Охрана труда. Безопасность эксплуатации силовых трансформаторов класса напряжения 110/35 кВ

1. Анализ опасных и вредных факторов при эксплуатации силовых трансформаторов класса напряжения 110/35 кВ

1.1 Анализ опасных факторов

Наличие напряжения является основным опасным фактором при эксплуатации силовых трансформаторов, так как существует опасность включения человека в электрическую цепь и поражения током.

Поражение человека электрическим током возможно в следующих случаях:

- прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям под напряжением без изоляции или с повреждённой изоляцией;

- прикосновение к корпусу силового трансформатора, который оказался под напряжением вследствие нарушения изоляции;

- попадание под шаговое напряжение при нахождении в зоне растекания тока замыкания на землю.

Рассматриваемый опасный фактор оценивается током, протекающим через человека. Расчётные значения токов, протекающих через человека в шести случаях включения в электрическую цепь поданы в табл. 1.

При проведении профилактических осмотров и ремонтов, а также во время текущей эксплуатации силового трансформатора (проверка уровня трансформаторного масла, его замена, протирка изоляторов, покраска) возникает опасность, связанная с нахождением работников на высоте (возможность травматизма при падении). Высота силовых трансформаторов класса напряжения 110 кВ составляет 5-7 м.

##### Таблица 1

Расчетные значения токов, протекающих через человека при различных видах включения в электрическую цепь в сети напряжением 110 кВ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид включения в электрическую цепь | Схема включения в электрическую цепь | Расчетная величина тока, протекающего через человека | | | |
| Однофазное прикосновение к сети |  | Iч | = | Uф | = |
| Rч + Rэл.д + Rо |
| = | 110 | | =21,2(А) |
| √3·(1000+2000+0,5) | |
| Попадание под напряжение прикосновения |  | Iч | = | Iз· Rз·α1 | = |
| Rч |
| = | 5200·0,5·0,3 | | =0,78(А) |
| 1000 | |
| Попадание под напряжение шага |  | Iч | = | Iз· Rз·β1 | = |
| Rч |
| = | 5200·0,5·0,15 | | =0,39(А) |
| 1000 | |
| Однофазное прикосновение в нормальном режиме |  | При UЛ=35 кВ | | | |
| Однофазное прикосновение при аварийном режиме |  | При Uл=35 кВ: | | | |
| Двухфазное прикосновение |  | При Uл=35 кВ: | | | |

Примечания к табл. 1:

Uф = (110·√3) В – фазное напряжение сети;

Rч = 1000 Ом – сопротивление тела человека;

Rэл.д = 2000 Ом – сопротивление электрической дуги;

Rз = 0,5 Ом – сопротивление заземляющего устройства;

Iз = 5200 А – ток замыкания на землю;

α1 – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий расстояние человека к месту замыкания на землю и форму потенциальной кривой;

β1 – коэффициент напряжения шага, учитывающий расстояние человека к месту замыкания на землю и форму потенциальной кривой.

Электрическая дуга представляет собой разряд с большой плотностью тока. Опасность электрической дуги заключается в том, что с помощью нее человек может включаться в электрическую цепь дистанционно, не прикасаясь к токоведущим частям. При этом столб дуги имеет очень высокую температуру, что вызывает травмы при поражении дугой.

1.2 Анализ вредных факторов

Одним из вредных факторов при эксплуатации силовых трансформа- торов класса напряжения 110/35 кВ является повышенный шум, который вызывается неплотным стягиванием пакетов стальных сердечников.

При длительной работе на открытом воздухе в холодный период года в условиях охлаждающих факторов окружающей среды: низкой температуры воздуха, большой скорости движения воздуха и его повышенной влажности может наступить переохлаждение организма и существует риск развития различных простудных заболеваний.

Анализируя опасные и вредные факторы во время эксплуатации силового трансформатора можно сделать следующие вывод, что наибольшей опасностью для человека является поражение электрическим током. Сила и последствия такого поражения зависят от многих факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, режим ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также емкости токоведущих частей от земли. Таким образом, наиболее опасными является приближение (прикосновение) человека к сети напряжением 110 кВ. В сети напряжением 35 кВ опасность человека, который дотронулся к одному из фазных проводов при нормальном режиме работы сети, зависит от сопротивления проводов относительно земли: с увеличением сопротивления опасность уменьшается. При однофазном прикосновении к неповрежденной фазе в аварийном режиме напряжение прикосновения будет значительно больше фазного и несколько меньше линейного напряжения сети. Следовательно, это прикосновение во много раз опаснее, чем прикосновение к этой же фазе в нормальном режиме. Вместе с тем, очень опасным является двуфазное прикосновение, потому что к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение - линейное, а ток, что проходит через человека, имеет наибольшее значение. Поэтому указанная опасность неоднозначна: в одном случае включение человека в электрическую цепь будет сопровождаться прохождением через него малого тока, а в другом – токи могут достигнуть больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

