

как они на напряжении 0,4 кВ при схеме соединения обмотки статора звездой работают с изолированной нейтралью.

УДК 611.311

МАСЛОНАПОЛНЕННЫЕ КАБЕЛИ

Безруков Ю.В., Хитрик О.В.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент КРАСЬКО А.С.

Кабельные линии находят преимущественное применение в условиях промышленной и городской застройки, т. е. в районах, где прокладка трасс воздушных линий встречает большие затруднения. В городах и промышленных зонах кабельные линии прокладывают, как правило, в земле (траншеях) по непроезжей части улиц (под тротуарами) и по техническим полосам (газоны с кустарниковой посадкой). На территориях, насыщенных подземными коммуникациями, прокладку кабельных линий выполняют в коллекторах и туннелях. При пересечении проезжей части улиц кабельные линии прокладываются в блоках или трубах. Маслонаполненные кабели предназначены для вводов линий электропередачи к распределительным устройствам ТЭЦ, а также для соединения трансформаторов с распределительными устройствами на тепловых и гидравлических станциях. В маслонаполненных кабелях бумажная изоляция пропитана маловязким минеральным или синтетическим маслом, которое с помощью специальных подпитывающих устройств находится в кабеле под постоянным избыточным давлением. В зависимости от величины избыточного давления маслонаполненные кабели делят на кабели низкого давления ($3\text{--}15 \text{ Н/см}^2$), кабели среднего давления ($3\text{--}30 \text{ Н/см}^2$) и кабели высокого давления ($100\text{--}150 \text{ Н/см}^2$). В США и ряде европейских стран выпускают трехжильные маслонаполненные кабели на напряжения 35–60 кВ в общей свинцовой оболочке. Токопроводящие жилы кабелей изготавливают многопроволочными, поверх изоляции накладывают перфорированный экран. Подпитка маслом этих кабелей осуществляется через спирали, укладываемые в промежутки между жилами. Кабели на напряжения 60 и 70 кВ в Японии выпускают как одножильными сечением $100\text{--}1000 \text{ мм}^2$, так и трехжильными сечением $80\text{--}325 \text{ мм}^2$. Одножильные кабели изготавливают с внутренним каналом в токопроводящей жиле для циркуляции масла. Жилы сечением 900 и 1000 мм^2 скручивают из четырех секторов с образованием внутреннего канала для подпитки маслом; толщина изоляции этих кабелей принята равной $7\text{--}9 \text{ мм}$ в зависимости от напряжения и сечения жил. Для предохранения масла от окисления при контакте с медью токопроводящую жилу кабеля лудят чистым оловом. В СССР маслонаполненные кабели изготавливали на напряжение 110 кВ и выше. ВНИИКП рекомендует маслонаполненные кабели на напряжения 110 и 220 кВ следующего ряда сечений: 150, 185, 240, (270), 300, (350), 400, (425), 500, (550), 625, 800, 1000, 1250 и 1500 мм^2 . Сечения жил, указанные в скобках, не рекомендуются для широкого применения. Жилы сечением $150\text{--}800 \text{ мм}^2$ выполняют из профильных проволок, образующих концентрические повивы. Диаметр маслопроводящего канала применяют одинаковый для всего диапазона сечений, равный 12 мм . Первый повив, образующий маслопроводящий канал, выполняют из 12 Z-образных проволок для всего ряда (за исключением сечений 150 и 185 мм^2). Токопроводящие жилы сечением $1000\text{--}1500 \text{ мм}^2$ для уменьшения влияния поверхностного эффекта и эффекта близости выполняют секционированными из четырех или шести уплотненных сегментов, накладываемых на первый повив из Z-образных проволок. Уплотненные сегменты разделяют слоем полупроводящей бумаги. Кабели на напряжение 110 кВ изготавливают с градированной изоляцией толщиной

10 мм, включающей уплотненную бумагу толщиной 0,08 мм и неуплотненную толщиной 0,12 мм. Значения максимальных напряженностей электрического поля в изоляции находятся в диапазоне 6,2–8,4 кВ/м (для всех сечений кабеля). Бумажную изоляцию кабелей пропитывают минеральным маслом марки МН-3 или МН-4. Для конкретной линии масло должно быть одинакового происхождения и выработки одного завода.

