом, стоимостные показатели будут зависеть от типа применяемого оборудования для такой ячейки.

46 производителей ячеек коммутации.

Производственное объединение Элтехника, ОАО

Адрес: 192288, Россия, г. Санкт-Петербург, Грузовой проезд, д. 19

Телефон: +7 (812) 329-97-97, 329-33-97

Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Низковольтная аппаратура · Силовые конденсаторы · Системы автоматизации · Трансформаторы и подстанции · Электростанции и генераторы · ... **ещё**



HÜBERS Verfahrenstechnik Maschinenbau GmbH

Адрес: Schlavenhorst 39, 46395 Bocholt, Deutschland

Телефон: +49 (2871) 281-0, 281-1203, 281-1209

Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Низковольтная аппаратура · Светотехническое оборудование · Силовая электроника · Силовые конденсаторы · Трансформаторы и подстанции · ... **ещё**



ЕССО-Технолоджи, ООО

Адрес: 428000, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 52, корп. 8

Телефон: +7 (8352) 62-38-81, 62-67-57

Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Низковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции · Электрические машины · Электрощитовое оборудование



ЭнергоСистемы, ООО

Адрес: 428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр. И.Яковлева, д. 3

Телефон: +7 (8352) 22-60-92

Взрывозащищенное оборудование · Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Крановое оборудование · Низковольтная аппаратура · Приводная техника · Силовые конденсаторы · Системы... [ещё](#)



Штойбли РУС, ООО

Адрес: 196210, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Стартовая, д. 8а

Телефон: +7 (812) 334-46-30

Высоковольтная аппаратура · Инструмент и станки · КИПиА · Кабели и провода · Низковольтная аппаратура · Приводная техника · Системы автоматизации · Электрические машины · ... [ещё](#)



Трансформер, ПГ

Адрес: 142100, Россия, Московская область, г. Подольск, ул. Б.Серпуховская, д. 43

Телефон: +7 (495) 545-45-11, 580-27-27

Высоковольтная аппаратура · Низковольтная аппаратура · Приводная техника · Проектирование и монтаж · Сырье и материалы · Трансформаторы и подстанции · Электрощитовое оборудование



Электрощит Самара, ЗАО

Адрес: 443048, г. Самара, пос. Красная Глинка, корпус заводоуправления ОАО «Электрощит»

Телефон: +7 (846) 2-777-444

Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Низковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции · Ультразвуковое оборудование · Электростанции и генераторы · Электротермическое... [ещё](#)



Трансформатор, ООО

Адрес: 443030, Россия, Приволжский округ, Самарская обл., г. Самара, ул. Чернореченская, д. 21, оф. 433

Тел/факс: +7 (846) 278-46-45, 278-46-44, 278-46-22

Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Кабели и провода · Низковольтная аппаратура · Приводная техника · Светотехническое оборудование · Силовые конденсаторы · Трансформаторы и... [ещё](#)



Производственное объединение Север, ФГУП

Адрес: 630075, Россия, г. Новосибирск, ул. Объединения, д. 3

Телефон: +7 (383) 274-46-30

Взрывозащищенное оборудование · Высоковольтная аппаратура · Крановое оборудование · Низковольтная аппаратура · Приводная техника · Системы автоматизации · Электрощитовое оборудование



Энергобаланс, ООО

Адрес: Россия, г. Пермь, ул. Фоминская, д. 41

Телефон: +7 (342) 204-07-30

Высоковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции · Электрощитовое оборудование



AREVA T&D

Адрес: 107023, Россия, г. Москва, ул. Электровзаводская, д.32 «А»

Телефон: +7 (495) 737-49-79

Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Низковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции · Электрощитовое оборудование



Компания VACEM

Адрес: Wenzhou Daqiao Industrial Zone, North Baixiang, Yueqing, Zhejiang, China

Телефон: 0086 (577) 62867002

Взрывозащищенное оборудование · Высоковольтная аппаратура · Низковольтная аппаратура · Приводная техника · Электрощитовое оборудование



Sieyuan Electric Co., Ltd

Адрес: 201108, КНР, г. Шанхай, ул. ХуаНин, д. 3399

Телефон: +8613770552503

Высоковольтная аппаратура · Испытательное оборудование · Силовая электроника · Силовые конденсаторы · Трансформаторы и подстанции



Чебоксары - Электроаппаратная защита, ЗАО

Адрес: 428000, г. Чебоксары, пр. Ленина, д. 2, а/я 147

Телефон: +7 (8352) 67-13-26

Высоковольтная аппаратура · Низковольтная аппаратура · Приводная техника · Системы автоматизации · Трансформаторы и подстанции · Электрощитовое оборудование



Инвестиционная Строительная Компания Олимп, ООО

Адрес: 115191, Россия, г. Москва, ул. Рошинская 2-ая, д. 4

Телефон: +7 (499) 755-69-81

Взрывозащищенное оборудование · Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Кабели и провода · Крановое оборудование · Низковольтная аппаратура · Приводная техника · Проектирование и... [ещё](#)



[CNC Electric Group Co.,Ltd](#)

Адрес: Changcheng High-tech Industrial zone, North Baixiang, Wenzhou, Zhejiang Province, P.R.C

Телефон: 86 (577) 61989999

Взрывозащищенное оборудование · Высоковольтная аппаратура · Низковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции · Электрощитовое оборудование

