Лекция 11.

1. Структурные и принципиальные электрические схемы устройств для преобразования электрической энергии на постоянном и переменном токе (продолжение).
2. Энергетические системы.

1. Трансформаторные преобразователи частоты.

Принципиальная электрическая схема цепей преобразователя для удвоения частоты на базе трансформаторов приведена на рис. 17. Преобразователь выполнен на двух однофазных трансформаторах, каждый из которых имеет три обмотки – первичную *w*1, вторичную *w*2 и подмагничивающую *w*3. Первичные обмотки этих трансформаторов включены встречно, а вторичные и подмагничивающие – согласно. Поэтому в течение первого полупериода питающего напряжения *U*1 в одном из трансформаторов действует сумма магнитодвижущих сил (МДС), создаваемых подмагничивающей (*F*пм) и первичной (*F*μ) обмотками. В течение второго полупериода питающего напряжения *U*1 МДС *F*μ изменяет направление и теперь уже в другом трансформаторе действует суммарная МДС.

На диаграммах, приведённых на рис. 17 показаны кривые, соответствующие состоянию намагничивания в первом полупериоде трансформатора *T*1. В результате действия суммарной МДС кривая потока Ф1 приобретает уплощённую форму, а в трансформаторе *T*2 – поток существенно уменьшается в кривой Ф2 образуется провал. Во втором полупериоде формы кривых потоков в трансформаторах меняются. Таким образом, кривые потоков обоих трансформаторов имеют несимметричную форму, а, следовательно, содержат как чётные, так и нечётные гармоники.

