

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)
Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



ОБОРУДОВАНИЕ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ
Методические указания по выполнению практических работ
для студентов направления подготовки 13.03.02
очной и заочной формы обучения

Курск 2017

УДК 621.331
Составитель А.С. Чернышев

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»

В.Н. Алябьев

Оборудование тяговых подстанций: методические указания по выполнению практических работ/Юго-Зап.. гос. ун-т; сост.: А.С. Чернышев. Курск, 2017. 28 с., Библиогр.:

Содержат сведения по выполнению практических работ по дисциплине «Оборудование тяговых подстанций».

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника для всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *3.04.17*. Формат 60x84/16.
Усл.печ.л. *6* Уч.-изд.л. *17* Тираж 100 экз. Заказ *468*. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

Практическое занятие №1

Выбор трансформаторов тяговой подстанции. Выбор и определение числа выпрямителей.

Определение числа выпрямителей производится по величине среднего тока I_{cp} подстанции. Этот ток может быть определен через расход электрической энергии на тягу поездов:

$$I_{cp} = \frac{W_{cp}}{U_{cp} \cdot T \cdot \cos \varphi}, \quad (2.1)$$

где W_{cp} — количество энергии, отпускаемой за год на тягу поездов, $\text{kB} \cdot \text{A}$; U_{cp} — среднее напряжение в контактной сети, 3 кВ; T — количество часов в году, 8760 ч.

Необходимое число выпрямителей определяется по формуле:

$$n = \frac{I_{cp}}{K_{пер} \cdot I_{дн}}, \quad (2.2)$$

где I_{cp} — средний ток нагрузки подстанции, А; $I_{дн}$ — номинальный ток выпрямителя, А; $K_{пер}$ — коэффициент перегрузки.

Для магистральных участков $K_{пер} = 1,0$, для пригородного движения $K_{пер} = 1,5$. На тяговых подстанциях постоянного тока применяются полупроводниковые выпрямители ПВКЕ-3, ПВЭ-5АУ1, ТПЕД-3150-3,3-У1 и другие, имеющие номинальный ток $I_{дном} = 3000$ А (3150А для ТПЕД-3,3-У1) и выпрямительно-инверторные преобразователи ВИПЭ-2 с номинальными данными в режиме выпрямления /2, с.250-264/. Полученное по расчёту дробное число выпрямителей округляется до целого числа.

Принятое число выпрямителей проверяется по максимальному току нагрузки по условию:

$$n \cdot I_{1мин.} > I_{наиб.}, \quad (2.3)$$

где $I_{1мин.}$ — допустимый одномоментный ток выпрямителя, принимается 5000 А; $I_{наиб.}$ — наибольший ток нагрузки подстанции, 6000 А.

На каждой тяговой подстанции постоянного тока предусматривается один резервный выпрямительный агрегат.

При применении инвертирования, как правило, используют три преобразовательных агрегата: два выпрямительно-инверторных и один выпрямительный.

Выбор тягового трансформатора. Для выбранного преобразователя подбирается тяговой трансформатор, например, ТМРУ-16000/10Ж, ТМПУ-16000/10ЖУ1, ТМПУ-6300/35Ж, ТДП-12500/10ЖУ1, ТРДП12500/10ЖУ1, ТДП-12500/10И-У1 /7, с.73-75/, /8, с.25/.

Выбор трансформатора собственных нужд. На тяговых подстанциях всех типов устанавливается два ТСН с вторичным напряжением 380/220 В, каждый из которых рассчитывается на полную мощность собственных нужд (СН).

Питание ТСН на тяговых подстанциях постоянного тока осуществляется от шин РУ-10 кВ, а на подстанциях переменного тока — от шин ОРУ-27,5 кВ

или 2x25 кВ. На опорных тяговых подстанциях на подогрев приводов высоковольтных выключателей помимо двух ТСН дополнительно устанавливают два трансформатора подогрева, мощность которых при первичном напряжении 110 кВ принимается равной 250 кВ·А.

Мощность трансформаторов СН может быть определена по следующим формулам:

а) для опорных тяговых подстанций

$$S_{CH} = K_{CH} \cdot n_{ТП} \cdot S_{НТП} + S_{аб} + S_{МХ} + S_{под}, \quad (2.4)$$

б) для остальных типов тяговых подстанций

$$S_{CH} = K_{CH} \cdot n_{ТП} \cdot S_{НТП} + S_{аб} + S_{МХ}, \quad (2.5)$$

где K_{CH} – коэффициент собственных нужд, равный 0,005 – 0,007 для подстанций переменного тока и 0,008 – 0,01 – для подстанций постоянного тока; $n_{ТП}$ – число понижающих трансформаторов на тяговой подстанции ($n_{ТП} = 2$); $S_{НТП}$ – номинальная мощность понижающего трансформатора; $S_{аб}$ – мощность устройств автоблокировки для опорных и транзитных подстанций равна 60 кВ·А, для отпаечной и тупиковой – 40 кВ·А; $S_{МХ}$ – мощность передвижной базы масляного хозяйства равна 20,0 кВ·А; $S_{под}$ – мощность трансформатора подогрева для опорных подстанций равна 250 кВ·А.

Далее по справочным данным /7, с.63-64/ выбираем тип ТСН.

На тяговых подстанциях переменного тока могут быть использованы трансформаторы: ТМ-400/35-75-У1; ТМ-250/35-74-У1; ТМ-160/35-74-У1.

На тяговых подстанциях постоянного тока – трансформаторы: ТМ-630/10; ТМ-400/10; ТМ-250/10.

Выбор понижающего трансформатора. Для тяговых подстанций постоянного тока типовым решением является схема с двойной трансформацией напряжения. Поэтому наибольшая расчётная мощность силового понижающего трансформатора определяется по формуле:

$$S_{расч.наиб.} = (S_T + S_{НП} + S_{CH} + S_p) \cdot K_p, \quad (2.6)$$

где S_T – мощность тяговой нагрузки, кВ·А; $S_{НП}$ – мощность нетяговой и посторонней нагрузки, кВ·А (задается преподавателем); S_{CH} – мощность трансформатора собственных нужд, кВ·А; S_p – мощность районной нагрузки на шинах 35 кВ, кВ·А; K_p – коэффициент, учитывающий разновременность наступления максимумов тяговой и нетяговой нагрузок, принимается в пределах 0,95 – 0,98.

Мощность тяговой нагрузки определяется по формуле:

$$S_T = \frac{W_{cp}}{T \cdot \cos \varphi}, \quad (2.7)$$

где W_{cp} — количество энергии, отпускаемой за год на тягу поездов, кВ·А; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Мощность районной нагрузки на шинах 35 кВ определяется по формуле:

$$S_p = n_{ф.р.} \cdot S_{ф.р.наиб.}, \quad (2.8)$$

где $n_{ф.р.}$ - число фидеров районных потребителей; $S_{ф.р.наиб.}$ - наибольшая мощность, передаваемая по одному фидеру.

По данным из /7, с.73-75/, и полученной величине $S_{расч.наиб.}$ выбирается понижающий трансформатор по условию:

$$S_{ном} \geq S_{расч.наиб.} \quad (2.9)$$

На тяговых подстанциях постоянного тока могут быть использованы понижающие трансформаторы типа: ТДТН-25000/110, ТДТН-16000/110; ТДТН-10000/10, ТМРУ-16000/10Ж, ТМПУ-6300/35Ж, ТМПУ-16000/10ЖУ1, ТДП-12500/10ЖУ1, ТРДП-12500/10ЖУ1, ТДП-12500/10И-У1.

На тяговых подстанциях переменного тока устанавливают трёхобмоточные понижающие трансформаторы с первичным напряжением 220 или 110 кВ, имеющие обмотки для питания тяговой и районной нагрузки.