Для повышения вибростойкости и механических свойств свинцовую оболочку изготавливают с присадкой 0,04–0,08 % меди и 0,2–0,3 % сурьмы. Свинцовую оболочку упрочняют двумя медными (твердокатанными) лентами толщиной по 0,2 мм. Защитные покровы маслonaполненных кабелей состоят из ленты поливинилхлоридного пластика, слоя предварительно антисептированной кабельной пряжи, бумаги, тугоплавкого битумного компаунда, стальных и медных проволок диаметром 4 или 6 мм (чередующихся между собой для уменьшения потерь). С увеличением массы кабеля необходимость в проволочной броне вызывается усилиями тяжения кабеля при прокладке по трассе. Кабелям среднего давления в свинцовой оболочке этой конструкции присвоена марка МСКК. Маслonaполненным кабелям среднего Давления в алюминиевой оболочке с пластмассовыми защитными покровами присвоена марка МСАВ. Применение алюминиевых оболочек снижает стоимость маслonaполненных кабелей среднего давления на напряжение 110 кВ на 40 %, а масса кабеля уменьшается в 2,0–2,5 раза. Перспективным направлением в развитии маслonaполненных кабелей на напряжение 110 кВ являются производство маслonaполненных кабелей с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке с защитными покровами из поливинилхлоридного пластика, увеличение сечения тркопроводящих жил до 1000–1500 мм², упрощение конструкции стопорных муфт с применением эпоксидной изоляции и концевых муфт с цилиндрическими конденсаторными втулками. В Японии изготавливают трехжильные кабели на напряжения до 140 кВ сечением до 3х325 мм². Такие кабели удобны при прокладке, но они могут быть изготовлены меньшей длины, чем одножильные кабели. Представляют интерес трехжильные маслonaполненные, кабели плоского типа, в которых внутреннее давление поддерживается пружинящими бронзовыми полосами, уложенными вдоль широкой стороны кабеля поверх свинцовой оболочки. Такие кабели не нуждаются во внешнем Подпитывающем устройстве. Максимальные Значения $\operatorname{tg} \delta$ маслonaполненного кабеля на напряжение 110 кВ (низкого и среднего давления) не превышают 0,006, прирост $\operatorname{tg} \delta$ при повышении напряжения с 20 до 100 кВ не превышает 0,0008. Максимальные значения $\operatorname{tg} \delta$ кабеля низкого давления при 70 кВ и температуре 10–70 °С не превышает 0,006, а среднего давления при напряжении 70 кВ и температуре 20–75 °С не превышает 0,005. Максимальное значение $\operatorname{tg} \delta$ кабеля низкого и среднего давления при 70 кВ и температуре 100 °С не превышает 0,007, а прирост $\operatorname{tg} \delta$ кабеля низкого давления при напряжении 20–100 кВ и температуре 10–100 °С не превышает 0,0005. Маслonaполненные кабели на напряжение 220 кВ аналогичны кабелям на напряжение 110 кВ. Изоляцию этих кабелей выполняют из бумаг различной толщины и плотности. Наиболее тонкую уплотненную бумагу размещают по токопроводящей жиле. По мере удаления от токопроводящей жилы изоляцию выполняют из более толстой бумаги меньшей плотности. Маслonaполненный кабель на напряжение 400 кВ изготавливают с внутренним каналом в жиле, Изоляцию кабеля выполняют из бумажных лент толщиной 0,025 мм у токопроводящей жилы и из лент большей толщины в наружных слоях. Поверх изоляции накладывают экран из медных лент и свинцовую оболочку с профилированной внутренней поверхностью, каналы которой служат для циркуляции масла. Затем накладывают упрочняющие ленты, вторую свинцовую оболочку и обычную броню. Токопроводящие жилы маслonaполненных кабелей высокого давления выполняют круглыми многопроволочными. На жилу накладывают экран из лент полупроводящей

бумаги, изоляцию из специальной кабельной бумаги, экран из полупроводящей и перфорированной металлизированной бумаги и медной ленты, а также две спирали из мягких, медных полукруглых проволок для облегчения затягивания кабеля в трубу. Затем накладывают временную свинцовую оболочку толщиной не менее 2,2 мм, предохраняющую изоляцию кабеля во время транспортировки и хранения. Для пропитки изоляции применяют специальное минеральное масло повышенной вязкости. С целью повышения влагостойкости кабеля во время монтажа поверх экрана кабеля применяют полиэтиленовые ленты, чередующиеся с алюминиевыми лентами, и медную полукруглую проволоку шириной 5 мм. Под свинцовой оболочкой размещают продольную стальную проволоку для разрезания свинцовой оболочки перед затягиванием кабеля в стальную трубу. Поверх кабеля в длинах, больших, чем 600 м (переходы через водные преграды), накладывают сплошной повив из медных твердотянутых круглых проволок. Три изолированные жилы (с экраном и спиралью из проволоки) затягивают в предварительно проложенную стальную трубу, которую затем заполняют маслом под избыточным давлением. Стальной трубопровод для кабелей 110–220 кВ имеет диаметр 150–220 мм, для кабелей 500 кВ 270–300 мм и толщину стенки 10–12 мм. В зависимости от условий прокладки трубопровод снабжают соответствующими антикоррозионными покрытиями. В отличие от линий из маслонаполненных кабелей, пропитанных жидким минеральным маслом, кабельные линии в стальных трубах с маслом под давлением не нуждаются в стопорных муфтах и распределенной по трассе подпитывающей аппаратуре. Подпитку маслом осуществляют от автоматического насосного устройства, располагаемого на одном или обоих концах линии в зависимости от ее длины.

Литература

1. Зуев Э.Н. Основы техники подземной передачи электроэнергии: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 256 с.
2. Москаленко В.В. Справочник электромонтера: Справочник. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 288 с.
3. Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 368 с.
4. Шварцман Л.Г. Муфты силовых кабелей высокого напряжения. – М.: Энергия, 1977.
5. Сибикин Ю.Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: Учеб. для нач. проф. образования: учеб. пособие для сред. проф. образования / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 432 с.
6. Пантелеев Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий: Справочник электромонтажника / Под ред. А.Д. Смирнова и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
7. Короткевич М.А. Основы эксплуатации электрических сетей: учеб. пособие. – Минск: Выш. шк., 1999. – 267 с.

УДК 621.3

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Зыль П.Н.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент СИЛЮК С.М.

Схемы соединения ЭС играют важную роль в обеспечении надежности электроснабжения, как и схемы ее соединения с потребителем электрической энергии. Схемы соединения ЭС с потребителями выполняется в зависимости от категории электроприемников. Для электроустановок, работающих круглосуточно, недопускающих перерыва в питании схема электроснабжения должна быть выполнена таким образом, чтобы при