опасный вредный трансформатор напряжение

2. Профилактические меры по нормализации условий труда при работе с силовыми трансформаторами класса напряжения 110/35 кВ

2.1 Защитные меры от поражения электрическим током

Первой защитной мерой является контроль изоляции. Объем

измерений и испытаний изоляции силовых трансформаторов класса напряжения 110/35 кВ во время приемо-сдаточных испытаний и в период текущей эксплуатации включает: измерение сопротивления изоляции R60, определение коэффициента абсорбции R60/ R15, измерение тангенса угла диэлектрических потерь tg δ [1.8.16, Л5].

Оценка результатов измерения R60 и tg δ изоляции выполняется путем приведения измеренных после монтажа значений при конкретной температуре до значений при температуре заводских испытаний (после изготовления).

Условия проведения и нормы измерений изоляции силовых трансформаторов класса напряжения 110 кВ поданы в табл. 2.

Отдельно должны испытываться другие элементы трансформатора (масло, вводы).

##### Таблица 2

Нормы приемо-сдаточных испытаний изоляции силовых трансформаторов класса напряжения 110 кВ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование измерения | Условия проведения | Нормы измерения |
| 1. Измерение сопротивления изоляции R60, Ом | Мегаомметром 2500 В при температуре 10-30 ˚С | Приведенное значение R60 изоляции должно быть не меньше 50% значения, указанного в паспорте трансформатора |
| 2. Измерение коэффициента абсорбции R60/ R15 | Мегаомметром 2500 В при температуре 10-30 ˚С | ≥ 1,3 |
| 3. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь tg δ | Мостом переменного тока при температуре 10-30ْ С | Приведенное значение tg δ изоляции должно быть не больше 150% паспортного значения силового трансформатора |

Недоступность токоведущих частей открыто установленного силового трансформатора предусматривает наличие сетчатых или смешанных ограждений высотой 2 или 1,6 м над уровнем планировки. Высота над уровнем пола ограждения для трансформаторов, установленных внутри здания – 1,9 м. Сетки должны иметь отверстия размером не менее 10Х10 мм и не более 25x25 мм, а также приспособления для запирания их на замок.

Методы ориентации в силовых трансформаторах:

1. Надписи на лицевой стороне трансформатора: марка трансформатора и диспетчерский номер.

2. Нанесение знаков опасности «Осторожно! Электрическое напряжение».

3. Соответственное размещение и покраска фаз: L1 – верхняя – желтая; L1 – средняя – зеленая; L3 – нижняя – красная.

Таблица 3

Нормы комплектации силовых трансформаторов класса напряжения 110 кВ средствами защиты

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование средства защиты | Напряжение электроустановки, кВ | Тип средства защиты | Количество |
| Основные | | | |
| Изолирующая штанга | 110  35 | ШОУ-110  ШИО-35110 | 3 шт. |
| Указатель напряжения | 100  35 | УВН 90  УВНБ | 3 шт. |
| Электроизмерительные клещи | 110 | Ц-90 | 3 шт. |
| Изолирующие клещи | 35 |  | 3 шт. |
| Дополнительные | | | |
| Диэлектрические перчатки |  | – | не менее 2 пар |
| Диэлектрические боты |  | – | 3 пара |
| Переносные заземления |  | ШЗП-110У4 | не менее 2 шт |
| Защитные ограждения |  | – | не менее 2 шт |
| Плакаты безопасности |  | – | За местными условиями эксплуатации |

Роль защитного заземления в силовом трансформаторе класса напряжения 110/35 кВ – превращение замыкания на корпус на короткое замыкание. При этом срабатывает максимальная токовая защита, которая

отключает аварийный участок.

В силовых трансформаторах заземлению подлежит корпус [1.7.46, Л5]. Присоединение заземляющих защитных проводников к корпусу трансформатора выполняется сваркой или болтовым соединением [1.7.93, Л5].

Расчет защитного заземления для комплектной трансформаторной подстанции напряжением 110/35/10 кВ выполнен в пункте 2.2 проэкта.

