



# TD - общая часть

## Технические характеристики TD61

061/03 RU



© Все права принадлежат компании Maschinenfabrik Reinhausen.

Информацию, содержащуюся в данной инструкции, запрещается копировать или передавать третьим лицам без письменного разрешения правообладателя.

Нарушение этого запрета может повлечь обращение в суд с требованием компенсации. Все права в области патентования и регистрации промышленных образцов и товарных знаков защищены.

После выпуска данной инструкции конструкция прибора может быть изменена.

Мы оставляем за собой право изменять технические характеристики и конструкции приборов, а также комплект поставки.

Решающее значение имеет информация, передаваемая при составлении предложений и заказов, а также достигнутые договоренности.

Оригинал данного документа составлен на немецком языке.



## Оглавление

<b>1</b>	<b>Общая информация.....</b>	<b>6</b>
1.1	Действие документа.....	6
1.2	Право на внесение изменений.....	7
1.3	Принцип действия устройств РПН и ПБВ.....	7
1.3.1	Устройства РПН и ПБВ для масляных трансформаторов.....	7
1.3.2	Устройство РПН для сухих трансформаторов.....	8
1.4	Принцип действия устройства РПН.....	9
1.4.1	Принцип переключения устройства РПН.....	9
1.4.2	Принципиальная схема регулировочной обмотки.....	10
1.4.3	Обозначения устройств РПН.....	11
1.5	Принцип действия Advanced Retard Switch.....	16
1.5.1	Принцип переключения ARS.....	16
1.5.2	Обозначения ARS.....	17
1.6	Принцип действия устройства ПБВ.....	18
1.6.1	Принцип переключения и принципиальные схемы.....	18
1.6.2	Обозначения устройств ПБВ.....	19
<b>2</b>	<b>Электрические характеристики.....</b>	<b>20</b>
2.1	Рабочий ток, напряжение ступени, мощность ступени.....	20
2.2	Изоляция.....	22
2.3	Реактивность рассеяния при схеме с грубой ступенью.....	23
2.4	Потенциал регулировочной обмотки.....	25
2.4.1	Восстанавливающееся напряжение и ток отключения.....	25
2.4.2	Щелчковый контакт.....	29
2.4.3	Пример расчета восстанавливающегося напряжения.....	30
2.5	Перегрузка.....	35
2.5.1	Рабочие токи, превышающие расчетный рабочий ток.....	35
2.5.2	Эксплуатация в различных условиях.....	36
2.5.3	Необходимые параметры для запроса условий перегрузки.....	36
2.6	Нагрузка устройств РПН и ПБВ при коротких замыканиях.....	36
2.7	Принудительное деление тока.....	37
2.8	Допустимое перевозбуждение.....	38
2.9	Многоколунковые устройства РПН.....	38
<b>3</b>	<b>Изоляционные масла.....</b>	<b>39</b>



3.1	Минеральное масло.....	39
3.2	Альтернативные изолирующие жидкости.....	39
<b>4</b>	<b>Механические и конструктивные характеристики.....</b>	<b>41</b>
4.1	Температуры.....	41
4.1.1	Допустимый температурный диапазон для эксплуатации.....	41
4.1.2	Допустимый температурный диапазон для хранения и транспортировки.....	42
4.1.3	Эксплуатация при условиях с низкими температурами.....	42
4.2	Допустимое давление.....	45
4.2.1	Меры по выравниванию давления при заливке масла и транспортировке.....	45
4.2.2	Меры по поддержанию давления в допустимых пределах при эксплуатации.....	46
4.3	Расширительный бак устройства РПН.....	47
4.3.1	Высота расширительного бака.....	48
4.3.2	Монтажная высота над уровнем моря.....	48
4.3.3	Минимальный объем расширительного бака.....	50
4.3.4	Осушающее средство для масла устройства РПН.....	53
4.4	Параллельное подключение уровней избирателя.....	55
4.5	Указания по установке.....	55
<b>5</b>	<b>Указания по проверке трансформатора.....</b>	<b>56</b>
5.1	Измерение коэффициента трансформации.....	56
5.2	Измерение сопротивления по постоянному току.....	56
5.3	Запуск устройства РПН во время испытания трансформатора.....	57
5.4	Электрическое высоковольтное испытание.....	57
5.5	Испытание изоляции.....	57
<b>6</b>	<b>Случаи применения.....</b>	<b>58</b>
6.1	Трансформаторы электродуговых печей.....	58
6.2	Применение в случаях с различным напряжением ступени.....	58
6.3	Герметично закрытые трансформаторы.....	59
6.4	Эксплуатация во взрывоопасной среде.....	60
6.5	Особые случаи применения.....	61
<b>7</b>	<b>Приводы для устройств РПН и ПБВ.....</b>	<b>62</b>
7.1	Моторный привод TAPMOTION® ED.....	62
7.1.1	Принцип работы.....	62
7.1.2	Обозначение типов.....	62
7.1.3	Технические данные TAPMOTION® ED.....	63



7.2	Ручной привод TARMOTION® DD.....	64
7.2.1	Принцип работы.....	64
7.2.2	Технические характеристики TARMOTION® DD.....	64
<b>8</b>	<b>Приводной вал.....</b>	<b>66</b>
8.1	Принцип работы.....	66
8.2	Конструкция и исполнения приводного вала.....	66
8.2.1	Приводной вал без шарнирного вала и изолятора (стандартное исполнение).....	66
8.2.2	Приводной вал с изолятором и без шарнирного вала (специальное исполнение).....	67
8.2.3	Приводной вал с шарнирным валом, без изолятора (специальное исполнение).....	67
8.2.4	Приводной вал с шарнирным валом и изолятором (специальное исполнение).....	68
8.2.5	Доступные для поставки размеры по длине.....	68
<b>9</b>	<b>Защитное реле RS.....</b>	<b>69</b>
9.1	Принцип работы.....	69
9.2	Технические характеристики.....	69
<b>10</b>	<b>Маслофильтровальная установка OF 100.....</b>	<b>71</b>
10.1	Принцип работы.....	71
10.2	Критерии применения.....	72
10.3	Технические характеристики.....	73
<b>11</b>	<b>Выбор устройства РПН.....</b>	<b>75</b>
11.1	Принцип выбора.....	75
11.2	Пример 1.....	77
11.3	Пример 2.....	79
<b>12</b>	<b>Приложение.....</b>	<b>81</b>
12.1	TARMOTION® ED-S, шкаф привода (898801).....	81
12.2	TARMOTION® ED-L, шкаф привода (898802).....	82
12.3	Угловой редуктор, габаритный чертеж (892916).....	83
	<b>Алфавитный указатель.....</b>	<b>84</b>



## 1 Общая информация

### 1.1 Действие документа

Настоящий документ является действительным для технических характеристик перечисленных ниже устройств РПН (резисторного типа), ПБВ, ARS, их приводов и принадлежностей:

Изделие	Технические характеристики
VACUTAP® VT®	TD 124
VACUTAP® VV®	TD 203
VACUTAP® VM®	TD 2332907
VACUTAP® VR®	TD 2188029
OILTAP® V	TD 82
OILTAP® MS	TD 60
OILTAP® M	TD 50
OILTAP® RM	TD 130
OILTAP® R	TD 115
OILTAP® G	TD 48
COMTAP® ARS	TD 1889046
DEETAP® DU	TD 266
TAPMOTION® ED	TD 292

Табл. 1: Обзор

В правой колонке представлены номера технических характеристик устройств конкретных типов. В этих документах содержится подробная информация о различных исполнениях изделий и их свойствах.

Инструкции по монтажу, вводу в эксплуатацию и/или инструкции по эксплуатации входят в комплект поставки каждого изделия. В них содержится подробная информация о безопасном и правильном монтаже, подключении и вводе изделия в эксплуатацию, а также о контроле его работы.

#### **Нормативные документы, на которые ссылается данный документ**

Если в данном документе приводится ссылка на нормативные документы или предписания без указания года издания, то действительной является редакция, имеющая силу на момент выпуска данного документа в печать.



## 1.2 Право на внесение изменений

Информация, содержащаяся в данной инструкции по эксплуатации, представляет собой технические спецификации, официально одобренные на момент выпуска документа. Значимые изменения будут отражены в следующем издании данного технического документа.

Номер данной инструкции по эксплуатации с указанием номера версии приведен в нижнем колонтитуле.

## 1.3 Принцип действия устройств РПН и ПБВ

Устройства РПН и ПБВ предназначены для регулирования напряжения трансформаторов. Регулирование напряжения производится путем ступенчатого изменения коэффициента трансформации. Для этого трансформатор оснащен регулировочной обмоткой, отпайки которой соединены с избирателем устройства РПН, устройством ARS или ПБВ.

При этом устройства РПН служат для регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой без прерывания. Регулирование напряжения с помощью устройств ПБВ производится только при полностью отключенном трансформаторе.

В данном документе идет речь об устройствах РПН исключительно резисторного типа. В нем содержится ключевая информация об устройствах РПН, ПБВ и ARS для масляных трансформаторов.

### 1.3.1 Устройства РПН и ПБВ для масляных трансформаторов

Большинство устройств РПН и ПБВ устанавливаются в баке трансформатора, что позволяет подвести отводы регулировочной обмотки напрямую к избирателю устройства РПН или устройству ПБВ.

Устройство РПН работает от моторного привода. Моторный привод механически соединен с головкой устройства РПН через приводные валы и угловой редуктор. Устройство ПБВ переключается с помощью моторного или ручного привода.

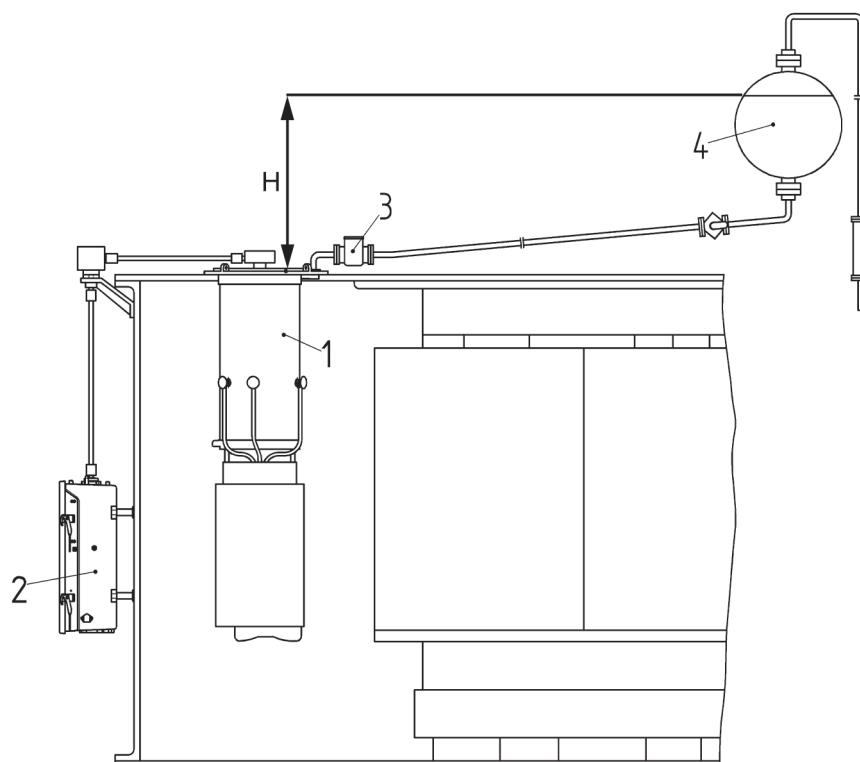


Рис. 1: Трансформатор с устройством РПН (схематичное изображение)

1	Устройство РПН	3	Защитное реле
2	Моторный привод	4	Расширительный бак устройства РПН
H	Высота уровня масла в расширительном баке над крышкой головки устройства РПН		

### 1.3.2 Устройство РПН для сухих трансформаторов

Для непрерывного регулирования напряжения сухих трансформаторов можно использовать устройство РПН VACUTAP® VT®.

Устройство РПН VACUTAP® VT® крепится на активной части сухого трансформатора. Оно сконструировано однофазным модулем для непосредственного соединения со стержнем трансформаторного сердечника. Для приведения в действие механизма служит моторный привод. Однофазные модули легко собираются в трехфазную систему.



## 1.4 Принцип действия устройства РПН

### 1.4.1 Принцип переключения устройства РПН

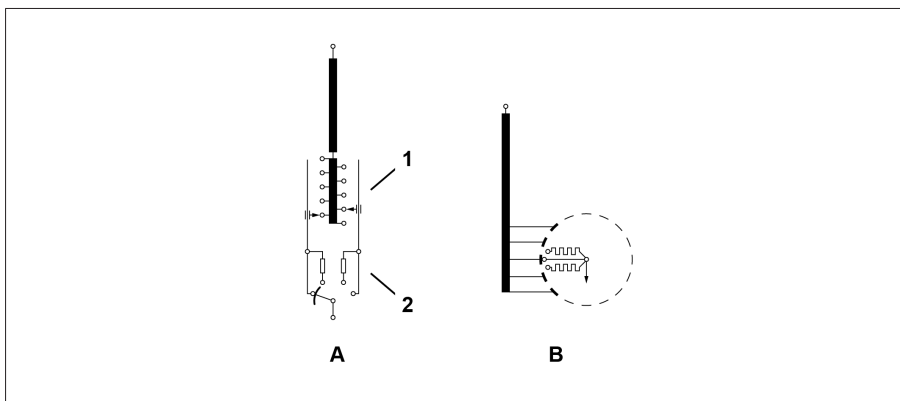


Рис. 2: Принцип переключения устройства РПН

A	Принцип «контактор — избиратель»	B	Принцип «избиратель под нагрузкой»
1	Избиратель		
2	Контактор		

#### 1.4.1.1 Принцип «контактор — избиратель»

Устройства РПН, работающие по такому принципу, состоят из контактора и избирателя.

Избиратель служит для предварительного выбора необходимой отпайки, которая к подключается через него к обесточенной стороне контактора. Затем производится переключение контактора и рабочий ток проходит через эту отпайку.

Переключения контактора и избирателя синхронизированы по времени.

#### 1.4.1.2 Принцип «избиратель под нагрузкой»

Устройство РПН, работающее по этому принципу, объединяет в себе свойства контактора и избирателя. Переключение с одной отпайки на другую происходит за одну операцию.

Отличия обычного избирателя под нагрузкой от избирателя под нагрузкой с гашением электрической дуги в вакууме:

в обычных избирателях под нагрузкой контакты, через которые происходит выбор требуемой отпайки, также выполняют переключение контактора;

в избирателях под нагрузкой с гашением электрической дуги в вакууме переключение контактора выполняется с помощью отдельных контактов (вакуумных камер).

### 1.4.2 Принципиальная схема регулировочной обмотки

На рисунке ниже представлены стандартные принципиальные схемы регулировочной обмотки. Возможные принципиальные схемы для различных типов устройств РПН см. в технических характеристиках для конкретного типа устройства.

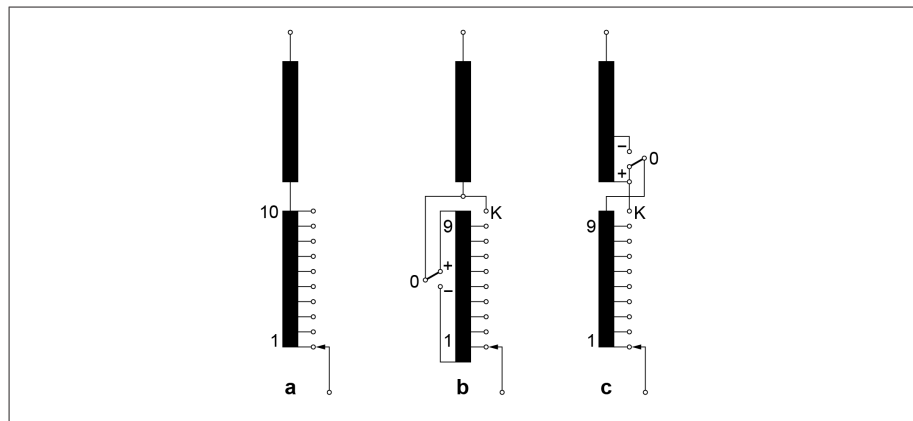


Рис. 3: Принципиальные схемы

a	Без предызбирателя
b	С реверсором
c	С переключателем грубой ступени



### 1.4.3 Обозначения устройств РПН

Устройства РПН каждого типа поставляются в различных исполнениях, которые могут отличаться числом фаз, максимальным расчетным рабочим током, максимальным напряжением оборудования  $U_m$ , размерной серией избирателя и принципиальной схемой. Поэтому каждое исполнение устройства РПН обозначается в соответствии с этими параметрами. Таким образом, по обозначению устройства РПН можно однозначно определить его параметры.

#### 1.4.3.1 Пример обозначения устройства РПН

Устройство РПН: тип VACUTAP® VM®, одна фаза, максимальный расчетный рабочий ток  $I_{um} = 650$  А, максимальное напряжение для оборудования  $U_m = 123$  кВ, размерная серия избирателя В, избиратель согласно принципиальной схеме 10191W.

Обозначение типов	VACUTAP® VM® I 651-123/B-10191W
VACUTAP® VM®	Тип устройства РПН
I	Количество фаз
651	Максимальный расчетный рабочий ток $I_{um}$ (А), а также число параллельных переключающих контактов (последняя цифра) для однофазных устройств РПН
123	Максимальное напряжение для оборудования $U_m$ (кВ)
В	Размерная серия избирателя
10191W	Принципиальная схема

Табл. 2: Пример обозначения устройства РПН

#### 1.4.3.2 Число ступеней и принципиальная схема

Избиратель можно подобрать в соответствии с требуемым числом ступеней и схемой регулировочной обмотки. Принципиальные схемы могут отличаться между собой числом контактов избирателя на один уровень, количеству рабочих и средних положений, а также исполнению предызбирателя.

Пример: 10 контактов в избирателе, максимум 19 рабочих положений, 1 среднее положение, исполнение предызбирателя — реверсор

Обозначение принципиальной схемы	10191W
10	Количество контактов на контактном круге избирателя
19	Макс. кол-во рабочих положений
1	Количество средних положений
Вт	Исполнение предызбирателя (W = реверсор, G = грубая ступень)

Табл. 3: Пример обозначения принципиальной схемы



1.4.3.3 Обзор типов устройств РПН

В таблице ниже представлен обзор различных типов устройств РПН с указанием количества фаз, максимального расчетного рабочего тока  $I_{um}$ , максимального напряжения для оборудования  $U_m$  и максимального количества рабочих положений.

Тип устройства РПН	Количество фаз	Макс. $I_{um}$ (А)	Макс. $U_m$ (кВ)	Макс. кол-во рабочих положений	
				Без предызбирателя	С предызбирателем
VACUTAP® VT®	I	500	40,5	9	—
VACUTAP® VV®	I, III	600	145	12	23
VACUTAP® VM®	II, III	650	300	22	35
	I	1500	300	22	35
VACUTAP® VRC	III	700	245	18	35
	II	700	300	18	35
	I, I HD	1300	300	18	35
VACUTAP® VRD	III	1300	245	18	35
	I, I HD	1300	300	18	35
VACUTAP® VRE	III	700	245	18	35
	I, I HD	1300	300	18	35
VACUTAP® VRF	III	1300	245	18	35
	I HD, II	1300	362	18	35
	I	1600 <sup>1)</sup>	362	18	35
	I	2600	362	18	35
VACUTAP® VRG	III	1300	245	18	35
	I HD, II	1300	362	18	35
	I	1600 <sup>1)</sup>	362	18	35
	I	2600	362	18	35
OILTAP® V	III	350	123	14	27
	I	350	76	14	27
OILTAP® MS	I, II, III	300	245	14	27
OILTAP® M	II, III	600	245	22	35
	I	1500	300	22	35
OILTAP® RM	III	600	300	18	35
	I	1500	300	18	35
OILTAP® R	III	1200	300	18	35
	I	3000	300	18	35
OILTAP® G	III	1600	300	16	31
	I	3000	300	16	31

Табл. 4: Типы устройств РПН



<sup>1)</sup> На устройствах VACUTAP® VRF I 1601 и VACUTAP® VRG I 1601 допустимо максимальное значение рабочего тока  $I_{um} = 1600$  А без принудительного деления тока (параллельные ветви обмотки).

Более подробная информация, а также информация о специальных исполнениях содержится в технических характеристиках для конкретного типа устройства РПН.

#### 1.4.3.4 Положение наладки и среднее положение

Положение наладки— это положение, в котором отгружается и поставляется устройство РПН. Во время технического обслуживания (при демонтаже или монтаже контактора) устройство РПН должно находиться в положении наладки. Подробная информация содержится в инструкциях по эксплуатации и техническому обслуживанию для конкретных типов устройств РПН. Положение наладки указывается в каждой схеме соединений устройства РПН.

Возможны схемы с одним средним положением и тремя средними положениями. Среднее положение (при схеме с тремя средними положениями таковым является среднее из трех) является, как правило, одновременно положением наладки (см. схему соединений устройства РПН).

В среднем положении (при схеме с тремя средними положениями таковым является среднее из трех) при исполнении с реверсором или с грубой ступенью токоведущим является контакт К. В этом положении ток через регулировочную обмотку не идет. Только в этом положении возможно переключение предызбирателя (реверсора или переключателя грубой ступени).

При наличии одного среднего положения ни перед, ни после контакта К нет положения с тем же самым напряжением. При наличии трех средних положений ни перед контактом К, ни после него напряжение не изменяется. Если контакты соединены перемычками, (см. главу «Параллельное подключение уровней избирателя [► 55]») это не считается средним положением.