Расчётная мощность трёхобмоточного тягового трансформатора определяется по формуле:

$$S_{расч.наиб.} = (S_{27,5} + S_p) \cdot K_p, \quad (2.10)$$

где $S_{27,5}$ – наибольшая мощность на шинах 27,5 кВ, кВ·А и находится как сумма мощностей на тягу S_T , собственные нужды $s_{сн}$ и потребителей по системе два провода – рельс (ДПР) $S_{ДПР}$,

$$S_{27,5} = S_T + s_{сн} + S_{ДПР}, \quad (2.11)$$

S_p - мощность нагрузки всех районных потребителей, кВ·А (см. задание); $S_{ДПР}$ – мощность нагрузки потребителей ДПР задаёт преподаватель. Далее по справочным данным /2, с.130-134/, /7, с.58-60/ подбирают трансформатор. На подстанциях переменного тока в качестве понизительных могут быть использованы трансформаторы типа ТДТНЭ-40000/110; ТДНЭ-25000/110; ОРДНЖ-16000/110.

Для подстанций с однофазными трансформаторами мощность трансформатора выбирается по условию:

$$S_{расч.наиб.} = S_T. \quad (2.12)$$

В этом случае для питания районной нагрузки выбирают трансформатор по мощности S_p (см. задание) с учётом количества фидеров, питающих районную нагрузку.

На каждой подстанции предусматривается резервный трансформатор.

Практическое занятие №2

Выбор типа, числа конденсаторов и реактора для компенсирующего устройства тяговых подстанций переменного тока

В соответствии с заданием на тяговых подстанциях переменного тока 27,5 кВ предусматривается установка (в «отстающую» фазу) поперечной ёмкостной компенсации (КУ) заданной мощности (табл.1.2).

По заданной мощности КУ по /2, табл.11.3/ выбирается число последова-

тельно и параллельно соединённых конденсаторов соответствующего типа, а также реактор. В проекте следует привести схему установки КУ и кратко описать принцип её работы, руководствуясь /3, с.264-273; 7, с.93/.

2.7. Выбор сглаживающего устройства тяговых подстанций постоянного тока

В соответствии с «Правилами защиты устройств связи от влияния тяговой сети электрических железных дорог постоянного тока» рекомендуется на тяговых подстанциях применять двухзвенные резонансно-апериодические сглаживающие устройства по схемам, предложенным ВНИИЖТом и Западно-Сибирской железной дорогой /2, с.264-272/ или однозвенные для 12-ти пульсовых выпрямителей /8, с. 52-53/. Поэтому для тяговой подстанции постоянного тока необходимо выбрать одно из этих сглаживающих устройств, привести его схему и параметры, а также кратко описать принцип его работы. Установить разрядное устройство /2, с. 316-322/.

2.8. Выбор аккумуляторной батареи и зарядно-подзарядного устройства

Выбор аккумуляторной батареи на напряжение 220 В заключается в определении типового номера батареи, состоящей из свинцово-кислотных аккумуляторов стационарного типа (СК), расчёте числа последовательно включённых элементов, выборе зарядно-подзарядного устройства (ЗПУ). Полные рекомендации по выбору аккумуляторной батареи приведены в /2, с.283-298; 3, с.250-252; 7, с. 103-107; 10, с.502-506/.

Практическое занятие №3.

Расчёт защитного заземляющего устройства

Защитное заземляющее устройство тяговой подстанции сооружается в соответствии с требованиями, предъявляемыми к электроустановкам выше 1 кВ в сетях с эффективно заземлённой нейтралью /11, с. 19-21; 5, с. 67-73/.

Заземляющее устройство должно состоять из горизонтальных и вертикальных заземлителей.

В целях выравнивания электрического потенциала на территории тяговой подстанции на глубине $t_{\Gamma} = 0,5 - 0,7$ м прокладывают продольные и поперечные горизонтальные заземлители и соединяют их между собой в заземляющую сетку. По плану расположения электрооборудования в соответствии с нормативными требованиями по расположению продольных и поперечных горизонтальных заземлителей определяют общую длину горизонтальных заземлителей L_{Γ} .

В условиях, когда план расположения электрооборудования не разрабатывается, L_{Γ} можно определить приближённо по выражению $L_{\Gamma} \approx 22 \cdot \sqrt{S}$, где S – площадь территории тяговой подстанции, м^2 .

Длина вертикального заземлителя может быть принята l_B не менее 7 м. Для снижения эффекта взаимного экранирования вертикальные заземлители сле-

дует размещать по периметру горизонтальной заземляющей сетки на расстоянии $a \geq 2 \cdot l_B$ друг от друга. Число вертикальных заземлителей определяется выражением

$$n_B = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a} \quad (2.62)$$

Сопротивление заземляющего устройства R состоящего из горизонтальной сетки и вертикальных заземлителей, определяется выражением [12, с.388]:

$$R = \frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L_\Gamma + n_B \cdot l_B}, \quad (2.63)$$

где A – коэффициент, учитывающий влияние вертикальных электродов:

$$l_B / \sqrt{S} \quad 0,03 \quad 0,08 \quad 0,12 \quad 0,24 \quad 0,5$$

$$A \quad 0,42 \quad 0,39 \quad 0,36 \quad 0,32 \quad 0,26$$

$t_{\text{отн}}$ – относительная глубина погружения в землю вертикальных электродов:

$$t_{\text{отн}} = \frac{l_B + t_\Gamma}{\sqrt{S}} \quad (2.64)$$

Общее сопротивление заземляющего устройства R_3 следует определять с учётом естественных заземлителей R_e , сопротивление которых можно принять равными 2 - 3 Ом. Тогда значение R_3 будет равно:

$$R_3 = \frac{R \cdot R_e}{R + R_e} \quad (2.65)$$

После этого проверяется выполнение условия $R_3 \leq 0,5$ Ом.

Если оно не выполняется, то следует изменить конструктивные параметры заземляющего устройства (L_Γ , l_B , n_B) и повторить расчёт.

При выполнении условия $R_3 \leq 0,5$ Ом расчёт заземляющего устройства считается законченным. В заключении определяется потенциал заземления в аварийном режиме и сравнивается с допустимым значением:

$$R_3 \cdot I_3^{(1)} \leq 10 \text{ кВ}, \quad (2.66)$$

где $I_3^{(1)}$ – ток однофазного короткого замыкания в РУ-110 кВ, кА.

Если $R_3 \cdot I_3^{(1)} > 5 \text{ кВ}$, то должны предусматриваться меры по защите отходящих кабелей связи и телеуправления.

Особенности защитного заземления РУ-3,3 кВ тяговых подстанций постоянного тока. При перекрытии изоляции в РУ-3,3 кВ ток к.з. достигает десятков килоампер. Ток к.з. стекает через заземляющее устройство в землю и через рельс по цепи отсоса возвращается на «минус» шину. Такой режим представляет опасность как для обслуживающего персонала, так и для подземных коммуникаций (кабели, трубы водоснабжения и канализации и др.). Иногда такое повреждение может длительно не устраняться со стороны данной или смежной подстанций, что особенно опасно. Поэтому с целью снижения капитальных затрат заземляющее устройство оборудуется специальной быстродействующей защитой, называемой земляной, отключающей подстанцию по постоянному току со всех сторон при перекрытии изоляции в РУ-3,3

кВ. При этом с мощностью короткозамыкателя контур заземления подстанции соединяется с рельсовым фидером, что приводит к увеличению тока к.з., так как из цепи к.з. исключается реактор.

Практическое занятие №4.

Изучение классификации разъединителей

Общие сведения. Разъединитель – контактный коммутационный аппарат высокого напряжения, предназначенный для включения под напряжение и отключения участков электрических цепей без тока нагрузки.

Разъединители обеспечивают видимый разомкнутый промежуток между подвижным и неподвижным контактами, оставшимися под напряжением, и аппаратами, выведенными в ремонт. Помимо этого основного назначения, разъединители используют также и для других целей, поскольку их конструкция это позволяет, а именно:

- для отключения и включения ненагруженных силовых трансформаторов небольшой мощности, воздушных и кабельных линий при строго установленных условиях;
- для переключения присоединений РУ с одной системы сборных шин на другую;
- для заземления отключенных и изолированных участков системы с

помощью вспомогательных ножей, предусмотренных для этих целей. Разъединитель – это аппарат, наиболее широко применяемый в распределительном устройстве, который органически связан с принципиальной схемой и конструкцией РУ. Многообразие схем и конструкций РУ диктует необходимость разнообразных конструктивных исполнений разъединителей.