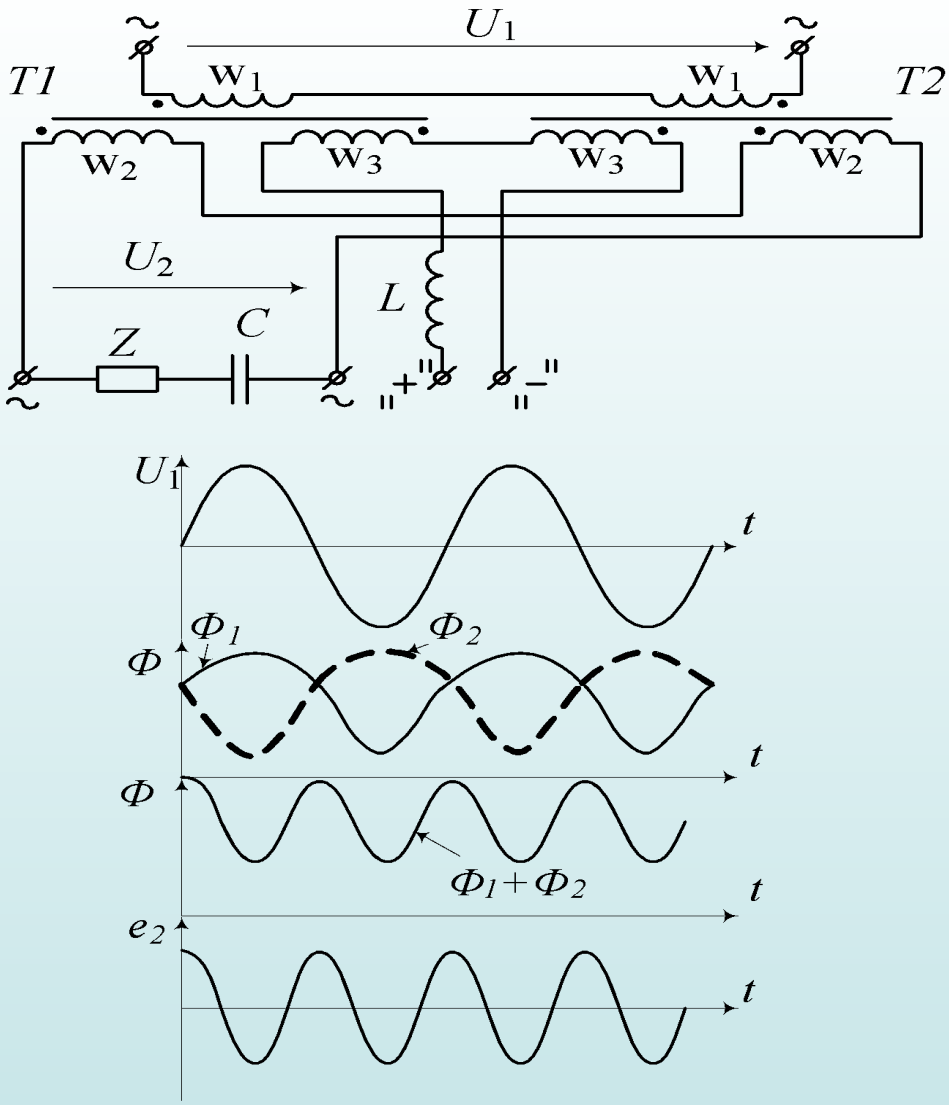

Рис. 17. Схема удвоителя частоты на трансформаторах

При встречном включении первичных обмоток индуцируемая в них результирующая ЭДС *e*1, уравновешивающая прикладываемое к ним напряжение *U*1, создаётся разностью потоков Ф1 и Ф2. Эта разность изменяется с частотой *f*1 питающего напряжения и не содержит чётных гармоник. Результирующая ЭДС, индуцированная в соединённых согласно вторичных обмотках, создаётся суммой потоков Ф1 и Ф2, которая не содержит нечётных гармоник. Поэтому результирующая ЭДС и выходное напряжение *U*2 определяются в основном второй гармоникой потоков Ф1 и Ф2, т.е. изменяются с удвоенной частотой $f_2=2f_1$.

Амплитуду выходного напряжения *U*2 можно регулировать, изменяя силу тока подмагничивания.

Для того, чтобы по обмоткам подмагничивания не протекали переменные токи, созданные чётными гармониками ЭДС, в цепь их питания включается дроссель *L*.

Принцип работы преобразователей для утроения частоты питающего напряжения на нагрузке, выполненных на базе трансформаторов, основан на использовании третьей гармони-ки, возникающей при насыщении сердечников трансформаторов, подключённых к трёхфаз-ной сети.

