

1. Энергетические системы.

2. Централизованные и автономные системы электроснабжения.

3. Общие понятия о качестве электроэнергии.

1

В настоящее время основной формой организации энергетического производства является энергетическая система.

**Энергетической системой** (или энергосистемой) называют совокупность электрических станций, подстанций, электрических и тепловых сетей, соединённых между собой и связанных общностью производства, передачи, распределения и потребления электрической и тепловой энергии. Таким образом, энергетическая система состоит не только из котлов, турбин, генераторов, бойлеров, линий передач электрической и тепловой энергии, трансформаторов, но и из потребителей – электродвигателей, преобразователей электрической энергии в другие, осветительных и нагревательных приборов и т.д., как в быту, так и на производстве.

Предприятия энергетической системы, в которых энергоресурсы преобразуются только в электрическую энергию, называются **электрическими станциями**, а в которых – в электрическую и тепловую энергию – **теплоэлектрическими центрами**.

Энергетические установки, которые служат для передачи и распределения энергии, называются **энергетическими сетями** – соответственно **электрическими** или **тепловыми**.

Установки, в которых подводимая электрическая энергия преобразуется в какой-либо другой вид энергии, называются **потребителями**.

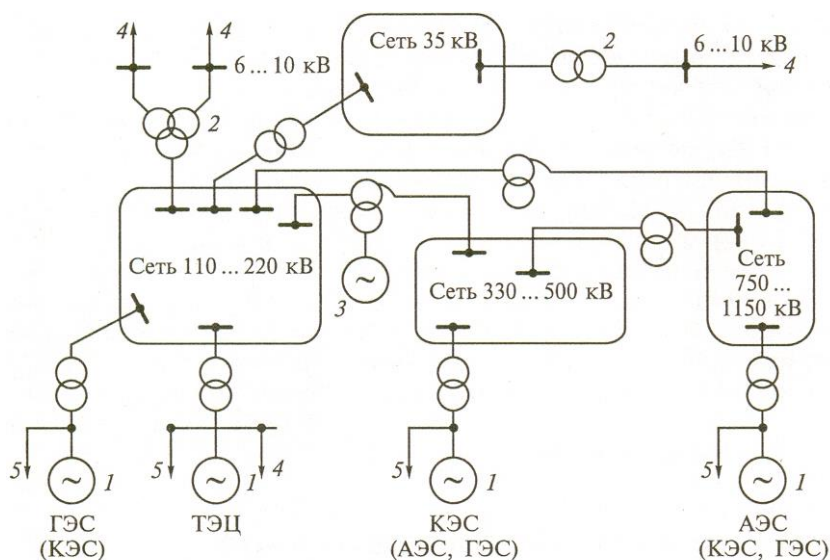


Рис. 2. Структурная схема электрической части энергосистемы  
1 – электростанции (ГЭС, КЭС, ТЭЦ, АЭС); 2 – распределительные подстанции; 3 – синхронные компенсаторы; 4 – фидеры (линии электропередачи) нагрузки; 5 – фидеры собственных нужд электростанций

(выключатели, разъединители и т.д.).

К преобразующим относятся: генераторы, трансформаторы, выпрямители, инверторы, преобразователи частоты и т.д.

На рис. 3 приведён вариант электроэнергетической системы для питания подвижного состава железнодорожного транспорта.

Поскольку генераторы электростанций вырабатывают электроэнергию трёхфазного переменного тока с напряжением не выше 21 кВ, при котором передача её на расстояние неэффективна вследствие больших потерь, обычно рядом с электростанциями располагаются электрические подстанции, повышающие напряжение до 35, 110, 220кВ, а при необходимости передачи на большие расстояния – и до 330, 500, 750кВ и выше. В ряде случаев в целях снижения потерь при передаче электроэнергии повышение напряжения сопровождается образованием переменного тока в постоянный.

Объединение отдельных электростанций и линий электропередачи в энергосистемы способствует:

- уменьшению величины суммарного резерва мощности;

На рис. 2 приведена структурная схема электрической части энергосистемы.

**Электрическая часть электроэнергетической системы** состоит из генераторов электростанций, магистральных линий электропередачи, электрических подстанций и распределительных электрических сетей с присоединёнными к ним приёмниками электрической энергии.

В энергетической системе имеются элементы двух видов:

- передающие, основное назначение которых – передача энергии;

- преобразующие, в которых происходит преобразование электрической энергии по уровню напряжения, либо по роду тока.