Классификация. Конструктивное различие между отдельными типами разъединителей состоит, прежде всего, в характере движения подвижного контакта (ножа). По этому признаку различают разъединители:

- вертикально-поворотного (врубного) и горизонтально-поворотного типов с вращением ножа в плоскости, параллельной или перпендикулярной осям поддерживающих изолятор данного полюса соответственно;
- качающегося типа с вращением ножа совместно с поддерживающим его изолятором в плоскости, параллельной осям поддерживающих изоляторов данного полюса;
- катящегося типа с вращением ножа совместно с поддерживающим его изолятором в плоскости, параллельной осям поддерживающих изоляторов данного полюса;
- с прямым движением ножа в плоскости, параллельной осям поддерживающих изоляторов данного полюса, вдоль размыкаемого промежутка либо поперёк;

- со складывающимся ножом, со сложным движением (поворот и складывание) ножа в плоскости, параллельной осям поддерживающих изоляторов;
- подвесного типа с перемещением ножа вместе с поддерживающими изоляторами в плоскости, параллельно осям неподвижных изоляторов.

Кроме того, разъединители классифицируются также и по следующим признакам:

- по роду установки - разъединители внутренней или наружной установки (каждое из этих исполнений классифицируется ещё несколькими категориями размещения, обусловленными климатическими факторами ГОСТ 15543-70);
- по числу полюсов: однополюсные и трёхполюсные. Полюсы трёхполюсных разъединителей могут размещаться на одной общей раме или каждый полюс – на отдельной раме;
- по способу управления: с ручным приводом – оперативной штангой, рычажным или штурвальным; с двигательным приводом – электрическим, пневматическим или гидравлическим;
- по наличию или отсутствию заземляющих ножей;
- по способу установки (устанавливаемые на горизонтальной плоскости либо на вертикальной плоскости; как на горизонтальной, так и на вертикальной, а также на наклонной плоскости);
- по длине пути утечки изоляции - категории А или Б по ГОСТ 9920-75 для эксплуатации в районах соответственно с нормальной или загрязнённой атмосферой.

Требования к разъединителям всех конструкций и типов.

Разъединители играют важную роль в схемах электроустановок. От надёжности их работы зависит надёжность работы всей электроустановки, поэтому к ним предъявляются следующие требования:

- создание видимого разрыва электрической цепи в воздухе, электрическая прочность которого соответствует максимальному импульсному напряжению;
- электродинамическая и термическая стойкость при протекании токов КЗ;
- исключение самопроизвольных отключений;
- чёткое включение и отключение при наихудших условиях работы, которые могут иметь место при эксплуатации.
- расположение изоляторов в конструкции разъединителя должно быть таким, чтобы токи утечки проходили в землю, а не между зажимами одного и того же полюса или между полюсами.

Типовое обозначение разъединителей. Тип разъединителя обозначается тремя-четырьмя буквами и через чёрточку набором цифр, иногда вперемешку с буквами. Буква Р означает разъединитель, а последующие буквы: В

– внутренняя установка или вертикальное исполнение (только в типе РНВ-750), Н

– наружная установка, О – однополюсное исполнение, Ф – фигурное исполнение, Д – двухколонковая конструкция, П – подвесное исполнение или рычажная подача для уменьшения момента на валу привода, З – заземляющий нож и Л – линейный контакт.

Разъединитель может изготавливаться без заземляющих ножей или с ними:

- без заземляющих ножей – серии РВ, РВР, РНД;
- с одним заземляющим ножом – серии РВЗ-1а, РВЗ-1б, РНД-1. Символы 1а и 1б относятся только к разъединителям вертикально-поворотного типа серий РВЗ и РВРЗ и показывают, что заземляющий нож устанавливается со стороны осевого контакта (1б) или со стороны разъёмного контакта (1а);
- с двумя заземляющими ножами (РВРЗ-2, РНДЗ-2).

Дробное число, следующее через чёрточку за буквенным обозначением или за цифрой, показывающей число заземляющих ножей, соответствует номинальному напряжению в киловольтах (числитель дроби) и номинальному току в амперах (знаменатель дроби). Буквы Б, У, стоящие в числителе дроби вслед за Уном в некоторых типовых обозначениях, соответствуют: Б – исполнению разъединителя для установки на вертикальной плоскости; У – усиленной изоляции, т.е. изоляции категории Б. Буквы У, ХЛ, УХЛ, Т, стоящие за номинальным током, соответствуют климатическому исполнению специальной конструкции разъединителя, а следующая за ними цифра (1,2,3) – категория размещения.

Условия работы. При подготовке выключателя для ремонта он должен быть отключён и изолирован от смежных частей, находящихся под напряжением, с помощью двух разъединителей $QS1$ и $QS2$. При этом разъединители отключают ёмкостный ток, значение которого определяется напряжением сети и ёмкостью вводов выключателя. Этот ток мал, и на контактах разъединителей не возникают дуговые разряды. После отключения разъединителей выключатель Q , подлежащий ремонту, должен быть заземлён с обеих сторон с помощью дополнительных ножей $QSG1$ и $QSG2$

Переключение присоединений РУ под током с помощью разъединителей производят при обязательном условии наличия параллельных ветвей с малым сопротивлением. Так, например, при наличии двух параллельных ветвей с разъединителями $QS1$ и $QS2$ один из разъединителей может быть безопасно разомкнут под током, если разъединитель второй ветви включен. При отключении разъединителя ток смещается из одной ветви в другую. При этом на контактах дуги не образуются.

Расстояние между разомкнутыми контактами одного и того же полюса разъединителя должно быть несколько большим, чем расстояние между вы-

ступающими частями соседних полюсов, находящимися под напряжением, а также частями разъединителя, находящимся под напряжением, и заземлёнными частями. Лишь в этом случае при возникновении перенапряжения разряд будет происходить между частями, находящимися под напряжением, и заземлёнными частями, а не между разомкнутыми контактами данного полюса. Это необходимо для обеспечения безопасности людей, работающих на линии, но не всегда выполнимо. Так, например, в разъединителях с изоляцией категории Б по ГОСТ 9920-75, предназначенных для установки в районах с загрязнённой атмосферой, высота опорной изоляции выбирается исходя из требования её надёжной работы в условиях загрязнения и увлажнения поверхности изоляторов. Высота такой изоляции может оказаться большей, чем расстояние между разомкнутыми контактами.

Подводящие шины, неподвижные контакты и нож разъединителя образуют контур, в котором при прохождении тока КЗ возникают силы, стремящиеся этот контур выпрямить. Эти силы будут тем больше, чем резче изменение направления тока. Так, в разъединителе силы, стремящиеся выбросить нож из контактов, будут больше, чем в разъединителе так как в первом случае ток (его путь показан стрелками) при прохождении по контуру резко изменяет свое направление, а во втором – не изменяет вовсе. Поэтому ножи однополюсных разъединителей с контуром на управляемые оперативной штангой, должны иметь механические замки, устраняющие самопроизвольное выбрасывание ножей при КЗ. Для разъединителей с управлением посредством привода нет необходимости в замках, так как нож удерживается от самопроизвольного выбрасывания механизмом привода.

Для исключения ошибочных операций с разъединителями подвижные части главных и заземляющих ножей должны быть заблокированы (как правило, механически) так, чтобы при включённых главных ножах невозможно было включение заземляющих, а при включённых заземляющих ножах было невозможно включение главных ножей. Разъединитель может изготавливаться без механической блокировки, если такая блокировка осуществлена в предназначенном ему приводе. Если оперирование главными и заземляющими ножами осуществляется с помощью индивидуальных приводов, то вместо механической блокировки может быть применена электрическая.

