

ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ИСТОЧНИКА К ПОТРЕБИТЕЛЮ

4.1 Основные сведения об электрической системе

Электрическая энергия вырабатывается на электрических станциях, располагаемых, как правило, у источников первичной энергии. Электростанции связаны между собой и с потребителями электрическими сетями, которые объединяют их в централизованно управляемые энергетические системы (энергосистемы). Нагрузку на электростанции распределяют так, чтобы получить наиболее дешевую электроэнергию. Например, если запас воды на гидравлической станции (ГЭС) большой, то ее нагружают на полную мощность, а тепловую (ТЭС) разгружают, экономя топливо. Или же за счет ТЭС удовлетворяют постоянную (базисную) нагрузку в течение суток, а ГЭС включают в часы, когда нагрузка возрастает.

Благодаря энергосистемам не только повышается экономичность электроснабжения, но и значительно увеличивается его надежность, возрастает общая полезная выработка электроэнергии и т. д.

Электрическая система – это часть энергосистемы и питающиеся от нее электроприёмники, объединяющая генераторы, распределительные устройства, трансформаторные подстанции, электрические линии и токоприемники электрической энергии. Основу электрической системы составляют электроустановки.

Электрической сетью называют часть электрической системы, в которую входят трансформаторные подстанции и линии различных напряжений. Электрические сети по назначению делят на распределительные и питающие.

Питающей называют электрическую сеть, по которой электроэнергию подводят к распределительным пунктам или районным трансформаторным подстанциям (рисунок 36). Эта сеть состоит из *линий электропередачи* (ЛЭП), которые не имеют подключенных потребителей.

Высоковольтная распределительная сеть (ВРС) служит для передачи электрической энергии от источника (электростанции ЭС, районной трансформаторной подстанции РТП) к потребительским трансформаторным подстанциям. Чаще для ВРС используют напряжение 10 кВ, реже (при больших расстояниях) – 20 и 35 кВ. Линии

6 кВ выполняют, главным образом, в тех случаях, когда системы с этим напряжением уже имеются или когда тщательный технико-экономический анализ показывает целесообразность применения именно 6 кВ.

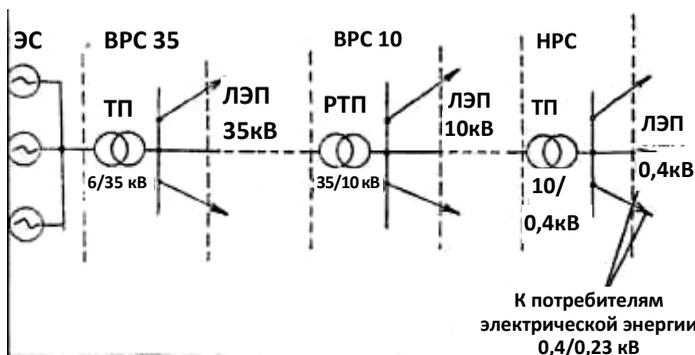
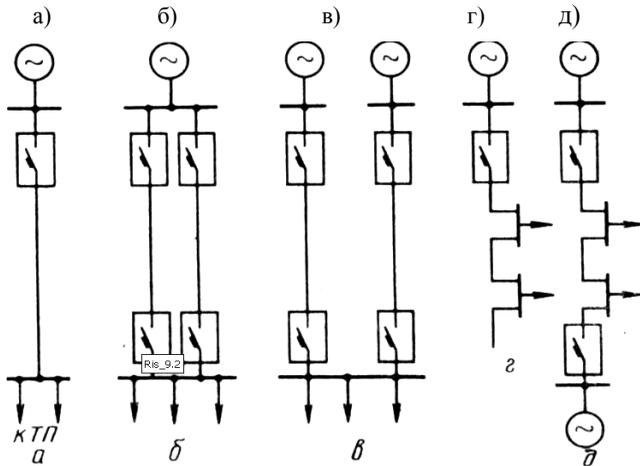


Рисунок 36 – Схема передачи электрической энергии от источника к потребителю:
 ЭС – электростанция; ТП – потребительская трансформаторная подстанция; ЛЭП – линия электропередачи; РТП – районная трансформаторная подстанция; ВРС и НРС – высоковольтная распределительная сеть и низковольтная потребительская сеть

4.2 Распределение энергии по потребителям

Распределение энергии по потребителям осуществляется по радиальным, магистральным (кольцевым) или смешанным схемам. На рисунке 37 показаны радиальная одиночная разомкнутая линия, обычно применяемая для питания отдельных, обособленных потребителей 3-й категории (а), радиальная сдвоенная кабельная линия – для питания потребителей 2-й и 3-й категорий (б) и радиальная, питаемая от двух самостоятельных источников линия – для потребителей 1-й категории (в). На рисунке 37, г, д приведены две схемы магистральных петлевых линий для питания потребителей 3-й категории (е) и потребителей 2-й и 1-й категорий (д). Могут быть и другие видоизменения магистральных схем.