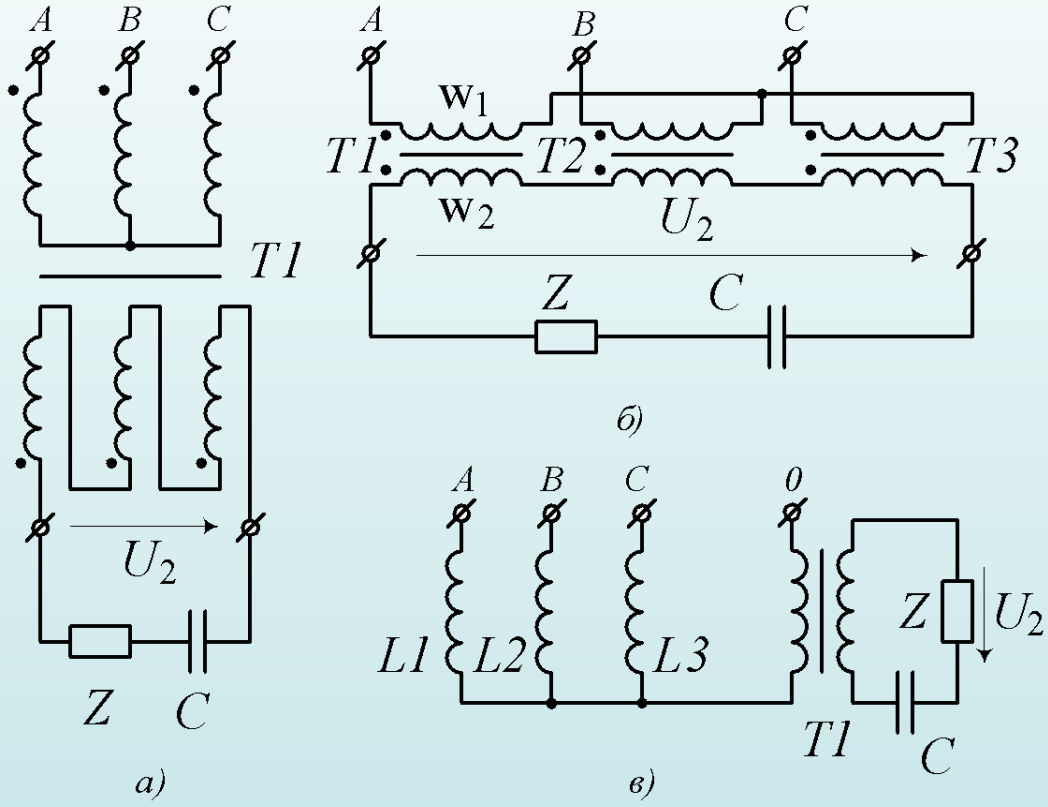

Рис. 18. Схемы утроителей частоты на трансформаторах

На рис. 18*а* приведена принципиальная электрическая схема трёхфазного трансформаторного преобразователя для утроения частоты, подключение нагрузки ко вторичным обмоткам которого осуществляется по схеме «разомкнутый треугольник».

При соединении вторичных обмоток трансформатора по такой схеме третьи гармоники ЭДС отдельных фаз совпадают по времени, циркулируя при этом с тройной частотой. Для получения большей амплитуды третьей гармоники сердечники трансформатора выполняются насыщенными.

Тот же результат получается при использовании трёх однофазных трансформаторов (см. рис. 18*б*) или одного однофазного трансформатора и трёх дросселей с насыщающимися сердечниками, соединёнными по схеме рис. 18*в*. Ток в каждом из дросселей преобразователя, выполненного по последней схеме, несинусоидален и содержит значительную по величине третью гармонику. В нулевой точке сумма токов питающей частоты равна нулю, а токи утроенной частоты, протекающие по первичной обмотке трансформатора

складываются. Поэтому во вторичной обмотке трансформаторе индуцируется ЭДС тройной частоты. Для компенсации падения напряжения в трансформаторе из-за утроенной частоты в цепи нагрузки включается конденсатор *С*.

Электромашинные преобразователи.

Электромашинные преобразователи предназначены для преобразования переменного тока в постоянный и наоборот, изменения величины напряжения, частоты, числа фаз и т. д. Несмотря на активное внедрение статических полупроводниковых преобразователей, позво-