Механическая стойкость разъединителя в целом и его отдельных звеньев определяется числом операций, которое он может выдержать без повреждений, препятствующих его дальнейшей исправной работе.

Отечественные разъединители выдерживают без повреждений не менее 2000 операций включений и отключений цепи на номинальное напряжение до 35 кВ включительно и на номинальные токи до 6300 А включительно. Для разъединителей на номинальное напряжение 110 кВ и выше число операций составляет менее 1000. Помимо указанного числа операций, разъединитель должен выдержать ещё не менее 25 включений и 25 отключений соответствующим приводом при наивысшем напряжении на зажимах электродвигательного привода и при наивысшем давлении воздуха, которые гарантируются заводом, при пневматическом приводе.

Контроль за положением ножей разъединителей осуществляется посредством контактов вспомогательной цепи, которые обычно встраиваются в привод. В однополюсных разъединителях, управление которыми осуществляется посредством оперативной штанги, контакты вспомогательной цепи устанавливаются на раме разъединителя и соединяются с ножом изоляционной тягой. Отставание ножей отдельных полюсов друг от друга в разъединителях до 35 кВ с полюсами, размещёнными на общей раме, при включении не должно превышать 3 мм. Для других конструкций разъединителей отставание подвижных контактов при включении не нормируется. На раме (цоколе) разъединителя должен быть отдельный болт заземления диаметром не менее 8 мм для разъединителей внутренней установки и не менее 10 мм – наружной. Вокруг болта предусматривается ровная площадка, размеры которой достаточны для присоединения шины шириной не менее 25 мм. Возле площадки наносится надпись “Земля” или знак заземления.

Практическое занятие №5.

Выбор разъединителей

Разъединители вертикально-поворотного(врубного) типа.

Эти разъединители как внутренней, так и наружной установки получили наиболее широкое применение в системах электроснабжения метрополитена и изготавливаются на напряжение от 3 до 750 кВ. Разъединители внутренней установки до 35 кВ выполняются в следующих вариантах:

- на двух опорах и изоляторах на полюс;
- на одном опорном и одном проходном изоляторе на полюс с вращением ножа на проходном изоляторе;
- на одном опорном и одном проходном изоляторе на полюс с вращением ножа на опорном изоляторе;
- на двух проходных изоляторах на полюс;
- для трёхполюсных переключающих разъединителей - на одном проходном и двух опорных изоляторах на полюс с вращением ножа на проходном изоляторе; для однополюсных переключающих разъединителей – на одном проходном и двух опорных изоляторах с двумя ножами, с вращением ножей – одного на проходном и другого на опорном изоляторе.

Поскольку разъединители не предназначены для разрыва цепей, по которым проходит рабочий, а тем более аварийный ток, они не имеют приспособлений для гашения дуги. Согласно ПУЭ разъединителями с механическим приводом в сетях до 10 кВ допускается отключать и включать токи замыкания на землю до 30 А, уравнивающий ток до 70 А и намагничивающий ток трансформаторов мощностью до 750 кВ А. Однако на метрополитенах, ввиду повышенных требований к бесперебойности электроснабжения, эта возможность используется только в исключительных случаях. Применяемые на мет-

рополитенах разъединители, за исключением единичных случаев, относятся к устройствам, предназначенным для внутренней установки.

Для внутренних установок разъединители могут быть однополюсными (РВО) и трёхполюсными (РВ, РВК, РВРЗ, РВФ).

Разъединители однополюсные серии РВО. В разъединителях на номинальные токи 400-630 А нож поворачивается на угол 100-1100 и в отключённом положении удерживается собственным весом и трением в контактах. Угол поворота фиксируется ограничителем. Поворот ножа осуществляется оперативной штангой, для пальца которой на ноже предусмотрено специальное ушко. В разъединителях серии РВО на 1 кА для уменьшения усилий, необходимых для выдёргивания ножа из неподвижных контактов, имеется промежуточный вал, на котором закреплён рычаг с отверстием для крючка оперативной штанги. В случае надобности к этому рычагу может быть присоединена тяга от привода. Опорные и проходные изоляторы однополюсных разъединителей на 400 и 630 А обычно закрепляются на раме. Однако эти разъединители могут изготавливаться без рамы с креплением изоляторов непосредственно к каркасу или к стене РУ. Разъединители РВО, управляемые оперативной штангой, должны устанавливаться на вертикальной плоскости таким образом, чтобы ось вращения ножа была внизу. Из ручных приводов наибольшее распространение получили ПР.

Выбирают разъединители по номинальному напряжению и току, и проверяют на электродинамическую и термическую устойчивость в режиме КЗ. Технические данные разъединителей приведены в табл.1.

Таблица 1

Технические характеристики разъединителей внутренней установки

Тип разъединителя	Предельный ток электродинамической стойкости, кА	Предельный ток термической стойкости, кА	Масса (без заземляющих ножей), кг
РВО-10/400	41	16	5,9
РВО-10/630	52	20	6,3
РВО-10/1000	100	40	12,5
РВ-6/400	41	16	24
РВ-10/400	41	16	26
РВ-10/630	52	20	28
РВ-10/1000	100	40	42
РВФ-6/400	41	16	35
РВФ-6/630	52	20	33
РВФ-6/1000	100	40	63
РВФ-10/400	41	16	37
РВФ-10/630	52	20	40

РВФ-10/1000	100	40	65
РВФЗ-6/630	52	20	
РВФЗ-6/1000	100	40	44
РВФЗ-10/630	52	20	70
РВФЗ-10/1000	100	40	45
			71
РВР-10/2500	125	45	40
РВР-10/4000	125	45	40

- масса разъединителя с одним заземляющим ножом.

Разъединители трёхполюсные серии РВ (З). Эта серия разъединителей имеет четыре исполнения: без заземляющих ножей (РВ), с одним заземляющим ножом у размыкаемого контакта (РВЗ-1а), с одним заземляющим ножом у осевого контакта (РВЗ-1б) и с двумя заземляющими ножами (РВЗ-2).

Технические данные этих разъединителей приведены в табл.1. Заземляющие и главные ножи механически заблокированы между собой для предотвращения ошибочных операций. Разъединители РВЗ на 6-10кВ имеют заземляющие ножи, закреплённые на валу, который соединяется гибкой связью с рамой. Разъединители для номинальных токов более 1 кА обычно изготавливаются в пополюсном исполнении, т.е. каждый полюс имеет свою раму и соединение отдельных полюсов в трёхполюсный разъединитель производится посредством муфт.

Разъединители внутренней установки на токи до 1 кА изготавливаются обычно с ножом, состоящим из двух параллельных медных пластин. Для разъединителей на большие токи нож выполняется из двух деталей корытообразного профиля, обеспечивающего хорошее использование материала и значительную механическую прочность при малой массе.

Разъединители для секционирования тяговой сети метрополитена, обходные (там, где есть запасная шина 825 В) и разъединители постов переключения управляются с помощью электроприводов. Управление разъединителей на номинальные токи до 2 кА и выше осуществляется ручными рычажными приводами типа ПР1, ручными червячными приводами ПЧ-50 или электродвигательными приводами ПДВ-1УЗ.

Контактная система разъединителей внутренней установки.

Рассмотрим устройство контактной системы разъединителей вертикально-поворотного типа внутренней установки, получившее наиболее широкое распространение вследствие простоты конструкции и надёжности работы. На рис. изображена контактная система разъединителей на номинальные токи до 1 кА, состоящая из двух полюсов 1 и расположенных на некотором расстоя-

нии друг от друга. При токе 200 А одна полоса может быть медной, а другая стальной. При токах 400-1000А обе полосы медные. Неподвижные контакты 3 представляют собой медные шины, согнутые под прямым углом. Одна сторона неподвижного контакта используется для его крепления к колпачку опорного изолятора 9, а также для присоединения к контакту подводящей шины. Другая сторона неподвижного контакта охватывается пластинами ножа. Пластины 1 прижимаются к боковым поверхностям неподвижного контакта пружинами 10, насаженными на стержни 6. На концах стержней имеются кольцевые заточки, в которые входят разрезные шайбы 12, удерживающие колпачки 5, служащие опорами для пружин. Нож может поворачиваться вокруг оси 2, закреплённой в подшипнике 8 на правом неподвижном контакте. Поворот ножа на угол, примерно, 60° осуществляется посредством фарфоровой тяги, соединённой с вилкой 7. Втулка 11, насаженная на стержень 6, ограничивает сближение пластин ножа при отключенном положении разъединителя. При каждом повороте ножа трение, возникающее между его пластинами 1 и неподвижными контактами 3, способствует удалению окислов с контактных поверхностей.