К передающим элементам относятся: воздушные и кабельные линии, устройства регулирующие или прекращающие подачу энергии

- уменьшению суммарного максимума нагрузки объединяемых энергетических систем;
- улучшению использования мощности и энергии гидроэлектростанций одной или нескольких энергетических систем и повышение их экономичности в целом;
- снятию остроты проблемы производства и получения энергии при сезонных изменениях мощностей электростанций и нагрузок потребителей, а также при проведении ремонтных работ и авариях.

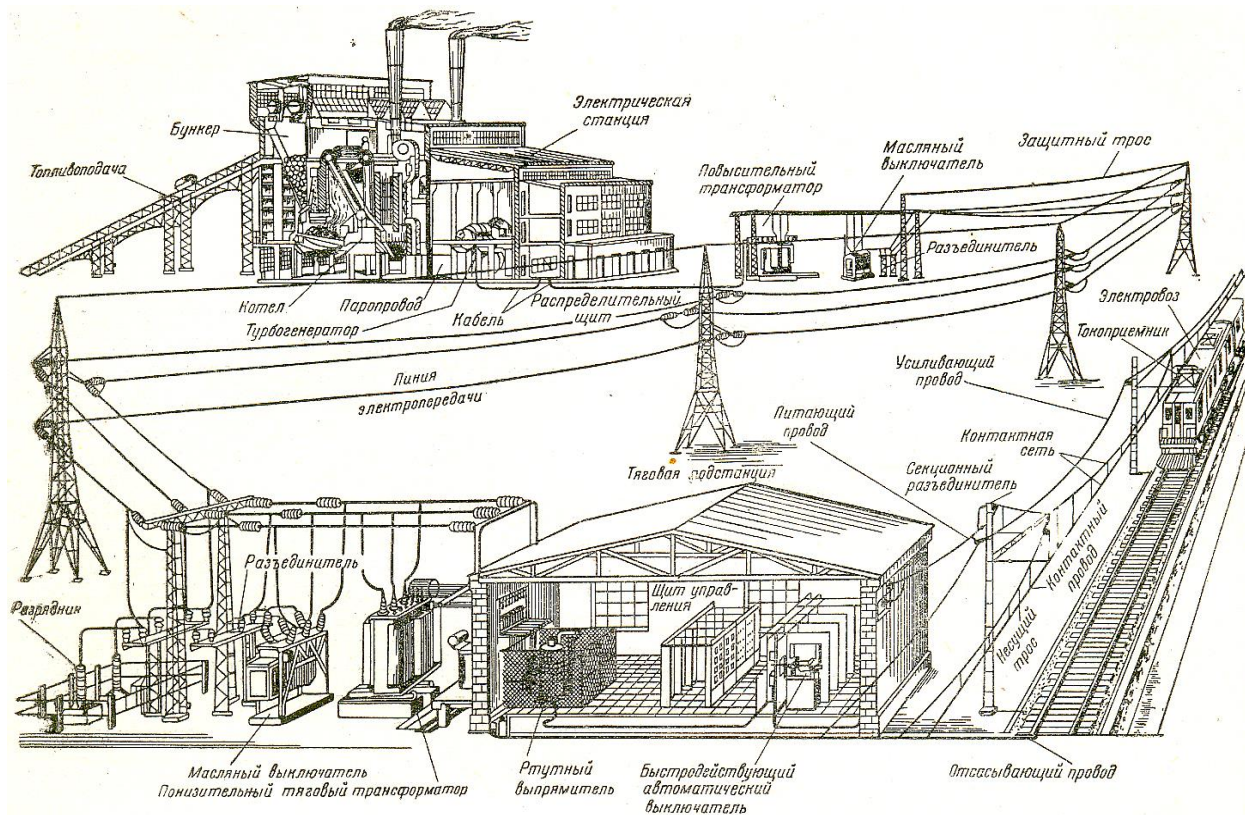


Рис. 3. Электроэнергетической системы для питания подвижного состава железнодорожного транспорта

#### Классификация энергетических систем

1. По виду используемых энергетических ресурсов (а, следовательно, по типу электростанций):
  - с тепловыми электростанциями;
  - с гидроэлектростанциями;
  - смешанного типа.
2. По виду производимой энергии:
  - электроэнергетические;
  - теплоэнергетические;
  - смешанные.
3. По составу потребителей энергии:
  - потребители с осветительной и бытовой нагрузкой;
  - электродвигатели промышленных предприятий;
  - электрическая тяга;
  - электропечи;
  - потребители смешанного типа.
4. По характеру взаимного географического расположения электростанций и потребителей:
  - концентрированные (расположенные рядом);
  - протяжённые (с передачей энергии на дальние расстояния).