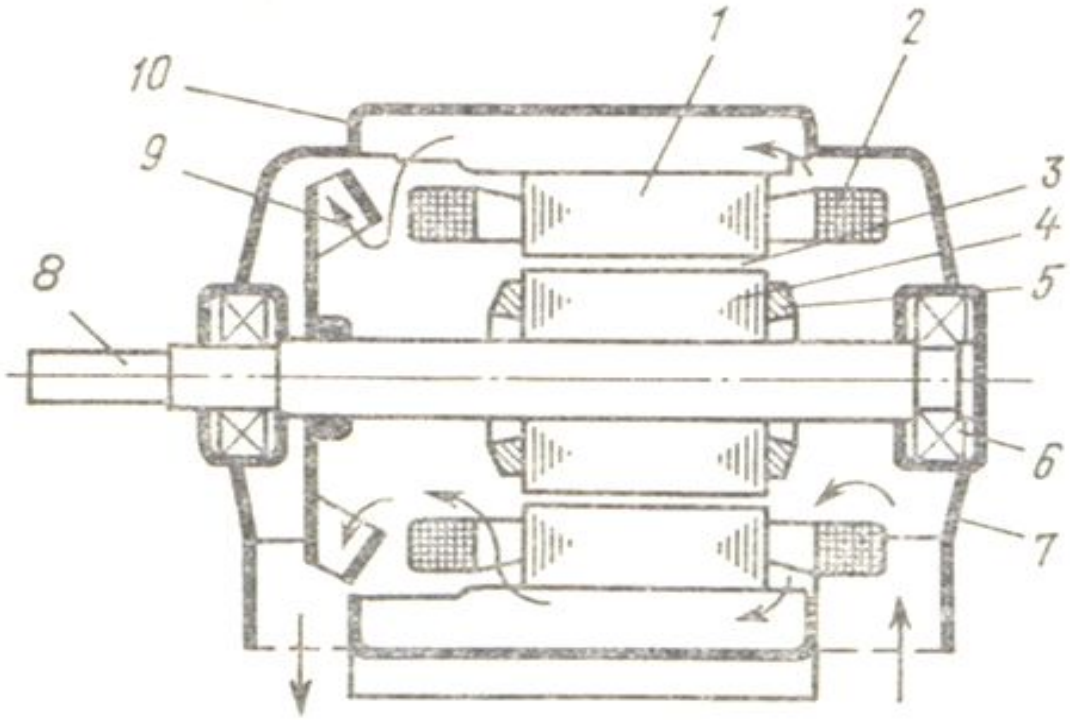

Рис. 19. Машина переменного тока
1 –статор; 2 –обмотка статора; 3 –зазор; 4 –ротор; 5 – обмотка ротора; 6 –подшипники; 7 – щиты подшипниковые; 8 –вал; 9 –вентилятор; 10 -станина

ляющих заменить вращающиеся, роль последних ещё достаточна велика, а в некоторых случаях – исключительна.

Конструктивно преобразователи выполняются в виде электрической машины, на общем валу которой размещаются, например, ротор трёхфазного асинхронного двигателя (см. рис. 19) и якорь генератора постоянного тока (см. рис. 20). Поле каждой из электрических машин создаётся своей магнитной системой, для чего в корпусе над ротором (статоре) асинхронного мотора в пазах укладываются трёхфазные обмотки, а над якорем генератора постоянного тока – полюсы с

размещёнными на них обмотками возбуждения.