При прохождении тока КЗ через контактную систему будет происходить: увеличение контактного нажатия вследствие взаимодействия токов, проходящих по пластинам ножа (пластины будут притягиваться друг к другу); уменьшение контактного нажатия вследствие отталкивания пластин ножа от неподвижных контактов под действием электродинамических сил сужения в месте касания контактов.

При больших токах КЗ электродинамические силы сужения могут превысить силу притяжения пластин ножа друг к другу и силу контактных пружин, и, следовательно, может произойти отброс пластин ножа от неподвижного контакта, что приведёт к аварии. Поэтому, в большинстве случаев, в конструкцию системы разъединителя вводятся магнитные замки, которые повышают контактное нажатие при прохождении токов КЗ, а тем самым и электродинамическую стойкость разъединителя.

Магнитный замок клещевого типа, применённый в рассматриваемой системе, состоит из двух стальных пластин 4, расположенных снаружи пластин ножа 1. С левой стороны пластины 4 имеют прорезы, которые входят в проточки на осях 2, а с правого конца стягиваются пружинами 10. Пружины, стремясь разжаться, нажимают на пластины 4. При этом выступы пластин 4 прижимают пластины ножа к неподвижному контакту 3.

Магнитный поток, создаваемый током, проходящим по пластинам, будет замыкаться через пластины 4 и воздушный промежуток между ними. Силовые линии этого потока будут стремиться уменьшить свою длину и, следовательно, сблизить между собой пластины 4, которые, в свою очередь, прижмут пластины ножа к неподвижному контакту.

Рассмотренная конструкция контактной системы очень проста и технологична. Однако для обеспечения одного и того же контактного нажатия тре-

буется точное изготовление пружин и их тарировка. Возможны и другие способы крепления пружин в контактах, позволяющие регулировать контактное нажатие при сборке разъединителя.

В некоторых конструкциях контактных систем шина, образующая неподвижный контакт, изогнута не поперёк оси, а вдоль неё на 90° и применение ножа коробчатого профиля вместо пластин прямоугольного сечения позволило увеличить номинальный ток до 2 кА. В контактных системах разъединителей на номинальные токи от 4 кА до 8 кА применяют два ножа, расположенные один над другим. В остальном их конструкция аналогична рассмотренной выше. Для разъединителей на номинальные токи более 8 кА целесообразно применение коробчатых (или близких к ним) профилей, но составленных из нескольких параллельных элементов.

Выбор разъединителей. Разъединители – самые распространённые аппараты РУ высокого напряжения (число разъединителей в 2,5-4 раза больше, чем выключателей). Поэтому важными их характеристиками являются: занимаемая площадь и объём, простота обслуживания, удобство проведения ремонтных и монтажных работ. Разъединители должны обладать высокой надёжностью, поскольку число их операций в течение года эксплуатации может достигать нескольких сотен и более в зависимости от схемы соединения РУ, а их повреждение может привести к серьёзным авариям и нарушению схемы электроснабжения.

Отключение разъединителем необесточенного участка цепи недопустимо, так как открытая электрическая дуга между размыкаемыми контактами может

достигнуть очень больших размеров и даже при отключении незначительных токов перекинуться на соседние фазы и заземлённые конструкции, что приведёт к возникновению двух- и трёхфазных КЗ. В замкнутом положении через контактную систему разъединителя длительно протекает рабочий ток и кратковременно – токи КЗ. Разъединители ОРУ должны надёжно работать в неблагоприятных атмосферных условиях. Их конструкция тесно связана с компоновкой РУ, главной схемой электрических соединений, конструктивным исполнением: выключателей, трансформаторов тока и напряжения, защитных и других аппаратов. Поэтому не может быть универсальной конструкции разъединителя, которую можно применять во всех случаях. Этим объясняется большое разнообразие конструкций разъединителей высокого напряжения.

Для обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации разъединителей следует стремиться к применению разъединителей преимущественно трёхполюсного типа. Чтобы исключить ошибочные действия с разъединителями, устанавливают блокировки (механические, электрические), которые разрешают оперировать с разъединителями только в том случае, если связанный с ними выключатель отключен.

Условия выбора и проверки разъединителей сведены в табл.2.

Таблица 2. Условия выбора и проверки разъединителей

Расчётные параметры цепи	Каталожные данные разъединителя	Условия выбора
$U_{\text{сетином.}}$	$U_{\text{ном.}}$	$U_{\text{ном.}} \geq U_{\text{сетином.}}$
$I_{\text{норм.расч.}}$	$I_{\text{ном.}}$	$I_{\text{ном.}} \geq I_{\text{норм.расч.}}$
$I_{\text{прод.расч.}}$	$I_{\text{раб.наиб.}}$	$KП I_{\text{ном}} \geq I_{\text{прод.расч.}} = I_{\text{раб.наиб.}}$
i_y	$i_{\text{дин.}}$	$i_{\text{дин.}} \geq i_y$
BK	2	2
	$ITtT$	$ITtT \geq BK$

17

Втабл.2 $KП$ - нормированный коэффициент возможной перегрузки

электрического аппарата (проводника) при данном продолжительном режиме его работы.

Выбор разъединителей производится также по роду установки и конструктивному исполнению (однополюсный, трёхполюсный). Разъединители выбирают по тем же условиям и формулам, что и выключатели. Отличие состоит только в том, что их не проверяют по предельно отключаемому току и мощности, так как ими не предусматривается отключение цепей КЗ.

Практическое занятие №6.

Выбор приводов выключателей и разъединителей

Включение, отключение и заземление отдельных участков высоковольтной электрической сети производится соответствующим коммутационным аппаратом. Оперирование этими аппаратами и их безопасное обслуживание невозможны без надёжного привода, обеспечивающего безотказное выполнение операций включения и отключения выключателей и разъединителей вручную и автоматически.

Привод – специальное устройство, создающее необходимое усилие для производства перечисленных операций. В зависимости от назначения и конструктивного выполнения коммутационного аппарата приводы разделяют на две группы: приводы одностороннего действия, осуществляющие либо только включение аппарата, либо только его отключение; приводы двухстороннего действия, осуществляющие как включение аппарата, так и его отключение.

Классификация. В зависимости от источника энергии, затрачиваемой на включение и отключение, приводы подразделяются на:

- ручные, приводимые в действие мускульной силой человека – оператора;

- двигательные, приводимые в действие энергией внешнего источника непосредственно или с предварительным преобразованием её в другие

виды энергии, например, электрической энергии в энергию сжатого воздуха.

В свою очередь, двигательные приводы по принципу действия подразделяются на:

- электрические (электромагнитные и электродвигательные), приводимые в действие электрической энергией;
- пневматические, приводимые в действие энергией предварительно сжатого воздуха;
- пнеumoгидравлические, приводимые в действие жидкостью, находящейся под большим давлением, создаваемым сжатым воздухом;
- пружинные, приводимые в действие энергией, запасённой в пружине при её предварительном заводе;
- грузовые, приводимые в действие энергией, запасённой грузом при его предварительном подъёме;
- пиротехнические (пироприводы), приводимые в действие энергией, которая образуется при взрыве патрона со взрывчатым веществом.