**1.4.3.5 Обозначение присоединительных контактов избирателя и рабочих положений**

При заказе для каждого устройства РПН выполняется схема соединений, которой необходимо следовать при подключении устройства РПН к трансформатору.

Помимо электрических соединений в схеме представлена геометрия расположения присоединительных контактов (вид сверху).

В данной схеме соединений указываются обозначения присоединительных контактов избирателя и рабочих положений для соответствующего устройства РПН в соответствии со спецификацией заказчика.

Обозначения контактов, используемые в габаритных чертежах устройства РПН, всегда совпадают с обозначениями для исполнения устройства согласно стандарту MR.

Обозначения положений устройства РПН и моторного привода идентичны.

**Стандартное исполнение (стандарт MR)**

При обозначении присоединительных контактов и рабочих положений согласно стандарту MR в рабочем положении 1 токоведущим является присоединительный контакт избирателя 1. Рабочее положение 1 также является конечным положением. При прохождении диапазона регулирования оно достигается при движении перемычек между контактами избирателя против часовой стрелки.

Пример принципиальной схемы 10193W:

<b>Положение</b>	19	18	17	...	11	10	9	...	3	2	1
<b>Токосоведущий присоединительный контакт избирателя</b>	9	8	7	...	1	K	9	...	3	2	1
<b>Контакты, соединяемые пред-избирателем</b>	0-		→	0-	0-	0+	→	0+			
			←	0-	0+	0+	←				
<b>Направление переключения</b>	→		«Выше»					→			
	←		«Ниже»					←			
<b>Направление вращения рукоятки</b>	→		по часовой стрелке					→			
	←		против часовой стрелки					←			
<b>Перемычка между контактами избирателя</b>	→		против часовой стрелки					→			
	←		по часовой стрелке					←			
<b>Управление моторным приводом</b>	→		Через магнитное реле K2					→			
	←		Через магнитное реле K1					←			

Табл. 5: Обозначения для стандартного исполнения согласно стандарту MR на примере принципиальной схемы 10193W

На рисунке ниже представлены обозначения контактов (1–9, K) обеих уровней избирателя (вид сверху, по часовой стрелке).

Устройство РПН находится в положении 2, предызбиратель соединяет контакты 0 и +.

Положение 1 достигается перемещением другой переключки между контактами избирателя против часовой стрелки (см. сверху), т. е. вращением рукоятки ручного привода в правую сторону (по часовой стрелке) или активацией магнитного реле моторного привода K2.

Направление вращения на устройстве РПН остается неизменным независимо от выбранного расположения приводного вала.

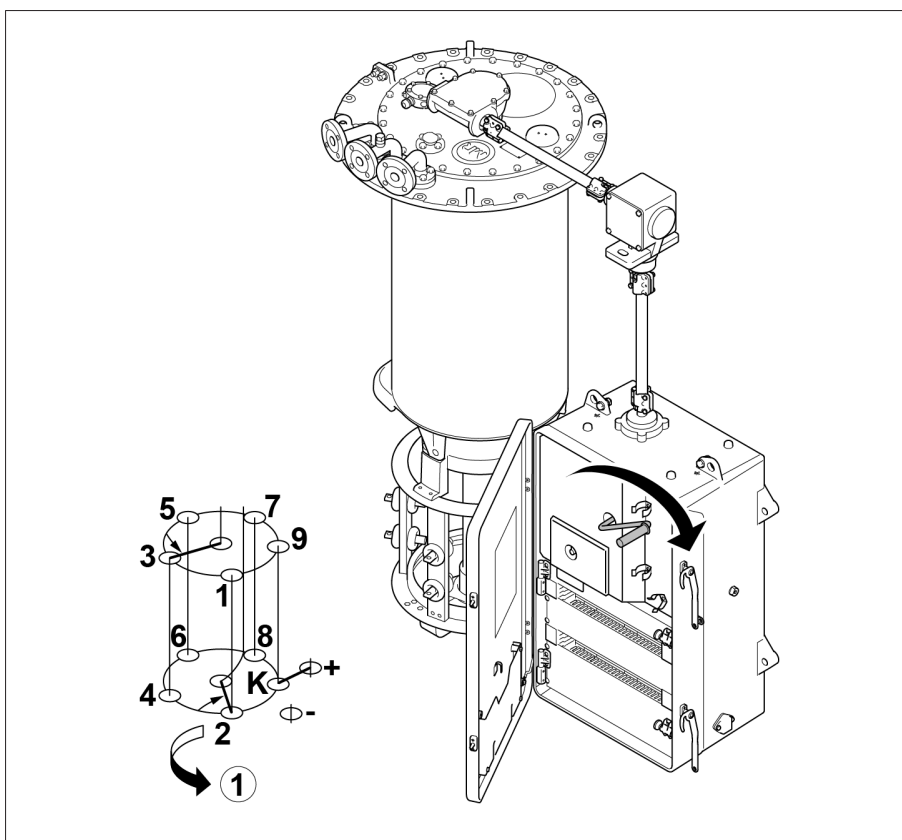


Рис. 4: Направления вращения для исполнения по стандарту MR

## 1.5 Принцип действия Advanced Retard Switch

### 1.5.1 Принцип переключения ARS

Устройство Advanced Retard Switch (ARS) используется для переключения ответвлений обмоток во время эксплуатации трансформатора и имеет, как правило, два рабочих положения. При переключении ARS рабочий ток переключается с одного пути тока на другой с таким же потенциалом.

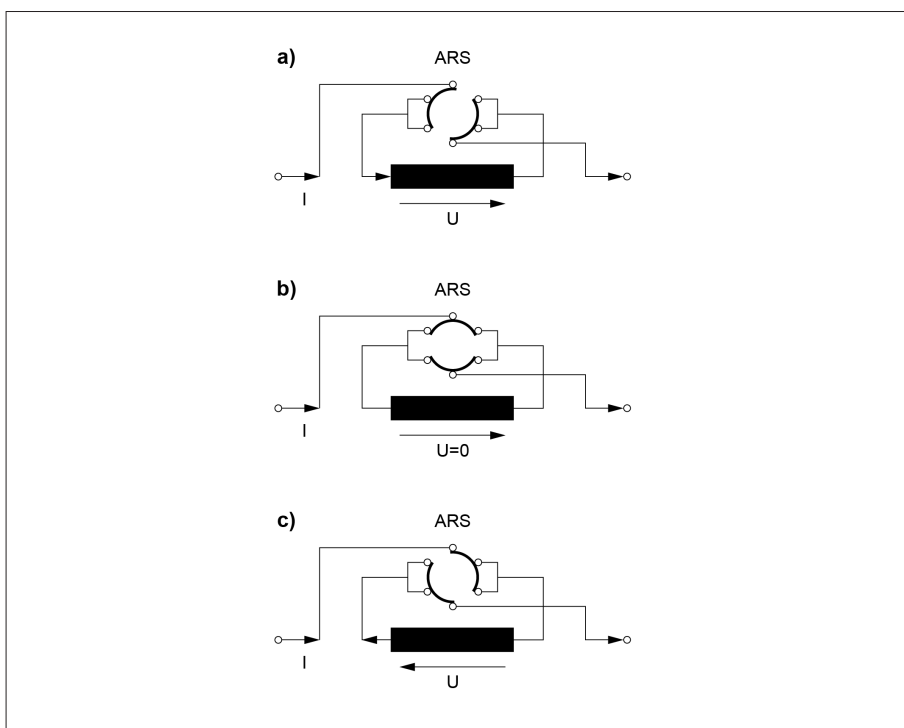


Рис. 5: Advanced Retard Switch (ARS) для изменения полярности обмотки

- a) ARS в рабочем положении 1
- b) ARS во время переключения
- c) ARS в рабочем положении 2

ARS можно использовать для различных приложений вместе с устройством РПН. Преимущественно устройство ARS используется в случаях с большим диапазоном регулирования (например, для фазосдвигающего трансформатора) для изменения полярности регулировочной обмотки (принцип переключения: двойной реверсор).

Дополнительную информацию см. в технических характеристиках устройства COMTAP® ARS.





## 1.5.2 Обозначения ARS

Пример	ARS I 1822 - 145 - 18 02 0 DW		
<b>ARS</b>	Обозначение изделия	ARS	COMTAP® ARS
<b>I</b>	Количество фаз	I	Одна фаза
		III	Три фазы
<b>1822</b>	Максимальный расчетный рабочий ток $I_{um}$ , обозначение необходимого деления тока (третья цифра) и с указанием параллельных уровней на фазу (четвертая цифра).	1000	1000 А
			Без деления тока
		1822	Нет параллельных уровней переключения
			1800 А
			Двойное деление тока
		2433	Два параллельных уровня переключения
2400 А			
Тройное деление тока			
<b>145</b>	Максимальное напряжение для оборудования $U_m$	123	123 кВ
		145	145 кВ
		170	170 кВ
<b>18</b>	Количество контактов на контактном круге	18	18, диаметр контактного круга 850 мм
<b>02</b>	Количество рабочих положений	02	Два рабочих положения
<b>0</b>	Количество средних положений	0	Нет среднего положения
<b>DW</b>	Вид переключения	DW	Двойной реверсор

Табл. 6: Объяснение обозначений устройства Advanced Retard Switch

## 1.6 Принцип действия устройства ПБВ

### 1.6.1 Принцип переключения и принципиальные схемы

Переключение устройства ПБВ с одного положения на другое происходит посредством вращения изоляционного вала. Устройство ПБВ переключается с помощью моторного или ручного привода.

Помимо принципиальных схем, представленных на рисунке ниже, возможны специальные исполнения.

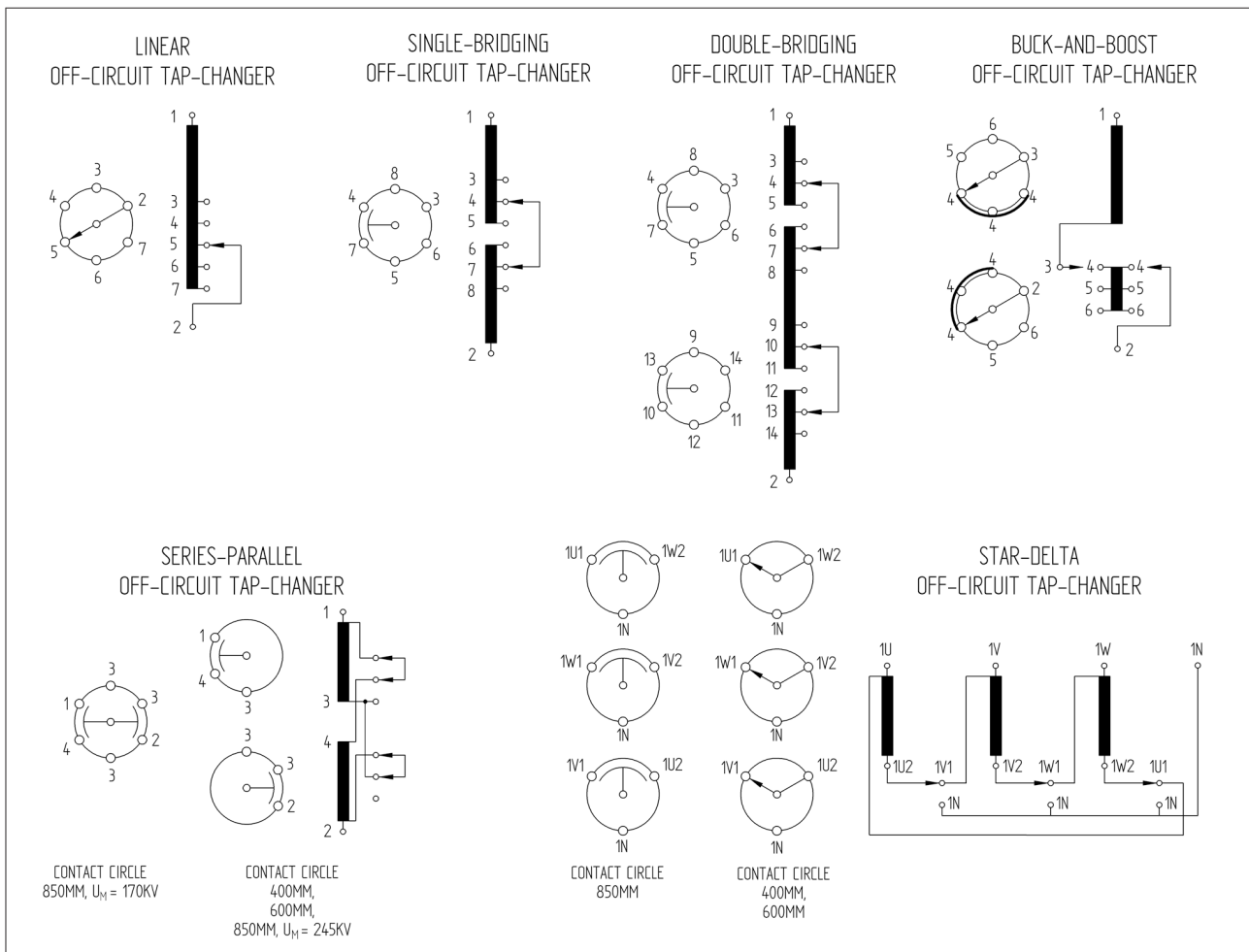


Рис. 6: Принципиальные схемы устройства ПБВ DEETAP® DU

Дополнительную информацию см. в технических характеристиках устройства DEETAP® DU.



## 1.6.2 Обозначения устройств ПБВ

Пример	DU III 1000 - 145 - 06 05 0 Y				
<b>DU</b>	Обозначение изделия	DU	DEETAP® DU		
<b>III</b>	Количество фаз	I	Одна фаза		
		III	Три фазы		
<b>1000</b>	Максимальный расчетный рабочий ток $I_{um}$	200	200 A		
		4XX	400 A		
		600	600 A		
		8XX	800 A		
		1000	1000 A		
		12X2	1200 A		
		16X2	1600 A		
		2022	2000 A		
		$I_{um} > 2000$ A по запросу			
		Требуемое деление тока	XX0X	Без деления тока	
XX2X	Двойное деление тока				
Параллельные уровни переключения	XXX0	Нет			
	XXX2	2 на фазу			
<b>145</b>	Максимальное напряжение для оборудования $U_m$ (кВ)	36; 72,5; 123; 145; 170; 245			
		$U_m > 245$ кВ по запросу			
<b>06</b>	Количество контактов на контактном круге	60	6 (400 мм)		
		12	12 (600 мм)		
		18	18 (850 мм)		
<b>05</b>	Количество рабочих положений	2–17 рабочих положений в зависимости от исполнения			
<b>0</b>	Количество средних положений	0	Нет среднего положения		
		1	Одно среднее положение		
<b>Y</b>	Вид переключения	Y	Устройство ПБВ для переключения в нейтраль звезды		
		D	Переключатель «треугольник»		
		ME	Переключатель средних отпаек		
		MD	Двойной переключатель средних отпаек		
		SP	Рядно-параллельный переключатель		
		YD	Переключатель «звезда/треугольник»		
		BB	Устройство ПБВ Buck-and-Boost		
		S	Специсполнение		

Табл. 7: Расшифровка обозначений устройства ПБВ



## 2 Электрические характеристики

В этой главе представлено общее описание электрических характеристик устройств РПН, ПБВ и Advanced Retard Switch (ARS).

Дополнительную информацию о особых случаях применения см. в главе «Случаи применения» [► 58].

### 2.1 Рабочий ток, напряжение ступени, мощность ступени

Рабочим током называется ток, проходящий во время работы через устройство РПН и ПБВ. В принципе, рабочий ток устройства РПН может иметь в диапазоне регулирования напряжения различные значения (например, при постоянной расчетной мощности трансформатора).

#### Расчетный рабочий ток $I_u$

Максимальный рабочий ток, который трансформатор способен постоянно проводить, необходимо использовать при расчетах для устройств РПН и ПБВ. Этот максимально допустимый рабочий ток трансформатора является расчетным рабочим током  $I_u$  устройства РПН или ПБВ.

#### Напряжение ступени $U_{st}$

Напряжением ступени называется рабочее напряжение между двумя соседними отпайками. Напряжение ступени может оставаться неизменным или меняться по всему диапазону регулирования. Если напряжение ступени меняется, то для выбора устройства РПН или ПБВ используется максимальное напряжение ступени  $U_{st}$  трансформатора.

#### Максимальный расчетный рабочий ток $I_{um}$

Максимальный расчетный рабочий ток  $I_{um}$  — это зависящий от конструкции максимальный рабочий ток переключающего устройства, при котором проводились типовые испытания.

#### Расчетное напряжение ступени $U_i$

Расчетное напряжение ступени  $U_i$  устройства РПН — наибольшее для определенного значения расчетного рабочего тока  $I_u$  допустимое напряжение ступени. В привязке к расчетному рабочему току его называют расчетным напряжением ступени для расчетного рабочего тока.

#### Максимальное расчетное напряжение ступени $U_{im}$

Максимальное расчетное напряжение ступени  $U_{im}$  представляет собой зависимое от конструкции максимально допустимое напряжение ступени устройства РПН или ПБВ.

### Токоограничивающие сопротивления

Токоограничивающие сопротивления контактора определяются на основании величин максимального напряжения ступени  $U_{st}$  и расчетного рабочего тока  $I_u$  трансформатора, для которого предназначено устройство РПН.

Так как расчетный рабочий ток  $I_u$  и допустимое напряжение ступени  $U_{st}$  зависят от значений токоограничивающих сопротивлений, эти значения рассчитываются под конкретное исполнение трансформатора, на котором используется переключающее устройство.

Для эксплуатации устройства РПН со значениями напряжения ступени и рабочего тока, отличающимися от указанных в заказе, компания Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR) должна проверить, допустимо ли это. Если, например, мощность трансформатора увеличена за счет улучшенного охлаждения или устройство РПН используется в другом трансформаторе, то может потребоваться замена токоограничивающих сопротивлений.

Это касается и тех случаев, когда желаемые новые расчетные значения  $I_u$  и  $U_{st}$  меньше первоначальных значений. Расчет токоограничивающих сопротивлений влияет на нагрузку контактов под коммутируемую мощность и на равномерность их износа.

### Расчетная мощность ступени $P_{stN}$

Расчетная мощность ступени  $P_{stN}$  — произведение значений расчетного рабочего тока  $I_u$  и соответствующего расчетного напряжения ступени  $U_i$ :

$$P_{stN} = I_u \times U_i$$

На рисунке ниже представлены типичные предельные нагрузки контактора. Отсюда следует, что допустимый рабочий диапазон ограничивается максимальным расчетным напряжением ступени  $U_{im}$  и максимальным расчетным рабочим током  $I_{um}$ .

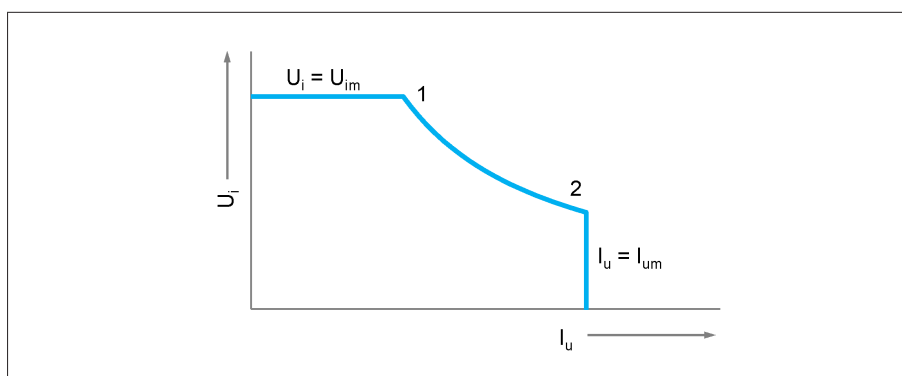


Рис. 7: График расчетной мощности ступени контактора

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| 1 | Верхняя угловая точка |
| 2 | Нижняя угловая точка  |



Лежащие между угловыми точками 1 и 2 точки кривой находятся в пределах допустимой коммутационной мощности. Допустимая коммутационная мощность между угловыми точками 1 и 2 соответствует зависимым друг от друга парам значений для  $I_U$  и  $U_U$  и может оставаться постоянной или меняться.

График расчетной мощности ступени, а также отдельные значения для  $I_U$  и  $U_U$  в угловых точках 1 и 2 отдельно указываются для каждого устройства РПН (см. технические характеристики соответствующего устройства РПН).

### **Граничное значение мощности ступени и предельная коммутационная мощность**

Граничное значение мощности ступени — максимальная мощность ступени, которая обеспечивает безопасное переключение. Каждое устройство РПН компании MR в стандартном исполнении при напряжении ступени  $U_{st}$ , на которое рассчитано устройство РПН, может переключать минимум двойное значение расчетного рабочего тока  $I_U$ . Эта предельная коммутационная мощность подтверждена типовыми испытаниями в соответствии с IEC 60214. Переключения со значениями тока, превышающими двойное значение расчетного рабочего тока  $I_U$ , необходимо предотвратить, приняв соответствующие меры.

## **2.2 Изоляция**

Подробное описание изоляционной способности различных изоляционных промежутков и их назначение для напряжений обмоток трансформатора см. в технических характеристиках соответствующего устройства РПН, ПБВ или ARS. Указанные расчетные выдерживаемые напряжения изоляционной системы действительны для неизношенной, полностью высушенной изоляции с последующим погружением в трансформаторное масло (при температуре окружающей среды минимум 10 °C).

Для выбора устройства РПН, ПБВ или ARS требуются указанные ниже данные:

- максимальные напряжения промышленной частоты
- испытательные напряжения переменного тока при испытаниях трансформатора
- импульсные напряжения для проверки трансформатора (ПГИ, коммутационный импульс, срезанная волна — спереди и сзади).

