

# Вопросы по предыдущей лекции

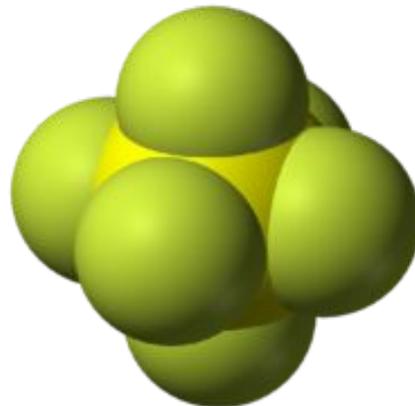
- Что происходит с током  $i_{at}$  в течение КЗ и почему?
- Что такое ударный ток КЗ? В каких дальнейших расчетах и проверках он участвует?
- Для какого момента времени определяется ударный ток КЗ и почему?
- Сравните мгновенные величины периодического и аperiodического тока в

# Вопросы по предыдущей лекции

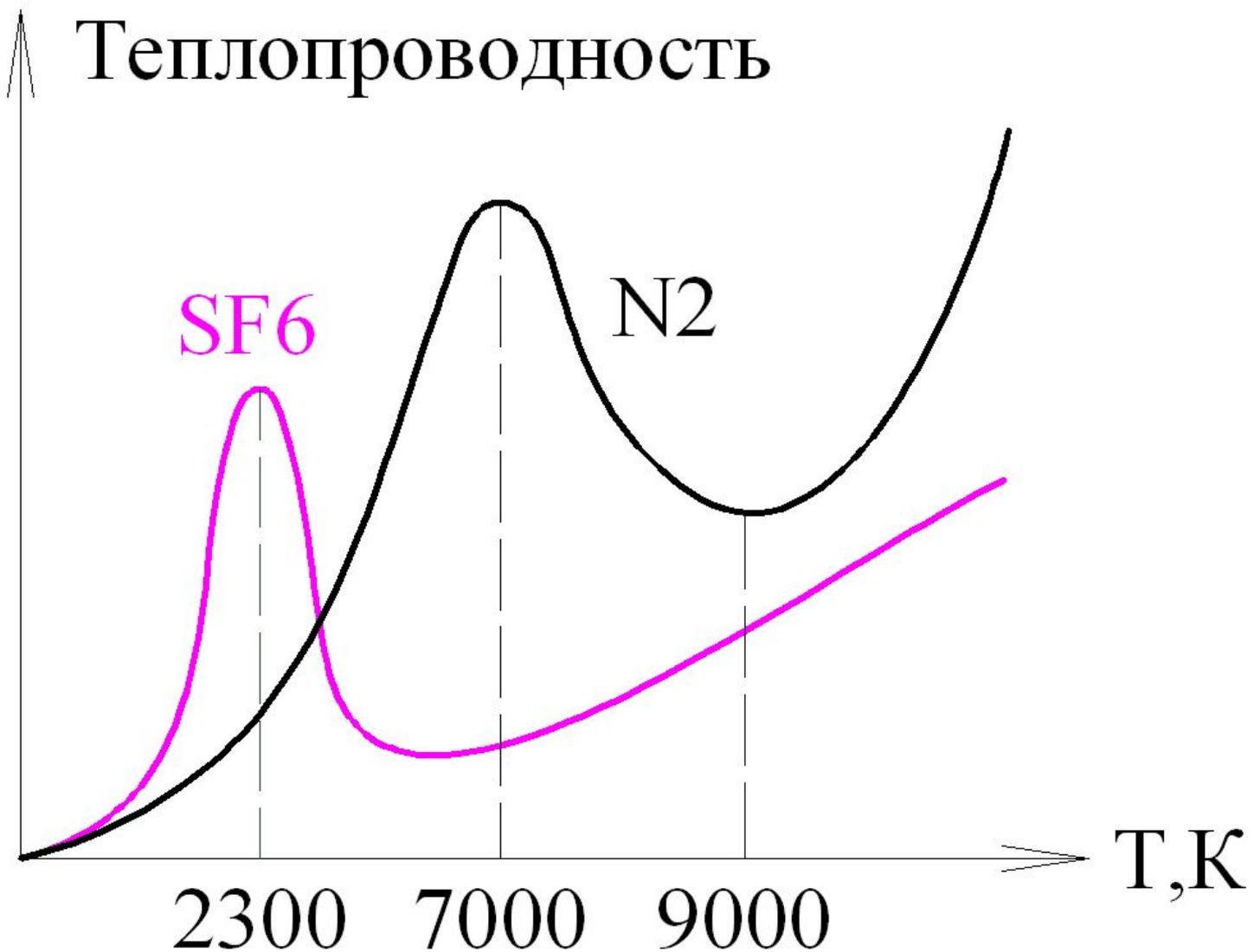
- Какие выключатели применяют в основном в системах СН электростанций?
- Перечислите номинальные параметры выключателей СН. Укажите численные значения этих параметров.
- Перечислите нормированные параметры выключателей СН. Укажите численные значения этих параметров.
- Перечислите прочие параметры выключателей СН. Укажите численные значения этих параметров.

# Свойства элегаза ( $SF_6$ )

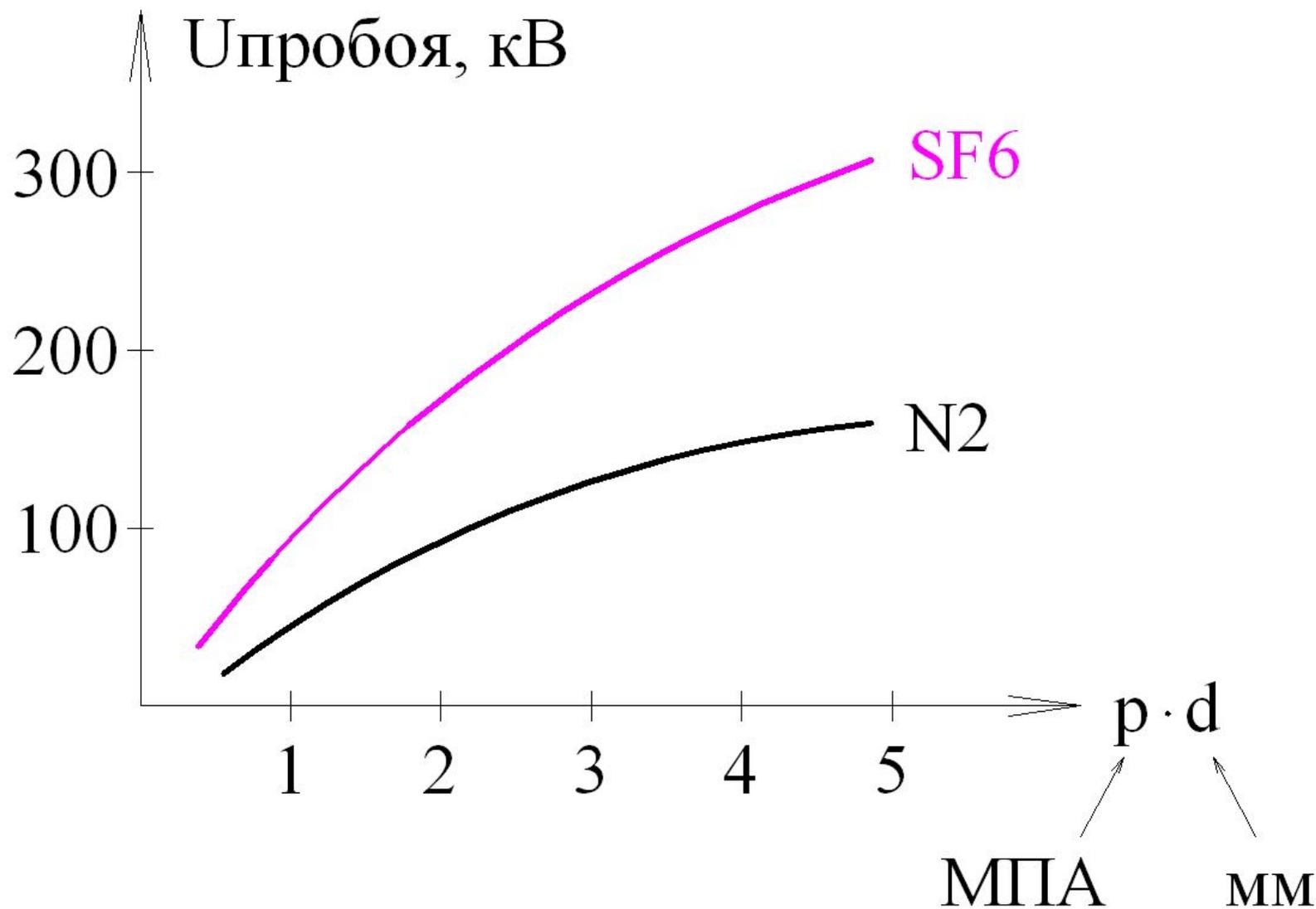
- электрически прочнее воздуха в **2,5** раза;
- электрическая прочность – как у трансформаторного масла;
- тяжелее воздуха в **5** раз; большой коэффициент теплового расширения
- нетоксичен (испытания по МЭК: 24 ч 80/20%  $SF_6/O_2$ ),
- продукты разложения в результате действия разрядов **ТОКСИЧНЫ** и химически активны;
- температура в эл.дуге может достигать 15 000 К. При этом элегаз разлагается (токсичнее всего фторид тионила  **$SOF_2$** );
- $SF_6$  негорюч;
- без цвета и запаха;
- инертен;
- цена **300** р/кг