Электрозащитные средства, которыми должны быть укомплектованы силовые трансформаторы класса напряжения 110 кВ указаны в табл. 3.

2.2 Расчет защитного заземления на комплектной трансформаторной подстанции (КТП) напряжением 110/35/10 кВ

На рис. 1 показан план КТП [§ 6-3, Л6]. В состав подстанции входят два трансформатора напряжением 110/35/10 кВ, открытые распределительные устройства (ОРУ) 110 и 35 кВ, комплектное распределительное устройство для наружной установки (КРУН) 10 кВ и здание общеподстанционного управления (ОПУ).

Расчет защитного заземления будем проводить методом наведенных потенциалов для двухслойной структуры грунта.

Исходные данные:

1. План размещения заземляемого оборудования – рис. 1. Территория подстанции занимает площадь S = 2217,6 м2.



Рис. 1. План КТП 110/35/10 кВ

2. Сведения о грунте. Рассчитывать заземлитель будем для двуслойного грунта с удельными сопротивлениями верхнего и нижнего слоев земли ρ1 = 200 Ом·м, ρ2 = 70 Ом·м. Мощность верхнего слоя грунта h = 2,5 м.

Данные сведения выбраны произвольно.

3. Сведения о естественных заземлителях. В качестве естественного заземлителя будет использоваться система трос-опоры двух подходящих к подстанции ЛЭП напряжением 110 кВ на металлических опорах с длиной пролета l = 250 м. Каждая линия имеет один стальной грозозащитный трос сечением s = 50 мм2 [2.5.39, Л5].

Сопротивление заземления опор воздушных линий для выбранного типа грунта не должно превышать 10 Ом [табл. 2.5.21, Л5]. Принимаем rоп = 10 Ом.

4. Ток замыкания на землю в сети напряжением 110 кВ принимаем равным Iз = 5,2 кА [§ 5.4, Л7].

5. Заземлитель будем выполнять из горизонтальных полосовых электродов и вертикальных стержневых электродов длиной lв = 5 м. Глубина заложения электродов в землю t = 0,7 м [1.7.51, Л5].

Расчет.

Сопротивление естественного заземления:



Заземляющее устройство подстанции должно иметь сопротивление Rз не более 0,5 Ом согласно [1.7.51, Л5]. Исходя из этого требуемое сопротивление исскуственного заземлителя:



Составляем схему заземлителя и наносим ее на план подстанции, приняв контурный тип заземлителя, т.е. в виде сетки из горизонтальных полосовых и вертикальных стержневых (длиной lв = 5 м) электродов. Вертикальные электроды размещаем по периметру заземлителя (рис. 5.2). При составлении схемы заземлителя руководствуемся [1.7.51, Л5].



Рис. 2. Схема заземлителя

Примечание к рис. 2: расстояния между оборудованием (фундамен-том оборудования) к ближайшим горизонтальным электродам 0,8 м.

По рис. 2 определяем суммарную длину горизонтальных электродов:

Lг = [6·67,2 + 1·(67,2 – 11,4 – 1,6) + 1·(5,2 + 5,5 + 5,2) + 2·(5,2 + 5,2) + + 1·(5,2 + 6 + 5,2) + 2·(5,2 + 12,8 + 5,2) + 2·(5,2 + 6 + 5,2) + 1·(5,2 + 6 + 24,4) + + 1·(67,2 – 6 – 1,6)] + [7·33 + 9·(5,5 + 5,5) + 4·(33 – 9,2 – 1,6) + 2·(3,5 + 4,4 + 5,5) + 2·4,4 + 2·(7,5 + 7,5) + 4·(7,5 + 4,3) = 684,9 + 531,6 = 1216,5 (м).

Количество вертикальных электродов: nв = 43 шт.

Суммарная длина вертикальных электродов:



Относительная глубина погружения в землю вертикальных электродов:



Относительная длина вертикальных электродов:



Для определения эквивалентного удельного сопротивления грунта ρэ определяем значения ρ1 / ρ2 и k:



Эквивалентное удельное сопротивление грунта:



Для определения расчетного сопротивления искусственного заземлителя Rи находим коэффициент А:



Сопротивление искусственного заземлителя:



Сопротивление заземления подстанции:



Напряжение на заземлителе при стекании с него тока замыкания на землю:



Сопротивление заземляющего устройства подстанции и напряжение на заземлителе при стекании с него тока замыкания на землю не превышают допустимых значений: Rз < 0,5 Ом; Uз < 10 кВ.