Производство электрической энергии отличается от производства продукции в других отраслях промышленности рядом особенностей:

- производство электроэнергии, её распределение и преобразование в другие виды энергии осуществляется одновременно;
- переходные процессы в системе протекают кратковременно;
- электроэнергетическая система тесно связана со всеми отраслями промышленности и бытовыми потребителями.

Одновременность процессов производства, распределения и потребления электрической энергии приводит к тому, что нельзя произвести электроэнергию, не имея потребителей её и наоборот – не имея

производителей энергии, нельзя её потребить. Кроме того, снижение мощности производителя энергии при сохранении количества потребителей приводит к ухудшению качества вырабатываемой энергии. Изменение характера нагрузки также сказывается на качестве производимой энергии.

Быстрота протекания переходных процессов в электроэнергетической системе предопределяет высокую степень автоматизации, быстроедействие системы управления режимами работы и защиты всех её элементов.

Развитие энергетических систем должно происходить опережающими темпами по отношению к росту потребляемой энергии, без диспропорций, с опережением развития сетей по отношению к электростанциям.

Так как энергетическая система состоит из отдельных элементов, то свойства энергетической системы как единого целого определяются свойствами или характеристиками отдельных её элементов. Однако и свойства отдельных элементов системы, естественно, зависят от свойств системы в целом. Кроме того, система как более сложный объект обладает более общими свойствами, связанными не только с характеристиками отдельных элементов, но и с их сочетанием.

Одной из важнейших характеристик каждого элемента системы является совокупность его номинальных данных, к которым относятся:

- нагрузочная и перегрузочная способность, т.е. мощность, которую данный элемент может развивать при преобразовании или передаче энергии без ущерба для его надёжности;
- номинальные значения качественных показателей подводимой, преобразуемой или передаваемой энергии (величина напряжения, частота,  $\cos\varphi$  и т.д.) и допустимые отклонения этих параметров от номинальных значений.

Работа энергетической системы может осуществляться в некотором режиме, под которым подразумевается её состояние, определяемое значениями мощностей, напряжений, токов, частот и других переменных физических величин, характеризующих процессы преобразования, передачи и распределения энергии и называемых параметрами режима.

#### Классификация режимов работы энергосистем

1. По длительности сохранения параметров:

- установившиеся;
- переходные.

2. По характеру работы:

- нормальный;
- вынужденный;
- аварийный.

3. По величине параметров режима:

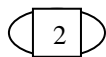
- нормальный установившийся;
- нормальный переходный;
- аварийный переходный;
- послеаварийный установившийся.

#### Требования к режимам работы энергетических систем

1. Надёжность режима работы;
2. Бесперебойность энергоснабжения потребителей;
3. Высокое качество энергии;
4. Экономичность режима.

Требование обеспечения надёжности и бесперебойности рассматриваются с точки зрения обеспечения определённого их уровня, при котором он должен быть оправдан экономической целесообразностью: затраты на обеспечение заданного уровня надёжности должны быть меньше затрат на устранение аварии. Тем более, что более вероятна возникновение серьёзных аварий ниже, чем небольших.

Строго говоря, нормальный режим работы энергосистемы - чисто условный. Объясняется это тем, что работа потребителя энергии носит стохастический характер, как по времени включения, так и по количеству потреблённой энергии. Но так как количество потребителей велико, происходит нивелирование общего потребления энергии вокруг какого-то среднего за определённый период работы системы значения.



Режим работы отдельных звеньев энергетической системы должен быть подчинён режиму работы всей энергетической системы в целом при условии обеспечения безопасности этого режима для оборудования данного звена.

Вместе с тем, к режиму работы каждого звена могут быть предъявлены следующие требования:

- надёжность и безопасность работы каждого звена для обслуживающего персонала и оборудования;
- экономичность работы звена;
- возможность использования всей располагаемой мощности звена.

Требование полного использования мощности звена имеет существенное значение, так как недогрузка оборудования может приводить к снижению надёжности энергетической системы и ухудшению качества энергии, а во многих случаях – к снижению экономичности её работы.