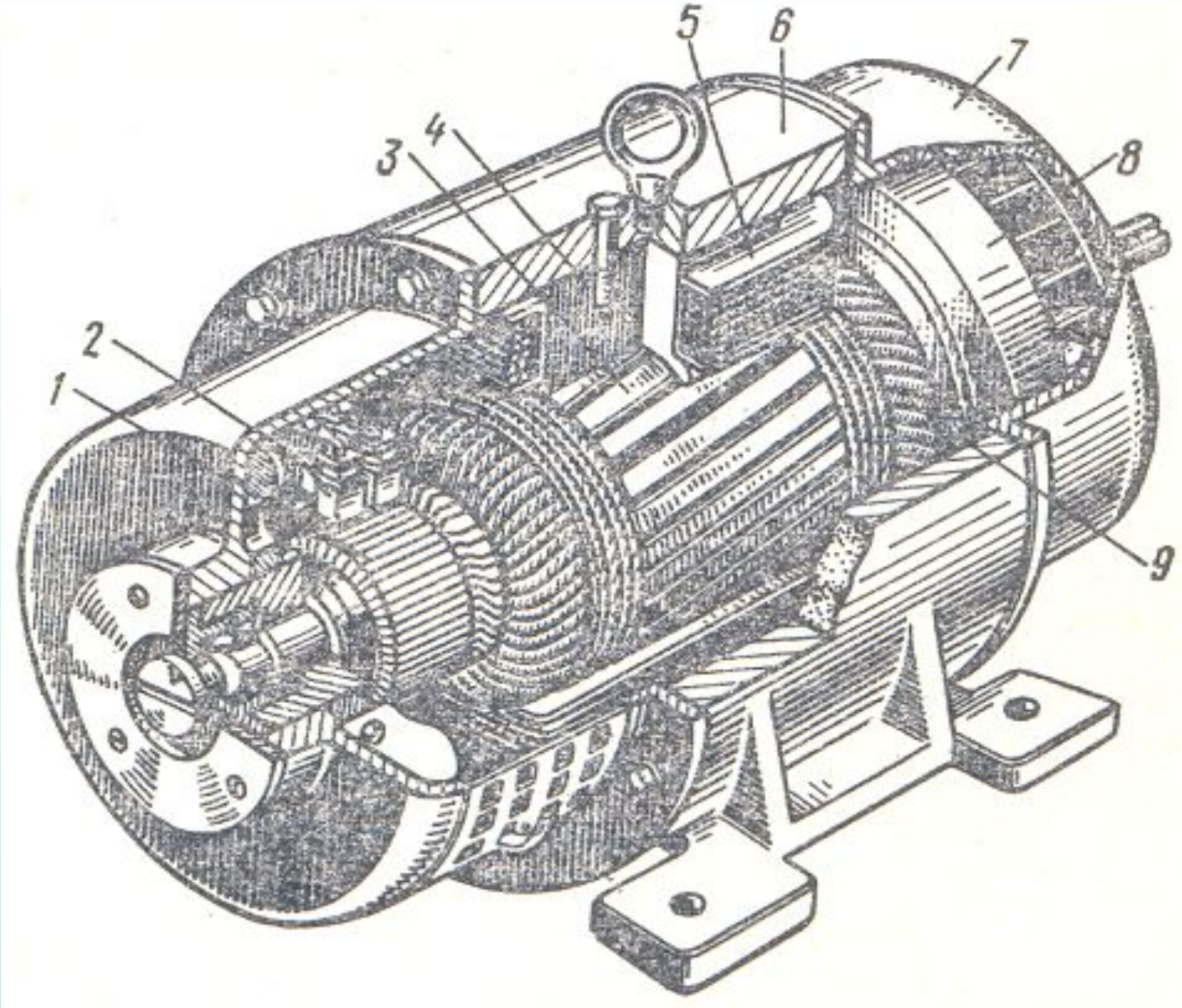

Рис.20. Машина постоянного тока

1 –коллектор; 2 –щётки; 3 –сердечник якоря; 4 –главный полюс; 5 –катушка обмотки возбуждения; 6- станина; 7 –подшипниковый щит; 8 – вентилятор; 9 – обмотка якоря

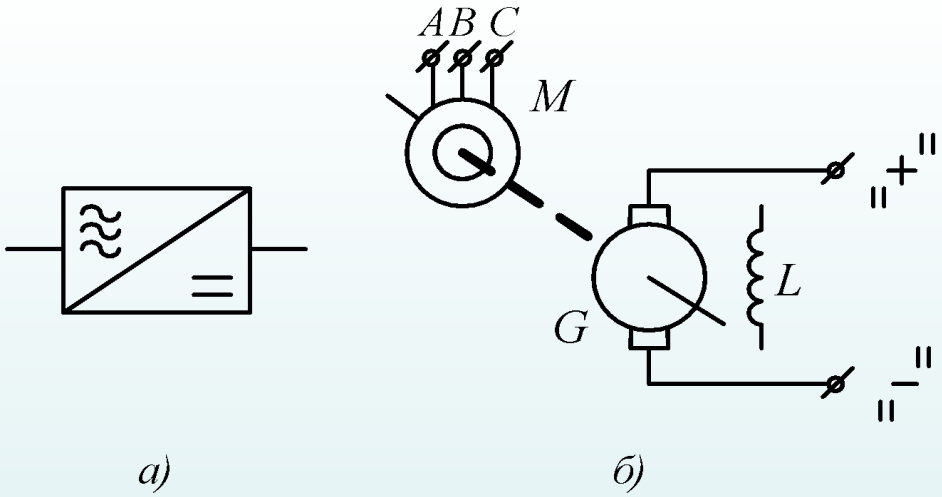

Рис. 21. Схема электромашинного преобразователя

Структурная и принципиальная электрическая схемы электромашинного преобразователя трёхфазного переменного тока в постоянный приведены на рис. 21*а* и *б* соответственно.