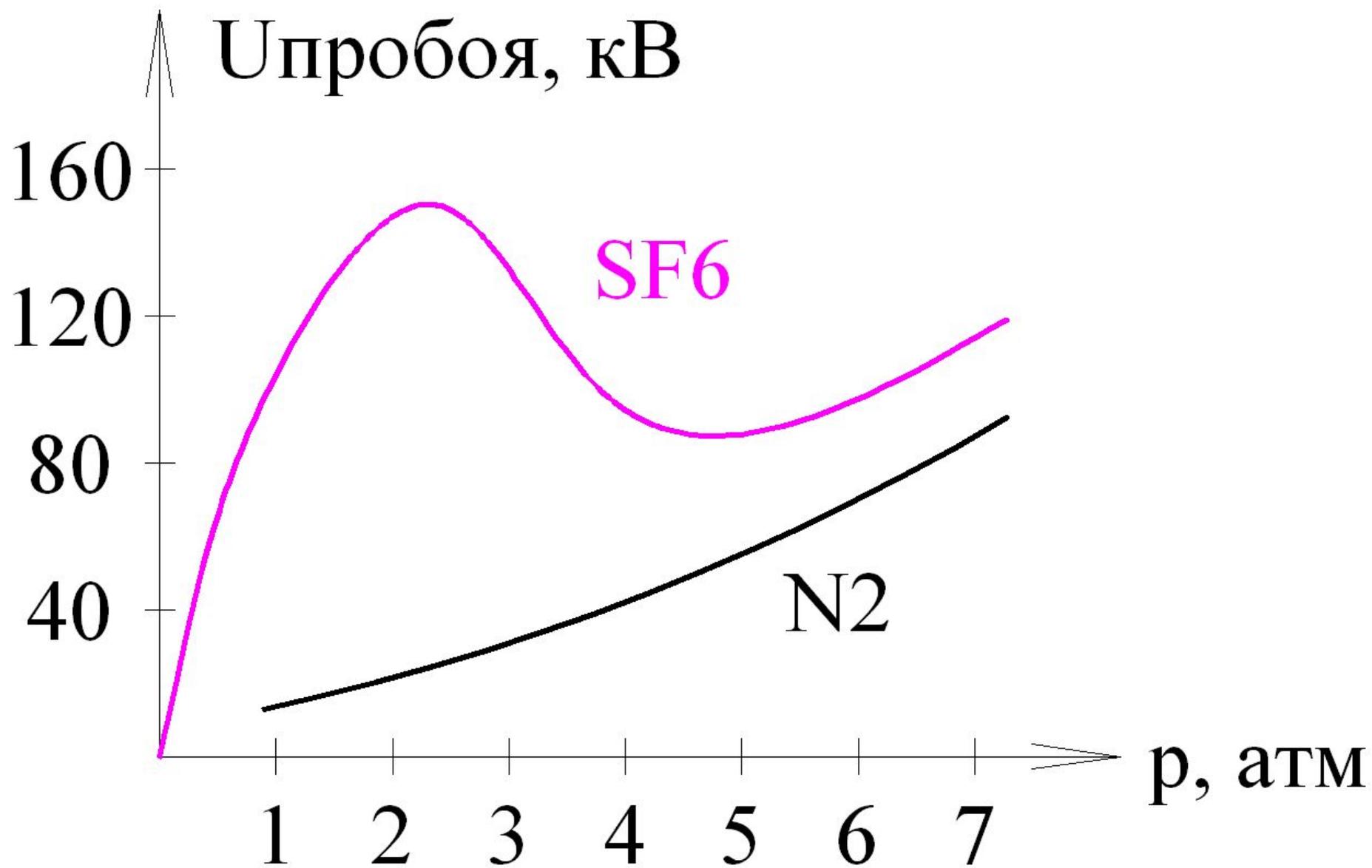
# Теплопроводность элегаза



# Электрическая прочность элегаза



# Электрическая прочность элегаза



# Скорость деионизации элегаза

Постоянная деионизации – время, за которое сопротивление дуги удваивается.

- Для воздуха – 200 мкс (и с ростом давления возрастает)
- **Для элегаза – 0,25 мкс** (и не зависит от давления)

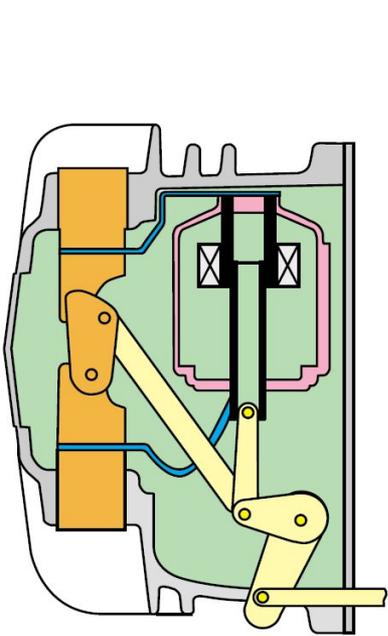
Пояснение: фтор – самый электроотрицательный элемент.

Поэтому молекула SF<sub>6</sub> интенсивно притягивает, захватывает свободные электроны дуги.