[ЭНЕРГОТЕХСНАБ, ООО](#)

Адрес: 454092, Россия, Челябинская обл., г. Челябинск, ул. Кирова, д. 130

Телефон: +7 (351) 264-21-98

Высоковольтная аппаратура · Инструмент и станки · КИПиА · Кабели и провода · Низковольтная аппаратура · Светотехническое оборудование · Силовая электроника · Электрические машины... [ещё](#)

НПО «ЭнергоКомплект»



[НПО ЭнергоКомплект, ООО](#)

Адрес: 428022, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Кабельный пр-д., д. 1а, стр. 3

Телефон: +7 (8352) 37-91-22

Высоковольтная аппаратура · Низковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции · Электрощитовое оборудование

[НПФ Техэнергокомплекс, ООО](#)

Адрес: 140012, Россия, Московская обл., г. Люберцы, ул. Транспортная, д. 1

Телефон: +7 (495) 971-21-64

Высоковольтная аппаратура · Низковольтная аппаратура · Электростанции и генераторы · Электрощитовое оборудование



[Ватра ФПКП](#)

Адрес: 95022, Украина, АР Крым, г. Симферополь, ул. Бородина, д. 20, оф. 2

Телефон: +380 (0652) 69-05-99

Высоковольтная аппаратура · Кабели и провода · Низковольтная аппаратура · Силовые конденсаторы · Трансформаторы и подстанции · Электромонтажная арматура · Электрощитовое оборудование



[ЭлектроЗавод, ОАО](#)

Адрес: 170039, Россия, г. Тверь, ул. Паши Савельевой, д. 55, стр. 1

Телефон: +7 (4822) 41-71-10

Высоковольтная аппаратура · Электрощитовое оборудование



[Группа компаний Высоковольтные технологии, ООО](#)

Адрес: 69037, Украина, Запорожская обл., г. Запорожье, ул. Верхняя, д. 4

Телефон: +38 (061) 707-39-54

Взрывозащищенное оборудование · Высоковольтная аппаратура · Низковольтная аппаратура · Силовые конденсаторы · Системы автоматизации · Трансформаторы и подстанции · Электростанции... [ещё](#)

Научно-производственное объединение ДЕЛЬТА

Адрес: 196128, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Варшавская, д. 5а

Телефон: +7 (911) 229-53-64

Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Низковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции · Электрощитовое оборудование · Энергосберегающее оборудование



ЭлектроСтройСити, ООО

Телефон: 8 (800) 700-18-65

Аккумуляторы и батареи · Высоковольтная аппаратура · КИПиА · Кабели и провода · Крановое оборудование · Низковольтная аппаратура · Приводная техника · Проектирование и монтаж · ... [ещё](#)

[Контакты и адреса](#) · [Файлы](#) · [Прайс-лист](#) · [Новости](#) · [Публикации](#) · [Видео](#)



Научно-Производственное Объединение ЭлектроКомплект, ООО

Адрес: 428000, Россия, г. Чебоксары, пр-т. Тракторостроителей, д. 6, оф. 212

Телефон: +7 (8352) 37-95-22

Высоковольтная аппаратура · Низковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции · Электрощитовое оборудование



Карпинский электромашиностроительный завод, ОАО

Адрес: 624930, Россия, Свердловская обл., г. Карпинск, ул. Карпинского, д. 1

Телефон: +7 (34383) 3-28-51

Высоковольтная аппаратура · Крановое оборудование · Электрические машины · Электрокерамика и изоляторы



Hedrich Group

Адрес: Greifenthaler Strasse, 28, D-35630, Ehringshausen-Katzenfurt

Телефон: +7 (495) 940-98-67

Высоковольтная аппаратура · Силовая электроника · Силовые конденсаторы · Трансформаторы и подстанции · Электрические машины · Электрокерамика и изоляторы · Электротермическое оборудование



Уралэнерго, ООО

Адрес: 620137, Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Блюхера, д. 28, оф. 310

Телефон: +7 (343) 379-01-07, 213-17-22

Высоковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции · Электрокерамика и изоляторы · Электросварочное оборудование · Электрощитовое оборудование



Южная промышленная компания, ООО

Адрес: 69006, Украина, г. Запорожье, ул. Северное шоссе, д. 3г

Телефон: +38 (061) 222-23-69

Высоковольтная аппаратура · Кабели и провода · Светотехническое оборудование · Трансформаторы и подстанции ·
Электрические машины · Электростанции и генераторы · Электрощитовое оборудование








РОСВАКУУМ, ООО

Адрес: 142190, Россия, Московская обл., г. Троицк, ул. Дальняя, д. 3

Тел\факс: +7 (495) 669-44-23

Высоковольтная аппаратура · Трансформаторы и подстанции

Новые компании ↓

-  [Спектр РС](#)
Россия, Санкт-Петербург
-  [Смарт Энерго](#)
Россия, Краснодар
-  [Сибэлектроцит](#)
Россия, Россия
-  [РосЭнергоСнаб](#)
Россия, Санкт-Петербург
-  [Кранэлектро](#)
Россия, Екатеринбург

Как видно из перечня, все производство данной категории сосредоточено на территории России и только 3-и представителя Украины изготавливают вакуумные выключатели. Чтобы открыть полный цикл производства вакуумных выключателей необходимы значительные денежные средства...