Рассмотрим схемы подключения потребительских установок на примере электрического транспорта.

Система электроснабжения электрического транспорта включает в себя тяговые подстанции, осуществляющие приём, преобразование и распределение электроэнергии, и тяговую сеть, посредством которой осуществляется передача электроэнергии к токоприёмникам подвижного состава. Совокупность тяговых подстанций и тяговой сети образует **систему тягового электроснабжения**.

В системе тягового электроснабжения можно выделить три составные части:

- внешнее электроснабжение, включающее в себя устройства от электрической станции до первичных шин тяговой подстанции;
- тяговая подстанция, включающая в себя распределительные устройства, трансформаторы, выпрямители, устройства собственных нужд;
- внутреннее (тяговое) электроснабжение, включающее в себя устройства, расположенные от вторичных шин тяговой подстанции до токоприёмника подвижного состава – фидеры (провода и кабели), соединяющие тяговую подстанцию с контактной и рельсовой сетями, собственно контактная и рельсовая сети со всеми специальными частями (пересечениями, стрелочными переводами и т.д.).

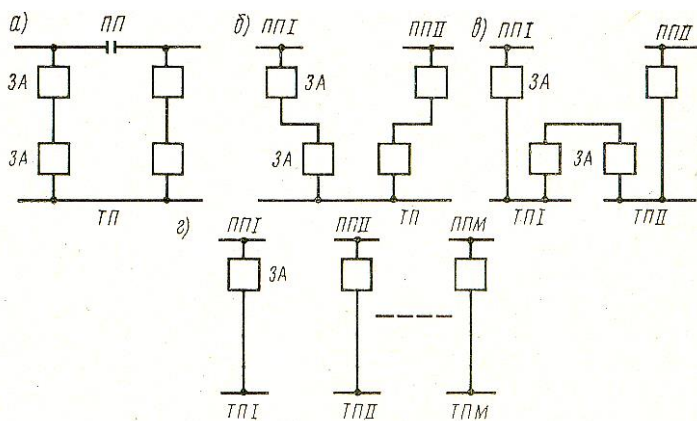


Рис. 4. Радиальные схемы питания потребителя

- а) – параллельное подключение вводов; б) – раздельное подключение вводов; в) – с одиночным кабелем связи; г) – однолучевое;

ПП – понизительная подстанция; ЗА – защитный аппарат;

ТП – тяговая подстанция

частоты преобразуется на тяговой подстанции в постоянный, заданного уровня напряжения (от 600В до 4000В);

- **система однофазного тока** частотой 50Гц, в которой трёхфазный ток промышленной частоты преобразуется в однофазный заданного уровня напряжения;

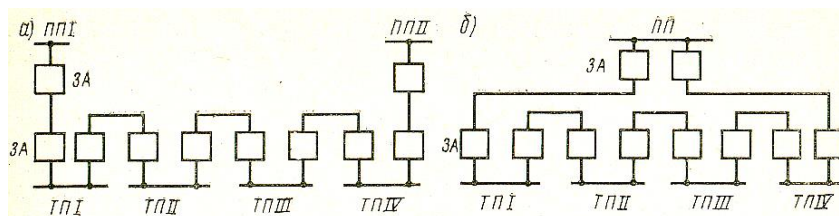


Рис. 5. Магистральная и кольцевая схемы питания потребителя

- а) – линия-шина; б) – кольцевая

наземный и подземный, промышленный, железнодорожный) величина питающего (первичного) напряжения, поступающего на тяговую подстанцию со стороны внешнего электроснабжения может составлять 6, 10, 35, 110 или 220 кВ.

На рис. 7 приведена структурная схема преобразования электрической энергии для питания подвижного состава железнодорожного транспорта от контактной сети напряжением 3,3 кВ.