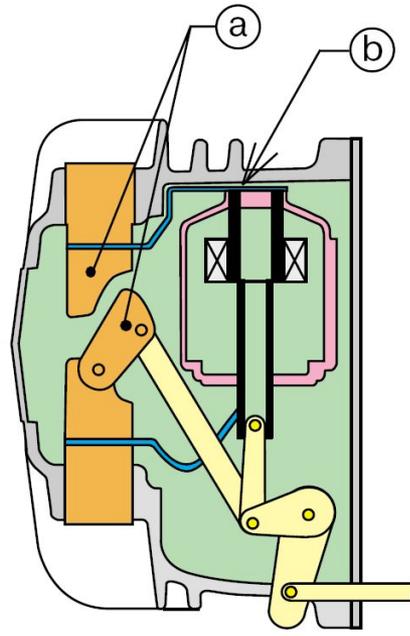
# Элегазовые выключатели



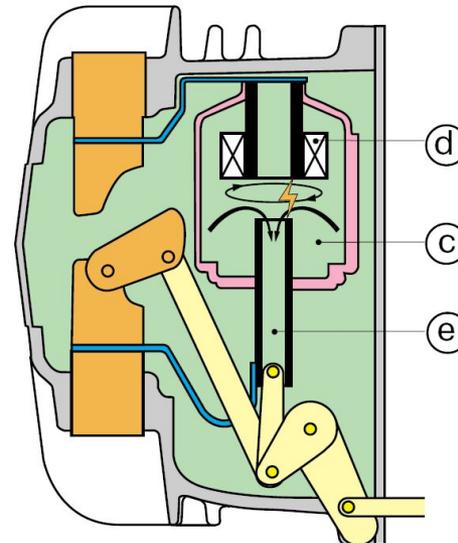
# Элегазовый выключатель LF-10



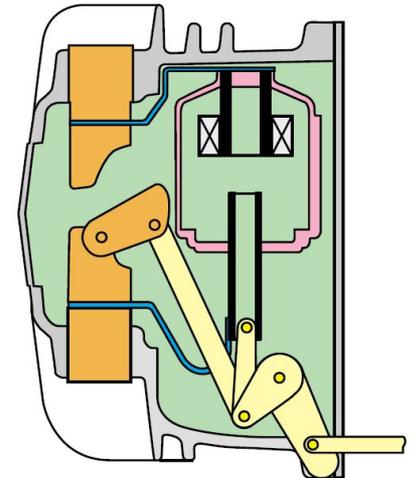
Выключатель  
включен



Размыкаются  
основные  
контакты

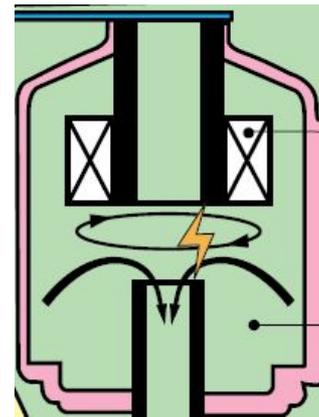


Размыкаются  
дугогасительные  
контакты



Выключатель  
отключен

- а-основной контакт
- б-дугогасительный контакт
- с-расширительный объем
- д-катушка
- е-цилиндрический дугогасительный контакт



