



# Высоковольтные выключатели

---

Повный А. В. «Школа для электрика» - <https://electricalschool.info/>



# Роль высоковольтных выключателей в энергосистемах

1

**Защита оборудования от повреждений**

2

**Поддержание стабильности энергосистемы**

3

**Обеспечение безопасности персонала**

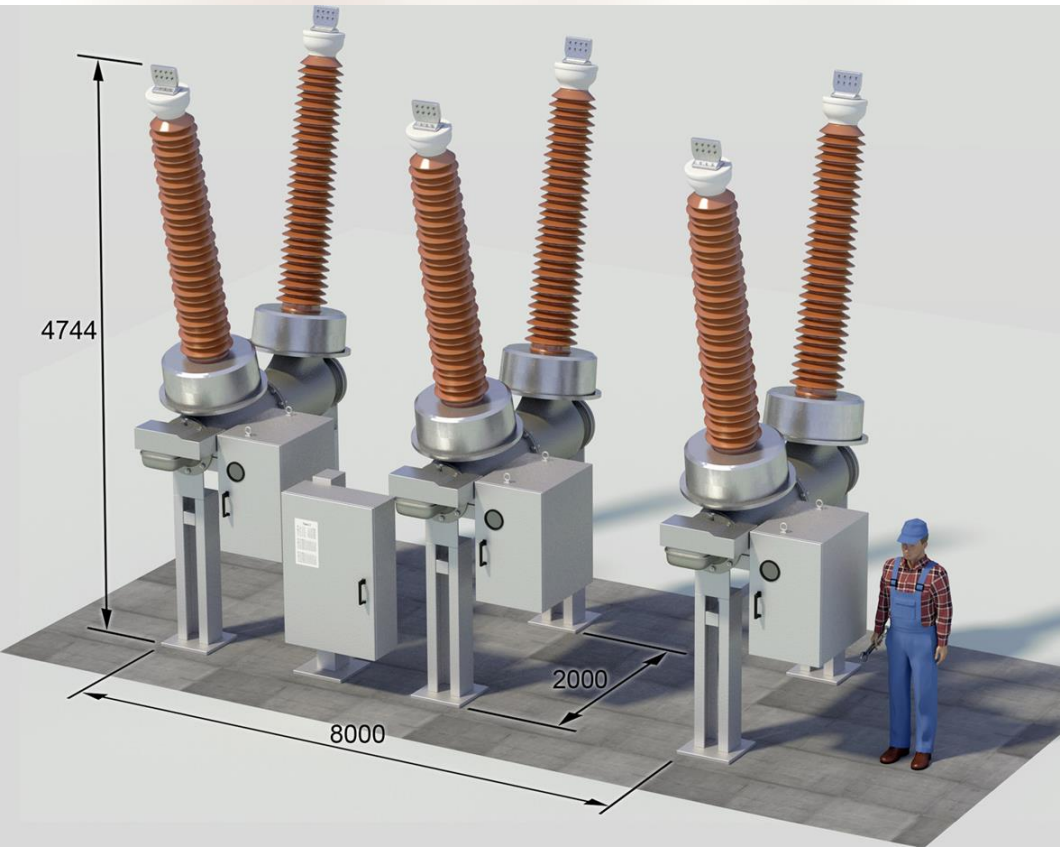
4

**Интеграция возобновляемых источников энергии**

5

**Современные требования к электроснабжению**

# Высоковольтные выключатели: Основные аспекты



1

Принципы гашения электрической дуги

2

Классификация по дугогасящей среде

3

Конструктивные особенности

4

Основные характеристики

5

Области применения



# **Основные понятия и определения**

---

# Высоковольтный выключатель

---



**Коммутационный аппарат для  
высоковольтных цепей**

**Обеспечивает безопасность и  
надежность**

**Классификация по напряжению**

*До 35 кВ  
35 кВ – 220 кВ  
330 кВ и выше*

**Классификация по гашению дуги**

*Масляные  
Воздушные  
Элегазовые (SF<sub>6</sub>)  
Вакуумные  
Автогазовые*

# Высоковольтные выключатели: Ключевые характеристики

## Отключающая способность

Способность отключать ток короткого замыкания.

- Важна для предотвращения повреждений.
- Симметричный и асимметричный токи отключения

## Время отключения

Интервал от команды до разрыва цепи.

- Быстрое отключение снижает нагрузки.
- Составляющие: время срабатывания и гашения дуги



## Надежность

Способность выполнять функции в заданных условиях.