Электроэнергия напряжением 110(220) кВ поступает от трёхфазного источника (электроэнергетической системы) по специальным линиям (вводам) 1 на распределительное устройство (РУ) 2. РУ включает в себя электрические коммутационные аппараты – высоковольтные выключатели, разъединители, короткозамыкатели и отделители, обеспечивающие коммутацию и защиту электрооборудования. От РУ 110(220) кВ электроэнергия поступает на трёхобмоточный трансформатор 3, где производится понижение величины напряжения до 35 кВ и 10 кВ и гальваническая развязка вторичных цепей от первичной. Напряжение 35 кВ подаётся на РУ 35 кВ (12), а с него по питающим линиям 11 – на районные трансформаторные подстанции, питающие других потребителей. Напряжение 10 кВ подаётся на РУ 10 кВ, а с него – на понизительные трансформаторы 5 и нетяговые железнодорожные потребители 13. С понизительного трансформатора 5 напряжение подаётся на выпрямитель 6, откуда – на распределительное устройство 7 постоянного тока. С РУ постоянного тока положительный потенциал подаётся через

Наиболее часто встречающимися на практике схемами присоединения тяговых подстанций к системе внешнего электроснабжения являются (см. рис. 4 и 5):

- кольцевая;
- магистральная;
- радиальная.

В электроснабжении транспорта, например, применяются следующие системы тока, упрощённые схемы которых приведены на рис. 6:

- **система постоянного тока**, в которой трёхфазный ток промышленной частоты преобразуется в постоянный, заданного уровня напряжения (от 600В до 4000В);

- **система однофазного тока** частотой 50Гц, в которой трёхфазный ток промышленной частоты преобразуется в однофазный заданного уровня напряжения;

- **система однофазного тока пониженной частоты** (25, 16<sup>2/3</sup>, 15 Гц);

- **система трёхфазного тока**, в которой контактная сеть выполняется двухпроводной, а третьим проводом являются рельсы.