По распределительной сети (рисунок 38) напряжением до 1000 В (НРС) электрическую энергию передают от понизительных подстанций к потребителям. Такие сети используют обычно внутри



населенного пункта, по улице которого прокладывают линию АВ, а от нее к домам, расположенным на одной стороне улицы, идут вводы В₁, к домам на другой стороне улицы – отводы От.

Рисунок 37 – Схема распределительных электрических сетей:
а, б, в – радиальные; г, д – магистральные

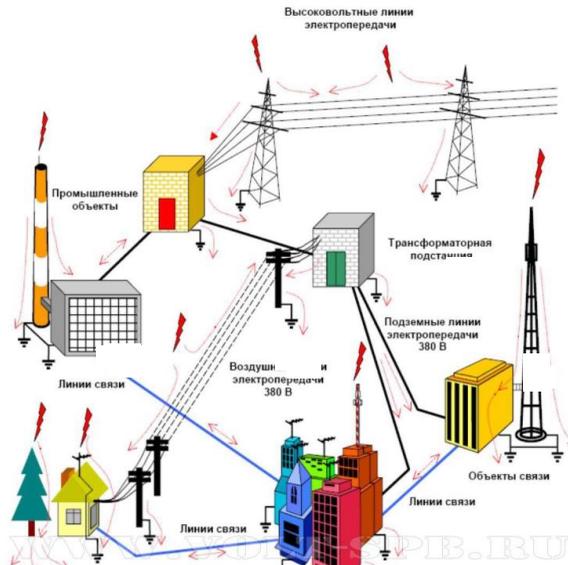


Рисунок 38 – Схема линий электропередач

Сети могут быть воздушными или кабельными (подземными). Потребительские сети внутри помещений называют внутренними проводками.

В зависимости от расстояния, на которое передается электрическая энергия, используется то или иное стандартное напряжение. Чем больше расстояние, тем выгоднее применять более высокое напряжение, на котором передается электрическая энергия. С увеличением напряжения значительно снижаются потери энергии в проводах и расход металла на провода.

4.3 Характеристики и свойства линий электропередач

При передаче электроэнергии на расстояние неизбежны потери напряжения и мощности, обусловленные сопротивлением проводов линии электропитания. Пропускная способность линии ограничивается допустимой токовой нагрузкой на жилы проводов и кабелей по условиям нагрева, а также допустимой потерей напряжения. Экономичность линии определяется из соотношения между капитальными затратами на её сооружение и стоимостью электроэнергии, теряемой на нагрев проводов при её эксплуатации. Минимуму суммарных затрат соответствует так называемая «экономическая плотность тока».

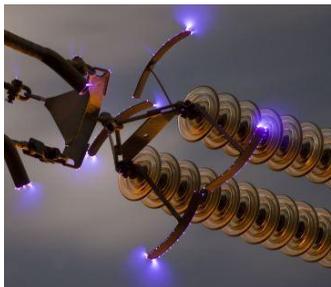
Выбор сечения проводов производится:

- 1) по экономической плотности тока;
- 2) допустимым длительным токовым нагрузкам на жилы проводов и кабелей (из условий нагрева);
- 3) допустимой потере напряжения в линии;
- 4) механической прочности.

Провода и жилы кабелей должны также выдерживать кратковременный перегрев и механические усилия, возникающие при коротких замыканиях, без нарушения изоляции и механического разрушения. На проводах высоковольтных линий не должен возникать коронный разряд (рисунок 39), т.к. это приводит к значительным потерям энергии.

Экономическая плотность тока является основным условием для выбора сечения проводов линий электропередачи, значительную

часть суток находящих под током. Рекомендуемые значения приводятся в справочных таблицах в зависимости от вида линии (провода или жилы кабелей), материала (медь или алюминий) и



продолжительности работы (часов в год).

Рисунок 39 – Образование коронных разрядов на высоковольтной линии (<http://www.15mscience.org>)

Допустимая токовая нагрузка является основным условием для выбора сечения проводов и жил кабелей коротких линий, питающих отдельные потребители, работающие в кратковременном или повторно-кратковременном режиме. Температура проводов не должна превышать допустимого значения даже в жаркое время года, иначе их изоляция быстро изнашивается. Для медных и алюминиевых проводов и жил кабелей различных сечений в «Правилах устройства электроустановок» приводятся допустимые длительные токовые нагрузки в зависимости от материала изоляции и условий прокладки. Обычно при расчёте коротких линий сечение проводов выбирается по допустимой длительной токовой нагрузке, а затем проверяется по допустимой потере напряжения и, при необходимости, увеличивается. Сечение проводов длинных линий целесообразно сразу выбирать исходя из условия допустимого падения напряжения.