Производитель трансформатора отвечает за правильный выбор расчетного выдерживаемого напряжения для соответствующих изоляционных промежутков в соответствии с координацией изоляции в месте эксплуатации. Следует принимать во внимание требуемые расчетные выдерживаемые напряжения для указанных ниже изоляционных промежутков.

- Изоляция относительно земли
- В многофазном исполнении межфазная изоляция

- Изоляция между контактами одной фазы

Необходимые данные зависят от вида регулировки (например, переключение регулировочной обмотки устройства РПН) и от типа устройства РПН.

### 2.3 Реактивность рассеяния при схеме с грубой ступенью

Для большинства переключений устройства РПН имеет место только реактивность рассеяния одной ступени. Это не столь важно для работы устройства РПН.

Если же переключение производится с конца обмотки грубой ступени на конец регулировочной обмотки (или наоборот), то все витки обмоток грубой ступени и регулировочной обмотки находятся между выбранной и выбранной перед этим отпайками. Хотя устройство РПН с точки зрения электрики производит переключение максимум на одну ступень, для схемы переключения возникает значительно большая реактивность рассеяния, которая действует как внутреннее сопротивление напряжения ступени. Эта повышенная реактивность рассеяния вызывает на резисторных контактах устройства РПН смещение фаз между током отключения и восстанавливающимся напряжением, которое может привести к увеличению времени горения электрической дуги.

Для исполнений трансформаторов с расположением обмотки грубой ступени в непосредственной близости к регулировочной обмотке, можно определить эффективную реактивность рассеяния как дополнение сопротивлению короткого замыкания обеих обмоток.

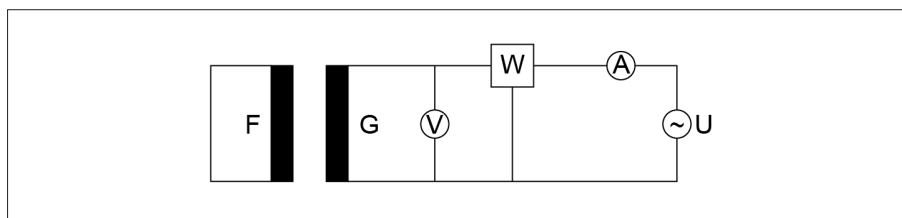


Рис. 8: Определение реактивности рассеяния

F	Регулировочная обмотка	G	Обмотка грубой ступени
V	Вольтметр	W	Ваттметр
A	Амперметр	U	Питающее напряжение

На рисунке ниже представлен метод измерений, при котором доступ к присоединительным клеммам можно получить через контактор.

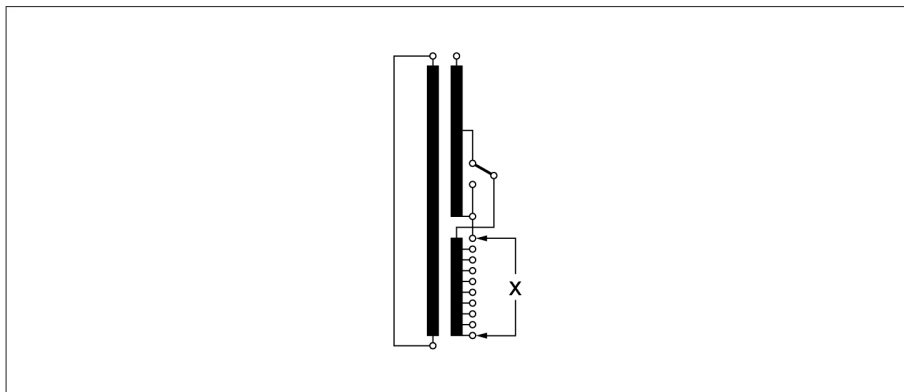


Рис. 9: Реактивность рассеяния при схеме с грубой ступенью

Аналитические формулы для расчета реактивности рассеяния между двумя обмотками также можно использовать для расчета реактивности рассеяния между обмоткой грубой ступени и регулировочной обмоткой. При концентрическом расположении обмоток рассчитанные значения достаточно точные.

Для исполнений с грубыми ступенями, которые не расположены непосредственно по соседству с регулировочной обмоткой, (например, с несколькими грубыми ступенями), должны быть проанализированы все обмотки и их связи в схеме переключения. Все необходимые расчеты может выполнить компания Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR). Для этого укажите конструкцию обмотки и переключения всех деталей обмотки. Соответствующий формуляр предоставляется компанией MR.



## 2.4 Потенциал регулировочной обмотки

### 2.4.1 Восстанавливающееся напряжение и ток отключения

Регулировочная обмотка в процессе переключения с помощью реверсора или переключателя грубой ступени на короткое время гальванически отсоединяется от основной обмотки. При этом она принимает потенциал, который зависит от напряжений соседних обмоток и емкостных связей с этими обмотками и/или с заземленными частями.

Такое смещение потенциала регулировочной обмотки приводит к соответствующим напряжениям между переключающими контактами предвызбирателя, так как один контакт всегда соединен с регулировочной обмоткой, а другой контакт — с основной обмоткой. Это напряжение называется восстанавливающимся напряжением  $U_w$ .

При размыкании контактов предвызбирателя должен прерываться емкостный ток, обусловленный в. у. емкостными связями регулировочной обмотки. Этот ток называется током отключения  $I_s$ .

Восстанавливающееся напряжение  $U_w$  и ток отключения  $I_s$  могут привести к возникновению электрических разрядов на предвызбирателе. Допустимый диапазон восстанавливающегося напряжения  $U_w$  и тока отключения  $I_s$  для различных типов устройств РПН представлен на рисунках ниже.

#### Без потенциального резистора (R, VRD и VRF с избирателем размерной серии C/D):

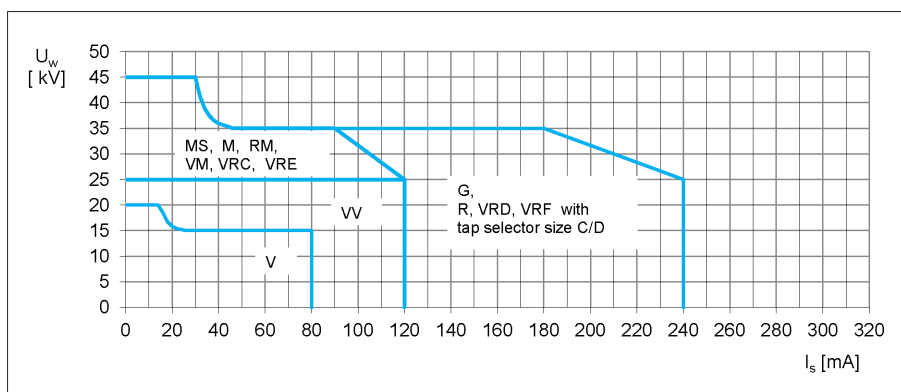


Рис. 10: Ориентировочные значения для  $U_w$  и  $I_s$  без потенциального резистора  $R_p$

$U_w$	Восстанавливающееся напряжение
$I_s$	Ток отключения

### Без потенциального резистора (R и VRG с избирателем размерной серии E):

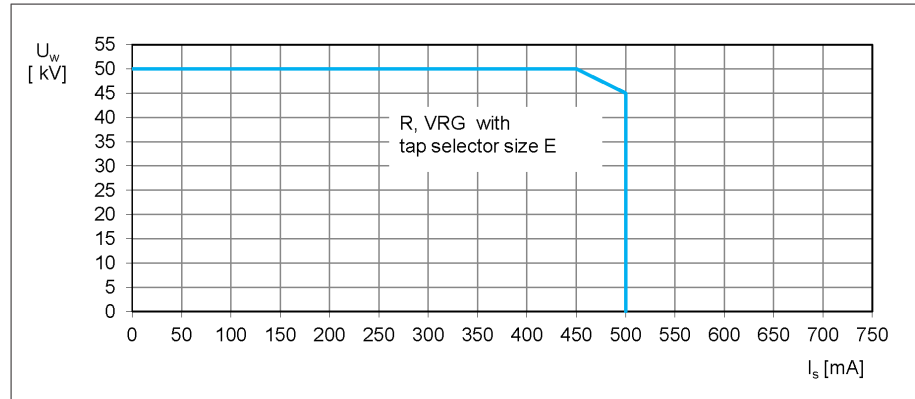


Рис. 11: Ориентировочные значения для  $U_w$  и  $I_s$  без потенциального резистора  $R_p$

Если рассчитанные пары значений для  $U_w$  и  $I_s$  выходят за допустимые пределы, то регулировочная обмотка в процессе переключения должна быть подключена к потенциальному резистору. Возможное использование потенциальных резисторов представлено на рисунке ниже.

На схеме а регулировочная обмотка соединяется через омический резистор  $R_p$  (потенциальный резистор). На схеме b этот потенциальный резистор включается с помощью дополнительного выключателя потенциальных резисторов  $S_p$  только во время фазы переключения предызбирателя.

Конструктивные решения для использования потенциальных резисторов различаются согласно типам устройств РПН. Дополнительную информацию см. в технических характеристиках соответствующего устройства РПН.

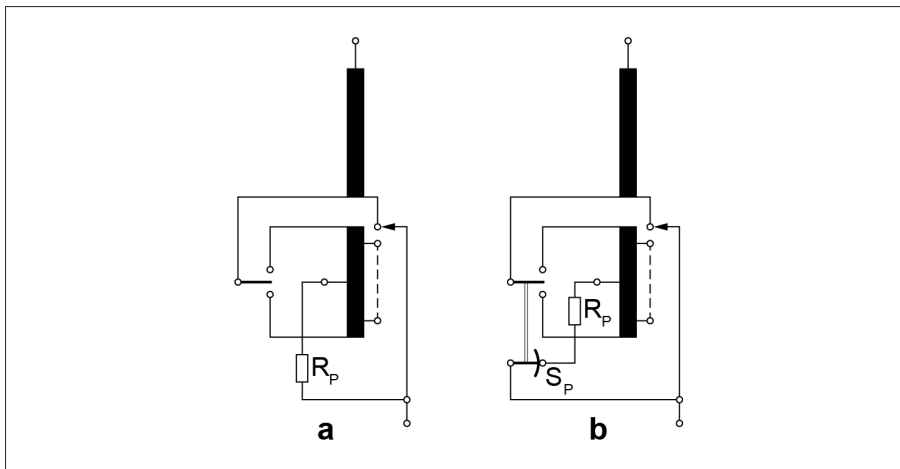


Рис. 12: Переключения с потенциальным резистором (реверсор в среднем положении)

- a С потенциальным резистором  $R_p$
- b С выключателем потенциальных резисторов  $S_p$  и потенциальным резистором  $R_p$

За счет подключения регулировочной обмотки к потенциальному резистору восстанавливаемое напряжение  $U_w$  на контактах предызбирателя уменьшается, но ток отключения  $I_s$  становится больше за счет дополнительного тока, проходящего через потенциальный резистор.

**С потенциальным резистором (R, VRD и VRF с размерной серией избирателя C/D):**

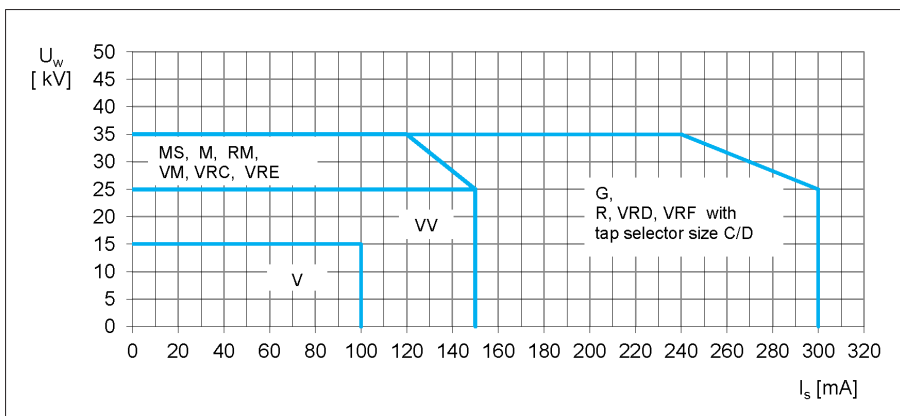


Рис. 13: Ориентировочные значения для  $U_w$  и  $I_s$  с потенциальным резистором  $R_p$

- $U_w$  Восстанавливаемое напряжение
- $I_s$  Ток отключения

### С потенциальным резистором (R и VRG с размерной серией избирателя E):

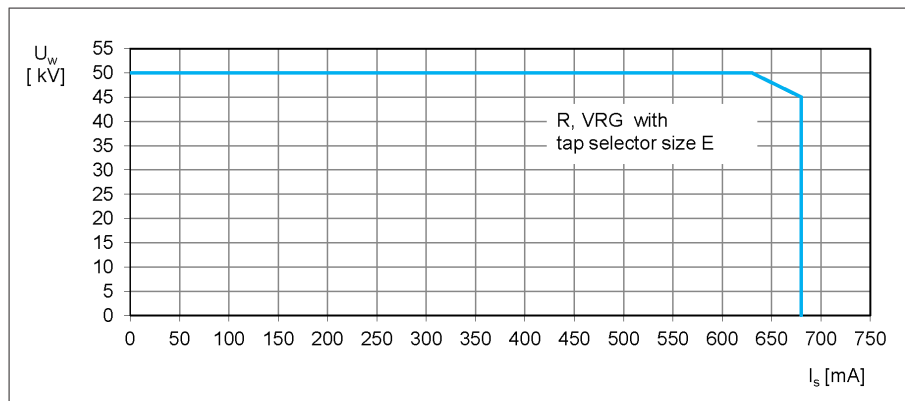


Рис. 14: Ориентировочные значения для  $U_w$  и  $I_s$  с потенциальным резистором  $R_p$

На рисунках представлены диапазоны восстанавливающегося напряжения  $U_w$  и тока отключения  $I_s$  для различных типов устройств РПН, которые при использовании потенциальных резисторов можно применять без консультации с компанией Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR). Это действительно в тех случаях, когда ток отключения  $I_s$  в значительной мере определяется потенциальным резистором. При превышении указанных диапазонов необходимо заключение компании MR.

Уменьшение восстанавливающегося напряжения  $U_w$  за счет потенциального резистора способствует увеличению тока отключения  $I_s$ . Поэтому для расположения обмоток с неблагоприятным емкостным соединением не всегда есть решение с допустимой нагрузкой предвызбирателя.

В таких случаях необходимо выбрать предвызбиратель с более высоким допустимым током отключения  $I_s$  или изменить схему расположения обмоток. Поэтому необходимо своевременно перепроверять нагрузку на предвызбиратель, особенно при использовании устройств РПН на трансформаторах большой мощности (т. е. с большими емкостями связи) и с высокими рабочими напряжениями (что подразумевает сдвиг потенциала регулировочной обмотки в процессе переключения предвызбирателя).

Расчет восстанавливающегося напряжения  $U_w$  и тока отключения  $I_s$ , а также определение требуемого сопротивления резистора могут быть произведены на фирме MR. Для этого требуются указанные ниже данные:

- конструкция обмотки, т. е. расположение регулировочной обмотки относительно соседних обмоток.
- Емкость регулировочной обмотки относительно соседних обмоток или емкость регулировочной обмотки относительно земли или соседних заземленных обмоток
- рабочее переменное напряжение на обмотках или положения обмоток, соседних с регулировочной.



Для определения параметров подключения потенциального резистора, кроме того, требуются следующие данные:

- ожидаемые нагрузки напряжением грозового импульса на половине регулировочной обмотки
- рабочее и испытательное переменное напряжение на половине регулировочной обмотки (эти данные могут быть получены из опросных листов).

### 2.4.2 Щелчковый контакт

Щелчковый контакт служит для уменьшения количества газа, производимого время переключения предызбирателя. Щелчковый контакт используется для избирателя типоразмера E при превышении определенных граничных значений.

Высокие нагрузки на предызбирателе, вызванные высокими токами отключения и восстанавливающимися напряжениями (типично, например, для приложений постоянного тока высокого напряжения или HVDC), приводят к образованию большого количества газа. Компания Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR) в таких случаях проводит расчет количества газа.

Как правило, щелчковый контакт можно выбрать в дополнительной комплектации. Щелчковый контакт рекомендуется использовать при образовании среднего количества газа (7 мл) за одно переключение предызбирателя. Это позволяет сократить количество газа на 90 %.

### 2.4.3 Пример расчета восстанавливающегося напряжения

Ниже представлен примерный расчет восстанавливающегося напряжения на предызбирателе.

- Комбинация устройств РПН:
  - VM I 301 / VM II 302 - 170 / В - 10 19 3W
- Данные трансформатора
  - Расчетная мощность 13 МВА
  - Обмотка высшего напряжения 132 кВ ± 10 %
  - Схема соединения обмотки «треугольник», 50 Гц
  - Регулировочная обмотка в переключении с реверсором
  - Двойная концентрическая структура обмотки высшего напряжения с внутренней основной обмоткой (дисковые катушки) и наружной регулировочной обмоткой
  - Емкости обмотки
    - $C_1 = 1810$  пФ (между основной обмоткой и регулировочной обмоткой),
    - $C_2 = 950$  пФ (между регулировочной обмоткой и землей)

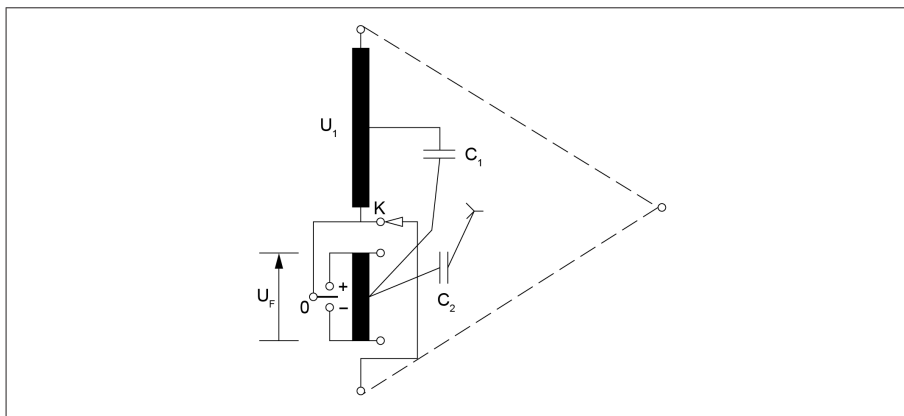


Рис. 15: Переключение обмотки высшего напряжения

$U_1$	Напряжение обмотки высшего напряжения
$U_F$	Напряжение регулировочной обмотки
$C_1$	Емкость обмотки между основной обмоткой и регулировочной обмоткой
$C_2$	Емкость обмотки между регулировочной обмоткой и землей



Принимая во внимание, что емкости обмотки  $C_1$  и  $C_2$  активны соответственно в середине обмотки, для восстанавливающихся напряжений  $U_{W+}$  и  $U_{W-}$  действительно:

$$\vec{U}_{W+} = \frac{\vec{U}_1}{2} + U_{C1} + \frac{\vec{U}_F}{2}, \quad \vec{U}_{W-} = \frac{\vec{U}_1}{2} + U_{C1} - \frac{\vec{U}_F}{2}$$

также напряжение превышает  $C_1$

$$\vec{U}_{C1} = j \cdot \frac{U_1}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

и тем самым векторная величина и итоговое значение составляют

$$\vec{U}_{W+} = \frac{U_1}{2} - j \cdot \frac{U_1}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} + \frac{U_F}{2}$$

$$|\vec{U}_{W+}| = \sqrt{\left(\frac{U_1}{2} + \frac{U_F}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_1}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2}\right)^2}$$

$$\vec{U}_{W-} = \frac{U_1}{2} - j \cdot \frac{U_1}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} - \frac{U_F}{2}$$

$$|\vec{U}_{W-}| = \sqrt{\left(\frac{U_1}{2} - \frac{U_F}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_1}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2}\right)^2}$$

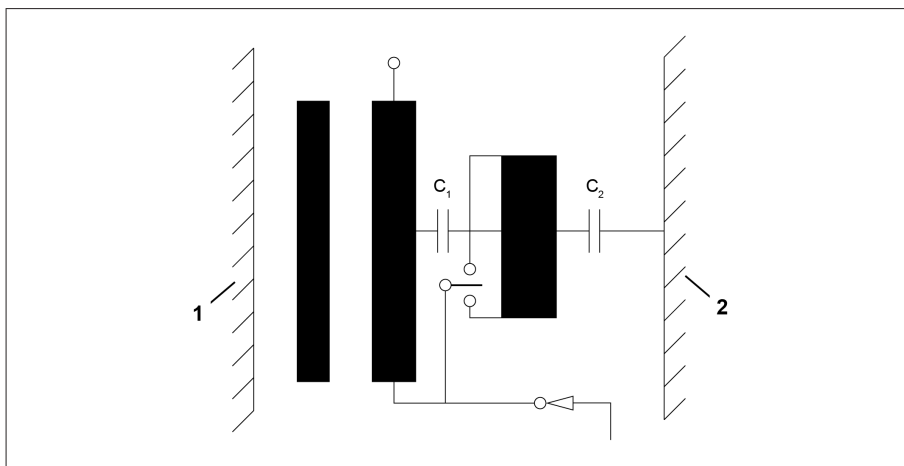


Рис. 16: Расположение обмотки с соответствующими емкостями обмотки

1	Сердечник трансформатора	2	Бак трансформатора
$C_1$	Емкость обмотки между основной обмоткой и регулировочной обмоткой		
$C_2$	Емкость обмотки между регулировочной обмоткой и землей		