По способу подведения энергии приводы разделяются на:

- приводы зависимого (прямого) действия, у которых энергия, необходимая для оперирования аппаратом, сообщается приводу только в продолжении самой операции;
- приводы независимого (косвенного) действия, у которых энергия, необходимая для оперирования аппаратом, предварительно запасается, а потом уже передаётся приводу и расходуется им на совершение той или иной операции.

Приводы зависимого действия для выключателя потребляют большие мощности, так как его включение происходит в течение $0,1 \dots 1,0$ с, а для разъединителя - небольшие мощности (продолжительность операций находится в пределах от нескольких секунд до нескольких десятков секунд). К приводам прямого действия относятся ручные и электромагнитные приводы, а также некоторые типы электродвигательных приводов. Двигательные приводы прямого действия в настоящее время не выпускаются и не применяются. Однако на некоторых старых электроустановках их ещё можно встретить.

Приводы косвенного действия: пневматические, пневмогидравлические, пружинные и грузовые, а также некоторые типы электродвигательных приводов к выключателям запасают энергию для оперирования коммутационных аппаратов непосредственно перед началом операции либо заранее. Запасание энергии происходит в течение сравнительно большого промежутка времени (5-10с и даже до 1 мин) и следовательно, источник энергии, питающий привод, может быть маломощным. Это основное преимущество привода независимого действия. Недостатком привода независимого действия является

ся значительная длительность оперирования, равная времени включения (отключения) аппарата и времени, необходимого для запасания энергии. В тех случаях, когда привод независимого действия предназначен для выключателя, а последний должен работать в цикле быстродействующего поворотного включения, такой привод может оказаться непригодным для этой цели.

По конструктивной связи с коммутационным аппаратом приводы разделяются на:

- выносные (отдельные), представляющие собой самостоятельные механизмы, соединённые с аппаратом непосредственно или через промежуточные звенья;
- встроенные, представляющие неотъемлемую часть общего механизма аппарата.

По роду установки различают приводы внутренней и наружной установки. Они имеют одинаковую конструкцию, но в последнем случае собственно привод (если он не встроенный) устанавливается внутри шкафа, защищающего привод от непосредственного попадания влаги, где размещаются также контактор, сигнальные лампы, клеммы и, в случае надобности, подогревательное устройство.

По способу включения и отключения приводы подразделяются на:

- неавтоматические (ручные), осуществляющие оперативное включение и отключение аппарата только посредством мускульной силы человека-оператора;
- полуавтоматические, осуществляющие оперативное включение аппарата только посредством мускульной силы человека-оператора, а оперативное отключение, как дистанционно от реле (ключа), так и вручную, либо наоборот;
- автоматические, осуществляющие оперативное включение и отключение аппарата дистанционно от реле (ключа). Отключение может осуществляться и вручную.

По виду аппарата, для которого они предназначены, различают приводы к выключателям, разъединителям, отделителям, короткозамыкателям, заземлителям, специальным аппаратам (включающие аппараты и др.).

Основные элементы привода. Основными элементами привода являются:

- силовое устройство, служащее для преобразования подведённой к приводу энергии в механическую, изменяющую оперативное положение коммутационного аппарата. В ручных приводах силовым устройством служит рычаг (маховик), на который воздействует рука оператора, а в двигательных приводах – электромагнит, электродвигатель и т.д.;
- операционный и передаточный механизмы, служащие для передачи движения от силового устройства к механизму аппарата и для удержания последнего в требуемом положении (включённом, отключённом или в обоих положениях). Операционный механизм составляют также запирающий механизм и меха-

низм управления контактами, коммутирующими вспомогательные цепи низкого напряжения (КВЦ). В

операционном механизме привода для выключателя во многих случаях имеется ещё и механизм свободного расцепителя. Передаточный механизм приводов подвержен воздействию статических и динамических нагрузок, которые могут достигать весьма больших значений, особенно в аппаратах на сверхвысокие напряжения или на большие номинальные токи;

- запирающий (фиксирующий) механизм служит для надёжного удержания передаточного механизма подвижных частей аппарата в одном каком-либо положении (включенном, отключенном) или в обоих положениях. Этот механизм соединяет одно из звеньев передаточного механизма с каким-либо неподвижным звеном, либо с корпусом операционного механизма;
- механизм управления контактами КВЦ обеспечивает размыкание цепей управления и сигнализации в соответствии с требованиями, изложенными ниже;
- отключающее устройство.

Механизм свободного расцепления усложняет конструкцию привода и уменьшает его к.п.д. Исключение изГОСТ 687-78- требования о необходимости иметь в приводах для выключателей свободное расцепление. При выполнении операции включения это позволяет во многих случаях упростить конструкцию вновь разрабатываемых приводов.

Общие требования к приводам. Привод снабжается хорошо видимым механическим указателем включенного и отключенного положения коммутационного аппарата и соответствующими надписями (ВКЛ и ОТКЛ, В и О), причём, в рычажных приводах указателем может служить сама рукоятка. Отступление от этого требования допускается для привода, встроенного в выключатель, а также для привода, расположенного в непосредственной близости от выключателя и не отделённого от последнего сплошным непрозрачным ограждением (стенкой). В этом случае привод может не иметь указателя положения, если последний имеется на выключателе.

Пружинный привод должен иметь механические указатели положения аппарата “ВКЛ” или “ОТКЛ” и указатель полностью заведённого положения пружины.

Привод для разъединителя, имеющего заземляющие ножи, кроме механического указателя положения главных ножей, должен иметь механический указатель включённого и отключённого положения заземляющих ножей.

В ручных и пружинных приводах для выключателей должна быть предусмотрена установка механических блок-замков для блокировки их с приводами разъединителей. Это требование не относится к приводам, предназначенным для установки в комплектных распределительных устройствах (КРУ), так как там применяется особая механическая блокировка между приводами выключателей и разъединителей.

В приводах для выключателей на напряжение до 35 кВ включительно, кроме пружинных приводов с заводом пружины на одну операцию включения, должна быть обеспечена блокировка против повторения операции включения и отключения выключателя, даже если команда на включение продолжает оставаться поданной после автоматического включения выключателя.

Конструкция привода выключателя (помимо операций “ВКЛ” и “ОТКЛ”,

а также циклов операций при действии автоматики и по команде со щита управления) должна предусматривать:

- “местное” оперативное и неоперативное отключение путём ручного воздействия на элемент механизма (рычаг, кнопка и пр.);
- “местное” неоперативное включение путём ручного воздействия на элемент механизма, использования домкрата (рычага). Эти требования не распространяются на приводы к газовым выключателям.

Привод разъединителя должен обеспечивать надёжное фиксирование разъединителя в крайних положениях при тяжении присоединительных приводов и давлении ветра в пределах, предусмотренных ГОСТ 689-69, а также не допускать самопроизвольного размыкания контактов как главных, так и заземляющих ножей под действием электродинамических сил, возникающих при прохождении тока КЗ.

В ручном приводе для разъединителей конечные положения механизма как главных, так и заземляющих ножей должны фиксироваться упорами. В конечных положениях приводов должно быть предусмотрено запираение механизма замком.

Ко всем системам приводов масляных и вакуумных выключателей предъявляются требования надёжной работы запирающего механизма, удерживающего выключатель во включенном положении, и наличия механизма свободного расцепления, разобщающего силовое устройство с передаточным механизмом для последующего отключения выключателя в любой момент времени независимо от того, продолжает или прекратила действовать сила на включение. Необходимость механизма свободного расцепления связана также с требованием немедленного отключения выключателя действием релейной защиты в случае включения его на неустранённое КЗ.

Пневматические и гидравлические приводы должны работать надёжно при отключениях давления рабочей среды перед управляющим клапаном от нормального в пределах от +10 до -10%; двигательные приводы прямого действия должны надёжно работать при отклонениях напряжения на зажимах двигателя от номинального в пределах от +10 до -20%; инерционные двигательные приводы должны надёжно запасать энергию в накопителе энергии (маховике) при отклонениях напряжения на зажимах двигателя в пределах от +10 до -20%; электромагнитные приводы прямого действия должны надёжно работать при отклонениях на их зажимах в пределах от +10 до -20%. У всех приводов при недопустимом понижении или даже полном исчезновении дав-

ления или напряжения подвижные элементы не должны оставаться в промежуточном положении.