Потери напряжения в проводах линии вызывают колебания напряжения на зажимах потребителя. При отключении потребителей напряжение возрастает, при подключении – падает. Отклонение напряжения ухудшает работу электрических ламп. Например, снижение напряжения на 10 % уменьшает световой поток ламп накаливания на 30 %; повышение же на 10 % сокращает срок службы ламп на 60 %. Менее чувствительны люминесцентные лампы, но и на них вредно отражаются отклонения напряжения от номинального

значения. Вращающий момент асинхронного электродвигателя при снижении напряжения питания резко уменьшается, и он может не запуститься под нагрузкой. Даже кратковременный импульс повышенного напряжения может вывести из строя электронную аппаратуру, в том числе и компьютер.

Допустимые колебания напряжения на зажимах потребителя регламентируются в пределах $\pm 2,5-5\%$, в отдельных случаях допускается кратковременное снижение напряжения питания потребителя на $10-12\%$.

Механическая прочность является основным критерием для воздушных линий и открытых электропроводок малой мощности.

4.4 Типы счетчиков электроэнергии

Электрический счетчик – электроизмерительный прибор, который предназначен для учета потребленной электрической энергии (переменного или постоянного тока) и измеряется в кВт·ч или А·ч.

В настоящее время производятся однофазные и трехфазные счетчики, индукционные или электронные, однотарифные, двухтарифные, трехтарифные (они же многотарифные).

Электрический счетчик включается в сеть через трансформаторы тока (непрямого включения) и без них (прямого включения). Для включения в сеть напряжением до 380 В применяются счетчики на ток от 5 до 20 А.

На лицевой стороне счетчика указывается число оборотов диска, соответствующее 1 кВт·ч электроэнергии. Например, 1 кВт·ч – 1250 оборотов диска.

В настоящее время используются главным образом два типа электросчетчиков – индукционные и электронные. По функциональности счетчики бывают многотарифные (двухтарифные и трехтарифные). При этом первые занимают доминирующее положение, поскольку они устанавливались вплоть до середины 90-х годов прошлого века.

Принцип работы индукционного счетчика электроэнергии (рисунок 42, а) заключается во взаимодействии магнитных сил катушек индуктивности тока и напряжения с токами алюминиевого диска, в результате взаимодействия число оборотов диска прямо пропорционально отражает расход электроэнергии специальным

счетным механизмом. Многие потребители не спешат переходить на более современные электронные счетчики, хотя индукционные счетчики являются физически устаревшими и не поддерживают многотарифный учет электроэнергии и возможность дистанционной передачи показаний.

В отличие от индукционных электронные счетчики электроэнергии построены на основе микросхем, не содержат вращающихся частей и производят преобразование сигналов, поступающих с измерительных элементов, в пропорциональные величины мощности и энергии. Электронные счетчики электроэнергии отличаются более высокой точностью и надежностью по сравнению с индукционными электросчетчиками (рисунок 42, б). Счетчик активной энергии переменного тока электронный непосредственного подключения САЭ1-М-02, ТУРБ 100024511-039–2004 обеспечивает измерение активной электрической энергии в однофазных сетях переменного тока (СТБ ГОСТ Р 52320–2007).

Область применения счетчика – коммерческий учет электрической энергии в быту, на промышленных предприятиях и в энергосистемах. Применяется автономно и в системе АСКУЭ. Передача данных происходит по интерфейсу RS-485 (<http://www.by.all.biz/schetchik-aktivnoj-energii-peremennogo-toka-g115884>).



Рисунок 42 – Счетчики электроэнергии:
а – индукционный, б – электронный

Основные технические параметры счетчиков электроэнергии:

Класс точности – указывает на уровень погрешности измерений прибора (максимально допустимый уровень погрешности до 1996 г. составлял 2,5 %). В 1996 году был введен новый стандарт точности приборов учета, используемых в бытовом секторе, – 2,0.

Тарифность – функциональная возможность современных электронных счетчиков, позволяющая вести учет электроэнергии по зонам суток и временам года.

Однофазным электрическим счетчиком называется электроизмерительный прибор, предназначенный для учета электрической энергии в двухпроводных сетях переменного тока напряжением 220 В.

Трёхфазным электрическим счетчиком называется электроизмерительный прибор, предназначенный для учета электрической энергии в трех- и четырехпроводных сетях переменного трехфазного тока номинальной частоты 50 Гц.

(Типы счетчиков электроэнергии и их возможности. http://ckc.dp.ua/cataloguelist_577.htm)

4.5 Категории электроприёмников по надёжности электроснабжения

Приемником электрической энергии (**электроприемником**) называется аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии для ее использования.