- Ключевые характеристики: вероятность безотказной работы, MTBF, MTTR.
- Влияние конструкции, материалов и обслуживания



# **Принцип гашения электрической дуги**

---

# Ионизация в электрической дуге

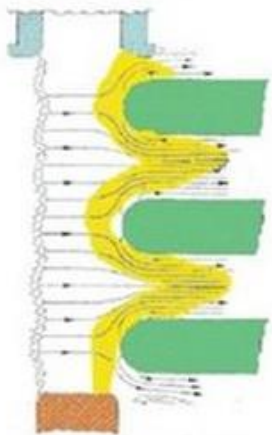
---



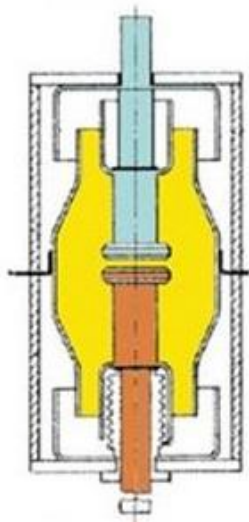
1. При размыкании контактов образуется промежуток, ионизация нейтральных молекул газа.
2. Механизмы ионизации:
  - Ударная: электроны выбивают другие электроны.
  - Термическая: высокая температура вызывает хаотичное движение частиц.
  - Фотоионизация: УФ и видимое излучение выбивает электроны.
3. Ионизация поддерживает проводимость дуги.



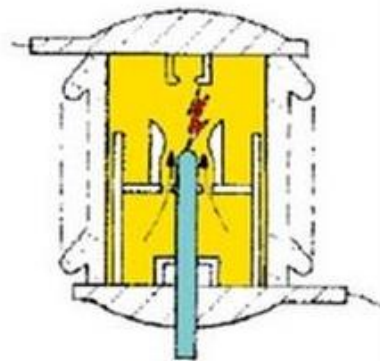
## Основные способы гашения дуги в аппаратах выше 1 кВ



Гашение дуги  
в масле



Гашение дуги  
в вакууме



Гашение дуги  
в газах

## Методы гашения электрической дуги

### 1 Охлаждение дуги

- Снижение температуры = уменьшение ионизации.
- Реализация: гашение в масле, элегазе, газовое дутье.
- Эффект: повышение электрической прочности

### 2 Деионизация

- Снижение ионов = восстановление диэлектрической прочности.
- Реализация: интенсивное охлаждение, использование SF6.
- Эффект: быстрое восстановление после перехода тока

### 3 Удлинение дуги

- Увеличение длины = повышение сопротивления.
- Реализация: геометрическое удлинение, магнитное дутье.
- Эффект: снижение тока и напряжения



# **Типы высоковольтных выключателей**

---

# Масляные выключатели: Конструкция и Принцип Действия

- **Контакты:** Подвижные и неподвижные для коммутации.
- **Дугогасительная камера:** Гашение дуги в масле.
- **Масло:** Трансформаторное, для изоляции и гашения.
- **Привод:** Механизм для перемещения контактов.
- **Изоляторы:** Обеспечивают изоляцию токоведущих частей.

## Принцип действия:

1. Возникновение электрической дуги.
  2. Испарение масла и образование газового пузыря.
  3. Охлаждение и изоляция дуги.
  4. Деионизация пространства.
  5. Гашение дуги при прохождении тока через ноль.
-

# Конструкция воздушного выключателя

## Камера дугогашения

контактная система, сопло Лавалья

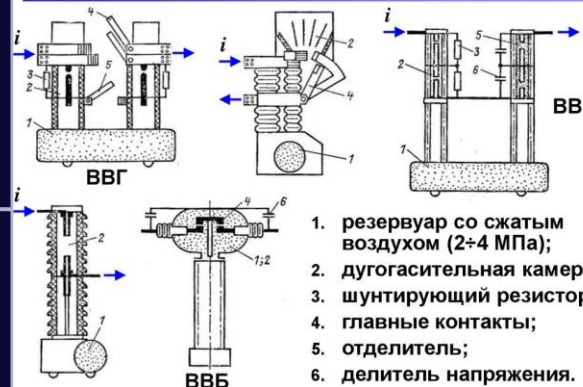
## Воздушный резервуар

хранение сжатого воздуха (15-40 атм)