2.3 Защитные меры от других опасных факторов

При проведении работ на высоте необходимо использовать страховочный пояс. Все приспособления для подъема на высоту (лестницы, поручни) должны быть исправны, устойчивы и надежно закреплены.

Для предотвращения поражения электрической дугой запрещается

приближаться к токоведущим частям под напряжением на расстояние, меньшее допустимого (для электроустановок напряжением 110 кВ – 1 м) [табл. 1, Л8].

2.4 Защитные меры от вредных факторов

При работе на холоде, с одной стороны, необходимо предупреждать сильное охлаждение организмов работающих, с другой – обеспечивать их быстрое согревание. Теплая одежда предупреждает чрезмерное охлаждение организма человека. Важным фактором является применение устройств местного обогрева (на постоянных рабочих местах) или организация периодических перерывов в работе с целью согревания в специальных теплых помещениях.

Меры защиты от шума:

1. Устранение неполадок в трансформаторе, которые создают шум.

2. Использование индивидуальных средств защиты от шума: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски.

3. Пожарная безопасность при эксплуатации силовых трансформаторов класса напряжения 110 кВ

Перечень горючих веществ и материалов в силовом трансформаторе:

- трансформаторное масло;

- твердая изоляция обмоток.

Причины возгорания:

- короткие замыкания, которые возникают при повреждении изоляции; При этом проводники нагреваются надтоками и может загораться изоляция.

- перегрузки трансформаторов вследствие неправильного выбора их мощности;

- большие переходные сопротивления;

- электрические дуги и искры;

- нарушение правил эксплуатации силовых трансформаторов.

Профилактические меры для предотвращения возникновения и распространения пожара в силовых трансформаторах класса напряжения 110/35 кВ.

Для предотвращения растекания масла и распространения пожара при повреждениях маслонаполненных силовых трансформаторов с массой масла более 1 т в должны быть выполнены маслоприемники, маслоотводы и маслосборники.

Расчет маслоприемника для трансформатора ТМН-6300/110-У1.

Масса трансформаторного масла: mтр.м = 9,96 т = 9,96·103 кг.

Обьем трансформаторного масла:

Vтр.м = mтр.м / ρ = (9,96·103)/(0,87·103) = 11,45 (м3),

где ρ = 0,87·103 кг/м3 – плотность масла.

Габариты трансформатора: длина – 5,8 м; ширина – 4,2 м.

Габариты маслоприемника должны выступать за габариты трансформа-тора не менее чем на 1 м при массе масла от 2 до 10 т согласно [4.2.70, Л5].

Принимаем габариты маслоприемника: длина а = 6,8 м; ширина в = 5,2 м.

Обьем маслоприемника должен быть рассчитан на одновременный прием 100 % масла, содержащегося в корпусе трансформатора [4.2.70, Л5].

Обьем маслоприемника:

Vм = Vтр.м = 11,45 (м3).

Глубина маслоприемника:

h = Vм / (а·в) = 11,45 / (6,8·5,2) = 0,32 (м).

Принимаем глубину маслоприемника h =0,35 м.

Уточняем объем маслоприемника:

Vм = а·в·h = 6,8·5,2·0,35 = 12,38 (м).

На подстанциях с трансформаторами напряжением 110 кВ и выше единичной мощности 63 МВ·А и более следует предусматривать водопровод с питанием от существующей внешней сети.

Фундаменты под маслонаполненными трансформаторами должны выполняться из несгораемых материалов.

Трансформаторы наружной установки должны окрашиваться в светлые тона для уменьшения нагрева прямыми лучами солнца.

Тушение пожара в силовых трансформаторах.

При аварии на трансформаторе с возникновением пожара он должен быть отключен от сети со всех сторон и заземлен. После снятия напряжения тушение пожара нужно проводить всеми средствами пожаротушения.

При наличии на трансформаторе стационарной установки пожаротушения ее необходимо включить дистанционно (вручную), если она не включилась автоматически.

При внутреннем повреждении трансформатора с выбросом масла через

выхлопную трубу или через нижний разъем и возникновении пожара внутри трансформатора, необходимо вводить средства тушения пожара в середину трансформатора сквозь верхние люки и сквозь деформированный разъем.

При возникновении пожара на трансформаторе сливать масло с трансформатора запрещается, так как это может привести к повреждению внутренних обмоток и вызвать трудности при дальнейшем тушении.

Список литературы:

1. Основы техники безопасности в электроустановках / Долин П.А. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
2. Охрана труда в электроустановках / Князевский Б.А. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.