Потребителем электрической энергии называется электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Электроприёмниками являются промышленные, строительные, транспортные, торговые, сельскохозяйственные и иные предприятия, культурно-зрелищные сооружения, а также жилые посёлки и жилые микрорайоны городов.

По надёжности электроснабжения электроприёмники делятся на три категории:

1-я категория – электроприёмники, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение особо важных элементов городского хозяйства.

В городских электрических сетях к 1-й категории относятся электроприёмники театров, крупных кинотеатров, стадионов,

универмагов с площадью торгового зала свыше 1800 м² и т. п., сооружений с массовым скоплением людей, действующих при искусственном освещении, комплексы электроприёмников особых лечебных помещений (операционных блоков больниц и родильных домов, пунктов неотложной помощи и т. п.); технические и силовые электроприёмники жилых зданий выше 16 этажей (пожарные насосы, лифты, средства автоматического дымоудаления), аварийное освещение лестничных клеток, коридоров, вестибюлей, холлов, заградительные огни на кровлях зданий высотой 50 м и более, а также электроприёмники технических и силовых установок узлов радиосвязи, телеграфа, телефонных, водопроводных и канализационных станций и групп городских потребителей с общей нагрузкой более 10000 кВт·А.

Электроприёмники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания. Перерыв в электропитании таких приемников допустим только при автоматическом включении резервного питания (АВР), т. е. на время переключения питающей линии или запуска автоматизированного дизель-генератора.

Из первой категории электроприёмников выделяется *особая группа*, бесперебойная работа которой необходима для безаварийной остановки производства во избежание угрозы для жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования, а также для обеспечения надёжной работы аппаратуры связи. Для особой группы электроприёмников автономный резерв обязателен. При аварии в питающей сети потребители особой группы переводятся на питание от дизель-генератора или от аккумуляторной батареи либо непосредственно, либо через инвертор, преобразующий энергию постоянного тока в сетевое напряжение переменного тока.

2-я категория – электроприёмники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым срывом выпуска продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного числа городских жителей.

К этой категории относятся: жилые здания от 6 до 16 этажей включительно, а также меньшей этажности, но оборудованные стационарными кухонными электроплитами, лечебные и детские учреждения, школы и другие учебные заведения; силовые установки,

технология которых ограничивает допускаемые перерывы в электроснабжении, столовые и кафе с числом посадочных мест от 100 до 500, магазины с площадью торгового зала от 220 до 1800 м² и т. п.; группы городских потребителей с нагрузкой от 300 до 10000 кВ·А для кабельных сетей и от 1000 кВ·А и более для воздушных сетей.

Для питания электроприемников второй категории рекомендуется иметь две линии, однако допускается и одна. Обычно если питание осуществляется по воздушной ЛЭП, то используется одна линия, если по кабелю – подключаются две кабельные линии. Перерыв в работе таких потребителей допустим на время включения резервного питания дежурным персоналом либо на время устранения неисправности питающей линии выездной оперативной бригадой.

3-я категория – наименее ответственные электроприёмники. К третьей категории, в частности, относятся газифицированные дома высотой 5 и менее этажей, небольшие поселки и т. п. Электроприемники третьей категории получают питание по одной линии с перерывами не более суток.

4.6 Структура электроснабжения

При построении электрических сетей используют радиальный и магистральный принципы электроснабжения.

При радиальном электроснабжении к каждому потребителю прокладывается отдельная линия. Достоинства: независимость от других потребителей, если линия выходит из строя, то отключается только один потребитель. Недостаток: очень дорого.

При магистральном электроснабжении потребители подключены в разных точках одной линии. Это ведет к упрощению схемы подключения, однако при обрыве линии оказываются обесточенными все потребители, подключённые дальше места повреждения.

В чистом виде этот принцип реализуется при питании устройств, расположенных вдоль железных дорог.

Существенным улучшением надёжности магистрального электроснабжения является замыкание магистрали в кольцо. При этом каждый потребитель питается с двух сторон, и обрыв линии не приводит к его обесточиванию. Для линейных магистралей применяют питание с двух сторон. При этом резервируется не только

линия, но и источник, при отключении одного питающего пункта для профилактики или ремонта второй питает всех потребителей.

Часто используют комбинацию радиального и магистрального принципов с целью удешевить линии либо обеспечить повышенную надёжность. В жилых кварталах одноэтажной застройки магистральные линии расходятся в разные стороны от трансформаторной подстанции пункта, разветвляясь при этом. К ним подключаются частные дома. В жилых кварталах многоэтажной застройки каждый дом подключается к ТП радиальной линией. Внутри дома по подъездам разводятся магистральные линии для подключения квартир. Внутри квартиры или одноэтажного дома электропроводка разветвляется с помощью разветвительных коробок. Здесь возможны, например, магистрали из розеток (<http://elektrsystem.ru/elektricheskie-sistemy-i-seti/6-klassifikacija-jelektricheskikh-setej.html>;<http://www.ing-proekt.ru/elektroinfo5.html>).