Принцип работы преобразователя заключается в следующем. При подаче питания от трёхфазной сети переменного тока на асинхронный двигатель вал преобразователя начинает вращаться. Если обмотку возбуждения *L* генератора *G* запитать постоянным током, то на зажимах его якорной обмотки появится ЭДС. При подключении к выходным зажимам нагрузки по цепи генератор – нагрузка потечёт ток, сила которого зависит от величины напряжения на зажимах, которая регулируется величиной тока в обмотке возбуждения генератора.

Преобразователь обладает свойством обратимости. Если якорную обмотку генератора запитать от источника постоянного то-ка при сохранении поля машины (т. е. использовать генератор в качестве мотора), то на зажимах асинхронной машины появится переменное напряжение. Аналогичным образом устроены электромашинные преобразователи частоты, фаз и др.

2. 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 централями**.

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**.

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.

На рис. 22 приведён вариант электроэнергетической системы для питания подвижного состава железнодорожного транспорта.

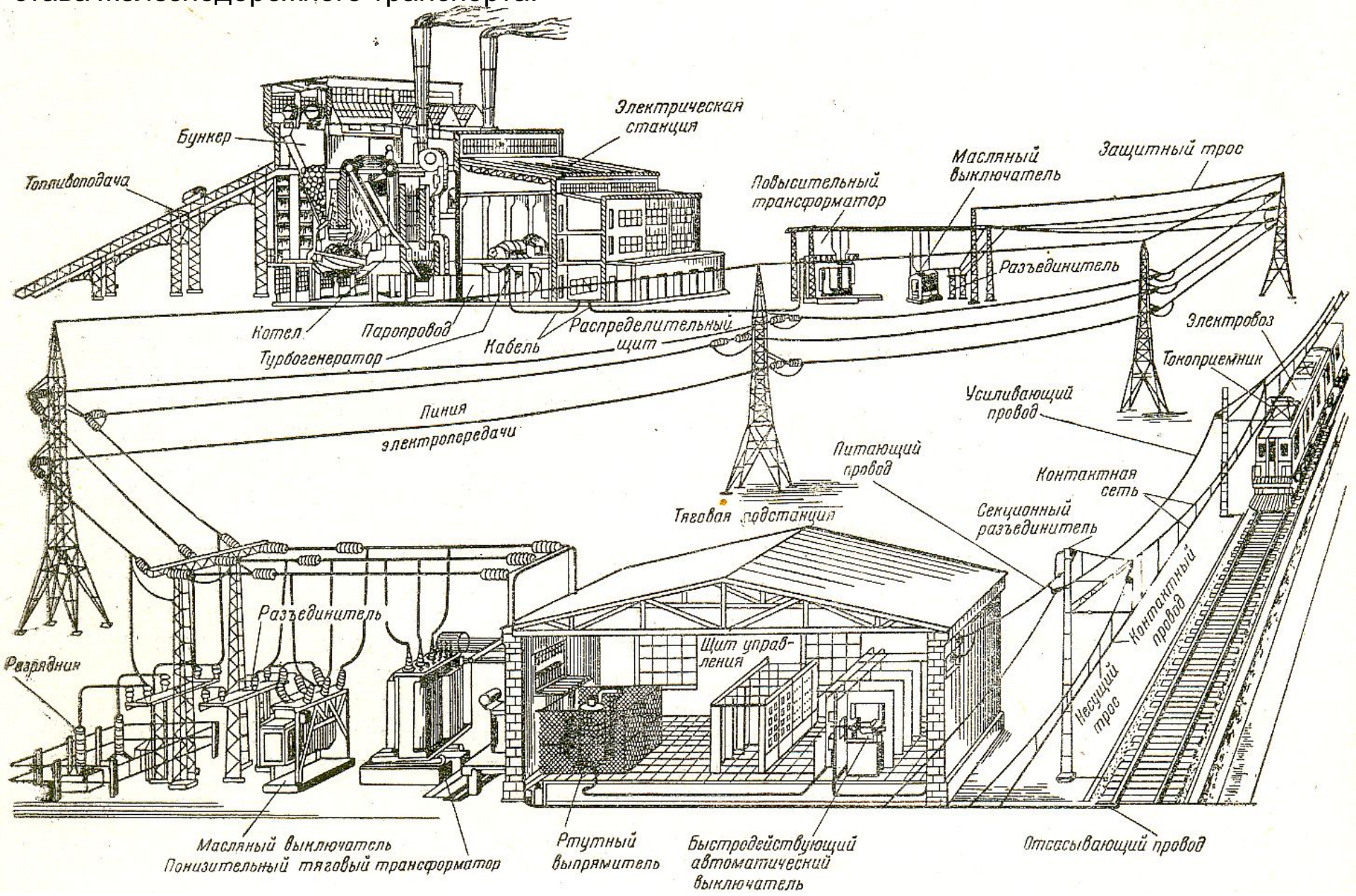

Рис. 22. Электроэнергетической системы для питания подвижного состава железнодорожного транспорта

К передающим элементам относятся: воздушные и кабельные линии, устройства регулирующие или прекращающие подачу энергии (выключатели, разъединители и т.д.).

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

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 преобразованием переменного тока в постоянный.

Объединение отдельных электростанций и линий электропередачи в энергосистемы способствует:

- уменьшению величины суммарного резерва мощности;
- 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.

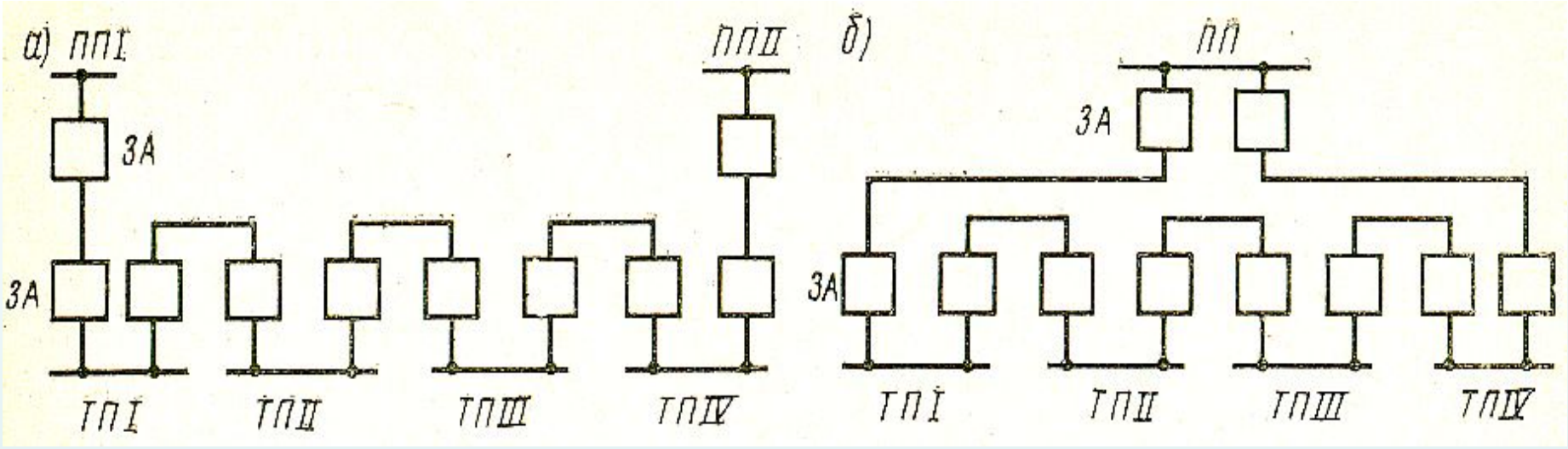

Рис. 58. магистральная и кольцевая схемы питания потребителя
а) – линия-шина; *б)* – кольцевая

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, быстродействие 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 вероятность возникновения серьёзных аварий ниже, чем небольших.