# Элегазовый выключатель с магнитным дутьём

1-трубчатый токопровод неподвижного контакта

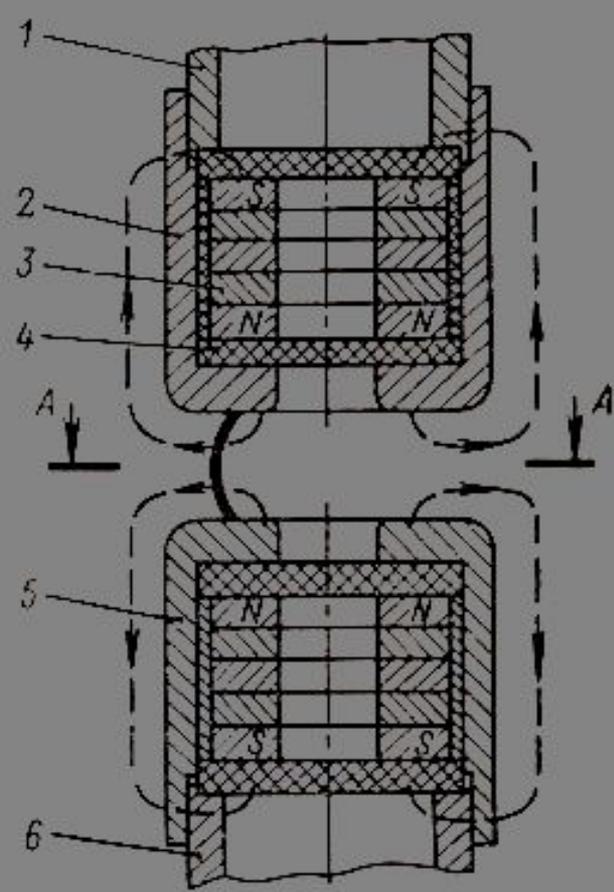
2-корпус неподвижного контакта

3-постоянные магниты

4-дугостойкая изоляционная шайба

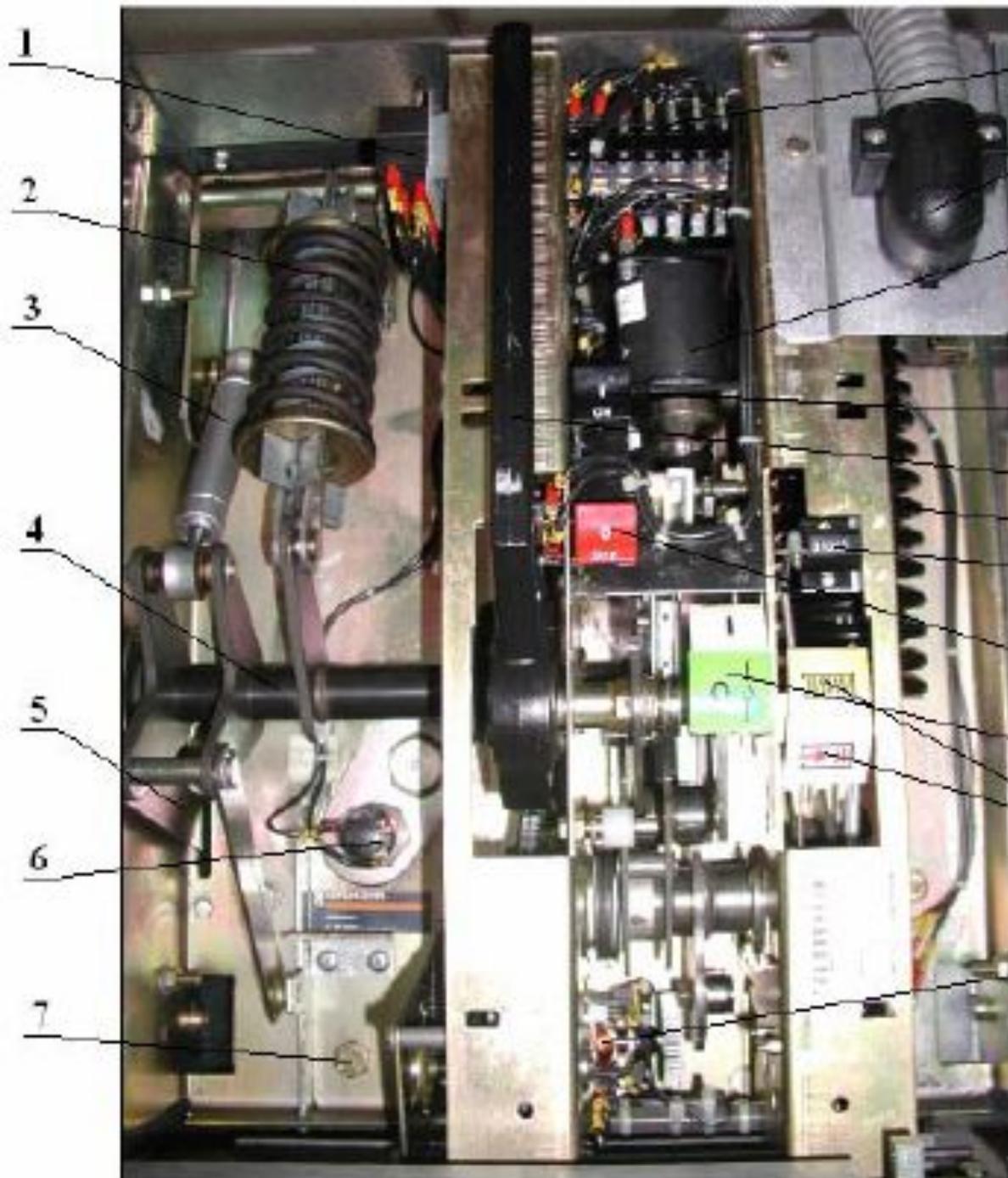
5-корпус подвижного контакта

6-трубчатый токопровод подвижного контакта



A-A





- 1 – реле блокировки от многократного включения;
- 2 – пружина отключения;
- 3 – амортизатор (демпфер);
- 4 – синхронизирующий вал привода;
- 5 – тяга соединяющая вал привода с синхронизирующим валом;
- 6 – датчик давления элегаза;
- 7 – болт крепления заземляющей шины;
- 8 – блок-контакты (11 пар);
- 9 – цепи вторичной коммутации;
- 10 – катушка отключения Y01;
- 11 – кнопка включения;
- 12 – рукоятка ручного взвода пружины включения;
- 13 – пружина включения;
- 14 – счетчик числа отключений;
- 15 – кнопка отключения;
- 16 – указатель положения выключателя («I»-включен, «O»-отключен);
- 17 – указатель состояния пружин;
- 18 – мотор-редуктор привода.

Наименование параметра	Значение параметра					
	Типоисполнение выключателя					
	LF1		LF2		LF3	
1	2					
1.Номинальное напряжение, кВ	6,0	10,0	6,0	10,0	6,0	10,0
2.Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2;	12,0	7,2	12,0	7,2	12,0
3.Номинальный ток, А	630; 1250		630; 1250; 2000		2500; 3150	
4.Номинальный ток отключения, кА	25; 31,5	31,5	31,5; 40; 50	31,5; 40	25; 31,5; 40; 50	
12.Ресурс по коммутационной стойкости: - при номинальном токе, циклов «ВО» - при номинальном токе отключения: - выключатель с Io.ном 25кА, операций «О» - выключатель с Io.ном 31,5кА, операций «О» - выключатель с Io.ном 40кА, операций «О» - выключатель с Io.ном 50кА, операций «О»	10000		10000		10000	
	40		40		40	
	30		30		30	
	22		22		22	
	-		17 (для 6 кВ)		17	

14.Собственное время отключения, мс, не более	48		
15.Собственное время включения, мс, не более	65		
16.Полное время отключения, мс, не более	70		
23.Масса, кг, не более			
- стационарное исполнение;	106	128	149,5
- на выкатной тележке	124	148	168
24. Вес/об'ем элегаза	400г / 26л	460г / 30л	620г / 40л
25.Нормированный % утечки элегаза в год	<0,1%		
26.Номинальное избыточное давление элегаза при температуре окружающего воздуха 20° С, МПа (кгс\см <sup>2</sup> )	0,15 (1,5)		
27.Номинальное избыточное давление элегаза при котором срабатывает реле контроля давления, МПа (кгс\см <sup>2</sup> )	0,1 (1,0)		
30.Срок службы выключателя до списания, лет	30		

# Элегазовые выключатели

## Достоинства:

- пожаробезопасность
- быстроедействие, возможность БАПВ
- высокая отключающая способность
- внутреннее и наружное применение

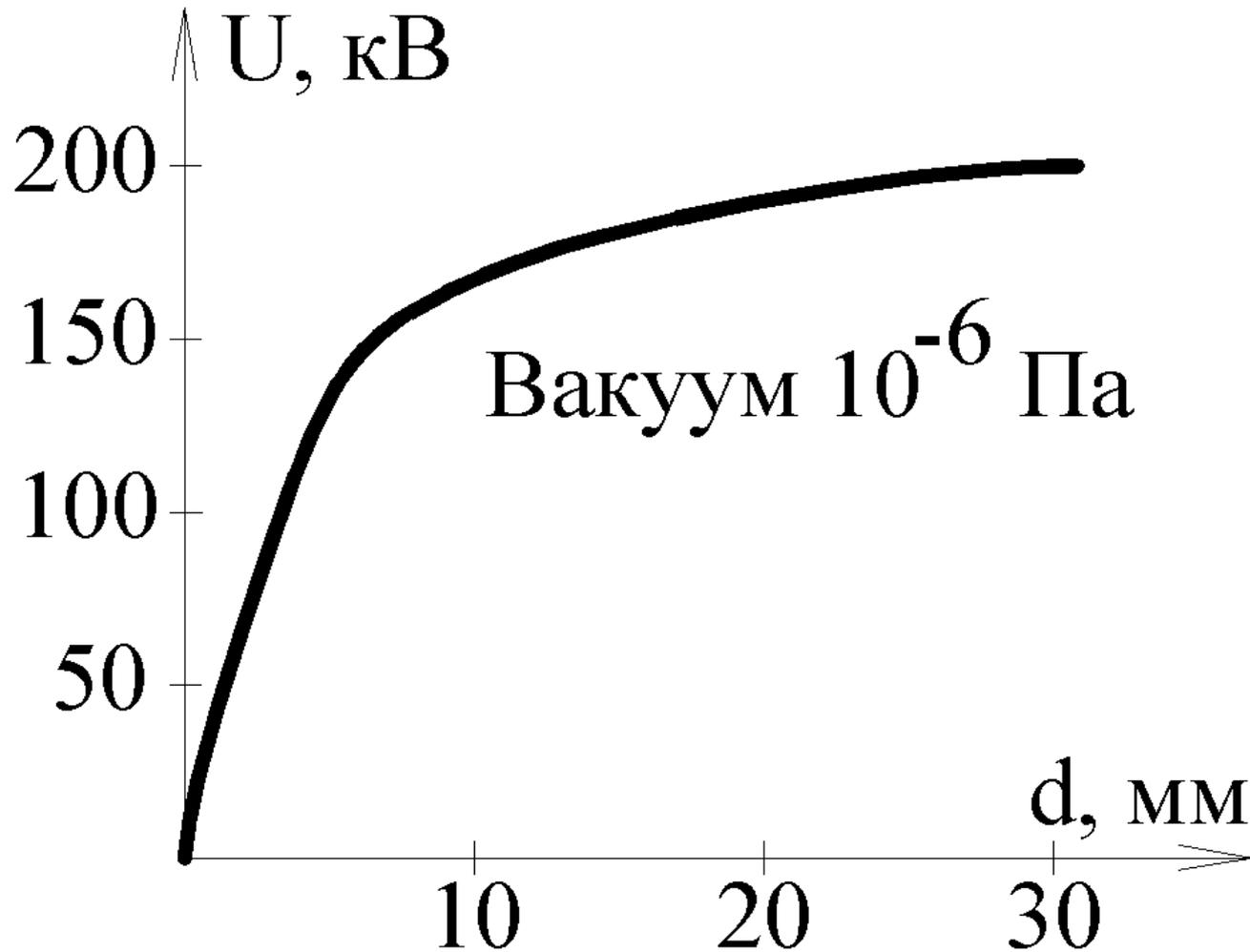
## Недостатки:

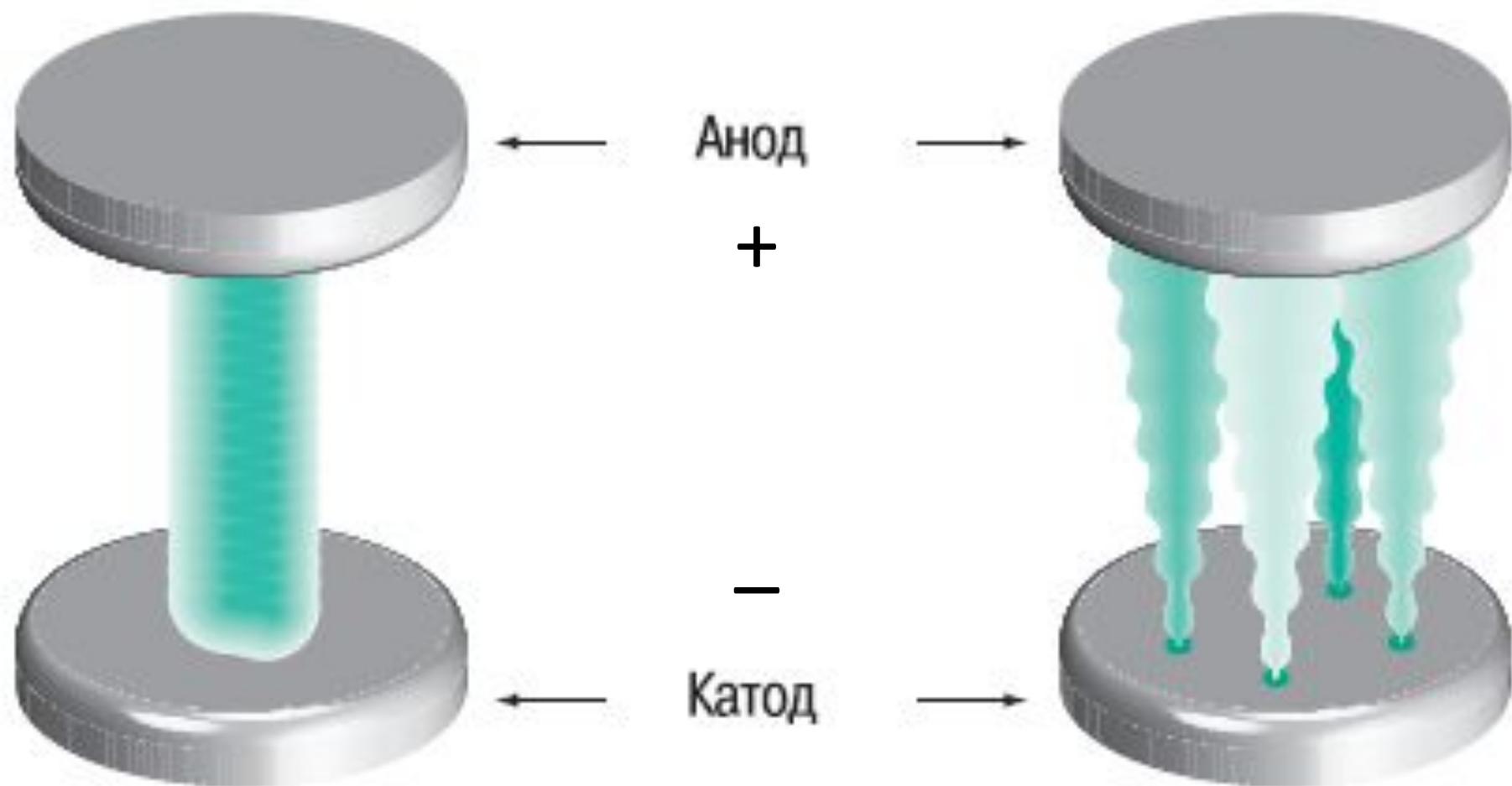
- необходимость подогрева
- продукты распада элегаза
- дороговизна
- очистка, заполнение, перекачка элегаза
- зависимость управления выключателем от давления элегаза

# Вакуумные выключатели



# Диэлектрические свойства вакуума

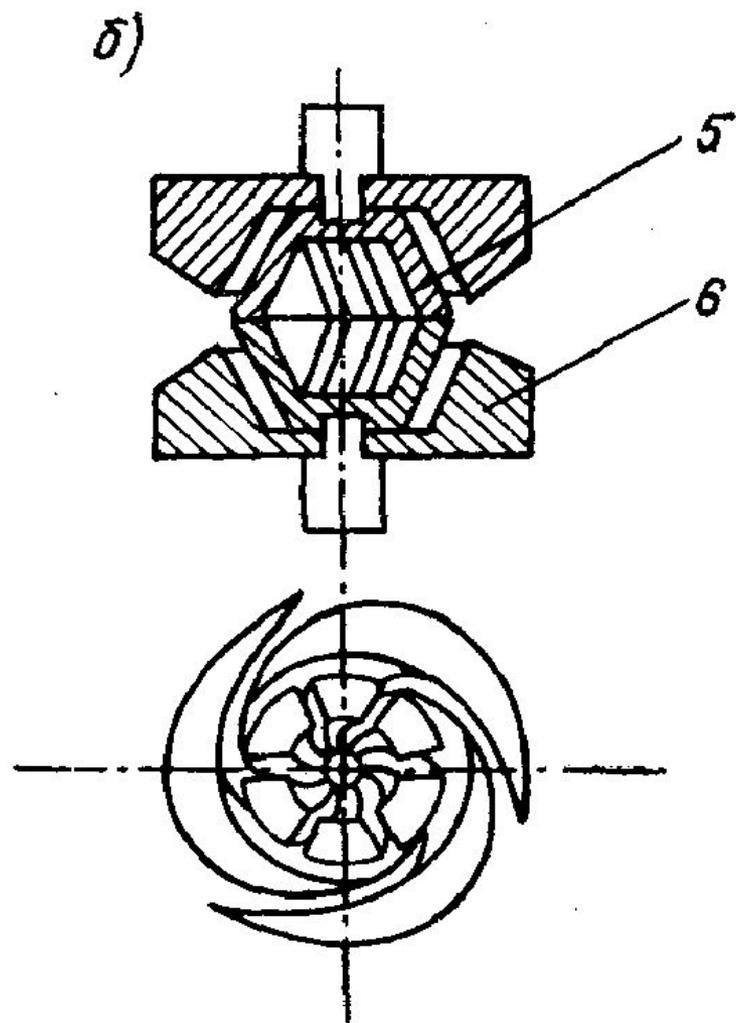
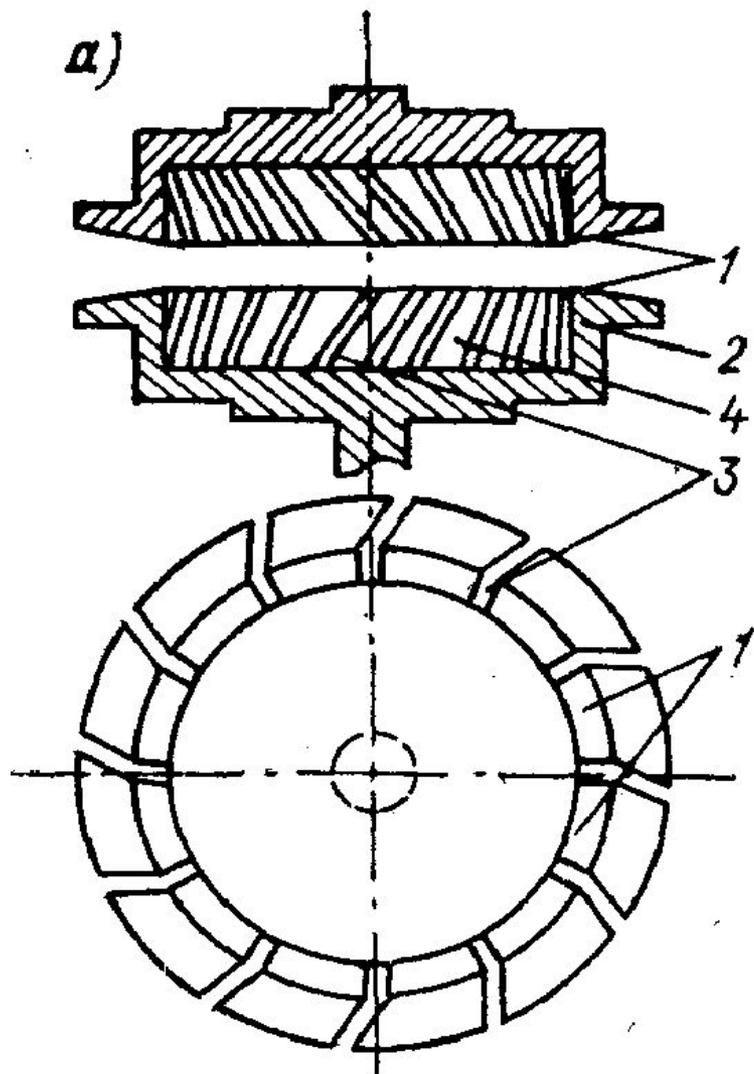