## Клапанный механизм

быстрое открытие для подачи воздуха

## Воздушные выключатели



## Изоляционная колонна

изоляция токоведущих частей

## Система управления

дистанционное управление и мониторинг

# Элегазовые выключатели (SF6)

Элегазовые выключатели используют гексафторид серы (SF6) для гашения дуги. Основные элементы:

- Дугогасительная камера
- Система управления
- Газоплотный корпус
- Система контроля

Преимущества:

- Высокая дугогасящая способность
- Компактные размеры
- Надежность
- Низкий уровень шума
- Широкий диапазон температур

Недостатки:

- Высокая стоимость SF6
- Экологические риски
- Необходимость утилизации



# Конструкция и принцип действия вакуумного выключателя

- **Вакуумная дугогасительная камера (ВДК):**
    - Подвижные и неподвижные контакты
    - Экраны для защиты
    - Механизм перемещения контакта
  - **Привод:** Механическое усилие для перемещения
  - **Изоляция и корпус:** Защита и изоляция компонентов
  - **Принцип действия:** Гашение дуги в высоком вакууме
  - **Преимущества:** Высокая надежность, экологичность, компактность
  - **Недостатки:** Высокая стоимость, необходимость проверки вакуума
-



# **Основные характеристики высоковольтных выключателей**

---

# Номинальное напряжение и ток выключателя

---

## Номинальное напряжение (Uном)

Действующее значение напряжения сети.

- Определяет уровень изоляции.

- Выбор по номинальному напряжению с учетом перенапряжений

## Взаимосвязь Uном и Iном

Увеличение Uном требует увеличения габаритов.

- Разные значения Iном для одного класса напряжения.

- Важно учитывать оба параметра для надежной работы



## Номинальный ток (Iном)

Действующее значение тока, который выключатель может пропускать.

- Определяет пропускную способность



# Отключающая способность высоковольтного выключателя



Характеризует максимальный ток КЗ, который выключатель может отключить

Расчет требует учета тока КЗ, восстанавливающегося напряжения, времени отключения и коэффициентов запаса

1

2

3

4

5

Ключевой параметр надежности и безопасности

Недостаточная способность может привести к авариям и повреждениям

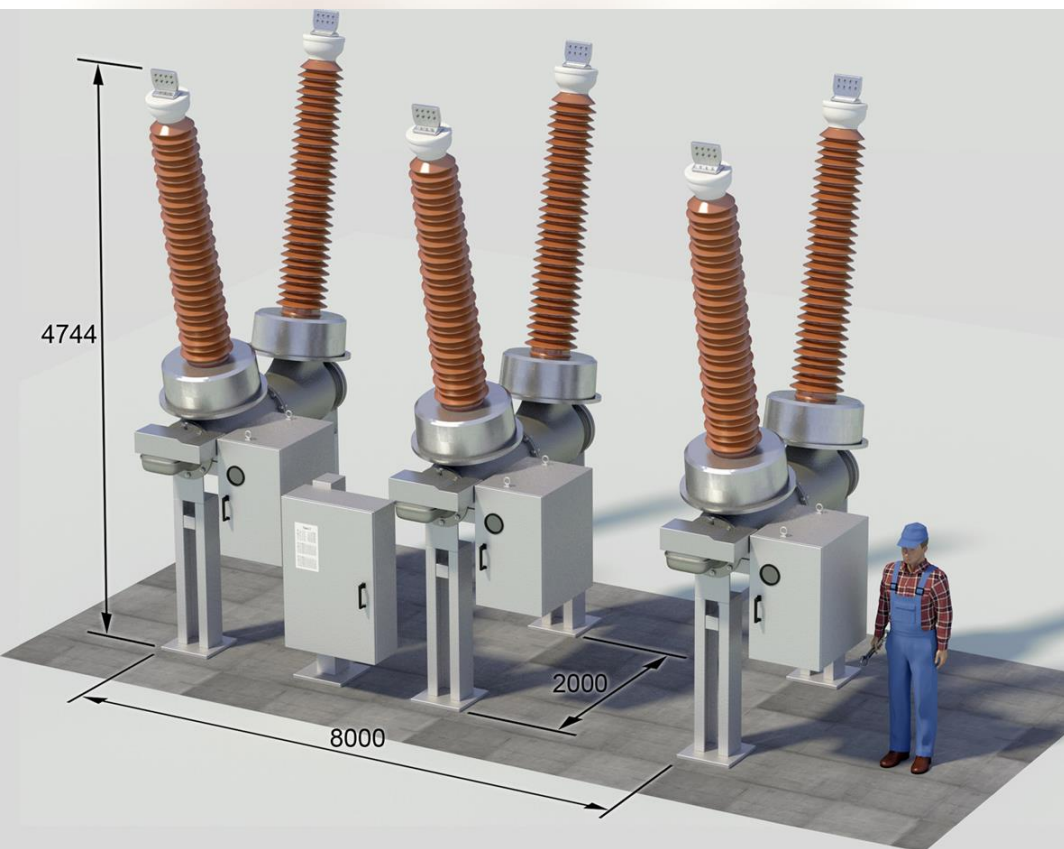
Важна для распределительных, магистральных и промышленных сетей