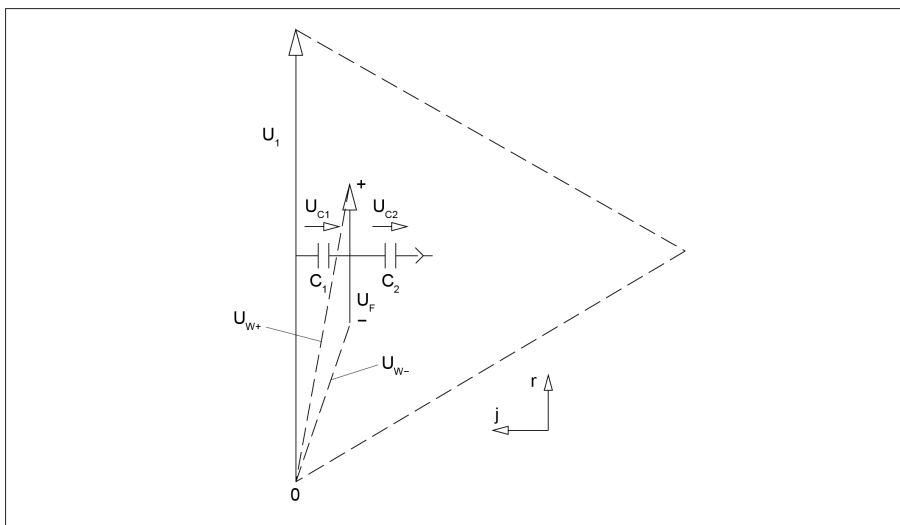


Рис. 17: Векторная диаграмма для расчета восстанавливающегося напряжения на контактах предызбирателя (+) и (-)

$U_1$	Напряжение обмотки высшего напряжения
$U_F$	Напряжение регулировочной обмотки
$U_{W+}$	Восстанавливающееся напряжение на контакте предызбирателя (+)
$U_{W-}$	Восстанавливающееся напряжение на контакте предызбирателя (-)
$U_{C1}$	Падение напряжения на емкости обмотки $C_1$
$U_{C2}$	Падение напряжения на емкости обмотки $C_2$

Для  $C_1 = 1810$  пФ,  $C_2 = 950$  пФ,  $U_1 = 132$  кВ,  $U_F = 13,2$  кВ

получаются следующие вычисленные значения для итогового значения восстанавливающихся напряжений  $U_{W+}$  и  $U_{W-}$ :

$$|\vec{U}_{W+}| = \sqrt{\left(\frac{132 \text{ kV}}{2} + \frac{13,2 \text{ kV}}{2}\right)^2 + \left(\frac{132 \text{ kV}}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{950 \text{ pF}}{1810 \text{ pF} + 950 \text{ pF}}\right)^2} = 73,78 \text{ kV}$$

$$|\vec{U}_{W-}| = \sqrt{\left(\frac{132 \text{ kV}}{2} - \frac{13,2 \text{ kV}}{2}\right)^2 + \left(\frac{132 \text{ kV}}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{950 \text{ pF}}{1810 \text{ pF} + 950 \text{ pF}}\right)^2} = 60,83 \text{ kV}$$

Токи отключения  $I_{S+}$  и  $I_{S-}$ :



$$I_{S+} = \frac{\vec{U}_1}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \omega C_2 + j \frac{\vec{U}_1 + \vec{U}_F}{2} \cdot \omega (C_1 + C_2)$$

$$I_{S-} = \frac{\vec{U}_1}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \omega C_2 + j \frac{\vec{U}_1 - \vec{U}_F}{2} \cdot \omega (C_1 + C_2)$$

С вышеуказанными числовыми данными получается:

$$I_{S+} = 63,97 \text{ мА}$$

$$I_{S-} = 52,75 \text{ мА}$$

Из-за высоких значений для  $U_W$  требуется потенциальный резистор.

При установке потенциального резистора  $R_p = 235 \text{ кОм}$  получается:

$$U_{W+} = 17,11 \text{ кВ}$$

$$U_{W-} = 12,47 \text{ кВ}$$

$$I_{S+} = 74,29 \text{ мА}$$

$$I_{S-} = 54,15 \text{ мА}$$



## 2.5 Перегрузка

### 2.5.1 Рабочие токи, превышающие расчетный рабочий ток

Устройства РПН и ПБВ компании MR подходят для всех нагрузок трансформатора в соответствии со стандартом IEC 60076-7:2005 — Loading guide for oil-immersed power transformers.

Стандарт IEC 60076-7 различает три режима работы:

- Normal cyclic loading (нормальный цикл нагрузки);
- Long-time emergency loading (длительная перегрузка);
- Short-time emergency loading (кратковременная перегрузка).

Типовые испытания в соответствии со стандартом IEC 60214-1:2003 подтверждают пригодность устройств РПН и ПБВ к эксплуатации в вышеуказанных режимах работы силовых трансформаторов.

Устройства РПН и ПБВ компании MR также подходят для всех нагрузок трансформатора в соответствии со стандартом IEEE Std C57.91™-2011 — IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage-Regulators (исключение: требование нагрузки более 200 %).

Требования нагрузки, превышающей 200 %, могут возникать, например, в режиме работы Short time emergency loading распределительных трансформаторов, требования необходимо указать в запросе.

Стандарт IEEE C57.91 различает четыре режима работы:

- Normal life expectancy loading (ожидаемая нормальная нагрузка);
- Planned loading beyond nameplate rating (нагрузка, планируемая в соответствии с данными шильдика);
- Long-time emergency loading (длительная перегрузка);
- Short-time emergency loading (кратковременная перегрузка).

При эксплуатации в режимах normal cyclic loading (нормальный цикл нагрузки) или normal life expectancy loading (ожидаемая нормальная нагрузка) в течение одного дневного цикла не должны возникать рабочие токи, превышающие расчетный рабочий ток. При соблюдении условий эксплуатации в соответствии с IEC 60076-7 и IEEE C57.91 (продолжительность и уровень производительности в течение одного дневного цикла, температура трансформаторного масла и т. д.) это не особая нагрузка, а нормальный режим работы. Поэтому кратковременные рабочие токи, возможные при вышеуказанных режимах работ и превышающие расчетный рабочий ток, не следует особо учитывать при выборе устройства РПН.



### 2.5.2 Эксплуатация в различных условиях

Если трансформатор эксплуатируется при различных условиях с разной мощностью (например, повышенная мощность трансформатора из-за вида охлаждения или температуры окружающей среды), учитывайте приведенные ниже указания.

Для указания необходимого расчетного рабочего тока устройства РПН за основу необходимо взять максимальную мощность трансформатора в качестве расчетной мощности; см. также IEC 60076-1:2011.

Это необходимо, поскольку, несмотря на усиленное охлаждение трансформатора, при увеличении его мощности температура масла трансформатора не снижается, таким образом, в отличие от трансформатора, внешние условия эксплуатации устройства РПН не улучшаются.

Другая причина — определение токоограничивающих резисторов устройств РПН по максимальному рабочему току для ограничения до допустимых значений нагрузки под коммутируемую мощность на контактах устройства РПН.

### 2.5.3 Необходимые параметры для запроса условий перегрузки

Во избежание недоразумения для запроса условий перегрузки требуется определение со ссылкой на вышеуказанные режимы работы. Условия эксплуатации должны быть точно прописаны.

Для режимов работы, которые невозможно определить в соответствии со стандартами IEC 60076-7:2005 или IEEE Std C57.91™-2011, необходимы указанные ниже данные.

- Рабочие токи и соответствующая продолжительность нагрузки в течение одного дневного цикла
- Температура масла трансформатора в течение одного дневного цикла
- Ожидаемое число переключений во время фаз нагрузки за один дневной цикл (только для устройства РПН)
- Продолжительность режима перегрузки в днях, неделях, месяцах
- Частота использования режима перегрузки, например «Один раз в год» или «Редко, только в случае выхода из строя другого трансформатора»

### 2.6 Нагрузка устройств РПН и ПБВ при коротких замыканиях

Возможны следующие виды нагрузок при коротких замыканиях:

- допустимый кратковременный ток, равный действующему значению допустимого тока короткого замыкания;
- расчетный ударный ток, равный максимально допустимому пиковому значению тока к.з.



- расчетная длительность короткого замыкания, равная допустимой продолжительности короткого замыкания при нагрузке допустимым кратковременным током

Все устройства РПН и ПБВ компании MR соответствуют требованиям IEC 60214-1:2003 по допустимой нагрузке коротким замыканием. Расчет допустимой длительности короткого замыкания при нагрузке кратковременными токами ниже допустимого кратковременного тока или расчет допустимого кратковременного тока при продолжительности короткого замыкания, превышающей расчетную, производится с помощью формулы:

$$I_x^2 \cdot t_x = I_k^2 \cdot t_k$$

$I_k$	Допустимый кратковременный ток
$t_k$	Расчетная длительность короткого замыкания
$I_x$	Допустимый кратковременный ток при коротком замыкании продолжительностью $t_x$ (с $t_x$ всегда больше $t_k$ )
$t_x$	Допустимая продолжительность короткого замыкания при нагрузке с $I_x$ (с $I_x$ всегда меньше $I_k$ )

Вследствие того, что динамическая нагрузка определяется только ударным током, превышение значения расчетного ударного тока недопустимо. Вследствие этого недопустим и пересчет расчетных значений ударного и кратковременного тока на более высокие при меньшей продолжительности короткого замыкания!

Обычно при эксплуатации трансформатора нагрузки короткими замыканиями — редкое явление. Для использования на трансформаторах с очень частыми нагрузками короткими замыканиями — например, на специальных испытательных трансформаторах — следует выбирать устройства РПН с повышенной устойчивостью к коротким замыканиям. Поэтому для правильного выбора переключающего устройства необходимы данные об ожидаемых степени и частоте нагрузок короткими замыканиями.

## 2.7 Принудительное деление тока

На однофазных переключающих устройствах с большими расчетными рабочими токами токопроводы подключаются параллельно. При этом различаются исполнения с принудительным делением тока и без него. Наличие или отсутствие в конструкции «принудительного деления тока» влечет за собой различия в исполнении переключающих устройств при тех же самых значениях расчетного тока.

При схемах с принудительным делением тока переключки между параллельными контактами недопустимы. Учитывайте напряжение между параллельными регулировочными обмотками при нагрузке с импульсным напряжением. Трансформаторный завод должен указывать требуемую импульсную прочность между параллельными регулировочными обмотками.



Термин «принудительное деление тока» имеет разное значение для устройства РПН и ПБВ.

### Устройство РПН

Во время переключения контактора ток должен равномерно распределяться по параллельным контактам. Поэтому необходимо деление на регулировочной обмотке и на основной обмотке. Значение сопротивления току утечки между параллельными основными обмотками должно быть минимум в три раза больше значения токоограничивающего сопротивления устройства РПН.

По данному исполнению необходимо проконсультироваться с фирмой MR GmbH. Для такой консультации требуется предоставить схему конструкции обмотки со всеми ее параллельными элементами.

### Устройство ПБВ

Регулировочная обмотка должна быть полностью отдельной. Кроме того, должны быть разделены некоторые витки основной обмотки, соединяемой с регулировочной обмоткой.

## 2.8 Допустимое перевозбуждение

Устройства РПН компании MR соответствуют требованиям стандартов IEC 60076-1:2011 (перевозбуждение 5 %) и IEEE Std C57.12.00™-2010 (перевозбуждение 10 %).

## 2.9 Многоколонковые устройства РПН

Многоколонковые устройства РПН (например, 3 x VRC I), независимо от того, приводятся ли они в действие одним или несколькими моторными приводами, производят переключения не синхронно.

При этом смещение ступени может привести к возникновению недопустимо высоких контурных токов, которые будут ограничиваться только за счет полного сопротивления этой цепи тока. Наложение этих контурных токов на ток нагрузки влияет на нагрузку устройства РПН, которое производит переключение последним.

Для всех случаев применения, при которых в ходе асинхронной работы многоколонковых устройств РПН могут возникать контурные токи, трансформаторный завод должен указывать максимальный контурный ток. Это позволяет компании Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR) учитывать повышенную коммутационную мощность при выборе устройства РПН и определения токоограничивающих резисторов (см. также стандарт IEC 60214-2, раздел 6.2.8).



### 3 Изоляционные масла

#### 3.1 Минеральное масло

Используйте для заполнения масляного бака контактора и расширительного бака только свежее минеральное масло для трансформаторов в соответствии с нормами IEC 60296 (Specification for unused mineral insulating oils for transformers and switchgear).

#### 3.2 Альтернативные изолирующие жидкости

Многие устройства РПН и ПБВ компании MR также могут эксплуатироваться с альтернативными изолирующими жидкостями.

При этом в зависимости от типа устройства РПН или ПБВ, а также изолирующей жидкости будут ограничены условия эксплуатации (например, в отношении испытательных напряжений или допустимого диапазона температур). Дополнительную информацию относительно данных ограничений можно получить, обратившись в компанию Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR).

В таблицах ниже представлен обзор изолирующих жидкостей, допустимых для эксплуатации в соответствующих типах устройств РПН.

##### Высокомолекулярные углеводороды

Тип РПН/ПБВ	BETA-Fluid MICTRANS-G
VACUTAP® VV® VACUTAP® VRC VACUTAP® VRE	Допустимо
OILTAP® V OILTAP® M OILTAP® RM	Допустимо, но для масляного бака устройства РПН предписано использование минерального масла в соответствии с IEC 60296.
DEETAP® DU	По запросу

Табл. 8: Устройства РПН и ПБВ для высокомолекулярных углеводородов (HMWH)

**Синтетические сложные эфиры**

Тип РПН/ПБВ	Синтетический сложный эфир в соответствии с IEC 61099 (например, MIDEL 7131, ENVIROTEMP 200)
VACUTAR® VV® VACUTAR® VM® (недействительно для VM300) VACUTAR® VRC VACUTAR® VRE	Допустимо
OILTAR® V OILTAR® M OILTAR® RM	Допустимо, но для масляного бака устройства РПН предписано использование минерального масла в соответствии с IEC 60296.
DEETAR® DU	По запросу

Табл. 9: Устройства РПН и ПБВ для синтетического сложного эфира

**Натуральный сложный эфир**

Тип РПН/ПБВ	ENVIROTEMP FR3 BIOTEMP
VACUTAR® VV® VACUTAR® VM® (недействительно для VM300) VACUTAR® VRC VACUTAR® VRE	Допустимо
OILTAR® V OILTAR® M OILTAR® RM	Допустимо, но для масляного бака устройства РПН предписано использование минерального масла в соответствии с IEC 60296.
DEETAR® DU	По запросу

Табл. 10: Устройства РПН и ПБВ для натурального сложного эфира

**Силиконовые масла**

Тип РПН/ПБВ	Все силиконовые масла, разрешенные для использования в трансформаторах
OILTAR® V	По запросу, но для масляного бака устройства РПН предписано использование минерального масла в соответствии с IEC 60296.
DEETAR® DU	По запросу

Табл. 11: Устройства РПН и ПБВ для силиконовых масел





## 4 Механические и конструктивные характеристики

В этой главе представлено общее описание механических и конструктивных характеристик устройств РПН, ПБВ и Advanced Retard Switch (ARS).

Дополнительную информацию о особых случаях применения см. в главе «Случаи применения» [► 58].

### 4.1 Температуры

Если температуры находятся за пределами указанных диапазонов или при отклонениях от указанных условий эксплуатации необходимо обратиться в компанию Maschinenfabrik Reinhausen GmbH.

Допустимые температуры для сушки приведены в инструкции по монтажу или эксплуатации для соответствующего изделия.

#### 4.1.1 Допустимый температурный диапазон для эксплуатации

Данные температуры указаны для изделий с масляной изоляцией и с применением минерального масла в соответствии со стандартом IEC 60296.

В параметрах заказа необходимо указать температуру окружающей среды трансформатора, т. е. температуру воздуха. Все изделия компании MR предназначены для эксплуатации при температуре окружающего воздуха от -25 до +50 °С.

При применении в масляных трансформаторах температура -25 °С также является нижним граничным значением для температуры масла. Верхнее граничное значение для температуры масла определяется на основании обозначенных в стандарте IEC 60214-1 условий эксплуатации. Соответственно, следующие изделия компании MR, в том числе при временной перегрузке трансформатора, могут использоваться с максимальной температурой трансформаторного масла до 115 °С:

Изделие	T <sub>мин.(масл.)</sub>	T <sub>макс.(масл.)</sub>
VACUTAP® VV®, VM®, VR®	-25 °С	115 °С
OILTAP® G, M, MS, R, RM, V	-25 °С	115 °С
DEETAP® DU, COMTAP® ARS	-25 °С	115 °С

Табл. 12: Допустимый температурный диапазон для эксплуатации

Устройство РПН VACUTAP® VT®, которое используется для сухих трансформаторов, может эксплуатироваться при максимальной температуре окружающего воздуха 65 °С.

Для изделий, не встроенных в трансформатор, решающее значение имеет температура окружающей среды воздуха:



Изделие	T <sub>мин.(возд.)</sub>	T <sub>макс.(возд.)</sub>
Моторный привод TAPMOTION® ED	-25 °C	50 °C
Ручной привод TAPMOTION® DD	-45 °C	70 °C
Приводной вал	-25 °C	80 °C
Защитное реле RS2001	-25 °C	50 °C
Маслофильтровальная установка OF100 (стандартное исполнение)	0 °C	80 °C
Маслофильтровальная установка OF100 (исполнение для низких температур)	-25 °C	80 °C

Табл. 13: Допустимый температурный диапазон для эксплуатации

Дополнительную информацию для специальных исполнений (например, взрывозащитных) можно получить в компании Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR).

### 4.1.2 Допустимый температурный диапазон для хранения и транспортировки

Для транспортировки и хранения всех изделий нижнее граничное значение температуры окружающей среды составляет -40 °C. Исключения:

Изделие	Нижнее граничное значение
VACUTAP® VT®	Мин. -25 °C
Моторный привод TAPMOTION® ED с электронными компонентами	Мин. -25 °C
DEETAP® DU	Мин. -45 °C
Ручной привод TAPMOTION® DD	Мин. -45 °C

Табл. 14: Граничное значение температуры хранения — исключения

Для верхнего граничного значения действительны указанные для эксплуатации устройства максимальные температуры окружающего воздуха.

Исключение: для моторного привода TAPMOTION® ED верхнее граничное значение для хранения и транспортировки составляет 70 °C.

### 4.1.3 Эксплуатация при условиях с низкими температурами

При температуре ниже -25 °C можно говорить об эксплуатации в арктических условиях. Следующие устройства РПН можно приобрести в соответствующем специальном исполнении:



Изделие	T <sub>мин.(масл.)</sub>	Ограничения
VACUTAP® VV® VACUTAP® VM® VACUTAP® VR®	-40 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Допустимо только при нормальном времени работы моторного привода</li> <li>Допустимо только при использовании минерального масла LUMINOL™ TR/TRi для трансформаторов и устройств РПН</li> </ul>
OILTAP® M, MS OILTAP® R, RM	-40 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Допустимо только при нормальном времени работы моторного привода</li> </ul>
OILTAP® V	-40 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>При температуре -25 °C и ниже допускается только режим работы в одной ступени без смены рабочих положений.</li> </ul>

Табл. 15: Устройства РПН в исполнении для эксплуатации при особо низких температурах

Для температуры окружающей среды -25 °C предусмотрено температурное реле для повышения уровня эксплуатационной надежности. Температурное реле состоит из датчика температуры и измерительного усилителя. Датчик температуры встроен в крышку головки устройства РПН. Он измеряет температуру масла устройства РПН. Измерительный усилитель в цепи управления обеспечивает блокировку моторного привода для переключений в электрическом режиме при срабатывании температурного реле.

Помимо устройства РПН вы получите следующие дополнительные изделия, подходящие для эксплуатации в арктических условиях (некоторые изделия требуют соблюдения определенных условий):

Изделие	T <sub>мин.(масл.)</sub>	Ограничения/примечания
DEETAP® DU COMTAP® ARS	-45 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Стандартное исполнение</li> <li>При температуре -25 °C и ниже допускается только режим работы в одной ступени без смены рабочих положений.</li> </ul>

Табл. 16: Дополнительные изделия для эксплуатации в арктических условиях (окружающая среда — масло)

Изделие	T <sub>мин.(возд.)</sub>	Ограничения/примечания
Моторный привод TARMOTION® ED	-40 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Арктическое исполнение</li> </ul>



#### 4 Механические и конструктивные характеристики

Изделие	T <sub>мин.(возд.)</sub>	Ограничения/примечания
Ручной привод TARMOTION® DD	-45 °C	▪ Стандартное исполнение
приводной вал;	-40 °C	▪ Арктическое исполнение
Защитное реле RS2001	-40 °C	▪ Стандартное исполнение

Табл. 17: Дополнительные изделия для эксплуатации при условиях с пониженными температурами (окружающая среда — воздух).

## 4.2 Допустимое давление

Как из-за пониженного давления, так и из-за избыточного давления возможны нежелательные нагрузки. Слишком большие нагрузки, вызванные давлением, могут привести к потере герметичности и сбоям в работе.

В этой главе описаны профилактические мероприятия и представлена информация об основных предохранительных устройствах. Дополнительную информацию о допустимой высоте установки расширительного бака см. в главе «Расширительный бак устройства РПН [► 47]».

### 4.2.1 Меры по выравниванию давления при заливке масла и транспортировке

После сушки масляный бак контактора (с установленной выемной частью контактора) необходимо максимально быстро заполнить маслом во избежание недопустимо большого забора влаги из окружающей среды. Масляный бак контактора и трансформатор должны заполняться новым трансформаторным маслом под вакуумом одновременно.