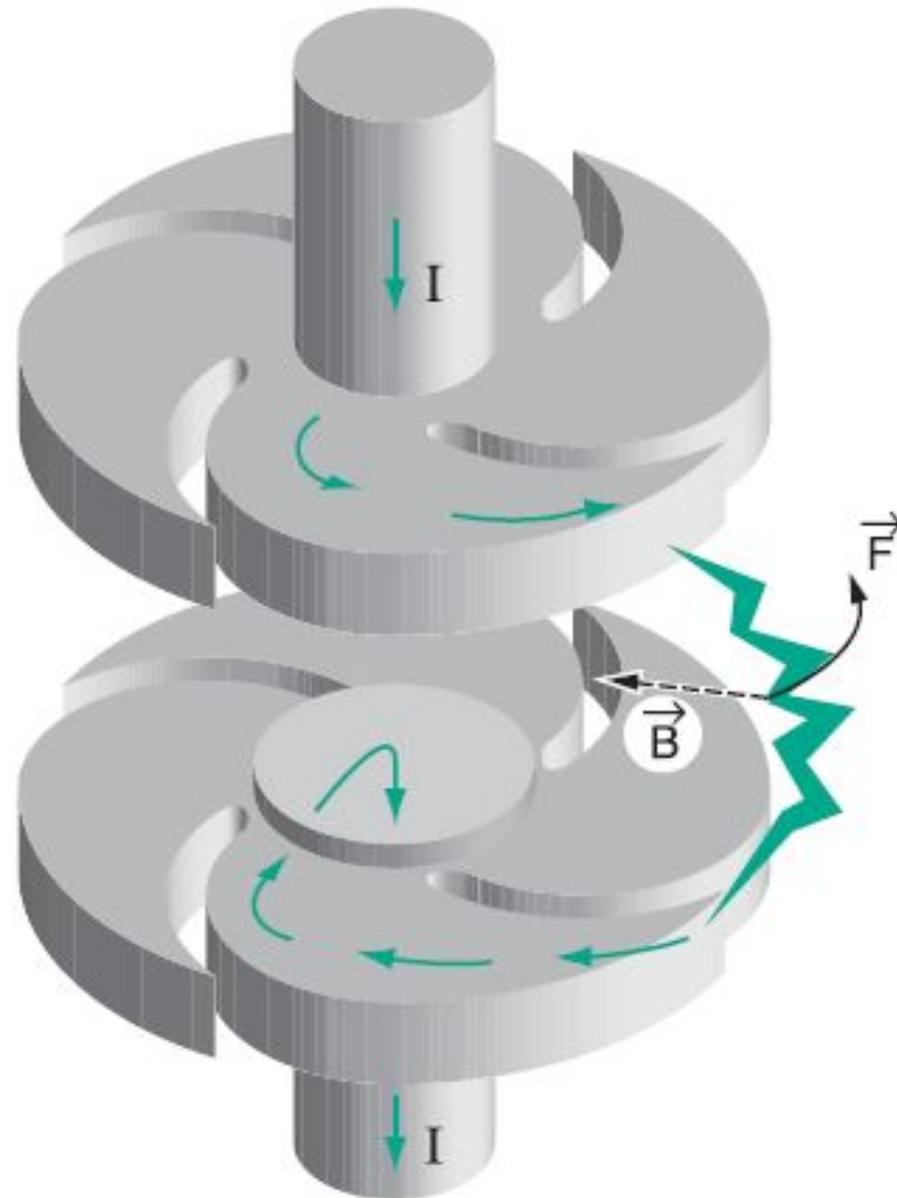
# Особенности контактных систем ВДК

- До 10 кА – простые дисковые контакты
- 20 кА – вращение дуги по поверхности контактов (поперечное магнитное поле)
- 31,5 кА – использование продольного магнитного поля

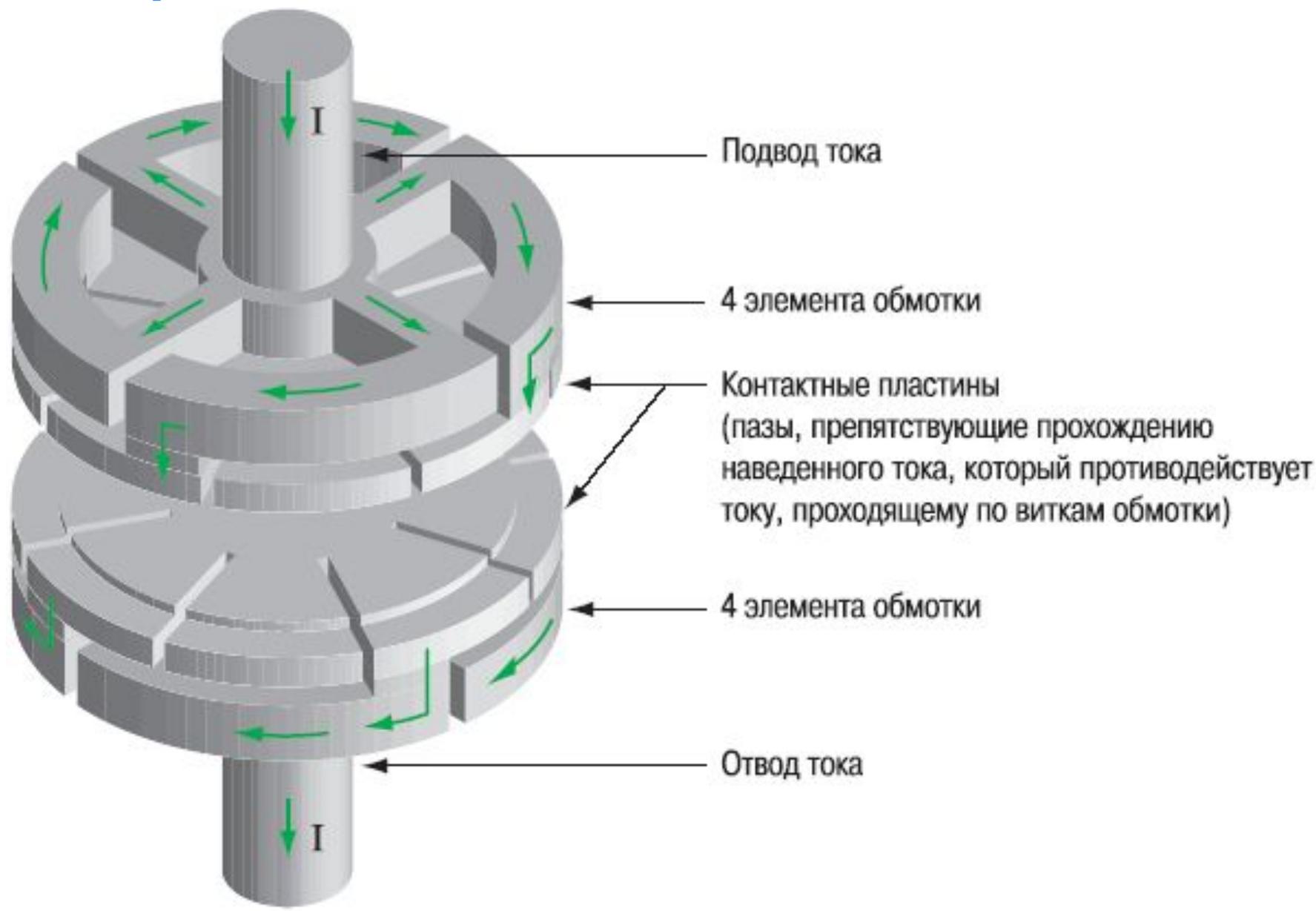
# Контакты с **поперечным** магнитным полем