Электрические сети также классифицируются:

- по роду тока;
- номинальному напряжению;
- конструктивному исполнению;
- расположению;
- конфигурации;
- степени резервированности;
- выполняемым функциям;
- характеру потребителей;
- назначению в схеме электроснабжения;
- режиму работы нейтрали.

По роду тока различают сети переменного и постоянного тока. Основное распространение получили сети трехфазного переменного тока.

Однофазными выполняются внутриквартирные сети – как ответвление от трехфазной четырехпроводной сети.

Сети постоянного тока используются в промышленности (электрические печи, электролизные цеха), для питания городского электротранспорта и для передачи энергии на большие расстояния.

Но на постоянном токе работает только ЛЭП: в начале и конце ЛЭП строятся преобразовательные подстанции, на которых происходит преобразование переменного тока в постоянный и

обратно. Использование постоянного тока обеспечивает устойчивую параллельную работу генераторов ЭС.

Постоянный ток используется для организации связи электроэнергетических систем. При этом отклонение частоты в каждой системе практически не отражается на передаваемой мощности.

По напряжению согласно ГОСТ сети делятся на сети напряжением до 1000 В и сети напряжением выше 1000 В. Однако в технической литературе встречается деление сетей:

- низких напряжений (220–660 В);
- средних напряжений (6–35 кВ);
- высоких напряжений (110–220 кВ);
- сверхвысоких напряжений (330–750 кВ);
- ультравысоких напряжений (более 1000 кВ).

По конструктивному исполнению различают воздушные и кабельные сети, проводки и токопроводы.

Токопровод – это установка для передачи и распределения электроэнергии, которая используется на промышленных предприятиях. Состоит из неизолированных или изолированных проводников, изоляторов, защитных оболочек и опорных конструкций.

Электропроводки предназначены для выполнения электрических сетей в зданиях.

По расположению сети делятся на наружные и внутренние. Наружные выполняются неизолированными (голыми) проводами и кабелями, внутренние – изолированными проводами.

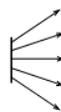
По конфигурации сети делятся на разомкнутые и замкнутые.

Разомкнутые сети питаются от одного источника питания и передают электроэнергию к потребителям только в одном направлении.

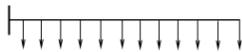
Разомкнутые сети бывают магистральными, радиальными и радиально-магистральными (разветвленными) (рисунок 43). В разомкнутых резервированных сетях при нарушении питания по одной из ЛЭП вручную или автоматически включается резервная перемычка, по которой восстанавливается электроснабжение отключенных потребителей.



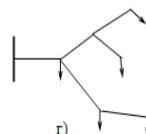
a)



b)



б)



г)

Рисунок 43 – Виды разомкнутых сетей:

a – магистраль; *б* – линия с равномерно распределенной нагрузкой;
схема; *г* – радиально-магистральная схема

в – радиальная

По степени резервированности сети делятся на нерезервированные и резервированные. Магистральные сети, выполненные одной цепью, являются нерезервированными, так как часть или все потребители теряют питание в зависимости от места повреждения и мест установки коммутационной аппаратуры. Магистральные сети, выполненные двумя цепями, являются резервированными.

По выполняемым функциям различают системообразующие, питающие и распределительные сети.

Системообразующие – это сети напряжением 330 кВ и выше. Выполняют функцию формирования энергосистем, объединяя мощные ЭС и обеспечивая их функционирование как единого объекта управления.

Питающие сети предназначены для передачи электроэнергии от подстанций системообразующей сети и от шин 110–220 кВ ЭС к районным подстанциям.

Распределительная сеть предназначена для передачи электроэнергии на небольшие расстояния от шин низшего напряжения районных ПС непосредственно к потребителям. Такие сети выполняют по разомкнутым схемам.

По характеру потребителей сети делятся на городские, промышленные и сельские.

Городские сети характеризуются высокой плотностью электрических нагрузок (до $12 \text{ МВ} \cdot \text{А}/\text{км}^2$) и большим количеством разнородных потребителей.

К *промышленным* относятся сети промышленных предприятий. Они делятся на сети внешнего и внутреннего электроснабжения. Напряжение зависит от близости к питающей ПС. Если она расположена вблизи предприятия, то напряжение внешнего электроснабжения – 6–10 кВ, а внутреннего – до 1000 В.

Сельские сети (напряжением 0,4–110 кВ) предназначены для питания небольших населенных пунктов, сельскохозяйственных предприятий. Отличаются большой протяженностью и малой плотностью нагрузки (до 15 кВ·А/км²). Сельские сети выполняются, в основном, воздушными ЛЭП по разомкнутым схемам.