При заливке масла с помощью соединительного трубопровода необходимо соединить присоединения E2 и Q для удаления воздуха, чтобы масляный бак контактора и трансформатор одновременно находились под вакуумом. Головка и крышка устройства РПН и ПБВ выкуумплотные.

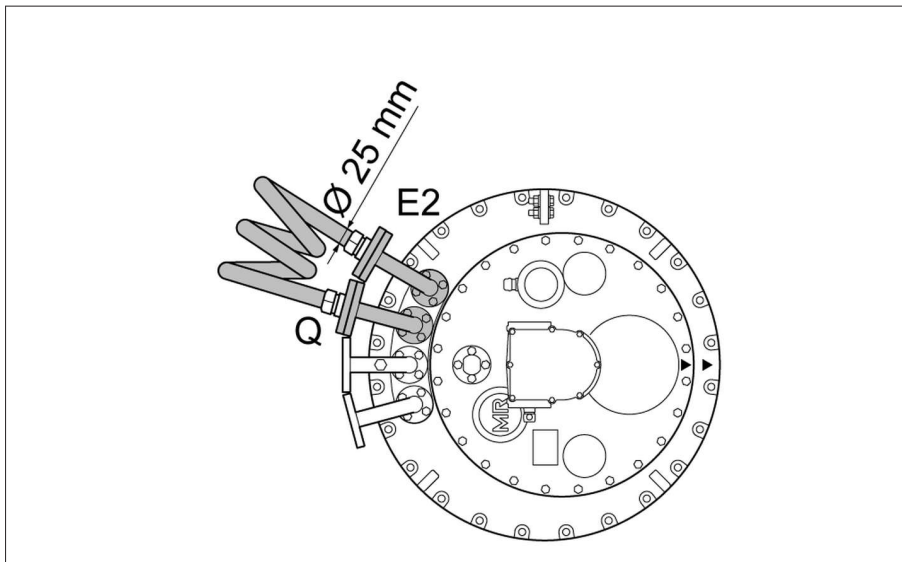


Рис. 18: Соединительный трубопровод между E2 и Q

Если трансформатор перевозится или хранится с залитым маслом, но без расширительного бака, то для выравнивания давления между внутренней полостью масляного бака контактора и масляной полостью трансформатора устанавливается соединительный трубопровод. Дополнительную информацию о заливке масла и транспортировке см. в соответствующей инструкции по эксплуатации.



### 4.2.2 Меры по поддержанию давления в допустимых пределах при эксплуатации

Масляный бак устройства РПН герметичен при постоянном перепаде давления до 0,3 бар (испытательное давление 0,6 бар). Головка и крышка устройства РПН и ПБВ выкумплотные.

Для уменьшения последствий внутренней ошибки в устройстве РПН необходимо в соответствии со стандартом IEC 60214-1 предусмотреть минимум одно предохранительное устройство.

#### Устройство для сброса давления

Крышки головки устройства РПН компании MR оснащаются для сброса давления предохранительной мембраной в качестве расчетного места разрыва в том случае, если не используется клапан сброса давления. Клапаны сброса давления служат для уменьшения внутреннего избыточного давления при возникновении отклонения/неисправности в устройстве.

Клапан сброса давления MPreC® крепится на фланце крышки (крышка в особом исполнении) головки устройства РПН. Он состоит из корпуса и находящимися в сжатом состоянии пружинами запорного клапана с сигнальными контактами.

Клапан сброса давления MPreC® и дополнительные предохранительные устройства необходимо включить в цепь отключения силового выключателя. При срабатывании предохранительного устройства силовой выключатель должен сразу отключить трансформатор от напряжения.

При превышении допустимого давления срабатывания клапана крышка поднимается и прокладка открывается. Когда давление опускается ниже значения срабатывания, клапан снова закрывается. Высоту установочного расширительного бака необходимо учитывать при выборе клапанов сброса давления.

#### Струйное реле

Защитное реле RS 2001 срабатывает при превышении заданного граничного значения скорости потока масла, направленного от головки РПН к расширительному баку. Поток масла приводит в действие предохранительный клапан, который опрокидывается в положение ОТКЛ. Тем самым приводится в действие контакт, который запускает силовой выключатель и трансформатор отключается от напряжения. Защитное реле оснащается одним или несколькими переключающими контактами (размыкающие или замыкающие).

Защитное реле RS и дополнительные защитные устройства необходимо включить в цепь отключения силового выключателя. При срабатывании предохранительного устройства силовой выключатель должен сразу отключить трансформатор от напряжения.

Дополнительная информация о струйном реле содержится в главе «Защитное реле RS [▶ 69]».

Дополнительная информация о предохранительных устройствах приведена в документации для соответствующего изделия или на веб-сайте компании REINHAUSEN: [www.reinhausen.com](http://www.reinhausen.com).

### 4.3 Расширительный бак устройства РПН

В этой главе описаны особенности устройств РПН, которые имеют значение для определения размеров, высоты установки и осушающего средства в расширительном баке.

Гидростатическое давление изоляционного масла может влиять на работу устройства и герметичность, если не учитываются граничные значения для монтажной высоты. Дополнительную информацию на тему давления см. в главе «Допустимое напряжение сжатия» [► 45].

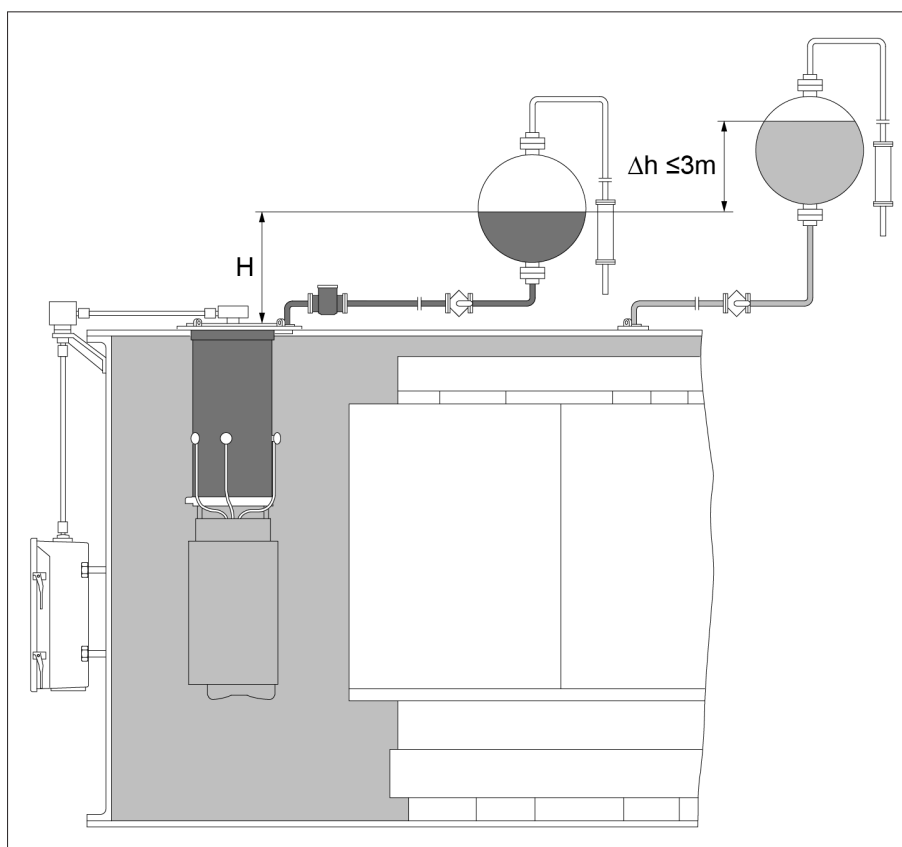


Рис. 19: Обзор масляной системы

$\Delta h$	Разница по высоте между уровнями масла в расширительных баках
H	Высота уровня масла в расширительном баке устройства РПН над крышкой головки устройства РПН



### 4.3.1 Высота расширительного бака

Учитывайте допустимые значения высоты для расширительных баков устройства РПН и трансформатора. Это позволяет обеспечить:

- герметичность масляного бака устройства РПН относительно окружающей среды и трансформатора;
- правильное функционирование (например, процесс переключения) устройства РПН и других устройств, зависящих от давления.

Стандартное исполнение устройств РПН рассчитано на высоту  $H_{\max}$  **расширительного бака** до 5 м. Для нахождения этой высоты необходимо определить максимальную высоту уровня масла в расширительном баке до верхнего края крышки головки устройства РПН.

Если высота  $H_{\max}$  уровня масла в расширительном баке устройства РПН составляет более 5 м над крышкой головки устройства РПН, это необходимо указать в заказе для выбора подходящего исполнения изделия.

Для устройств РПН VACUTAP® при высоте установки  $H_{\text{NHN}}$ , превышающей 2000 м над уровнем моря, максимально допустимая высота  $H_{\max}$  расширительного бака увеличивается на минимальное расстояние  $H_{\max}$  уровня масла до крышки головки устройства РПН в соответствии с разМонтажная высота над уровнем моря [► 48]делом .

#### **Разница по высоте $\Delta h$ между уровнями масла в устройстве РПН и трансформаторе**

Разница по высоте  $\Delta h$  между уровнями масла в отдельных расширительных баках устройства РПН и трансформатора должна составлять **максимум 3 м**.

В расширительном баке, общем для устройства РПН и трансформатора (с разделительной перегородкой или без нее) это расстояние, как правило, не достигается. Разницу по высоте для общего расширительного бака можно не учитывать.

### 4.3.2 Монтажная высота над уровнем моря

#### **Устройство РПН с воздушной изоляцией**

Устройства РПН с воздушной изоляцией разрешено без ограничений устанавливать на высоте  $H_{\text{NHN}}$  1000 м над уровнем моря.

#### **Устройство РПН OILTAP® с масляной изоляцией**

Устройства РПН OILTAP® с масляной изоляцией и открытым расширительным баком разрешено без ограничений устанавливать на высоте  $H_{\text{NHN}}$  4000 м над уровнем моря.



### Устройство РПН VACUTAP® с масляной изоляцией

Устройства РПН VACUTAP® с масляной изоляцией и открытым расширительным баком разрешено без ограничений устанавливать на высоте  $H_{NHN}$  2000 м над уровнем моря. При высоте более 2000 м необходимо учитывать минимальную высоту расширительного бака.

Высота установки расширительного бака определяется расстоянием ( $H_{min}$ ) от верхнего края крышки головки устройства РПН до уровня масла в расширительном баке.

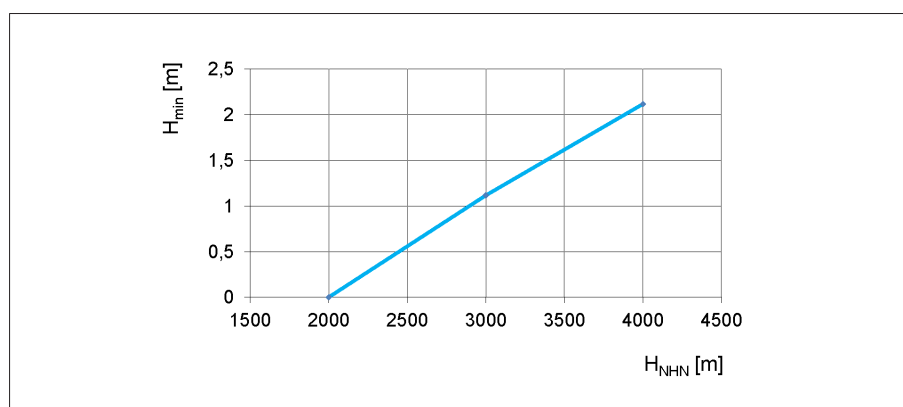


Рис. 20: Минимальное расстояние  $H_{min}$  от уровня масла до крышки головки устройства РПН

$H_{min}$	Расстояние от уровня масла в расширительном баке до верхнего края крышки головки устройства РПН
$H_{NHN}$	Высота установки относительно уровня моря

Для устройств РПН VACUTAP® при высоте установки  $H_{NHN}$ , превышающей 2000 м над уровнем моря, максимально допустимая высота расширительного бака (в соответствии с разделом «Высота расширительного бака» [► 48]) увеличивается на это минимальное расстояние  $H_{min}$  от уровня масла до крышки головки устройства РПН.

### Пример

Для высоты установки  $H_{NHN}$  2500 м над уровнем моря максимально допустимая высота  $H_{max}$  расширительного бака рассчитывается следующим образом:

$$H_{max(2500\text{ м})} = H_{max(0\text{ м})} + H_{min} = 5\text{ м} + 0,5\text{ м} = 5,5\text{ м}.$$

При необходимости высоты установки  $H_{NHN}$ , превышающей 4000 м, или других приложений (например, герметичных устройств) проконсультируйтесь с компанией Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR).



### 4.3.3 Минимальный объем расширительного бака

Для определения размеров необходимо учесть максимальное расширение масла устройства РПН. На основании этого определяется необходимый полезный объем, который должен иметь расширительный бак.

В основе расчета рекомендуемых значений лежат указанные ниже типовые условия.

- В качестве изоляционной среды используется минеральное масло для трансформаторов, соответствующее стандартам IEC 60296 (спецификация новых минеральных изоляционных масел для трансформаторов и переключающих механизмов).
- При расчетах за основу берется коэффициент расширения  $\gamma = 0,0008 \text{ K}^{-1}$  для минерального масла. При этом учитывается больший допуск, чем ранее.
- Диапазон температур окружающего трансформаторного масла включает значения от  $-25$  до  $+105$  °C и при перегрузке до  $+115$  °C в соответствии с IEC 60214-1.

Если устройство допущено к эксплуатации при температуре до  $-40$  °C, к максимальному объему расширительного бака и минимальной емкости необходимо добавить примерно 10 %.

Для заливки масла следует учитывать весь объем масла в масляной системе устройства РПН. Указанный минимальный объем масла в масляном баке устройства РПН составляет лишь часть общего объема и определяется с учетом расширения масла при температуре 20 °C.

Общий объем масла получается при суммировании отдельных объемов:

1. Общий объем масла в масляном баке устройства РПН в соответствии с техническими характеристиками изделия.
2. Объем масла в трубопроводах, идущих к расширительному баку устройства РПН.
3. Объем масла в нижней части расширительного бака устройства РПН.
4. Включая минимальные объемы в соответствии с приведенной ниже таблицей.
5. Кроме того, следует учитывать количество, расходуемое при взятии проб масла. В качестве практического значения берутся, например, две пробы масла по 10 л.

Тип устройства РПН	$U_m$ (кВ)	Минимальный объем (дм <sup>3</sup> )	Минимальный объем масла при температуре 20 °C (дм <sup>3</sup> )
VACUTAP® VV III	40–145	45	13
VACUTAP® VV I	76–145	23	6
VACUTAP® VM®	72,5–123	23	6



Тип устройства РПН	U <sub>m</sub> (кВ)	Минимальный объем (дм <sup>3</sup> )	Минимальный объем масла при температуре 20 °С (дм <sup>3</sup> )
VACUTAP® VM®	170-300	30	9
VACUTAP® VR®	72,5-170	30	9
VACUTAP® VR®	245	35	10
VACUTAP® VR®	300-362	40	11
OILTAP® V III...Y	200-350	21	6
OILTAP® V III...D	200-350	27	8
OILTAP® V I	350	15	4
OILTAP® M/MS	72,5-170	25	7
OILTAP® M/MS	245	30	9
OILTAP® R/RM	72,5-170	30	8
OILTAP® R/RM	245-300	35	10
OILTAP® G	72,5-245	200	35
OILTAP® G	300-362	220	45

Табл. 18: Минимальные полезные объемы и минимальные емкости расширительного бака устройства РПН

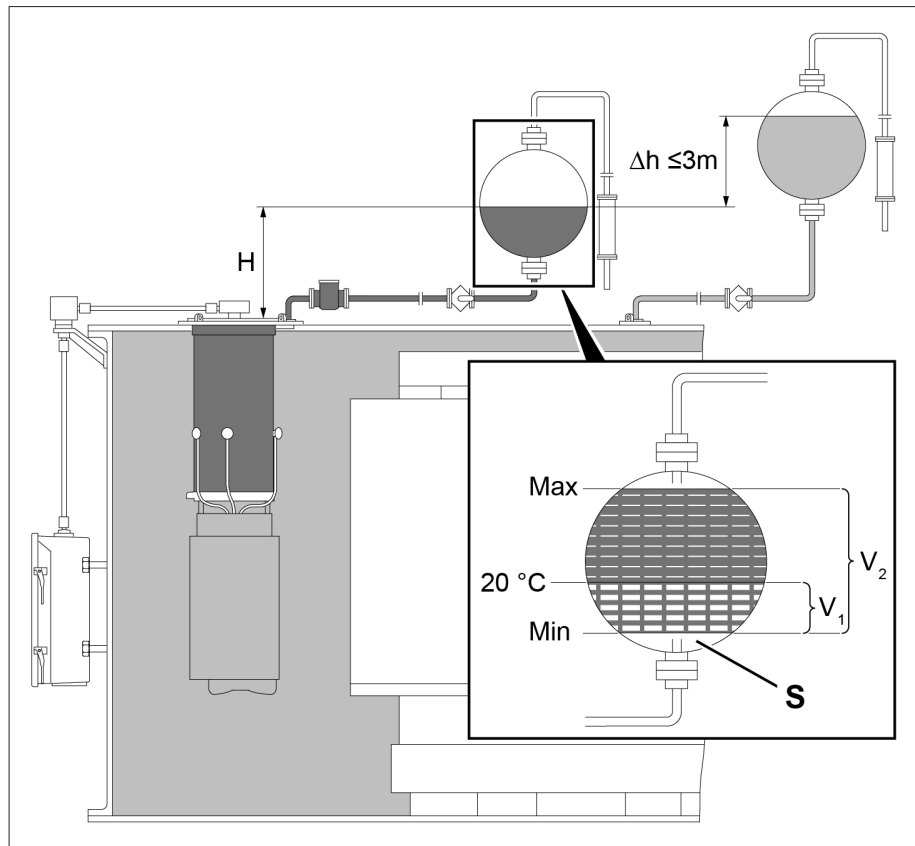


Рис. 21: Объемы расширения и минимальный объем

S	Нижняя часть расширительного бака
V <sub>1</sub>	Минимальный объем масла в расширительном баке при температуре 20 °C
V <sub>2</sub>	Объемы расширения масла устройства РПН = минимальный полезный объем расширительного бака



#### 4.3.4 Осушающее средство для масла устройства РПН

Как только меняется объем масла в масляном баке устройства РПН, между расширителем и окружающей средой происходит воздухообмен (кроме герметичных устройств). Как правило, воздух, находящийся над уровнем масла в расширителе, контактирует с окружающим воздухом через осушающее средство, которое высушивает поступающий из окружающей среды воздух.

Поэтому использованное осушающее средство может привести к повышению содержания влаги в изоляционном масле, что в свою очередь снизит прочность изоляции.

Для определения параметров осушающего средства важное значение имеют следующие критерии:

- емкость осушающего средства для поглощения влаги;
- толщина слоя неиспользованного осушающего средства;
- частота переключений;
- условия окружающей среды.

Для определения ориентировочных значений по потребляемому количеству за основу взяты указанные ниже данные.

- В качестве осушающего средства используется силикагель (оранжевый). Способность по влагопоглощению составляет ок. 35 массовых процентов.
- Исходя из геометрических характеристик распространенных осушающих средств толщина слоя неиспользованного силикагеля должна всегда превышать 5 см для гарантированного осушения поступающего воздуха.
- Для определения частоты переключения за основу берутся три различных значения:
  - 2000 переключений в год (например, сетевое применение с небольшим числом переключений);
  - 10 000 переключений в год (например, сетевое применение с большим числом переключений);
  - 250 000 переключений в год (например, промышленное применение в печном трансформаторе).
- Исходя из высокого среднего значения относительной влажности воздуха ок. 70 % абсолютная влажность воздуха в зонах с умеренным климатом составляет ок. 12,6 г/м<sup>3</sup> и с влажным тропическим климатом ок. 36,4 г/м<sup>3</sup>.

На основании этих факторов определяется годовая потребность в силикагеле (с учетом запасного осушающего средства).

**Для регионов с умеренным климатом**

Устройство РПН Тип	Количество переключений в год		
	2000	10 000	250 000
VACUTAP® VV® VACUTAP® VM® OILTAP® V OILTAP® MS OILTAP® M	0,5	0,5	1,1
VACUTAP® VR® OILTAP® RM OILTAP® R	0,5	0,6	2,5
OILTAP® G	0,9	1,0	3,5

Табл. 19: Умеренный климат: годовая потребность в осушающем средстве (кг)

**Для регионов с тропическим влажным климатом**

Устройство РПН Тип	Количество переключений в год		
	2000	10 000	250 000
VACUTAP® VV® VACUTAP® VM® OILTAP® V OILTAP® MS OILTAP® M	0,7	0,8	2,4
VACUTAP® VR® OILTAP® RM OILTAP® R	0,8	1,0	6,6
OILTAP® G	1,9	2,2	9,5

Табл. 20: Тропический влажный климат: годовая потребность в осушающем средстве (кг)



#### 4.4 Параллельное подключение уровней избирателя

Для деления тока на присоединительных контактах избирателя можно дополнительно приобрести параллельные перемычки для параллельного подключения уровней избирателя. Подробную информацию см. в технических характеристиках соответствующего устройства РПН или ПБВ.

В случаях применения с принудительным делением тока [► 37] использовать параллельные перемычки запрещено.

В схемах без принудительного деления тока параллельные перемычки необходимы также в том случае, если регулировочная обмотка намотана на два или более проводника обмотки, каждый из которых своими отпайками ведет к присоединительным контактам.