# Поперечное магнитное поле

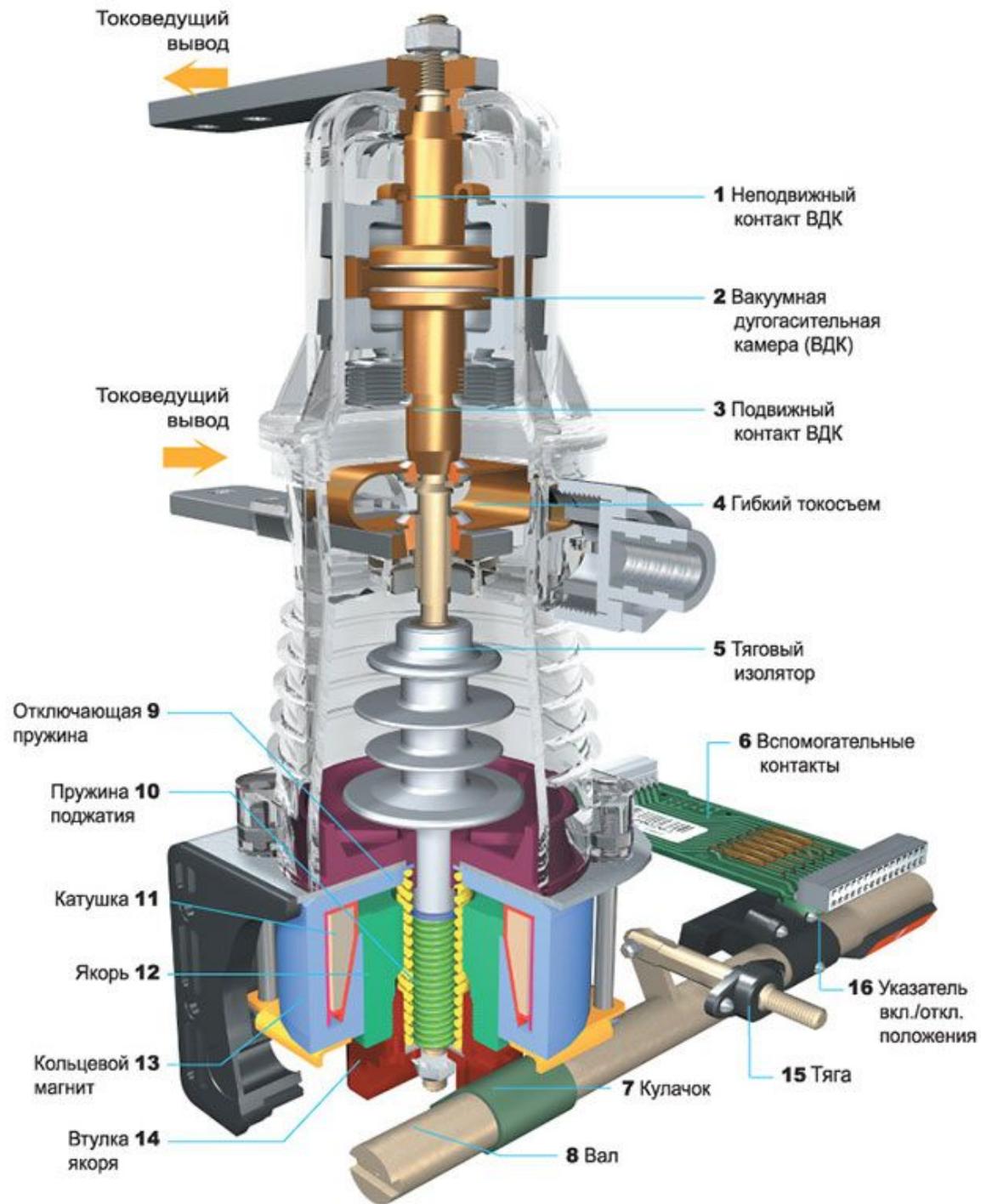


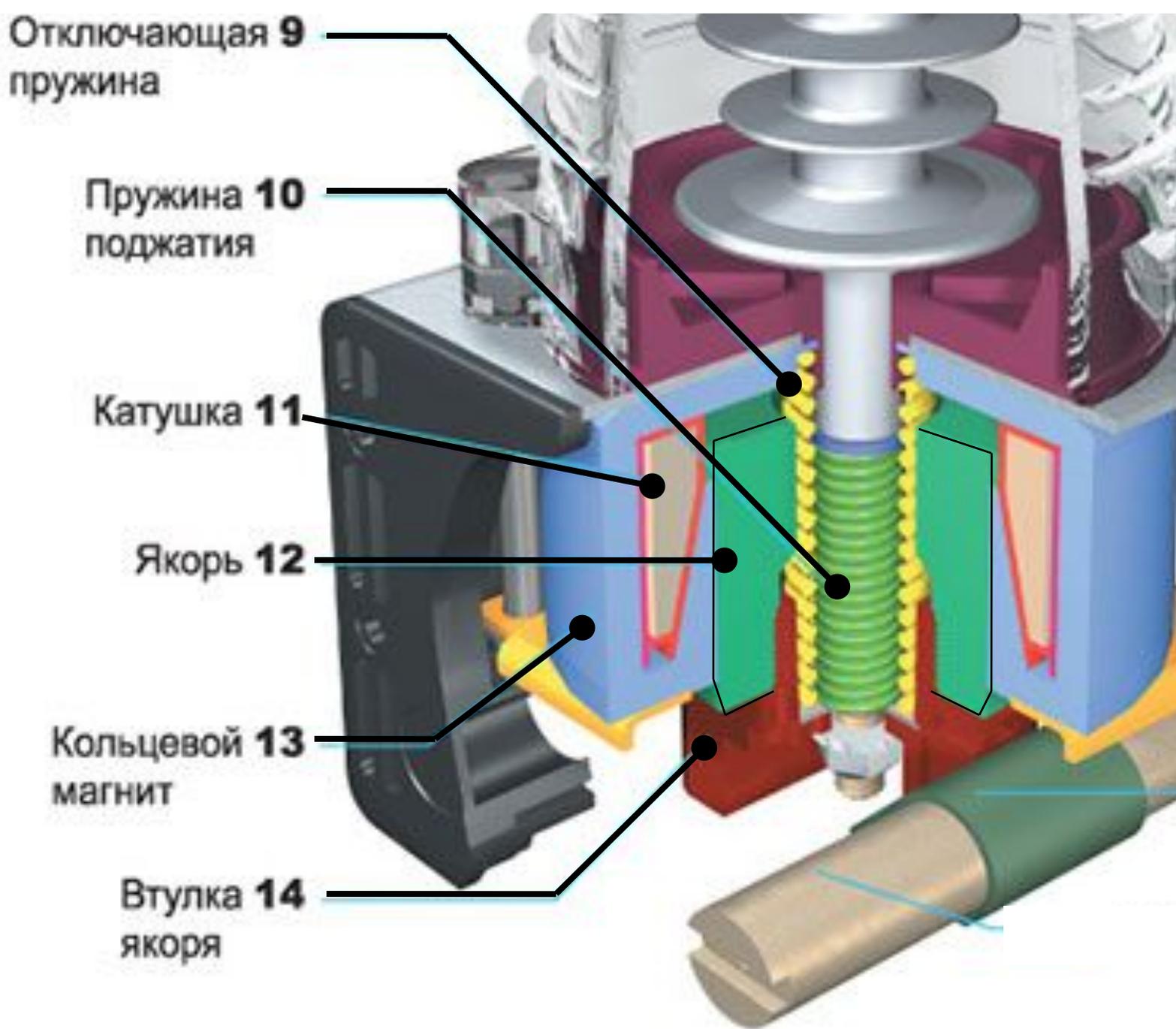
# Продольное магнитное поле



# Сваривание контактов в вакууме

- **Металлические детали, прижатые друг к другу в вакууме, подвержены холодной сварке, т.к. на их поверхностях не могут образоваться окислы, препятствующие этому процессу.**
  - Поэтому розеточные, ножевые и скользящие контакты здесь неприменимы.
  - **Через контакты протекают сквозные токи КЗ, расплавляющие металл в отдельных точках поверхности, из-за чего в этих точках образуются участки сварки.**
  - Эти проблемы преодолены путем введения следующих мер.
- 1) **Металлокерамические контактные накладки (композиция медь-хром 70%/30%), обладающие высокой устойчивостью к образованию сварок.**
  - 2) **Контактный материал обладает зернистой структурой, благодаря которой уже образовавшиеся сварки легко разрываются приводом выключателя.**
  - 3) **Приводы, обеспечивающие значительное (2000-3000 Н) усилие поджатия контактов для снижения переходного сопротивления и предотвращения электродинамического отброса контактов.**
  - 4) **Приводы большой силы при отключении способны разрывать места сварки.**





# Вакуумные выключатели.

## Контроль вакуума.

Методы контроля вакуума:

### 1. Токовый

- Между электродами пропускается разрядный ток.
- Чем выше давление, тем больше разрядный ток.
- По большому разрядному току можно судить об ухудшении вакуума.

### 2. Термопарный

- Имеется электронагреватель и термопара.
- Ток нагревателя поддерживается постоянным.
- ЭДС термопары пропорциональна температуре.
- Чем выше концентрация газа, тем лучше отводится тепло от нагревателя, тем ниже температура и ЭДС термопары.
- По низкой ЭДС термопары можно судить об ухудшении вакуума.

# Вакуумные выключатели

## Достоинства:

- простота конструкции
- высокая скорость коммутаций
- малые размеры (30 кВ/мм)
- маломощный привод
- большой ресурс коммутации номинальных токов
- большой ресурс коммутации токов КЗ
- пожаробезопасность
- малые эксплуатационные расходы

## Недостатки:

- наибольшее  $U_{ном}$  = 35 кВ (есть отдельные образцы 110 кВ)
- низкая отключающая способность
- на контактах образуются наплывы острой формы после отключения
- коммутационные перенапряжения (в случае дешевых контактов)
- возможность потери вакуума и приваривания контактов
- сложность контроля вакуума

# Вакуумный выключатель ВВ/ТЕЛ

# ВВ/TEL-10-20/1000 У2

- Номинальное напряжение: 10 кВ
- Номинальный ток: 1000 А
- Номинальный ток отключения: 20 кА
- динамической стойкости, (наибольший пик): 51 кА