По назначению в схеме электроснабжения сети делятся на местные и районные.

Местные сети охватывают площади радиусом до 30 км. Они имеют малую плотность нагрузки и напряжение до 35 кВ включительно. Это сельские, коммунальные и заводские сети. К местным сетям относятся “глубокие вводы” напряжением 110 кВ.

Районные сети охватывают большие районы и имеют напряжение 110 кВ и выше. По ним осуществляется передача электроэнергии от ЭС в места ее потребления (ТКП 385–2012 (02230)). К районным сетям относятся основные сети системы, магистральные ЛЭП внутрисистемной и межсистемной связи.

4.7 Воздушные и кабельные линии электропередач

Линии электропередач (ЛЭП) – это сооружение, состоящее из проводов или кабелей, а также опорных, изолирующих и вспомогательных устройств, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии (рисунок 44).



Рисунок 44 – Реальное изображение ЛЭП

В простейшем представлении ЛЭП – это проводники, протянутые на большое расстояние, по которым передается электрическая энергия. Возможность передачи электроэнергии обусловлена главным образом большим напряжением, при котором потери при передаче снижаются до

приемлемого уровня.

Конструктивно различают воздушные ЛЭП с неизолированными проводами, которые подвешивают над поверхностью земли (воды) на опорах с помощью изоляторов, и подземные (подводные) ЛЭП с

электрическими кабелями, прокладываемыми под землёй или под водой.

Напряжение ЛЭП определяется её протяжённостью и передаваемой по ней мощностью: оно может быть низким (до 1 кВ), средним

(3–35), высоким (110–220), сверхвысоким (330–1000) и ультравысоким (св. 1000 кВ).

Воздушная линия электропередачи (ВЛЭП) – устройство, предназначенное для передачи или распределения электрической энергии по проводам, находящимся на открытом воздухе и прикрепленным с помощью траверс (кронштейнов), изоляторов и арматуры к опорам или другим сооружениям (мостам, путепроводам). На воздушных линиях обычно применяют алюминиевые и сталеалюминиевые провода (вокруг сердечника из стальных проволок навивают несколько слоёв проволоки из алюминия) (рисунок 45).

Их удельное сопротивление постоянному току в среднем равно $r = 29,1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$. Активное сопротивление переменному току больше сопротивления постоянному току вследствие поверхностного эффекта, однако для частоты 50 Гц это различие несущественно. Активное сопротивление в электрических схемах ВЛЭП является параметром, определяющим процесс диссипации (рассеивания) энергии в виде отдачи тепла в окружающее пространство.



Рисунок 45 – Стале-алюминиевый провод

Конструкция ВЛЭП, её проектирование и строительство регулируются ТКП 339–2011. Устройства и габариты ВЛЭП определяются значением напряжения между проводами. Различают линии низкого – до 1 кВ (чаще всего 0,4 кВ), среднего – 6; 10; 20; 35 кВ и высокого напряжения – 110; 220 кВ и выше.

В ТКП 181–2009 определены наименьшие допустимые расстояния по вертикали и горизонтали от проводов ВЛ до поверхности земли, строений и зелёных насаждений, поверхности рек, автомобильных и железных дорог, а также проводов других линий. Для линий

напряжением до 1 кВ эти расстояния должны быть не меньше, м:

- по вертикали до земли – 6;
- по горизонтали до глухих стен – 1;
- до балконов, террас, окон – 1,5.

Для ВЛЭП напряжением выше 1 кВ эти расстояния значительно больше.

Опоры. В зависимости от назначения линии, её напряжения, количества проводов и тросов, их расположения, климатических и других условий применяют различные конструкции деревянных, железобетонных или металлических опор.

Для изготовления деревянных опор применяют древесину хвойных пород, при напряжении линии 6 кВ и выше брёвна пропитывают антисептиками заводским способом. Деревянные опоры применяют совместно с железобетонными приставками. Такие опоры служат 25–30 лет. Для крепления изоляторов в деревянные опоры ввинчиваются крюки.

Железобетонные опоры получили широкое распространение из-за долговечности (более 50 лет), стойкости к коррозии, простоты эксплуатации, меньшего расхода металла и меньшей стоимости по сравнению с металлическими опорами.

Металлические опоры применяются на ВЛ напряжением 110, 220 и 330 кВ в качестве анкерных и угловых, а на ВЛ напряжением 500 кВ и выше – во всех случаях. Металлические опоры изготавливают на заводах в виде набора отдельных секций с отверстиями для болтовых соединений и собирают на месте установки.

Изоляторы. На ВЛЭП применяют стеклянные и керамические (фарфоровые) изоляторы, штыревые и подвесные. При напряжениях до 35 кВ включительно применяют штыревые изоляторы, а при больших – подвесные, из которых изготавливают гирлянды. Изоляторы должны отличаться высокой механической и электрической прочностью, а также теплостойкостью, т. к. они подвергаются изменению температуры воздуха.