# Время отключения высоковольтного выключателя

---



1. Критическое время отключения (КВО) - ключевой параметр для устойчивости энергосистемы.
2. Быстрое отключение минимизирует:
  - Нарушение статической и динамической устойчивости.
  - Изменение угла ротора генератора.
  - Падение напряжения и токи КЗ.
3. Влияние факторов:
  - Мощность и расположение КЗ.
  - Конфигурация сети и параметры оборудования.
4. Современные выключатели разрабатываются для повышения быстродействия и надежности.



## Факторы, влияющие на срок службы высоковольтного выключателя

- **Ток отключения:** Влияет на износ, особенно при коротком замыкании.
- **Количество операций:** Частота включает износ компонентов.
- **Тип отключаемого тока:** Индуктивные и емкостные токи создают перенапряжения.
- **Технологическое исполнение:** Конструкция и материалы влияют на ресурс.
- **Условия эксплуатации:** Температура, влажность и загрязненность ускоряют износ.
- **Техническое обслуживание:** Регулярные проверки продлевают срок службы.



# **Современные тенденции в развитии высоковольтных выключателей**

---

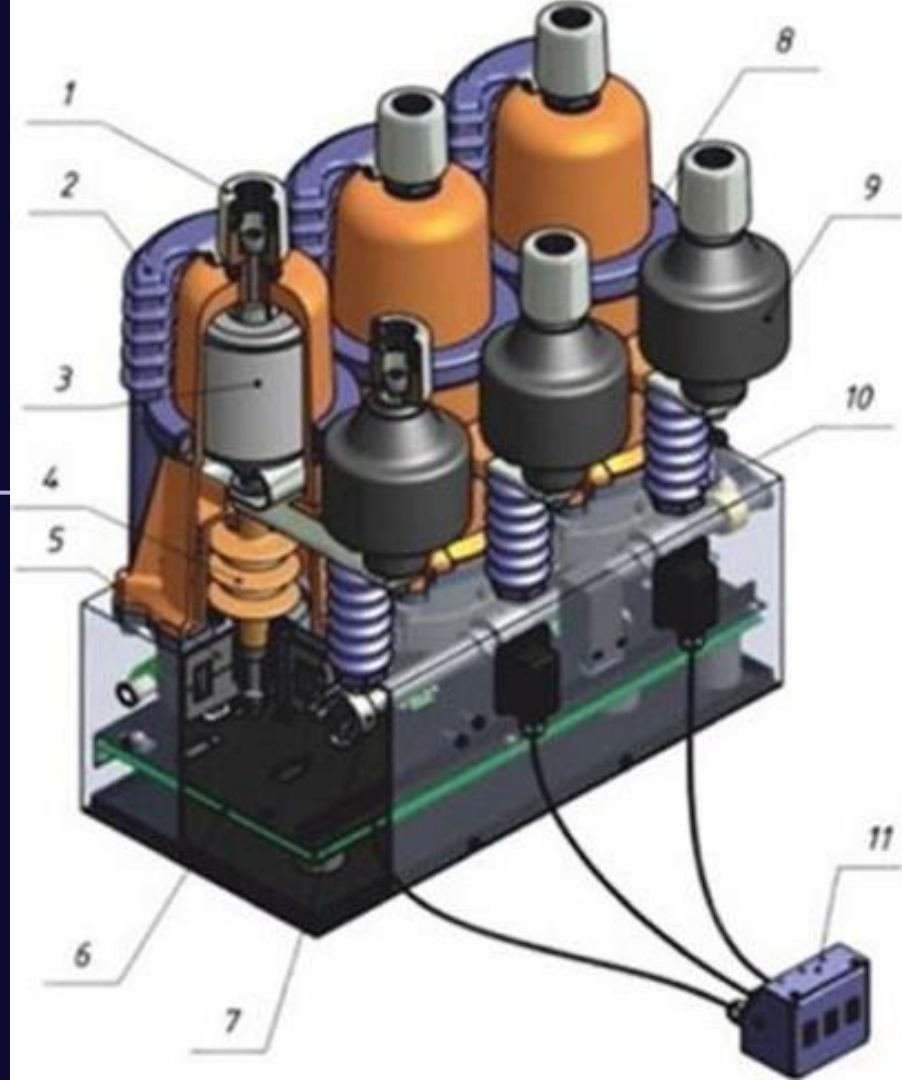
# Микропроцессорные системы управления в высоковольтных выключателях