- Ресурс по коммутационной стойкости:
  - а) при номинальном токе, циклов «ВО» 50 000/100 000
  - б) при номинальном токе отключения, операций «О» 150
  - в) при номинальном токе отключения, циклов «ВО» 100
- Собственное время отключения: 45 мс
- Полное время отключения: 55 мс
- Собственное время включения: 90 мс
- Масса коммутационного модуля: 35 кг
- Срок службы до списания: 30 лет

# ВВ/ТЭЛ-10-31,5/1000 У2

- Номинальное напряжение: 10 кВ
- Номинальный ток: 1000 А
- Номинальный ток отключения: 31,5 кА
- динамической стойкости, (наибольший пик): 80 кА
- Ресурс по коммутационной стойкости:
  - а) при номинальном токе, циклов «ВО» 30 000
  - б) при номинальном токе отключения, операций «О» 50
  - в) при номинальном токе отключения, циклов «ВО» 25
- Собственное время отключения: 45 мс
- Полное время отключения: 55 мс
- Собственное время включения: 90 мс
- Масса коммутационного модуля: 50 кг
- Срок службы до списания: 30 лет

# ВВ/TEL-10-20/1600 У2

- Номинальное напряжение: 10 кВ
- Номинальный ток: 1600 А
- Номинальный ток отключения: 20 кА
- динамической стойкости, (наибольший пик): 51 кА
- Ресурс по коммутационной стойкости:
  - а) при номинальном токе, циклов «ВО» 30 000
  - б) при номинальном токе отключения, операций «О» 50
  - в) при номинальном токе отключения, циклов «ВО» 25
- Собственное время отключения: 45 мс
- Полное время отключения: 55 мс
- Собственное время включения: 90 мс
- Масса коммутационного модуля: 50 кг
- Срок службы до списания: 30 лет

# ВВ/ТЭЛ-10-31,5/1600 У2

- Номинальное напряжение: 10 кВ
- Номинальный ток: 1600 А
- Номинальный ток отключения: 31,5 кА
- динамической стойкости, (наибольший пик): 80 кА
- Ресурс по коммутационной стойкости:
  - а) при номинальном токе, циклов «ВО» 30 000
  - б) при номинальном токе отключения, операций «О» 50
  - в) при номинальном токе отключения, циклов «ВО» 25
- Собственное время отключения: 45 мс
- Полное время отключения: 55 мс
- Собственное время включения: 90 мс
- Масса коммутационного модуля: 50 кг
- Срок службы до списания: 30 лет

# ВВ/ТЭЛ-10-31,5/2000 У2

- Номинальное напряжение: 10 кВ
- Номинальный ток: 2000 А
- Номинальный ток отключения: 31,5 кА
- динамической стойкости, (наибольший пик): 80 кА
- Ресурс по коммутационной стойкости:
  - а) при номинальном токе, циклов «ВО» 30 000
  - б) при номинальном токе отключения, операций «О» 50
  - в) при номинальном токе отключения, циклов «ВО» 25
- Собственное время отключения: 45 мс
- Полное время отключения: 55 мс
- Собственное время включения: 90 мс
- Масса коммутационного модуля: 50 кг
- Срок службы до списания: 30 лет