Провода. На ВЛЭП до 1 кВ могут применяться одно- и многопроволочные провода, на ВЛ выше 1 кВ – как правило, многопроволочные неизолированные провода (алюминиевые, из алюминиевого сплава, биметаллические сталеалюминиевые,

стальные).

Кабельные линии электропередач представляют собой линии, которые предназначены для передачи электроэнергии, которая состоит из кабелей (один или несколько параллельных), соединительных, стопорных и концевых муфт, крепежных деталей.

Классификация кабельных линий электропередач аналогична классификации воздушных линий. По условиям прохождения по месту кабельные линии электропередач бывают: по сооружениям, подземные, подводные.

Обычно кабельные линии электропередач используют для прокладки в тех местах, где строительство воздушных линий невозможно или затруднено в силу объективных причин (рисунок 4б). Их прокладка возможна и на территориях промышленных предприятий, и в городах, и в дачных или коттеджных поселках. Основным преимуществом таких линий перед воздушными считается прокладка закрытого типа, которая надежно защищает кабельные линии электропередач от различных атмосферных воздействий, и высокая степень надежности, безопасности в процессе эксплуатации. Данные преимущества позволяют широко применять кабельные линии в сетях как внешнего, так и внутреннего энергоснабжения.

Силовые кабели различают:

- по роду металла токопроводящих жил: кабели с алюминиевыми и медными жилами;
- роду материалов, которыми изолируются токопроводящие жилы: кабели с бумажной, пластмассовой и резиновой изоляцией;
- роду защиты изоляции жил кабелей от влияния внешней среды: кабели в металлической, пластмассовой и резиновой оболочке;
- способу защиты от механических повреждений: бронированные и небронированные;
- количеству жил: одно-, двух-, трёх-, четырёх- и пятижильные.

Токопроводящие **жилы** изготавливают однопроволочными и многопроволочными. Алюминиевые жилы сечением до 35 мм² изготавливают однопроволочными, 50–240 мм² – как одно-, так и многопроволочными, 300–800 мм² – многопроволочными. Медные жилы сечением до 16 мм² включительно изготавливают

однопроволочными, 25–95 мм² – как одно-, так и многопроволочными, 120–800 мм² – многопроволочными.



Рисунок 46 – Прокладка кабельных линий в земляных и каменных траншеях с подсыпкой снизу

Изоляция обеспечивает необходимую электрическую прочность токопроводящих жил по отношению друг к другу, а также к заземлённой оболочке или земле. Применяется бумажная, резиновая и пластмассовая (поливинилхлоридная и полиэтиленовая) изоляция. В последнее время всё шире применяется изоляция из сшитого полиэтилена.

Оболочки. Алюминиевая, свинцовая, стальная гофрированная, пластмассовая или резиновая негорючая (наиритовая) оболочка кабеля предохраняет внутренние элементы кабеля от разрушения влагой, кислотами, газами и т. д. В некоторых случаях алюминиевую оболочку допускается использовать в качестве четвёртой (нулевой) жилы. Силовые кабели в свинцовой оболочке применяются в особых случаях (для подводных линий и в шахтах).

Защитные покровы предохраняют оболочки кабелей от внешних воздействий (коррозии, механических повреждений). К ним относятся подушка, бронепокров и наружный покров. В зависимости от конструкции кабеля применяют один, два или три защитных покрова.

Броня из стальных лент или проволок служит для защиты оболочки кабеля от механических повреждений. Проволочная броня воспринимает растягивающие усилия, которые возникают при прокладке кабеля по вертикальным, крутонаклонным трассам или по

болотам. Для предохранения брони от коррозии её покрывают наружным покровом, выполненным из слоя кабельной или стеклянной пряжи, пропитанной битумным составом, а в некоторых случаях поверх слоёв пряжи и битума накладывают выпрессованный поливинилхлоридный или полиэтиленовый шланг.

Монтаж кабельных линий электропередач выполняется в четком соответствии с проектной и технической документацией. При разработке необходимой документации следует учитывать все факторы, влияющие на строительство линий электропередач (особенности трассы, рельефа, результаты геодезических изысканий и прочее), а также условия их эксплуатации. Прокладка кабелей осуществляется в специальных кабельных сооружениях, к которым относятся *кабельные туннели, каналы, шахты, кабельный этаж*.

К кабельным сооружениям линий электропередач относятся также *кабельные блоки, двойной пол, кабельная камера, кабельная эстакада, кабельная галерея*.