Эта мера препятствует:

- переходу уравнивающих токов в токопроводы избирателя и контактора;
- возникновению электрической дуги на подвижных перемычках между контактами избирателя;
- перенапряжению между соседними подключенными параллельно присоединительными контактами избирателя.

Параллельные перемычки также необходимы при использовании потенциальных резисторов [► 25], чтобы потенциальный резистор действовал на все параллельно подключенные детали обмотки.

#### 4.5 Указания по установке

Следите за тем, чтобы устройство РПН или ПБВ устанавливалось в вертикальном положении. В устройствах РПН, работающих по принципу «контактор-избиратель», и в устройствах ПБВ максимальное отклонение от вертикали должно составлять  $1^\circ$ , в устройствах РПН, работающих по принципу «избиратель под нагрузкой» —  $1,5^\circ$ .

Отклонение, возникающее из-за механических нагрузок на присоединительных проводах регулировочной обмотки не допускается. Подсоединяйте провода к избирателю без механического натяжения.



## 5 Указания по проверке трансформатора

В этой главе представлены основные указания по проверке трансформатора. Для отдельных изделий необходимо учесть подробные описания, представленные в поставляемой технической документации.

Если имеются какие-либо неясности относительно проверки, обратитесь в компанию Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR).

### 5.1 Измерение коэффициента трансформации

Перед сушкой трансформатора рекомендуется провести измерение коэффициента трансформации. При этом учитывайте приведенные ниже общие указания.

- Переключение устройства РПН и ПБВ производите только через приводной вал верхнего редуктора. Не превышайте при этом максимально допустимое число оборотов (250 об/мин).
- Многократные переключения устройства РПН и ПБВ при неполном заполнении маслом могут привести к повреждению устройства! Перед сушкой переключайте устройство РПН без масла не более 250 раз.
- Перед первым переключением после сушки
  - масляный бак устройства РПН полностью заполните маслом;
  - избиратель, устройство ПБВ и ARS должны быть полностью погружены в трансформаторное масло.
- Проверьте достигнутое рабочее положение через смотровое окошко. Ни в коем случае не заходите за крайние положения, которые указаны на поставляемой схеме присоединения устройства.

### 5.2 Измерение сопротивления по постоянному току

При измерении сопротивления по постоянному току на трансформаторе соблюдайте приведенные ниже планы измерений и максимальные значения измерительного тока.

Значение измерительного постоянного тока не должно превышать 10 % от номинального тока обмотки трансформатора, на которой производится измерение. В противном случае это может привести к перегреву обмотки.

Измерение сопротивления по постоянному току проводится в различных рабочих положениях устройства РПН и ПБВ.

Если измерительный ток не прерывается во время смены рабочего положения, при пустом масляном баке устройства РПН его необходимо ограничить значением 10 А пост. тока. Если измерительный ток прерывается во время смены рабочего положения (измерительный ток равен 0 А), то во время измерения максимально допустимое значение будет составлять 50 А пост. тока.





Масляный бак устройства РПН	Без остановки во время смены рабочего положения	С остановкой во время смены рабочего положения
Масляный бак контактора пуст	Макс. 10 А пост. тока	Макс. 50 А пост. тока
Масляный бак контактора заполнен изоляционным маслом	Макс. 50 А пост. тока	Макс. 50 А пост. тока

Табл. 21: Максимально допустимые измерительные токи

### 5.3 Запуск устройства РПН во время испытания трансформатора

Переключать устройство РПН при возбужденном трансформаторе допускается только при номинальной частоте. Это действительно также для работы в холостом режиме.

### 5.4 Электрическое высоковольтное испытание

Во время электрического высоковольтного испытания на трансформаторе учитывайте дополнительные указания по технике безопасности, особенно при подготовке и обслуживании моторного привода. Подробную информацию см. в документах, поставляемых с моторным приводом.

### 5.5 Испытание изоляции

Моторный привод поставляется с проверенной изоляцией. Во время испытания трансформатора отсоедините моторный привод от проверяемого объекта, чтобы не подвергать повышенным нагрузкам компоненты, встроенные в моторный привод.

## 6 Случаи применения

В некоторых случаях, помимо указанной выше информации, следует учесть приведенные ниже особенности.

### 6.1 Трансформаторы электродуговых печей

В устройствах РПН, которые используются в трансформаторах электродуговых печей, при эксплуатации возникают перегрузки, превышающие нагрузку трансформатора в 2,5 раза. Устройства РПН необходимо приспособить к этим условиям эксплуатации, приняв следующие меры:

#### **VACUTAP® VR® и VM®**

Графики мощности ступени для эксплуатации при дуговой электропечи см. в Технических Данных для устройств VACUTAP® VR и VM®.

#### **VACUTAP® VV®, а также OILTAP® MS, M, RM, R и G**

Для необходимого расчетного рабочего тока допустимая мощность ступени сокращается на 80 % от относительной расчетной мощности ступени, указанной в технических характеристиках соответствующего устройства РПН.

#### **OILTAP® V**

Устройство OILTAP V200 запрещено эксплуатировать в данном режиме. Для устройства OILTAP V350 расчетный рабочий ток имеет ограничение до 200 А.

### 6.2 Применение в случаях с различным напряжением ступени

В случаях с различным напряжением ступени для выбора устройства РПН определяющее значение всегда имеет максимальное возникающее напряжение ступени. Различное напряжение ступени имеет место, например, в следующих случаях:

- различный магнитный поток;
- регулировочной обмотки с различным числом витков;
- зависящее от нагрузки и положения напряжение ступени в фазосдвигающих трансформаторах;
- эксплуатация при нетипично большом изменении сетевого напряжения.

Если для устройства РПН требуются различные пары значений напряжения ступени и соответствующего рабочего тока, комбинация из максимального напряжения ступени и максимального рабочего тока должна находиться в пределах допустимой коммутационной мощности для соответствующего типа устройства РПН, даже если данное напряжение ступени и данный рабочий ток возникают не одновременно.

Пример



Трансформатор работает с постоянной мощностью в большом диапазоне колебаний сетевого напряжения. В этом случае максимальное напряжение ступени при максимальном сетевом напряжении возникает вместе с небольшим рабочим током в соответствии с мощностью трансформатора, а максимальный рабочий ток возникает вместе с минимальным напряжением ступени при минимальном сетевом напряжении. Таким образом, устройство РПН должно быть сконструировано так, как будто максимальное напряжение ступени возникает вместе с максимальным рабочим током.

Основанием для этого является необходимость согласования токоограничивающего сопротивления с напряжением ступени и рабочим током. Для этого согласования принципиально следующее: для высоких напряжений ступени требуются и большие значения токоограничивающего сопротивления, для высоких рабочих токов, наоборот, необходимы низкие значения токоограничивающего сопротивления. Решение по согласованию токоограничивающего резистора имеется только при наличии значения сопротивления, подходящего как для максимального напряжения ступени, так и для максимального рабочего тока. В противном случае в примере, приведенном выше, придется постоянно согласовывать значение токоограничивающего резистора с различными сетевыми напряжениями.

Подходящее значение сопротивления всегда есть, если пара значений для максимального напряжения ступени и максимального рабочего тока находятся в пределах допустимой коммутационной мощности. Если пара значений незначительно превышает допустимую коммутационную мощность, в отдельных случаях необходимо обратиться в компанию Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR), которая проверит, имеется ли решение по согласованию токоограничивающего сопротивления. При значительном превышении допустимой коммутационной мощности необходимо использовать тип устройства РПН с повышенной коммутационной мощностью.

### 6.3 Герметично закрытые трансформаторы

В герметично закрытых трансформаторах устройства РПН также работают под герметичным затвором.

Такое применение допустимо только для устройства РПН VACUTAP®.

В нормальном режиме работы с питанием от сети в зависимости от применения не образуется или в редких случаях образуется небольшое количество свободных газов, которые полностью растворяются в масле. Поэтому от автоматической вентиляции можно отказаться. Поскольку образование газа в значительной степени определено поглощением масла газов из окружающей среды, устройство РПН для герметичных устройств необходимо заполнять дегазированным маслом под вакуумом.

Для устройств РПН VACUTAP® в герметичных устройствах действительна следующая схема защиты:



- На крышке устройства РПН необходим клапан сброса давления (например, MPreC®). В случае неисправности он должен принудительно привести в действие силовой выключатель трансформатора.
- Вместо защитного реле RS2001 необходимо использовать двухпоплавокное реле Бухгольца (например, MSafe®). Первый (верхний) поплавков реле Бухгольца принудительно инициирует сообщение «Предупреждение — газ». Второй (нижний) поплавков реле Бухгольца функционально связан с клапаном потока. Поплавков можно дополнительно использовать для запуска силового выключателя трансформатора.

Для использования альтернативных изолирующих жидкостей в герметичных устройствах действуют те же условия применения и ограничения, что и для установок с открытым доступом. Натуральный сложный эфир разрешено использовать только в герметично закрытых системах.

По запросу устройства РПН компании MR также можно использовать в герметично закрытых трансформаторах с газовой подушкой. Для этого в запросе необходимо указать максимальную толщину газовой подушки под крышкой трансформатора.

#### 6.4 Эксплуатация во взрывоопасной среде

Следующие изделия компании MR сертифицированы для использования во взрывоопасных областях:

Изделие	1	2	3	4	5	6	7	8
VACUTAP® VM-Ex		II	3G	Ex	nAC	IIC	T3	Gc
VACUTAP® VR I II III-Ex								
VACUTAP® VR I HD-Ex								
VACUTAP® VV-Ex								
Защитное реле RS 2001-Ex (GK3)		II	3G	Ex	nAC	IIC	T4	Gc
Защитное реле RS 2001-Ex (GK2)		II	2G	Ex	ia	IIC	T4	Gb
TAPMOTION® ED 100 S-Ex (200°C)		II	2G	Ex	px	IIC	T3	Gb
TAPMOTION® ED 100 S-Ex (130°C)		II	2G	Ex	px	IIC	T4	Gb
Приводной вал во взрывозащищенном исполнении (не электрический)		II	2G	Ex	—	IIC	T4	—

Цифра	Значение
1	Обозначение взрывозащиты
2	Группа прибора
3	Категория прибора
4	Взрывозащищенное оборудование
5	Тип взрывозащиты



Циф- ра	Значение
6	Взрывная группа
7	Класс температур
8	Уровень защиты прибора

Обратите внимание, что взрывозащищенные исполнения устройства РПН и защитного реле разрешено эксплуатировать только при использовании минерального масла в соответствии со стандартом IEC 60296 или синтетических сложноэфирных жидкостей в соответствии с IEC 61099.

Перегрузка устройства РПН при этом ограничена 1,5-кратным значением номинального тока.

Дополнительную информацию см. в документации для соответствующего изделия или на веб-сайте компании REINHAUSEN: [www.reinhausen.com](http://www.reinhausen.com).

### 6.5 Особые случаи применения

Для устройств РПН в других особых случаях применения (например, при передаче постоянным током высокого напряжения, работе в режиме генератора, с фазосдвигающими трансформаторами, тяговыми трансформаторами, дросселями, с отдельной нейтралью звезды и т. д.) необходимо учитывать информацию, указанную в заказе и соответствующем пособии по заполнению. При возникновении вопросов обратитесь в компанию Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR).



## 7 Приводы для устройств РПН и ПБВ

### 7.1 Моторный привод TAPMOTION® ED

В этой главе описаны принцип работы, основные технические характеристики TAPMOTION® ED, а также дана расшифровка обозначения типов моторного привода.

Соответствующие габаритные чертежи представлены в приложении (см. [► 81]).

Дополнительная информация и указания для изделий в специальном исполнении приведены в документации для конкретного изделия или на веб-сайте компании REINHAUSEN: [www.reinhausen.com](http://www.reinhausen.com).

#### 7.1.1 Принцип работы

Моторный привод предназначен для переключения рабочих положений устройства РПН/ПБВ в регулируемом трансформаторе.

Переключение под нагрузкой производится благодаря включению моторного привода (однократный управляющий импульс, например, от регулятора напряжения серии TAPCON®). Процесс переключения рабочего положения завершается принудительно, независимо от того, были ли поданы другие управляющие импульсы в процессе переключения. Следующее переключение возможно лишь после остановки привода.

#### 7.1.2 Обозначение типов

Различные базовые исполнения моторного привода TAPMOTION® ED можно однозначно идентифицировать по их обозначениям.

Обозначение типа	Описание	Варианты
ED 100-ST	Обозначение изделия	Электрический привод
ED <b>100</b> -ST	Исполнение с силовым редуктором	100 или 200 (в зависимости от требуемого вращающего момента)
ED 100- <b>ST</b>	Исполнение шкафа	S = малый шкаф привода L = большой шкаф привода
ED 100-ST	Особые случаи применения	... = нет C = исполнение для регулируемых реакторов T = TAPCON® или TAPGUARD®



Обозначение типа	Описание	Варианты
ED 100-S-ISM	Специальное применение	ISM = Integrated Smart Module для регистрации, объединения и интерпретации данных на трансформаторе

Табл. 22: Обозначение типа

### 7.1.3 Технические данные TAPMOTION® ED

Технические характеристики соответствуют стандартному исполнению и могут отличаться от поставленного вам оборудования. Изготовитель оставляет за собой право на изменения.

Моторный привод	ED 100-S/L	ED 200-S/L	
Мощность двигателя	0,75 кВт	2,0 кВт	2,2 кВт
Электропитание цепи электродвигателя	3 AC/N 230/400 В		
Ток	около 1,9 А	около 5,2 А	около 6,2 А
Частота	50 Гц		
Число оборотов	1500 об/мин		
Число оборотов приводного вала на переключение	16,5		
Время работы на одно переключение	около 5,4 с		
Расчетный вращающий момент приводного вала	45 Нм	90 Нм	125 Нм
Количество оборотов рукоятки на переключение	33		54
Максимальное количество рабочих положений	35		
Электропитание цепи управления и обогрева	230 В перем. тока		
Потребляемая мощность цепей управления (управление/работа)	100 ВА/25 ВА		
Мощность нагрева	50 Вт для ED 100/200 S 60 Вт для ED 100/200 L		
Температурный диапазон (температура окружающей среды)	От -25 до +50 °C		
Защита от посторонних тел и влаги	IP 66 согласно DIN EN 60529		
Испытательное напряжение относительно земли	2 кВ/60 с		
Вес	Макс. 130 кг		

Табл. 23: Технические характеристики TAPMOTION® ED



## 7.2 Ручной привод TAPMOTION® DD

В этой главе описаны принцип работы, критерии применения и важные технические характеристики ручного привода TAPMOTION® DD.

Дополнительная информация и указания для изделий в специальном исполнении приведены в документации для конкретного изделия или на веб-сайте компании REINHAUSEN: [www.reinhausen.com](http://www.reinhausen.com).

### 7.2.1 Принцип работы

Ручной привод предназначен для согласования рабочего положения устройств ПБВ в регулируемых трансформаторах с соответствующими производственными требованиями.

Переключение инициируется приведением в действие ручного привода. После переключения ручной привод принудительно блокируется. Повторное переключение возможно только после ручной разблокировки привода.

### 7.2.2 Технические характеристики TAPMOTION® DD

Ручной привод	
Защитный корпус	Для установки на открытом воздухе, степень защиты IP 55
Редуктор	Силовой редуктор для рукоятки, передаточное отношение 2 : 1, вспомогательный редуктор для указателя положений и блокировки привода
Максимально передаваемый вращающий момент	Ок. 90 Нм на выходном валу при воздействии силы ок. 200 Н на рукоятку
Количество рабочих положений	Макс. 17
Количество оборотов рукоятки на переключение	8
Указатель положения	Циферблат под стеклом
Указатель этапов переключения	Указатель под стеклом





<b>Ручной привод</b>	
Защитные устройства	<p><b>Механическая блокировка</b> Навесной замок; требуется открытие для каждого переключения (принудительная блокировка).</p> <p><b>Электрическая блокировка</b> Кулачковый выключатель; переключение происходит после разблокировки рычагом управления. Коммутационная мощность: 24–250 В = 100 Вт перем./пост. тока</p> <p><b>Электромеханическая блокировка (в дополнительной комплектации)</b> Блокировочный электромагнит; перед переключением необходимо разомкнуть блокировочный электромагнит Y1 за счет подачи соответствующего напряжения (в зависимости от исполнения 110–125 В пост. тока, 220 В пост. тока, 95–140 или 230 В перем. тока).</p>
Габариты корпуса	420 x 434 x 199 мм (Ш x В x Г)
Вес	Ок. 25 кг
Температурный диапазон	От -45 до +70 °С

Табл. 24: Технические характеристики TAPMOTION® DD

## 8 Приводной вал

В этой главе описаны принципы работы, конструкция, исполнения и доступные для поставки размеры приводного вала по длине. Габаритный чертеж соответствующего углового редуктора см. в приложении (см. [► 83]).

Дополнительную информацию см. в документации для соответствующего изделия или на веб-сайте компании REINHAUSEN: [www.reinhausen.com](http://www.reinhausen.com).

### 8.1 Принцип работы

Приводной вал обеспечивает механическое соединение между приводом и головкой устройства РПН или ПБВ. Направление меняется с вертикального на горизонтальное с помощью углового редуктора. Таким образом, вертикальный приводной вал необходимо установить между приводом и угловым редуктором, а горизонтальный — между угловым редуктором и устройством РПН или ПБВ.

### 8.2 Конструкция и исполнения приводного вала

Приводной вал выполнен в виде четырехгранной трубы, которая с обоих концов присоединяется к концам валов сочленяемых устройств с помощью двух полумуфт и одного пальца муфты.

#### 8.2.1 Приводной вал без шарнирного вала и изолятора (стандартное исполнение)

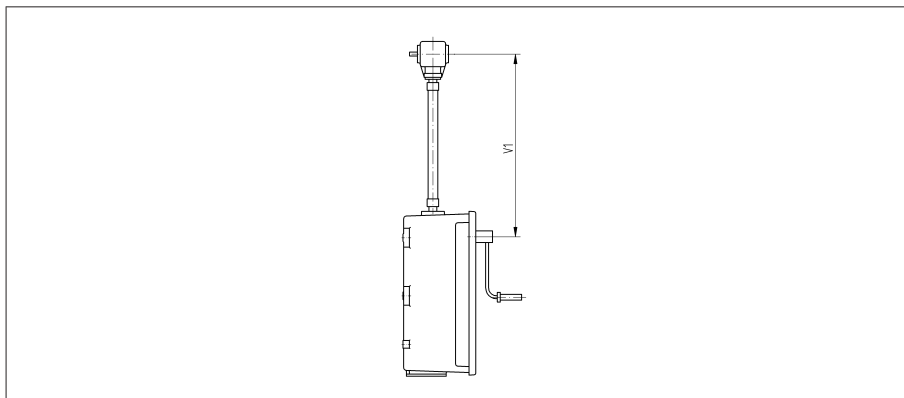


Рис. 22: Приводной вал без шарнирного вала и изолятора (стандартное исполнение)

Конфигурация	V 1 мин (мм)	Промежуточный подшипник (мм)
Центр рукоятки — центр углового редуктора (максимально допустимое осевое смещение = 2°)	526	При V 1 > 2462

### 8.2.2 Приводной вал с изолятором и без шарнирного вала (специальное исполнение)

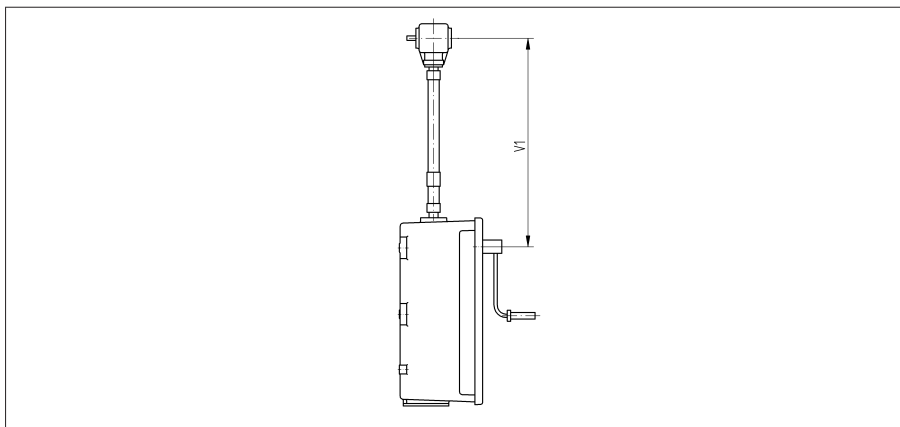


Рис. 23: Приводной вал с изолятором, без шарнирного вала (специальное исполнение)

Конфигурация	V 1 мин. (мм)	Промежуточный подшипник (мм)
Центр рукоятки — центр углового редуктора (максимально допустимое осевое смещение = 2°)	697	При V 1 > 2462

### 8.2.3 Приводной вал с шарнирным валом, без изолятора (специальное исполнение)

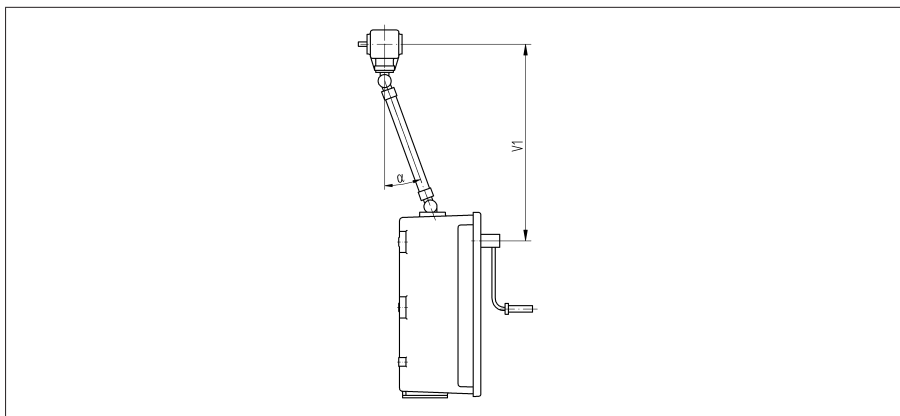


Рис. 24: Приводной вал с шарнирным валом, без изолятора (специальное исполнение)

Конфигурация	V 1 мин. (мм)	Промежуточный подшипник (мм)
Центр рукоятки — центр углового редуктора (максимально допустимое осевое смещение alpha = 20°)	790	При V 1 > 2556

### 8.2.4 Приводной вал с шарнирным валом и изолятором (специальное исполнение)

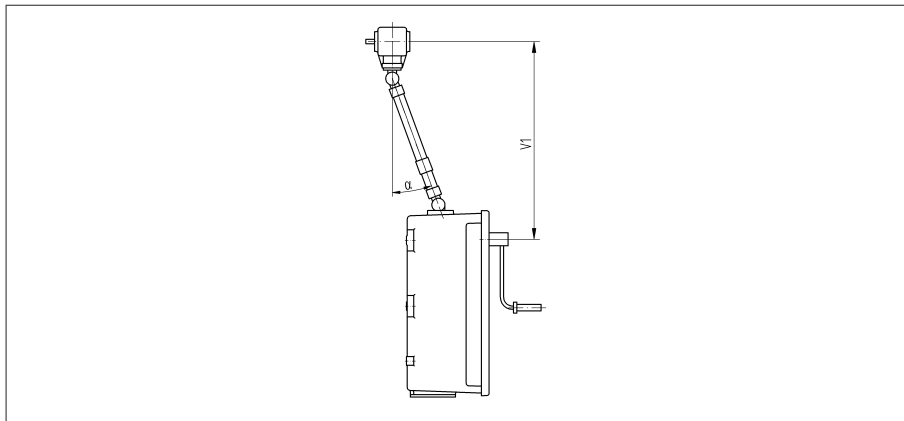


Рис. 25: Приводной вал с шарнирным валом и изолятором (специальное исполнение)

Конфигурация	V 1 мин. (мм)	Промежуточный подшипник (мм)
Центр рукоятки — центр углового редуктора (максимально допустимое осевое смещение $\alpha = 20^\circ$ )	975	При V 1 > 2556

### 8.2.5 Доступные для поставки размеры по длине

Четырехгранные валы и защитный кожух вертикального вала поставляются с избыточной длиной (номенклатура стандартных размеров по длине). Эти детали обрезают до требуемого размера непосредственно при монтаже на трансформатор. В редких случаях при телескопической трубе требуется обрезать внутреннюю трубу.