Некоторые дополнительные требования к различным типам приводов приведены в ГОСТ687-78, ГОСТ690-68, ГОСТ12.2.007.3-75, ГОСТ15150-69, ГОСТ15543-70, ГОСТ14892-69 и ГОСТ17412-72.

Типовое обозначение приводов. В условных обозначениях электромагнитных приводов буквы означают: Ш - помещённый в шкаф, П – привод, Э – электромагнитный. В условном обозначении пружинных приводов буквы означают: П – привод, вторая П – пружинный, М – моторный.

Обозначение привода разъединителя высокого напряжения ПДН-1У1, предназначенного для управления главными и заземляющими ножами разъединителей наружной установки, расшифровывается так: П – привод; Д – двигательный; Н – наружной установки, 1 – модификация; У – климатическое исполнение, 1 – категория размещения. В обозначении привода ПРНЗ-2-10У1 буквы и цифры означают: П – привод, Р – ручной, Н – наружной установки, 3 – с заземляющими ножами, 2 – число ножей заземления, 10 – класс напряжения разъединителя управляемого привода, кВ, У – климатическое исполнение, 1 – категория размещения.

Обозначение привода, например, ПРО (ПРК), ПЧ, расшифровывается так: П – привод, Р – ручной: О – для отделителей, К – для короткозамыкателей, Ч – червячный.

Пневматический привод, встроенный для типа ПВ-30 применяется для выключателей, а типа ПВ-20- для разъединителей. Пневмогидравлические приводы, используемые в выключателях, обозначаются ППГ.

Для оперирования выключателями в энергосистемах применяются полуавтоматические приводы типа ПРБА, что расшифровывается так: П – привод, Р – рычажный, Б – бленкерный, А – автоматический.

Для закрытых распределительных устройств 6-10кВ промышленностью выпускаются различные типы приводов:

- ручные: рычажные – ПР-2, ПР-3, ПР-10, ПР-11; червячные – ПЧ-50; автоматические - ПРА и ПРБА, ПМ-10 и КАМ;
- грузовые – ПГ-10, ПГМ, УГП и пружинно-грузовые УПП, ППМ-10, АПВГ;
- пружинные - ПП-61, ПП-67, ППВ-10 и пружинные, встроенные в выключатели, ВМП-10П, ВМПП-10;
- электромагнитные - ПС-10, ПЭ-11и ПЭ-21, ПЭ-31 и электромагнитные, встроенные в выключатели ПЭВ-11А, ПЭГ-7 и др.;
- электродвигательные –ПД-2, ПД-3, ПДВ-1;
- пневматические - ПВ-20.

Рассмотрим устройство и принцип действия некоторых приводов, выпускаемых в настоящее время и получивших наибольшее распространение в коммутационной аппаратуре тяговых подстанций метрополитена.

Ручные приводы. Для управления однополюсными разъединителями внутренней установки напряжением до 35 кВ применяется оперативная штанга, представляющая собой составную гетинаксовую трубу с наружным диаметром 30-35 мм длиной от 1,5 до 2,7 м. Штанга состоит из двух гетинаксовых труб 3 и 6, соединённых между собой стальной муфтой 4. Муфта с прессовой посадкой надета на концы труб и завальцована. На трубе 6 закреплён упор 5, отделяющий рабочую часть штанги от рукоятки. На левый конец трубы 3 надета стальная обойма 2 с прессовой посадкой. Наконечник 1 запрессован внутри трубы и скреплён с ней и с обоймой 2 штифтом. В правый конец трубы 6 запрессован наконечник 7. Наконечник 1 вставляется при включении или отключении разъединителя в отверстие на его ноже или в отверстие рычага на его валу.

Ручные приводы подразделяются на рычажные, штурвальные и приводы с червячной передачей. Операции “ВКЛ” и “ОТКЛ” производятся поворотом рычага (рукоятки) или штурвала согласно направлению, принятому в ГОСТ 690-69.

Ручные рычажные приводы для внутренних установок изготавливаются с рукояткой длиной 200, 250, 350 и 425 мм, а штурвальные – со штурвалами диаметром 320 и 500 мм. Статическое усилие на рукоятке ручного привода при оперировании главными ножами разъединителя не должно превышать 245 Н. В штурвальных приводах и приводах, снабжённых двуплечей рукояткой, указанное статическое усилие относится к оперированию одной рукой. На рукоятке оно может быть несколько превышено в момент трогания механизмов, входа ножа разъединителя в контакты и выхода из контакта, когда допускается оперирование приводом толчком (толчками).

Для управления разъединителями типа РВ применяются рычажные системы с ручным или моторным приводом. В схеме ручного рычажного привода вал разъединителя имеет угол поворота 90°. Рычаг привода имеет угол 150°. Чтобы избежать отключения электродинамических сил, в включённом положении механизм находится в положении, близком к мёртвому (шатун 1 и короткий рычаг 2 шарнира 0 располагаются почти на прямой). Кроме того, включающий рычаг 3 фиксируется в отключённом и включённом положениях с помощью специальных стопоров. При токах более 3 кА рычаг 3 заменяется червячной передачей, что позволяет увеличить действующую на шину силу.

Для управления трёхполюсными разъединителями внутренней установки на 6-10 кВ до 1 кА применяются ручные приводы типа ПР-2. Для управления главными ножами разъединителей внутренней установки на напряжение 10 кВ и ток 2 кА и на 20-35 кВ и токи от 0,630 до 2 кА включительно, служит привод ПР-3, отличающийся от ПР-2 только длиной рукоятки (425 мм против 250 мм). Для управления разъединителями внутренней установки на токи 4-8 кА применяется привод ПЧ-50.

Ручной привод прямого действия допускается устанавливать для выключателей с отключаемой мощностью не более 200 МВ А и максимальным выключаемым током не более 10 кА. Ручной привод применяется для выключателей нагрузки (ВН-16, ВНП-16, ВНП-17, ВНР) у разъединителей всех напряжений, а для выключателей – только на напряжения до 35 кВ. Для выключателей с номинальным напряжением 35 кВ ручные приводы по большей части служат в качестве аварийного резерва к основному автоматическому приводу.

Для управления выключателями нагрузки вручную пользуются приводами серии ПР. Для дистанционного и автоматического отключения выключателя применяют полуавтоматические приводы серии ПРА и ПРБА. Эти приводы имеют механизмы свободного расцепления и отключающие электромагнитные элементы.

Включение выключателя с приводом ПРА и ПРБА производится вручную. Дистанционное включение выключателей возможно с помощью пружинных, электромагнитных и электродвигательных приводов.

Ручные приводы имеют простую и надёжную конструкцию, удобны в эксплуатации, но нашли ограниченное применение. Главным и существенным недостатком является невозможность включения с их помощью выключателей дистанционно и автоматически.

Электродвигательные приводы для разъединителей.

Электродвигательные приводы изготавливаются на номинальные напряжения: 110 и 220 В постоянного тока и 127, 220 и 380 В переменного тока. При этом номинальные напряжения электродвигателя и цепи управления могут отличаться друг от друга по роду тока, а также по номинальному напряжению. Работа электродвигательных приводов должна обеспечиваться при изменении напряжения на их зажимах во время операции в пределах от 85 до 110% номинального напряжения.

Для управления подвесными разъединителями, имеющими тросовую систему управления, применяется электродвигательный привод ПД-2У1. Привод обеспечивает выбор троса путём наматывания его на барабан при отключении и отдаёт трос с барабана при обратном ходе на включении. Привод ПД-2У1 рассчитан на грузоподъёмность 24,5 кН и максимальный момент 8 кН м. Частота вращения барабана 5,25 об/мин. Число оборотов барабана не превышает 16. Масса привода 880 кг.