В зависимости от назначения электрического транспорта (городской –

городской –

городской –

городской –

городской –

городской –

городской –

городской –

городской –

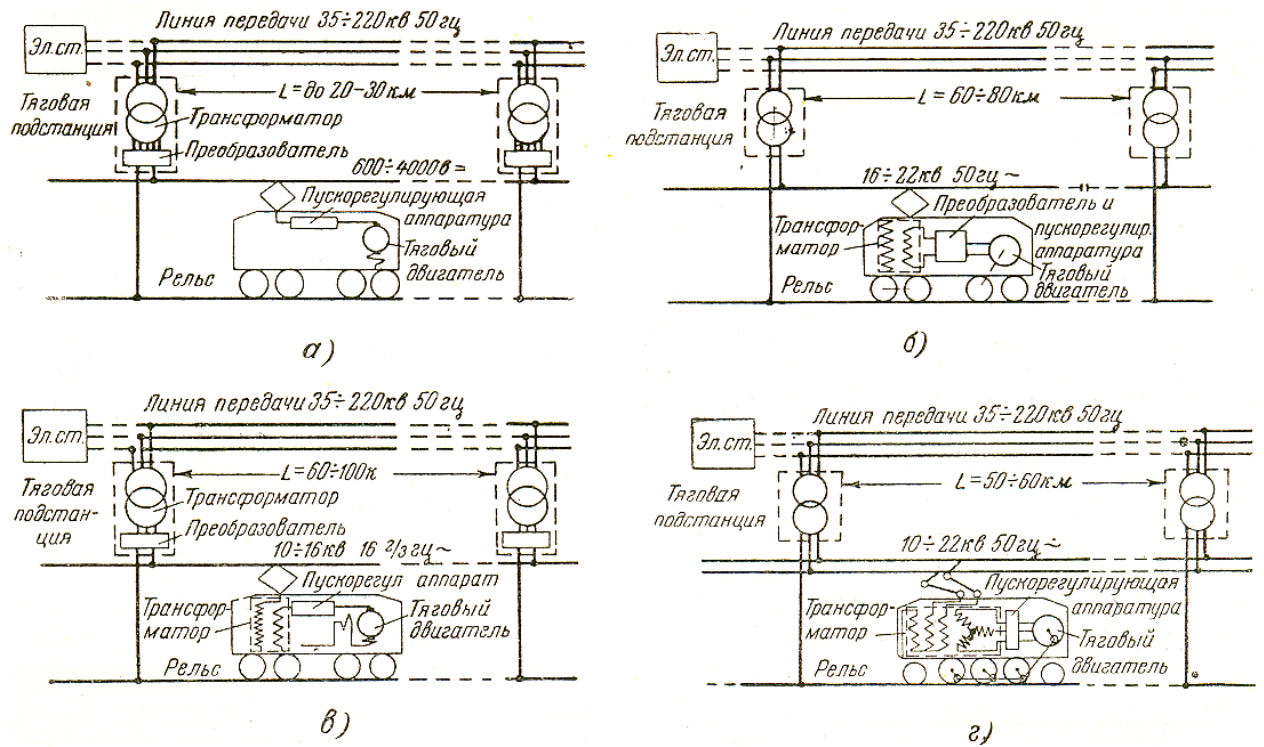


Рис. 6. Варианты электрической тяги в зависимости от рода тока

питающий фидер на контактный провод, а отрицательный через сглаживающее устройство 8 и рельсовый фидер 10 – на рельс. Если питание подстанции осуществляется по линиям передач 6,10 или 35 кВ, то трансформаторы 5 присоединяются непосредственно к РУ первичного напряжения. Структурная схема при этом сокращается до варианта, обведённого штриховой линией.

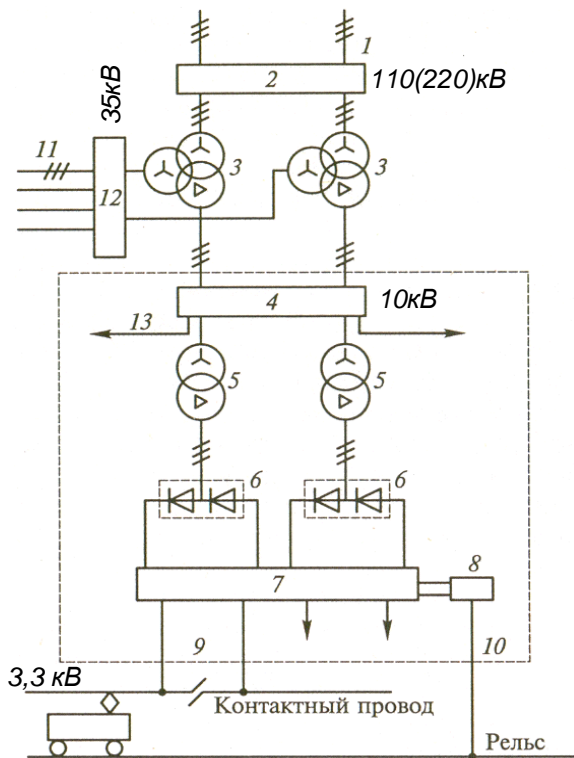


Рис. 7. Структурная схема преобразования на 3,3 кВ

напряжения. Структурная схема при этом сокращается до варианта, обведённого штриховой линией.

На промышленных предприятиях и в сельскохозяйственном производстве системы электроснабжения характеризуются, с одной стороны, меньшим количеством преобразований электрической энергии по роду

Электрoэнергия напряжением 110(220) кВ поступает от трёхфазного источника (электроэнергетической системы) по специальным линиям (вводам) 1 на распределительное устройство (РУ) 2. РУ включает в себя электрические коммутационные аппараты – высоковольтные выключатели, разъединители, короткозамкватели и отделители, обеспечивающие коммутацию и защиту электрооборудования. От РУ 110(220) кВ электроэнергия поступает на трёхобмоточный трансформатор 3, где производится понижение величины напряжения до 35 кВ и 10 кВ и гальваническая развязка вторичных цепей от первичной. Напряжение 35 кВ подаётся на РУ 35 кВ (12), а с него по питающим линиям 11 – на районные трансформаторные подстанции, питающие других потребителей. Напряжение 10 кВ подаётся на РУ 10 кВ, а с него – на понизительные трансформаторы 5 и нетяговые железнодорожные потребители 13. С понизительного трансформатора 5 напряжение подаётся на выпрямитель 6, откуда – на распределительное устройство 7 постоянного тока. С РУ постоянного тока положительный потенциал подаётся через питающий фидер на контактный провод, а отрицательный через сглаживающее устройство 8 и рельсовый фидер 10 – на рельс. Если питание подстанции осуществляется по линиям передач 6,10 или 35 кВ, то трансформаторы 5 присоединяются непосредственно к РУ первичного

тока, а с другой – довольно широким спектром уровня питающего установки напряжения, единичная мощность которых, как правило, меньше, а количество – существенно больше.

Рассмотренные структурные схемы преобразования энергии относятся к **централизованным системам электроснабжения** потребителей.

В отличие от централизованных в **автономных системах электроснабжения** в качестве первичного источника энергии выступает локальная электростанция, не входящая в энергетическую систему района, региона, страны.