Для соединения моторного и ручного привода доступны валы следующей длины: 400, 600, 900, 1300, 1700 и 2000 мм. Вал длиной 2500 мм может использоваться только при ручном приводе и только для установки в вертикальном положении без защитного кожуха. Максимальная общая длина от привода до последней колонки РПН составляет 15 м.



## 9 Защитное реле RS

В этой главе описан принцип работы и основные технические характеристики защитного реле RS. Дополнительную информацию о предохранительных устройствах см. в главе «Допустимое давление при эксплуатации [► 46]».

Дополнительная информация и указания для изделий в специальном исполнении приведены в документации для конкретного изделия или на веб-сайте компании REINHAUSEN: [www.reinhausen.com](http://www.reinhausen.com).

### 9.1 Принцип работы

Защитное реле RS предназначено для защиты устройства РПН и трансформатора при неисправностях в масляном баке устройства РПН. Оно срабатывает при превышении заданного граничного значения скорости потока масла, направленного от головки устройства РПН к расширительному баку устройства РПН. Поток масла приводит в действие предохранительный клапан, который опрокидывается в положение «ВЫКЛ.». За счет этого приводится в действие контакт в магнитной трубке управления газовой защиты, срабатывает силовой выключатель и трансформатор отключается от напряжения.

Переключения устройства РПН при номинальной коммутационной мощности или при допустимых перегрузках не приводят к срабатыванию защитного реле. Защитное реле реагирует на поток масла, а не на скопление газа в защитном реле. В выпуске воздуха из защитного реле при наполнении бака трансформатора маслом необходимости нет. Скопление газа в защитном реле является нормальным.

Защитное реле является составной частью устройства РПН с масляной изоляцией и выполнено согласно IEC 60214-1 в действующей редакции. Поэтому реле входит в комплект поставки устройства РПН.

### 9.2 Технические характеристики

#### Общие технические характеристики

Корпус	Исполнение для наружной установки
Степень защиты	IP 54
Привод реле	Предохранительный клапан с отверстием
Вес	ок. 3,5 кг
Варианты срабатывания защитного реле в зависимости от скорости потока масла (при температуре масла 20 °C)	0,65 м/с
	1,20 м/с
	3,00 м/с
	4,80 м/с

Табл. 25: Общие технические характеристики



### Защитный выключатель

Геркон защитного реле может быть поставлен в стандартном исполнении как в виде размыкающего, так и в виде замыкающего контакта (см. габаритный чертеж в комплекте поставки).

Другие варианты контактов поставляются в качестве специсполнения .

### Электрические характеристики герконов (НО, НЗ)

Коммутационная способность AC	1,2 ВА...400 ВА
Коммутационная способность DC	1,2 ВТ...250 ВТ
Макс. напряжение коммутации AC/DC	250 В 24 В
Мин. напряжение коммутации AC/DC	
Макс. ток коммутации AC/DC	2 А
Мин. ток коммутации AC/DC	4,8 мА при 250 В
Испытание переменным напряжением	Между всеми токоведущими присоединениями и заземленными частями: мин. 2500 В, 50 Гц, продолжительность испытания 1 мин. Между открытыми контактами: мин. 2000 В, 50 Гц, продолжительность испытания 1 мин.

Табл. 26: Электрические характеристики герконов (НО, НЗ)



## 10 Маслофильтровальная установка OF 100

В этой главе описаны принцип работы, критерии применения и основные технические характеристики маслофильтровальной установки OF 100.

Дополнительная информация и указания для изделий в специальном исполнении приведены в документации для конкретного изделия или на веб-сайте компании REINHAUSEN: [www.reinhausen.com](http://www.reinhausen.com).

### 10.1 Принцип работы

При каждом переключении контактора маслофильтровальная установка OF 100 автоматически очищает, а при наличии комбинированного фильтрующего патрона дополнительно высушивает изоляционное масло устройства РПН.

Присоединительные фланцы трубопровода подачи масла находятся на нижней крышке насосного блока, а фланец для присоединения трубопровода возврата масла — на верхней крышке. Насос всасывает изоляционное масло через сифонную трубку устройства РПН и далее через трубопровод для подачи масла. Изоляционное масло поступает снизу в бак насосного блока и с помощью насоса прогоняется через патрон фильтра.

Очищенное или очищенное и осушенное с помощью комбинированного фильтрующего патрона изоляционное масло покидает насосный блок через присоединение для возврата масла и далее по соответствующему трубопроводу возвращается в головку устройства РПН.

В маслофильтровальной установке стандартного исполнения OF 100 манометрический выключатель, настроенный на заводе на 3,6 бар, служит для дистанционной сигнализации рабочего давления. При давлении 3,6 бар манометрический выключатель замыкает сигнальный контакт, и на пульт управления поступает и отображается сигнал о достижении граничного значения давления.

При включении стандартной маслофильтровальной установки при низкой температуре масла манометрический выключатель может сработать из-за повышенной вязкости масла и вследствие этого повышения рабочего давления. При температуре масла ниже 20 °С сообщением о достижении граничного значения можно пренебречь.

#### Специальное исполнение с температурным выключателем

Во избежание выдачи манометрическим выключателем ложных сообщений при температуре ниже 20 °С, по желанию заказчика с помощью дополнительного встроенного температурного выключателя подавляется сообщение манометрического выключателя при температуре масла ниже 20 °С.



### Исполнение для эксплуатации при низких температурах

Исполнение для эксплуатации при низких температурах рекомендуется для тех регионов, в которых температура в маслофильтровальной установке OF 100 или трубопроводах может опускаться ниже 5 °С. Для этой цели используется термостат, который при температуре ниже 0 °С переключает маслофильтровальную установку на непрерывный режим работы. Маслофильтровальная установка будет работать в непрерывном режиме до тех пор, пока температура не превысит +5 °С.

## 10.2 Критерии применения

Для безупречной работы маслофильтровальной установки на каждую колонку устройства РПН устанавливается по одному насосному блоку с патроном фильтра.

Маслофильтровальные установки с **бумажными фильтрующими патронами** рекомендуется использовать для устройств РПН в трансформаторах с более чем 15 000 переключениями в год. Это позволяет увеличить интервалы техобслуживания.

При использовании маслофильтровальных установок с **комбинированным фильтрующим патроном** дополнительно уменьшается содержание влаги в масле.

Использование маслофильтровальной установки OF 100 с комбинированным фильтрующим патроном для соблюдения необходимых диэлектрических свойств изоляционного масла предписано в следующих случаях применения.

Устройство РПН OILTAP® Тип ...	$U_m$ (кВ) максимальное напряжение для оборудования устройства РПН	$U_b$ (кВ) максимальное рабочее напряжение (фаза — фаза)
M I, RM I, R I, G I M III ...K	300	$245 \leq U_b < 260$
RM I, R I, G I	362	$260 \leq U_b < 300$
RM I, R I, G I	По запросу	$\geq 300$
M III ...D	123	$79 < U_b \leq 123$
V III ...D	76	$55 < U_b \leq 79$

Табл. 27: Критерии использования для маслофильтровальной установки с комбинированным фильтрующим патроном

Если маслофильтровальная установка используется в установке охлаждения масла, следует применять комбинированные фильтрующие патроны.

Оснащать находящееся в эксплуатации устройство РПН маслофильтровальной установкой можно только после консультации с компанией Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR).





### 10.3 Технические характеристики

<b>Двигатель насоса</b> (стандартное исполнение)	Мощность	1,1 кВт
	Напряжение	Трехфазный переменный ток 230/400 В
	Номинальный ток	(другие напряжения по запросу) 4,10/2,35 А
	Частота Синхронная частота вращения	50 или 60 Гц 3 000 об/мин (50 Гц), 3 600 об/мин (60 Гц)
<b>Насос</b> (центробежный)	Производительность	Около 65 л/мин (35 л/мин), при обратном давлении 0,5 бар (3,6 бар)
<b>Патроны фильтра</b> (альтернат.)	Бумажный фильтр	Для очистки изоляционного масла, тонкость фильтрации ок. 9 мкм
	Комбинированный фильтр	Для очистки и сушки изоляционного масла, тонкость фильтрации ок. 9 мкм
	Гигроскопичность ок. 400 г	
<b>Бак</b>	Стальной цилиндр с крышкой и основанием, исполнение для открытого воздуха	
	Размеры (Ш x В x Г)	410x925x406 мм
	Наружное лакокрасочное покрытие	RAL 7033
	Испытательное давление	6 бар
	Фланцевое присоединение для подачи и возврата масла	
	Манометр (установлен на баке)	
	Манометрический выключатель (установлен на баке)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Диапазон настройки 0—6 бар, установлено на 3,6 бар</li> <li>▪ Коммутационная способность 250 В перем. тока, <math>I_{\text{макс.}} = 3 \text{ А}</math></li> <li>▪ <math>P_{\text{макс.}} = 500 \text{ ВА/250 Вт}</math></li> </ul>
	Вес насосного блока (в сухом виде)	Около 75 кг
	Количество заливаемого масла	Около 35 л
	<b>Управление в моторном приводе устройства РПН</b>	Монтаж элементов управления в переднюю поворотную раму моторного привода (IP 66)
Напряжение		230 В перем. тока
<b>Управление в отдельном шкафу управления</b> (специальное исполнение)	Монтаж компонентов в отдельный шкаф управления (IP 55)	
	Размеры (Ш x В x Г)	400 x 600 x 210 мм
	Лакокрасочное покрытие	RAL 7033
	Вес	Около 10,5 кг
	Напряжение	230 В перем. тока



## 10 Маслофильтровальная установка OF 100

Устройство обогрева

- Напряжение: 230 В перем. тока
- Мощность: 15 Вт



## 11 Выбор устройства РПН

### 11.1 Принцип выбора

Выбор устройства РПН ведет к оптимальному результату с технической и экономической точки зрения, если выполняются требования, предъявляемые к устройству РПН на основании условий эксплуатации и испытаний трансформатора. Повышение надежности для отдельных параметров устройства РПН, как правило, не требуется.

Для выбора устройства РПН необходимо знать указанные ниже характеристики обмотки трансформатора, к которой будет подключаться устройство РПН.

А) Характеристики обмотки трансформатора	
1	Расчетная мощность $P_N$
2	Соединение («звезда», «треугольник», однофазное подключение)
3	Расчетное напряжение, диапазон регулирования: $U_N (1 \pm x \%)$
4	Число ступеней, принципиальная схема регулировочной обмотки
5	Номинальный уровень изоляции
6	Нагрузка напряжением регулировочной обмотки при проверке с помощью напряжения грозового импульса и индуцированного переменного напряжения

Отсюда рассчитываются параметры фаз для устройства РПН.

В) Основные характеристики устройства РПН	Рассчитывается на основании данных обмотки трансформатора (см. таблицу выше):
Максимальный расчетный рабочий ток $I_u$	1, 2, и 3
Расчетное напряжение ступени $U_i$	3 и 4
Расчетная мощность ступени $P_{STN} = I_u \cdot U_i$	Рассчитанное значение

Подходящее устройство РПН определяется с помощью следующих характеристик:

С) Определение устройства РПН	
Шаг 1	
	Тип устройства РПН
	Количество фаз
	Максимальный расчетный рабочий ток $I_{um}$
Шаг 2	
	Максимальное напряжение для оборудования $U_m$ устройства РПН



### С) Определение устройства РПН

	Размерная серия избирателя
	Принципиальная схема

Для правильного выбора необходимо учитывать технические характеристики.

При необходимости следует проверить указанные ниже параметры устройства РПН.

- Граничное значение коммутируемой мощности устройства РПН
- Допустимая нагрузка с кратковременным током
- Срок службы контактов контактора

### 11.2 Пример 1

Требуется подходящее устройство РПН для трехфазного силового трансформатора со следующими параметрами:

А) Характеристики обмотки трансформатора		
1	Расчетная мощность	$P_N = 80 \text{ МВА}$
2	Переключение	Соединение по схеме «звезда»
3	Расчетное напряжение, диапазон регулирования обмотки высшего напряжения	$U_N = 110 (1 \pm 11 \%) \text{ кВ}$
4	Число ступеней, принципиальная схема регулировочной обмотки	$\pm 9$ ступеней, переключение с реверсором
5	Номинальный уровень изоляции обмотки высшего напряжения	Испытательное напряжение ПЧ (50 Гц, 1 мин) 230 кВ Расчетное выдерживаемое напряжение грозового импульса (1,2/50 мкс): 550 кВ
6	Нагрузка напряжением регулировочной обмотки при проверке с помощью напряжения грозового импульса и индуцированного переменного напряжения	Вдоль диапазона регулирования одной фазы: 250 кВ (1,2/50 мкс), 16 кВ (50 Гц, 1 мин)  Между отпайками различных фаз: 220 кВ (1,2/50 мкс), 24 кВ (50 Гц, 1 мин)

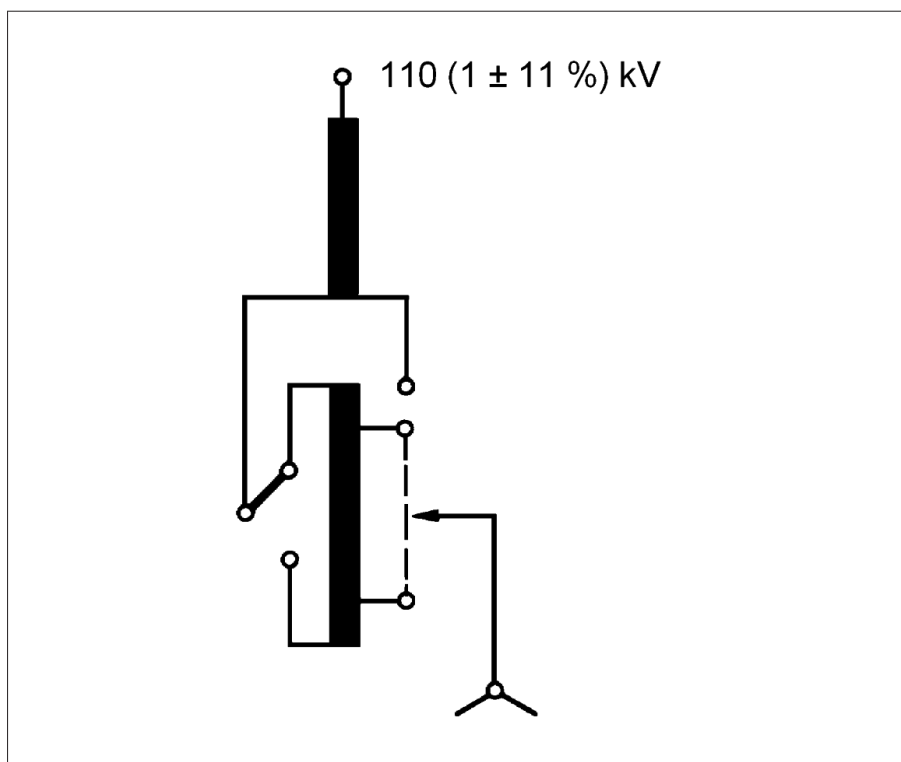


Рис. 26: Выбор устройства РПН, пример 1



<b>В) Основные характеристики устройства РПН</b>	<b>Рассчитывается на основании данных обмотки трансформатора (см. таблицу выше):</b>
Расчетный рабочий ток	$I_u = 80 \cdot 10^6 \text{ VA} / (110 (1 - 11\%) \cdot 10^3 \text{ В} \cdot \sqrt{3}) = 472 \text{ A}$
Расчетное напряжение ступени	$U_i = 110 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot 11\% / (9 \cdot \sqrt{3}) = 777 \text{ В}$
Расчетная мощность ступени	$P_{\text{StN}} = 472 \text{ A} \cdot 777 \cdot 10^{-3} \text{ кВ} = 367 \text{ кВА}$

<b>С) Определение устройства РПН</b>	
Шаг 1	Выбор исполнения устройства РПН по техническим характеристикам VACUTAP® VM®
Тип устройства РПН	VACUTAP® VM®
Количество фаз	3
Максимальный расчетный рабочий ток $I_{\text{ум}}$	500 А
Шаг 2	Определение максимального напряжения для оборудования $U_m$ , размерной серии избирателя и принципиальной схемы
Максимальное напряжение для оборудования $U_m$ устройства РПН	123 кВ
Размерная серия избирателя	В
Принципиальная схема	10 19 1 W

<b>D) Обозначение типа</b>		<b>VACUTAP® VM III 500 Y – 123 / В – 10 19 1 W</b>	
VM III 500 Y	Тип, количество фаз, $I_u$	Расчетная мощность	80 МВА
		Расчетный рабочий ток	472 А
		Переключение	Звезда
123/В	$U_m$ , размерная серия избирателя	Расчетное напряжение, диапазон регулирования	110 (1 ± 11 %) кВ
		Изоляция относительно земли	550 кВ (1,2/50 мкс) 230 кВ (50 Гц, 1 мин)
		Изоляция вдоль диапазона регулирования	250 кВ (1,2/50 мкс) 16 кВ (50 Гц, 1 мин)
10 19 1 W	Принципиальная схема	Число ступеней	± 9 ступеней
		Предызбиратель	Реверсор

Табл. 28: Выбор устройства РПН, пример 1

### 11.3 Пример 2

Требуется устройство РПН для трехфазного автотрансформатора со следующими параметрами:

А) Характеристики обмотки трансформатора		
1	Расчетная мощность	$P_N = 400 \text{ МВА}$
2	Переключение	Соединение по схеме «звезда»
3	Расчетное напряжение, диапазон регулирования обмотки высшего напряжения	$U_N = 220 (1 \pm 18 \%) \text{ кВ} / 110 \text{ кВ}$
4	Число ступеней, принципиальная схема регулировочной обмотки	$\pm 11$ ступеней, переключение с реверсором
5	Номинальный уровень изоляции параллельной обмотки	Испытательное напряжение ПЧ (50 Гц, 1 мин): 230 кВ Расчетное выдерживаемое напряжение грозового импульса (1,2/50 мкс): 550 кВ
6	Нагрузка напряжением регулировочной обмотки	Вдоль диапазона регулирования: 480 кВ (1,2/50 мкс), 49 кВ (50 Гц, 1 мин)