Привод ПД-3У1 применяется для управления телескопическим разъединителем РТЗ-1150/4000-У1. Привод имеет вертикальный вал, обеспечивающий несколько оборотов за одну операцию, и состоит из исполнительного блока, рассчитанного на потолочное крепление к кронштейну рамы разъединителя, и блока управления, соединяемого с исполнительным блоком посредством кабеля. Исполнительный блок имеет 4 варианта по передаточному отношению и обеспечивает максимальный допустимый момент

на валу 1080, 1570, 1960 и 2450 Н м. Угол поворота выходного вала регулируется в пределах от 0,6 до 10,5 оборота. Предусмотрено ручное оперирование. Масса привода 350 кг. Электрическая схема привода аналогична схеме ПДН-1У1.

Для управления разъединителями сети 825 В применяют электродвигательный привод ПДВ-1У3. Привод состоит из двух блоков: исполнительного и блока управления. Оба блока устанавливаются на вертикальной плоскости и соединяются между собой кабелем.

Исполнительный блок состоит из двухступенчатого червячного редуктора 10, размещённого в металлическом корпусе, электродвигателя 9, механизма 8 для переключения с ручного управления на электродвигательное (илинаоборот) и кожуха 7, в котором расположены контакты КВЦ, имеющие 12 свободных цепей, и устройство для их переключения. На соединительном валу между редуктором и кожухом установлены указателем крайнего положения “ВКЛ” и “ОТКЛ”.

На корпусе механизма 8 предусмотрены отверстия для крепления блокзамков типа ЗБ-1, или электромагнитной блокировки, или механической ключевой блокировки. В случае применения электромагнитных замков типа ЭМБ его питающая розетка крепится на кронштейне внутри кожуха 7, при этом доступ ключа электромагнитной блокировки к розетке осуществляется через окно 6, закрываемое вращающейся крышкой. На кожухе 7 установлены две кабельные муфты 12 и заземляющий болт 5. Ручное оперирование приводом осуществляется рукояткой 3. На фланге выходного вала редуктора установлен рычаг 4, обеспечивающий ступенчатую регулировку угла начального положения для более удобного соединения с механизмом разъединителя. Фланец выходного вала и корпус редуктора снабжены механическими упорами, ограничивающими поворот выходного вала.

Привод обеспечивает угол поворота выходного вала 1800, максимальный момент на выходном валу 1220 Н м, время совершения одной операции от электродвигателя не превышает 20 с. Масса привода составляет 138 кг.

Принципы построения различных типов приводов, их конструкции в целом и их основных элементов, методика расчёта некоторых из них, а также основные технические данные и характеристики приведены в технической и учебной литературе [1-5].

Электромагнитные приводы – приводы прямого действия. Энергия для включения потребляется непосредственно от источника большой мощности постоянного тока. Электромагнитные приводы предназначены для дистанционного и автоматического включения и отключения выключателей на электрических станциях и подстанциях.

Положительными качествами электромагнитных приводов являются: простота конструкции, высокая надёжность, быстрота срабатывания, соответствие тяговых характеристик привода характеристике противодействующих сил выключателя, невысокая стоимость. Ручное включение привода допускается для регулирования привода и выключателя только при монтаже

или ремонте. Оперативное включение выключателя электромагнитными приводами вручную не допускается. К недостаткам электромагнитных приводов следует отнести: необходимость иметь мощный источник постоянного тока с малым внутренним сопротивлением, пригодность их для работы только с выключателями небольшой мощности.

Электромагнитные приводы могут работать и на переменном оперативном токе. Для этого в цепи питания обмоток электромагнитов включают выпрямительное устройство или меняют конструкцию сердечника и магнитопровода, делая их шихтованными из пластин электротехнической стали. Для надёжной работы электромагнитных приводов переменного тока необходимо иметь двух или многостороннее питание РУ, что позволяет запитать привод от различных вводов. Для уменьшения габаритов электромагнитов как постоянного, так и переменного тока, в обмотках берётся высокая плотность тока (до 50 А/мм²). Чтобы избежать перегрева обмоток электромагнитов, их автоматически отключают в конце операций включения и отключения.

Для управления приводом требуется источник постоянного тока напряжением 110 В при токе включающего электромагнита 120 А, а при напряжении 220 В – 60 А. Для отключающего электромагнита при напряжении 110 В ток будет 2,5 А, а при 220 В – 1,25 А.

Электромагнитные приводы относятся к приводам медленного действия. В последние годы в связи с повышением требований к быстродействию и уменьшению потребления электроэнергии они вытесняются более современными пневматическими приводами.

Пружинный привод широко применяется в РУ до 220 кВ для дистанционного и автоматического управления выключателями. В пружинном приводе энергия, необходимая для включения, запасается в мощной пружине, которая заводится вручную или с помощью двигателей малой мощности (менее

1 кВт).

Особенностью тяговой характеристики такого привода является уменьшение усилий, развиваемых им к концу включения вследствие уменьшения деформации включающих пружин. Для уменьшения этого недостатка с пружиной через специальную муфту связывается маховик, который поглощает избыточную энергию включающих пружин в начале хода включения. Энергия, накопленная маховиком, отдаётся им механизму выключателя в конце хода, когда силы, противодействующие включению, значительно возрастают (контактные, буферные пружины сжимаются, а отключающие пружины развивают наибольшие усилия).

Пружинные приводы позволяют осуществлять цикл АПВ. В этом случае после операции включения необходимо завести включающую пружину,

т.е. привод подготавливается для повторного включения. Время включения пружинных приводов с выключателями составляет 0,2...0,35 с.

Перспективными являются пружинные приводы, использующие для работы специальную пружину, которая осуществляет как включение, так и отключение выключателя. Пружина имеет малую жёсткость, что позволяет производить до пяти включений и отключений безеёподзавода. Приводы со спиральными пружинами можно выполнять встроенными. Встроенный пружинный привод упрощает конструкцию и монтаж аппаратов высокого напряжения, уменьшает его габариты и массу. В настоящее время такие приводы широко используются для оперирования выключателями на напряжение 10-35кВ, встраиваемыми в КРУ.

Преимущество пружинных приводов заключается в том, что для их работы не требуется мощных источников постоянного тока, резервуаров со сжатым газом. Они имеют несложную конструкцию, просты в управлении. Недостаток – возможность применения только для выключателей относительно небольшой мощности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев В.Л., Гаранин М.А. Методическое руководство к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 190401 - Электроснабжение железных дорог. - Самара.: СамГУПС, 2009. - 37 с.
2. Силовое оборудование тяговых подстанций железных дорог. ОАО РЖД . – М.: «Транспорт», 2004 г. – 384 с.
3. Бей Ю.М., Мамошин Р.Р., Пупынин В.Н., Шалимов М.Г. Тяговые подстанции/ Учебник для вузов железнодорожного транспорта.– М.: Транспорт, 1986.– 319 с.
4. Правила устройства системы тягового электроснабжения железных дорог Российской Федерации.– М.: МПС РФ, 1997.– 78 с.
5. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. Дополненное с исправлениями. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2000, - 608 с.
6. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.– М.: Энергоатомиздат, 1987.– 648 с.
7. Справочник по электроснабжению железных дорог.Т.2./ Под ред. К.Г. Марквардта.– М.: Транспорт, 1981.– 392 с.
8. Барковский Б.С., Магай Г.С., Маценко В.П. и др./Под ред. Шалимова. Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций.– М.: Транспорт, 1979.– 127 с.
9. Пакулин А.Г. Уменьшение потерь и повышение качества электрической энергии в системе тягового электроснабжения: Учебное пособие. – Самара: СамИИТ, 1991.– 59 с.
10. Почаевец А.Г. Электрические подстанции: Учеб.для техникумов и колледжей ж.д. транспорта.- М.: Желдориздат, 2001.-512 с.

11. Инструкция по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах, – М.: Транспорт, 1985, - 48 с.
12. Маньков В.Д., Забраничный С.Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник. СПб.: Политехника, 2005. – 400с.