4.8 Трансформаторные подстанции

Трансформаторная подстанция – электроустановка, предназначенная для приема, преобразования (повышения или понижения) напряжения в сети переменного тока и распределения электроэнергии в системах электроснабжения потребителей (рисунок 47). Состоит из силовых трансформаторов, распределительных устройств первичного и (или) вторичного напряжения, устройства автоматического управления и защиты, а также вспомогательных сооружений.

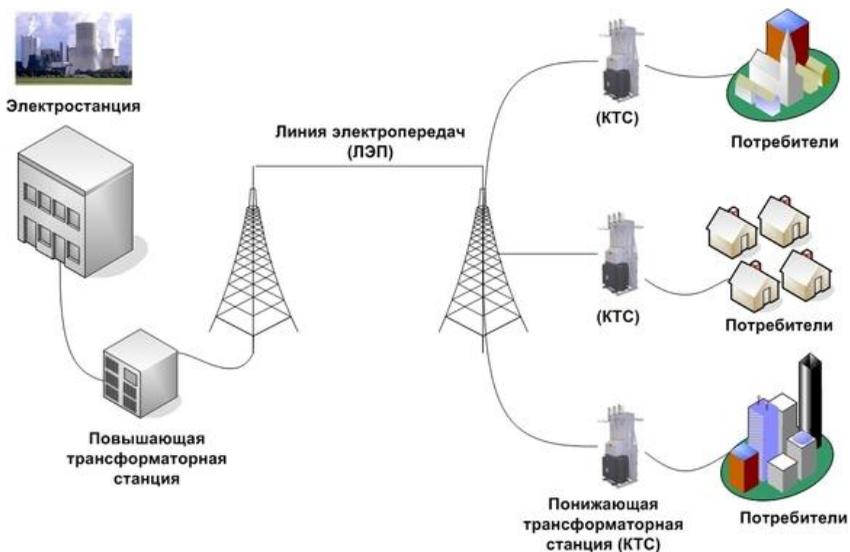
Трансформаторные подстанции классифицируются на *повышающие и понижающие*.

Повышающие трансформаторные подстанции (сооружаемые обычно при электростанциях) преобразовывают напряжение, вырабатываемое генераторами, в более высокое напряжение (одного или нескольких значений), необходимое для передачи электроэнергии по линиям электропередачи (ЛЭП).

Понижающие трансформаторные подстанции преобразуют первичное напряжение электрической сети в более низкое вторичное. В зависимости от назначения и от величины первичного и вторичного напряжений подразделяются на районные, главные понижающие и потребительские.

Районные трансформаторные подстанции принимают

электроэнергию непосредственно от высоковольтных ЛЭП и передают её на главные понижающие трансформаторные подстанции, а те (понижив напряжение до 6, 10 или 35 кВ) – на местные и цеховые подстанции, на которых осуществляется последняя ступень трансформации (с понижением напряжения до 690, 400 или 230 В) и распределение электроэнергии между потребителями [\(http://ru.wikipedia.org/wiki/](http://ru.wikipedia.org/wiki/)



Комплектная трансформаторная подстанция).

Рисунок 47 – Общая схема установки трансформаторных подстанций
(www.sil-trans-form.ru)

В настоящее время как для промышленных, так и для общественных зданий и сооружений используются в качестве основных источников электроснабжения трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ, получающие питание от высоковольтных сетей энергосистемы.

Среди трансформаторных подстанций выделяют стационарные, комплектные блочной конструкции и мобильные.

По конструктивному исполнению *стационарные трансформаторные подстанции* подразделяются на закрытые,

расположенные в закрытых помещениях, открытые (оборудование которых устанавливается на открытом воздухе).

Комплектные трансформаторные подстанции блочной конструкции изготавливают для внутренней (КТПВ) и наружной (КТПН) установок (рисунок 48). Последние представляют собой сборный корпус с тремя отсеками: для аппаратуры – 6–10 кВ, силового трансформатора, распределительного устройства – 0,4 кВ.

В качестве примера на рисунке 48 приведена блочно-модульная комплектная трансформаторная подстанция наружной установки (БКТП) белорусского производства, предназначенная для приёма,



транзита электрической энергии трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 10(6) кВ, преобразования её на напряжение 0,4 кВ и распределения среди потребителей.

Рисунок 48 – Внешний вид блочно-модульной комплектной трансформаторной подстанции

(www.legir.by/sitefiles/2/142/1489/1493/1494/katalog.pdf (18.05.2012))

Мобильные трансформаторные подстанции проектируются комплектными и часть из них – это блок-контейнеры из стали без ходовой части, в которых размещено оборудование и установлен один или два трансформатора. Для питания некоторых электроприемников строительных площадок используют передвижные трансформаторные подстанции, монтируемые на железнодорожных платформах, автоприцепах и т.д. Они обеспечивают работу экскаваторов, земснарядов и другого строительного оборудования (<http://www.e3.by/plans/5/>Трансформаторные подстанции 6, 10/0,4 кВ).