Как централизованные, так и автономные системы электроснабжения имеют свои достоинства и недостатки. В большинстве случаев достоинства одной системы являются недостатками другой. Поэтому отметим достоинства каждой из них.

#### Достоинства централизованных систем электроснабжения

1. Большая степень надёжности (за счёт большего количества электростанций);
2. Меньшая удельная (приведённая к единице установленной мощности оборудования) мощность резервного оборудования;
3. Сплавированная (не имеющая острых пиков – суточных, сезонных и т.д.) кривая потребляемой энергии за соответствующий период времени;
4. Меньшая зависимость от перебоев в доставке первичных источников энергии;
5. Меньшая мощность «пиковых» (работающих только в период максимального потребления энергии) электростанций;
6. Лучшее качество вырабатываемой электроэнергии;
7. Лучшие условия для проведения регламентных работ;
8. Меньшая себестоимость произведённой энергии.

#### Достоинства автономных систем электроснабжения

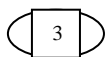
1. Компактность системы (отсутствие внешних линий электропередач, дополнительного оборудования для их осуществления и т.д.);
2. Меньшие капитальные затраты.

Основные проблемы порождены составляющими технологического процесса, который, как указывалось ранее, состоит из стадии производства электрической энергии, стадии передачи электроэнергии и стадии потребления (переработки её потребителями).

Каждая из этих составляющих и порождает проблемы, возникающие при использовании, электроэнергии.

Основные из них заключаются в следующем:

1. Проблема снижения потерь энергии при переработке первичных источников энергии (повышение КПД установок за счёт усовершенствования технологии производства);
2. Проблемы снижения потерь энергии при её передаче;
3. Проблемы снижения потерь энергии при переработке её потребителями.



Любая продукция произведённая человеком, в том числе и энергия, характеризуется целым рядом показателей, одним из которых является качество. Поскольку, как выяснилось выше, наиболее распространённой и приспособленной для нужд человека является электроэнергия, остановимся подробно на её качестве.

Качество электрической энергии определяется ГОСТ 13109-97, который устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения).

При соблюдении указанных норм обеспечивается электромагнитная совместимость электрических сетей систем электроснабжения общего назначения и электрических сетей потребителей электрической энергии (приемников электрической энергии).

Нормы, установленные настоящим стандартом, являются обязательными во всех режимах работы систем электроснабжения общего назначения, кроме режимов, обусловленных:

- исключительными погодными условиями и стихийными бедствиями (ураган, наводнение, землетрясение и т. п.);
- непредвиденными ситуациями, вызванными действиями стороны, не являющейся энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии (пожар, взрыв, военные действия и т. п.);
- условиями, регламентированными государственными органами управления, а также связанных с ликвидацией последствий, вызванных исключительными погодными условиями и непредвиденными обстоятельствами.

Установлены два вида норм КЭ: нормально допустимые и предельно допустимые.

Показателями КЭ являются:

- установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$ ;
- размах изменения напряжения  $\delta U_i$ ;

- доза фликера  $P_f$  (фликер — субъективное восприятие человеком колебаний светового потока источников искусственного освещения, вызванного колебаниями напряжения в электрической сети, питающей эти источники);
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$ ;
- коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$ ;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$ ;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ ;
- отклонение частоты  $\Delta f$ ;
- длительность провала напряжения  $\Delta t_n$ ;
- импульсное напряжение  $U_{имп}$ ;
- коэффициент временного перенапряжения  $K_{пер. U}$ .

В качестве примера приведем конкретные требования по некоторым показателям.

#### Отклонение напряжения:

- нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  на выводах приемников электрической энергии равны соответственно  $\pm 5$  и  $\pm 10\%$  от номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 721 и ГОСТ 21128 (номинальное напряжение).

**Несинусоидальность напряжения** характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения.

Таблица 1 — Значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в %

Нормально допустимое значение при $U_{ном}$ , кВ				Предельно допустимое значение при $U_{ном}$ , кВ			
0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

**Несимметрия напряжений** характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Нормально допустимое и предельно допустимое значения коэффициента несимметрии напряжений по обратной (и нулевой) последовательности в точках общего присоединения к электрическим сетям равны 2,0 и 4,0 % соответственно.

#### Отклонение частоты:

- нормально допустимое и предельно допустимое значения отклонения частоты равны  $\pm 0,2$  и  $\pm 0,4$  Гц соответственно.