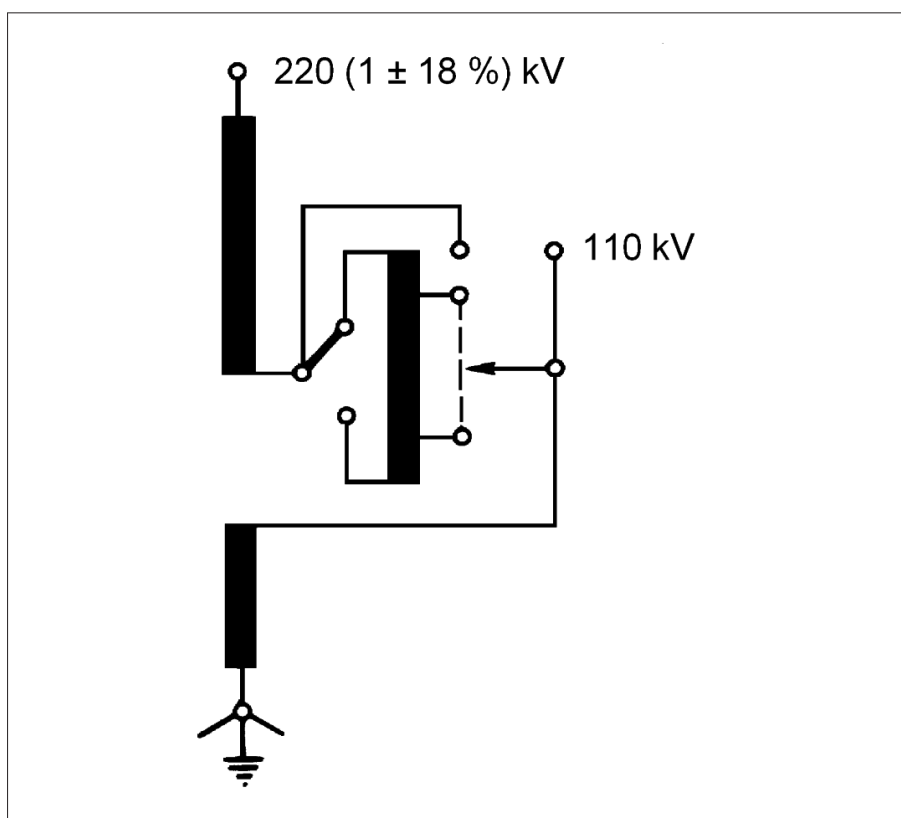


Рис. 27: Выбор устройства РПН, пример 2



<b>В) Основные характеристики устройства РПН</b>		<b>Рассчитывается на основании данных обмотки трансформатора (см. таблицу выше):</b>	
Расчетный рабочий ток		$I_u = 400 \cdot 10^6 \text{ VA} / (220 (1 - 18 \%) \cdot 10^3 \text{ В} \cdot \sqrt{3}) = 1\,280 \text{ A}$	
Расчетное напряжение ступени		$U_i = 220 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot 18 \% / (11 \cdot \sqrt{3}) = 2\,078 \text{ В}$	
Расчетная мощность ступени		$P_{\text{StN}} = 1\,280 \text{ A} \cdot 2\,078 \cdot 10^{-3} \text{ кВ} = 2\,660 \text{ кВА}$	
<b>С) Определение устройства РПН</b>			
Шаг 1		Выбор исполнения устройства РПН по техническим характеристикам VACUTAP® VR®	
	Тип устройства РПН	VACUTAP® VRF	
	Количество фаз	3 x 1 фаза	
	Максимальный расчетный рабочий ток $I_{\text{ум}}$	1 300 А	
Шаг 2		Определение максимального напряжения для оборудования $U_m$ , размерной серии избирателя и принципиальной схемы	
	Максимальное напряжение для оборудования $U_m$ устройства РПН	123 кВ	
	Размерная серия избирателя	D	
	Принципиальная схема	12 23 1 W	
<b>D) Обозначение типа</b>		<b>3 x VACUTAP® VRF I 1301 – 123/D – 12 23 1 W</b>	
3 x VRF I 1301	Тип, количество фаз, $I_u$	Расчетная мощность	400 МВА
		Расчетный рабочий ток	1 280 А
		Переключение	Автотрансформатор
123/D	$U_m$ , размерная серия избирателя	Расчетное напряжение, диапазон регулирования	220 (1 ± 18 %) кВ
		Изоляция относительно земли	550 кВ (1,2/50 мкс) 230 кВ (50 Гц, 1 мин)
		Изоляция вдоль диапазона регулирования	480 кВ (1,2/50 мкс) 49 кВ (50 Гц, 1 мин)
12 23 1 W	Принципиальная схема	Число ступеней	± 11 ступеней
		Предызбиратель	Реверсор

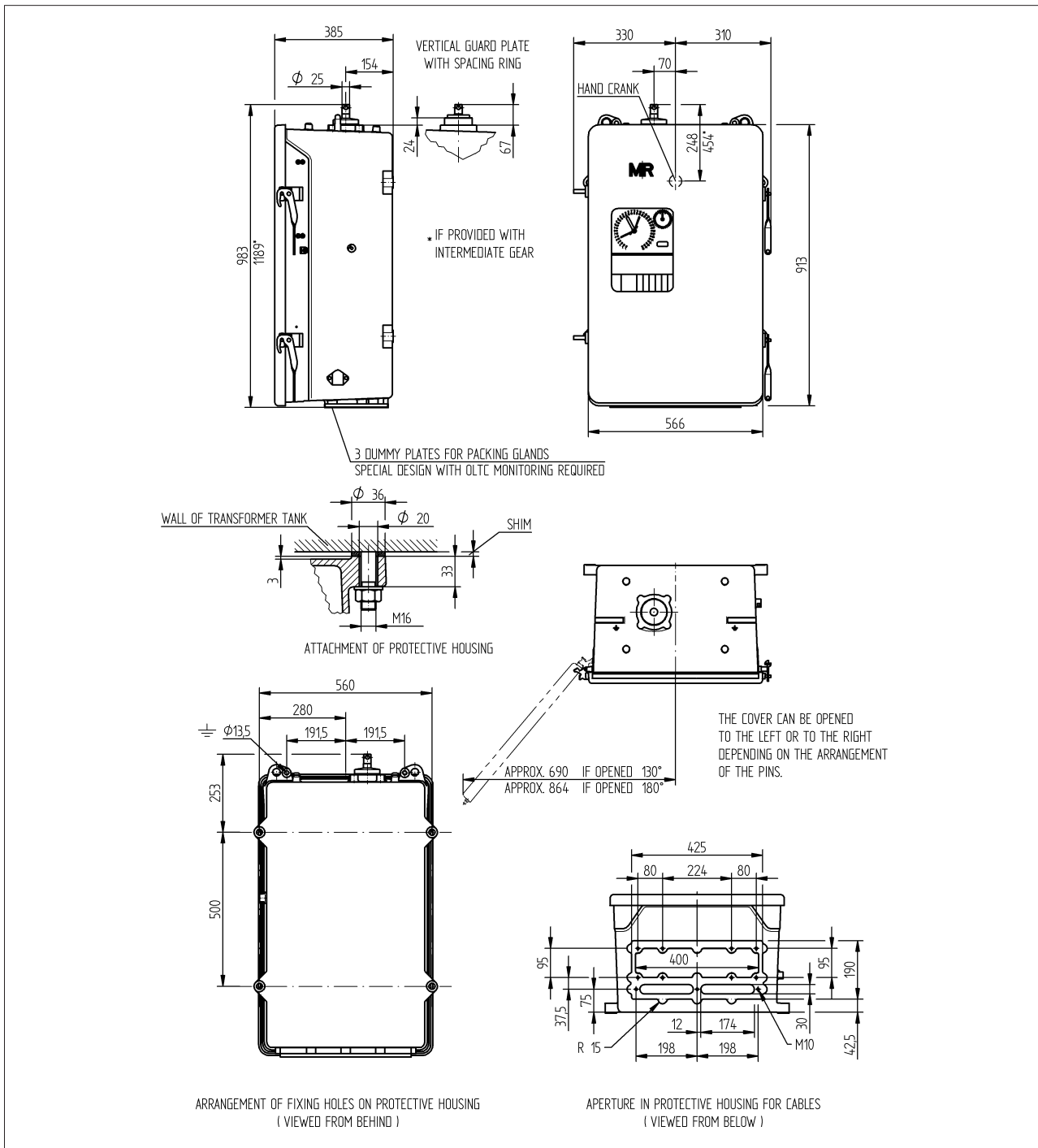
Табл. 29: Выбор устройства РПН, пример 2



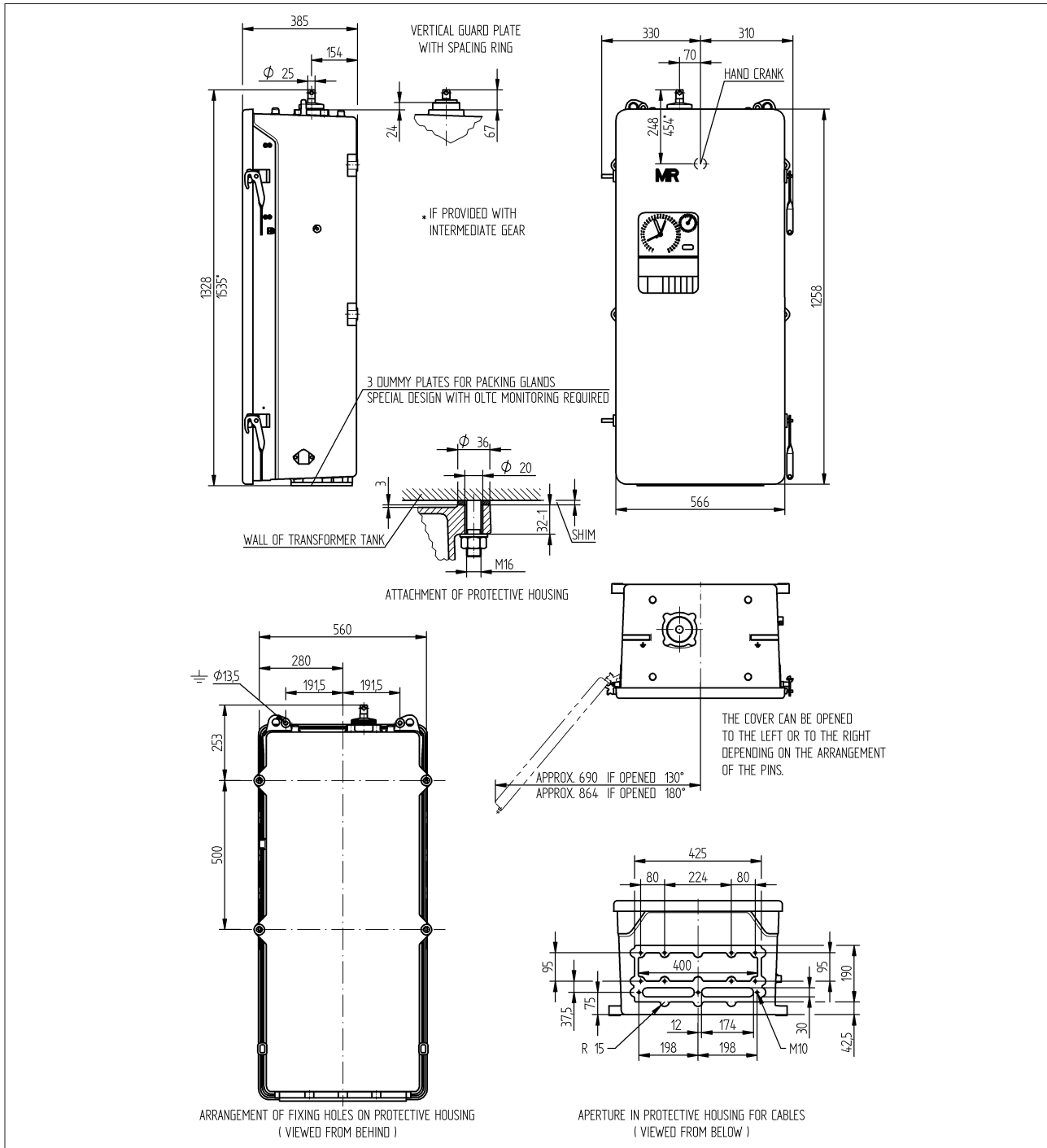


## 12 Приложение

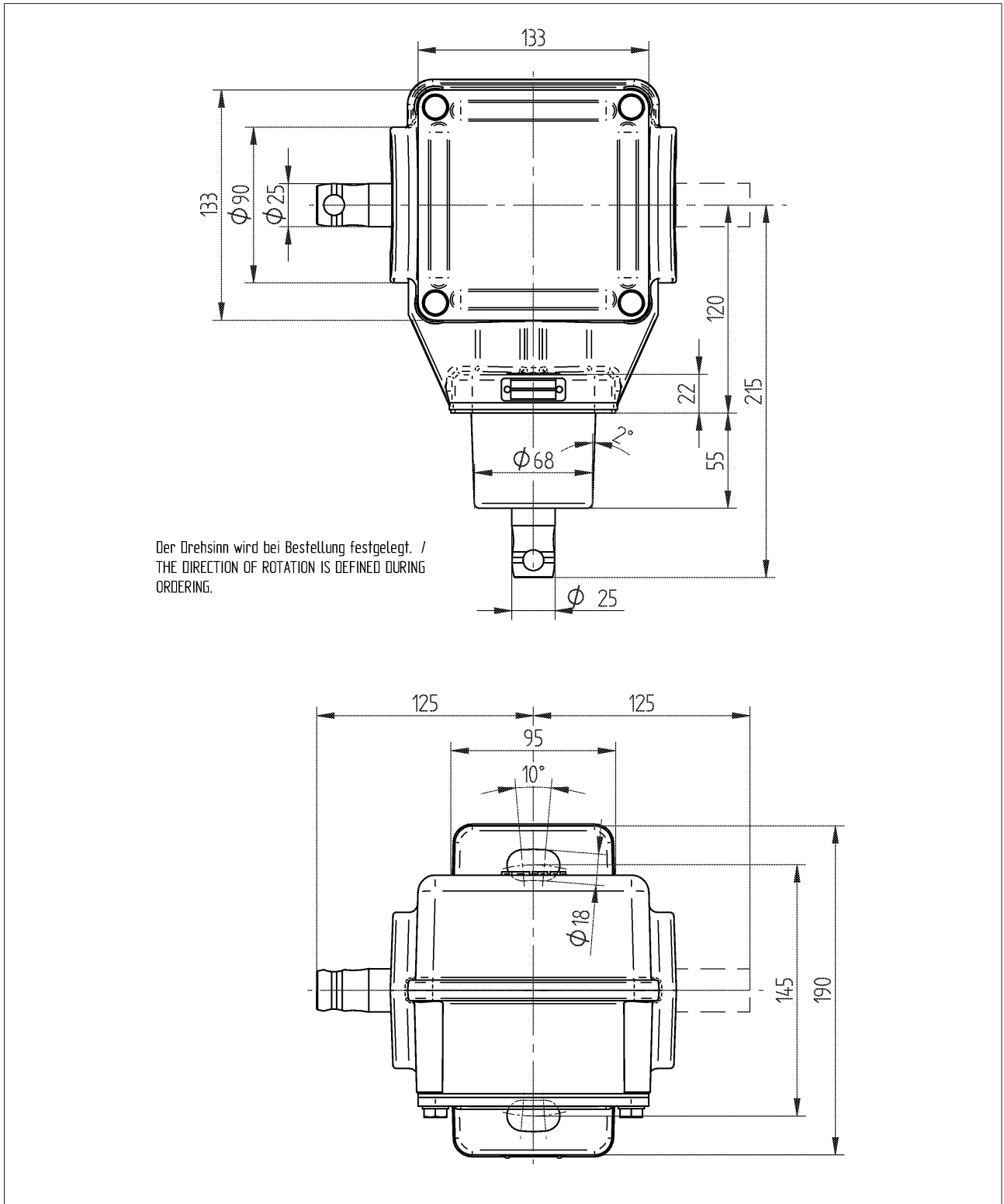
### 12.1 TARMOTION® ED-S, шкаф привода (898801)



### 12.2 TARMOTION® ED-L, шкаф привода (898802)



12.3 Угловой редуктор, габаритный чертеж (892916)





## Алфавитный указатель

**Symbole**

Бумажный фильтрующий патрон	72	Предохранительная мембран	46
Влажность воздуха	53	Предохранительное устройство	45
Восстанавливающееся напряжение	25	Предохранительный клапан	69
Выключатель потенциальных резисторо	26	Присоединительные контакты избирателя	14
Граничное значение мощности ступени	22	Расчетная мощность ступени	21
Дневной цикл	36	Расчетное выдерживаемое напряжение	22
Емкости обмотки	30	Расчетное место разрыва	46
Емкость регулировочной обмотки	28	Расчетное напряжение ступени	20
Емкость связи	25	Расчетный рабочий ток	20
Избиратель	9	Расширительный бак	50
Избыточное давление	45	Режим работы	35
Изменение потенциала регулировочной обмот	16	Силикагель	53
Измерительный постоянный ток	56	Смещение потенциала	25
Изоляционная способность	22	Среднее положение	13
Изоляционные промежутки	22	Стандартное исполнение согласно стандарту MR	14
Импульсное напряжение	22	Струйное реле	46
Клапан сброса давления	46	Схема соединений	14
Количество рабочих положений	12	Температура масл	41
Комбинированный фильтрующий патрон	71	Температура окружающей среды	41
Конструкция обмотки	28, 38	температурное реле	43
Контакт предызбирателя	25	Ток отключения	25
Контурный ток	38	Требование нагрузки	35
Координация изоляции	22	Угловая точка	
Магнитная трубка управления газовой защиты	69	Верхняя угловая точка	21
Минимальная емкость	50	Нижняя угловая точка	21
Нагрузка предызбирателя	28	Угловой редуктор	66
Направление вращения рукоятки	14	Удаление воздуха	45
Объемы расширения масла устройства РПН	52	Уровень масла	48
Осушающее средство	53	Устройство для сброса давления	46
Подключен	27	Цепь отключения	46
Положение			
Вертикальное	55		
Положение наладки	13		
Пониженное давление	45		
Потенциальный резистор	26		
Предельная коммутационная мощность	22		

**M**

MPreC®	46
--------	----



## MR worldwide

### Australia

Reinhausen Australia Pty. Ltd.  
17/20-22 St Albans Road  
Kingsgrove NSW 2208  
Phone: +61 2 9502 2202  
Fax: +61 2 9502 2224  
E-Mail: sales@au.reinhausen.com

### Brazil

MR do Brasil Indústria Mecânica Ltda.  
Av. Elias Yazbek, 465  
CEP: 06803-000  
Embu - São Paulo  
Phone: +55 11 4785 2150  
Fax: +55 11 4785 2185  
E-Mail: vendas@reinhausen.com.br

### Canada

Reinhausen Canada Inc.  
3755, rue Java, Suite 180  
Brossard, Québec J4Y 0E4  
Phone: +1 514 370 5377  
Fax: +1 450 659 3092  
E-Mail: m.foata@ca.reinhausen.com

### India

Easun-MR Tap Changers Ltd.  
612, CTH Road  
Tiruninravur, Chennai 602 024  
Phone: +91 44 26300883  
Fax: +91 44 26390881  
E-Mail: easunmr@vsnl.com

### Indonesia

Pt. Reinhausen Indonesia  
German Center, Suite 6310,  
Jl. Kapt. Subijanto Dj.  
BSD City, Tangerang  
Phone: +62 21 5315-3183  
Fax: +62 21 5315-3184  
E-Mail: c.haering@id.reinhausen.com

### Iran

Iran Transfo After Sales Services Co.  
Zanjan, Industrial Township No. 1 (Aliabad)  
Corner of Morad Str.  
Postal Code 4533144551  
E-Mail: itass@iran-transfo.com

### Italy

Reinhausen Italia S.r.l.  
Via Alserio, 16  
20159 Milano  
Phone: +39 02 6943471  
Fax: +39 02 69434766  
E-Mail: sales@it.reinhausen.com

### Japan

MR Japan Corporation  
German Industry Park  
1-18-2 Hakusan, Midori-ku  
Yokohama 226-0006  
Phone: +81 45 929 5728  
Fax: +81 45 929 5741

### Luxembourg

Reinhausen Luxembourg S.A.  
72, Rue de Prés  
L-7333 Steinsel  
Phone: +352 27 3347 1  
Fax: +352 27 3347 99  
E-Mail: sales@lu.reinhausen.com

### Malaysia

Reinhausen Asia-Pacific Sdn. Bhd  
Level 11 Chulan Tower  
No. 3 Jalan Conlay  
50450 Kuala Lumpur  
Phone: +60 3 2142 6481  
Fax: +60 3 2142 6422  
E-Mail: mr\_rap@my.reinhausen.com

### P.R.C. (China)

MR China Ltd. (MRT)  
开德贸易(上海)有限公司  
中国上海浦东新区浦东南路 360 号  
新上海国际大厦 4 楼 E 座  
邮编: 200120  
电话: +86 21 61634588  
传真: +86 21 61634582  
邮箱: mr-sales@cn.reinhausen.com  
mr-service@cn.reinhausen.com

### Russian Federation

OOO MR  
Naberezhnaya Akademika Tupoleva  
15, Bld. 2 ("Tupolev Plaza")  
105005 Moscow  
Phone: +7 495 980 89 67  
Fax: +7 495 980 89 67  
E-Mail: mrr@reinhausen.ru

### South Africa

Reinhausen South Africa (Pty) Ltd.  
No. 15, Third Street, Booyens Reserve  
Johannesburg  
Phone: +27 11 8352077  
Fax: +27 11 8353806  
E-Mail: support@za.reinhausen.com

### South Korea

Reinhausen Korea Ltd.  
21st floor, Standard Chartered Bank Bldg.,  
47, Chongro, Chongro-gu,  
Seoul 110-702  
Phone: +82 2 767 4909  
Fax: +82 2 736 0049  
E-Mail: you-mi.jang@kr.reinhausen.com

### U.S.A.

Reinhausen Manufacturing Inc.  
2549 North 9th Avenue  
Humboldt, TN 38343  
Phone: +1 731 784 7681  
Fax: +1 731 784 7682  
E-Mail: sales@reinhausen.com

### United Arab Emirates

Reinhausen Middle East FZE  
Dubai Airport Freezone, Building Phase 6  
3rd floor, Office No. 6EB, 341 Dubai  
Phone: +971 4 2368 451  
Fax: +971 4 2368 225  
Email: service@ae.reinhausen.com