- **Ключевые функции МПСУ:**

- Управление коммутацией
- Защита от аварий
- Управление вспомогательными системами
- Самодиагностика

- **Преимущества:**

- Повышение надежности
- Снижение затрат
- Увеличение срока службы
- Интеграция с Smart Grid





# Альтернативы SF6 в высоковольтных выключателях

- **Проблема SF6:** мощный парниковый газ.
- **Альтернативы:**
  - **Сухой воздух:** простое решение, но низкая диэлектрическая прочность.
  - **CO2:** менее мощный парниковый газ, требует сложной конструкции.
  - **Фторированные кетоны и нитрилы:** хорошая диэлектрическая прочность, высокая стоимость.
  - **Гексафторид пропена:** низкий потенциал глобального потепления, высокая цена.
- **Исследования:** моделирование, экспериментальные исследования, новые конструкции.





## Ключевые направления

- **Усовершенствование конструкции и материалов:**
  - Новые материалы с высокой стойкостью.
  - Оптимизация дугогасительных камер.
  - Минимизация механических нагрузок.
- **Системы мониторинга и диагностики:**
  - Непрерывный мониторинг состояния.
  - Диагностика по состоянию (СВМ).
  - Искусственный интеллект для прогнозирования.
- **Технологии обслуживания и ремонта:**
  - Специализированный инструмент.
  - Модульная конструкция.
  - Дистанционные методы диагностики.
- **Вакуумные и элегазовые технологии:**
  - Вакуумные выключатели с высокой надежностью.
  - Элегазовые выключатели с контролем утечек.
- **Цифровизация и автоматизация:**
  - Интеграция в цифровые подстанции.
  - Автоматическое управление.



# **Применение высоковольтных выключателей в энергосистемах**

---



# Роль высоковольтных выключателей на подстанциях

- 1 Ключевые узлы энергосистемы
- 2 Защита оборудования и электроснабжения
- 3 Отключение поврежденных участков
- 4 Минимизация ущерба и перебоев
- 5 Гибкость и надежность в нормальных режимах



- 6 Оптимизация работы энергосистемы
- 7 Высокие требования к выбору и обслуживанию



# Роль высоковольтных выключателей в ЛЭП

1

## Секционирование ЛЭП

- Ограничение аварий и минимизация ущерба.
- Изоляция поврежденных участков.
- Преимущества: уменьшение обесточивания, ускорение устранения повреждений

2

## Автоматическое повторное включение (АПВ)

- Восстановление электроснабжения после кратковременных повреждений.
- Механизм: автоматический цикл отключения и повторного включения.
- Преимущества: повышение надежности, сокращение выездов ремонтных бригад

# Роль выключателей в распределительных сетях

Вакуумные и элегазовые выключатели обеспечивают надежность и безопасность:

- **Коммутация нагрузки:**

- Вакуумные: частые коммутации, высокая износостойкость.

- Элегазовые: для

1	<b>Защита от коротких замыканий</b>	Оба типа быстро отключают токи КЗ, минимизируя повреждения
2	<b>Преимущества</b>	Вакуумные: экологичность, компактность. - Элегазовые: высокая отключающая способность, надежность
3	<b>Тенденции</b>	Разработка новых моделей, альтернативные среды, умные выключатели

# Заключение: Роль высоковольтных выключателей



1

Критически важные компоненты электроэнергетических систем

2

Обеспечивают надежность, безопасность и эффективность

3

Защита оборудования и персонала

4

Современные тенденции: микропроцессоры, экологичные альтернативы, новые материалы

5

Интеллектуальные системы мониторинга увеличивают срок службы

6

Правильный выбор и обслуживание - залог устойчивости энергосистем