

Лекция 12.

1. Энергетические системы (продолжение).

2. Централизованные и автономные системы электроснабжения.

1. 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).

5. По виду схем соединения электрических сетей (см. рис. 57 и 58 на примере тягового потребителя):

- радиальные;
- магистральные;
- кольцевые.

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.

2. 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.

Рассмотрим схемы подключения потребительских установок на примере электрического транспорта.

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.

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 по-движного состава. Совокупность тяговых подстанций и тяговой сети образует **систему тя-гового 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.).

Наиболее часто встречающимися на практике схемами присоединения тяговых подстанций к системе внешнего электроснабжения являются (см. рис. 23 и 24):

- кольцевая;
- магистральная;
- радиальная.

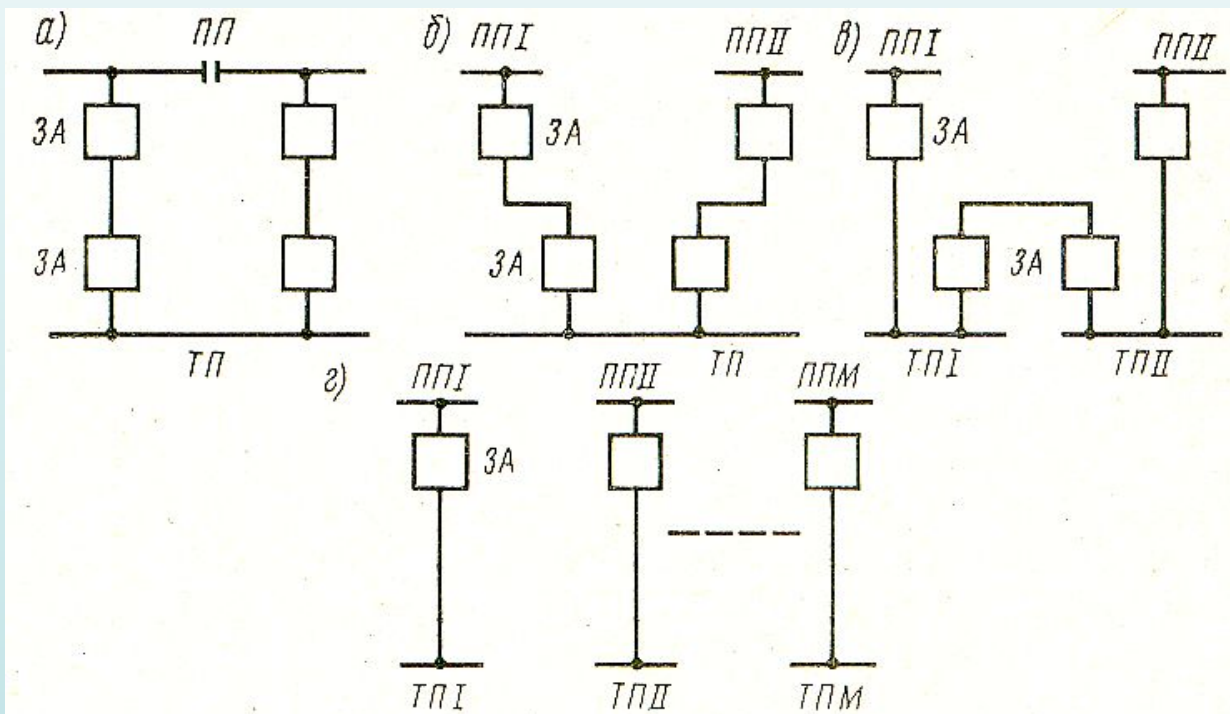


Рис. 23. Радиальные схемы питания потребителя

а) – параллельное подключение вводов; б) – раздельное подключение вводов; в) – с одиночным кабелем связи; г) – однолучевое;
 ПП – понизительная подстанция; ЗА – защитный аппарат; ТП – тяговая подстанция

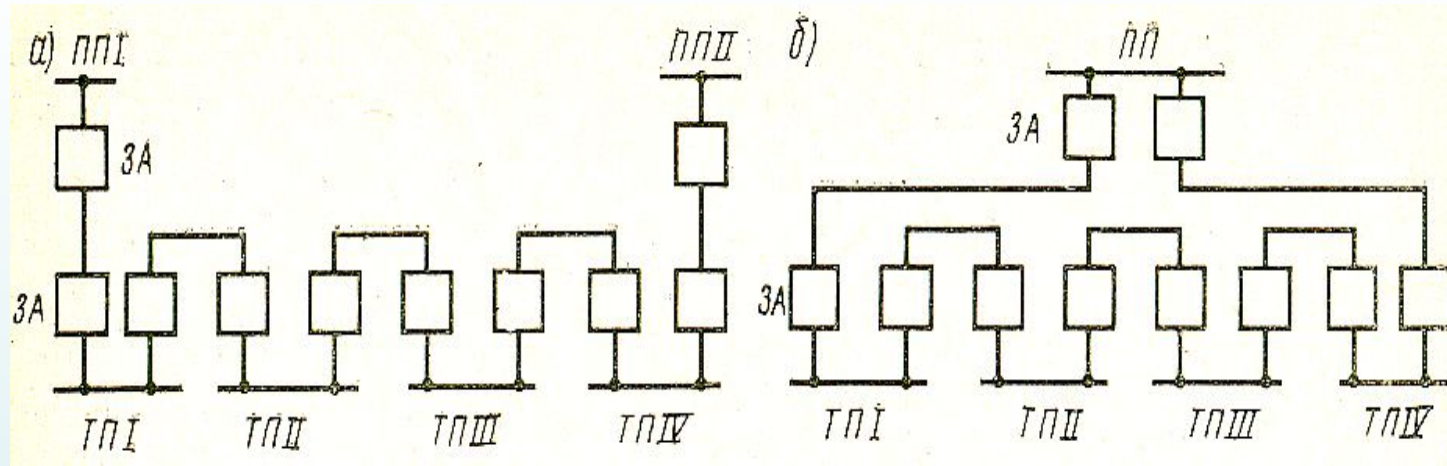
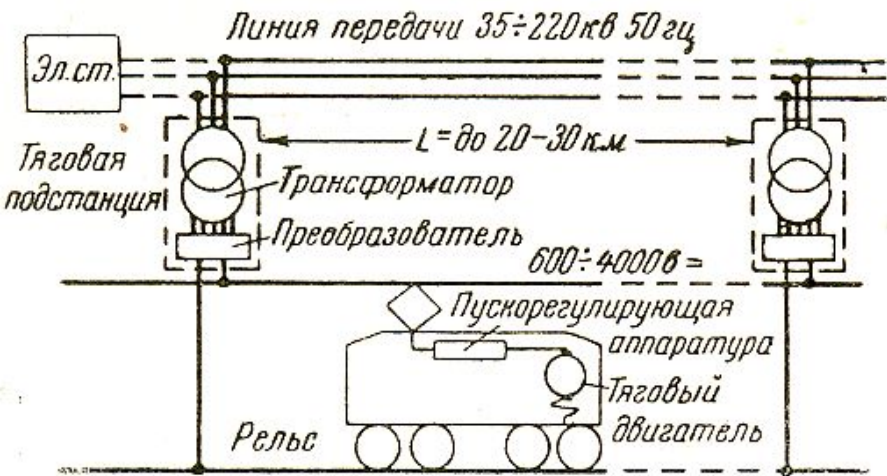


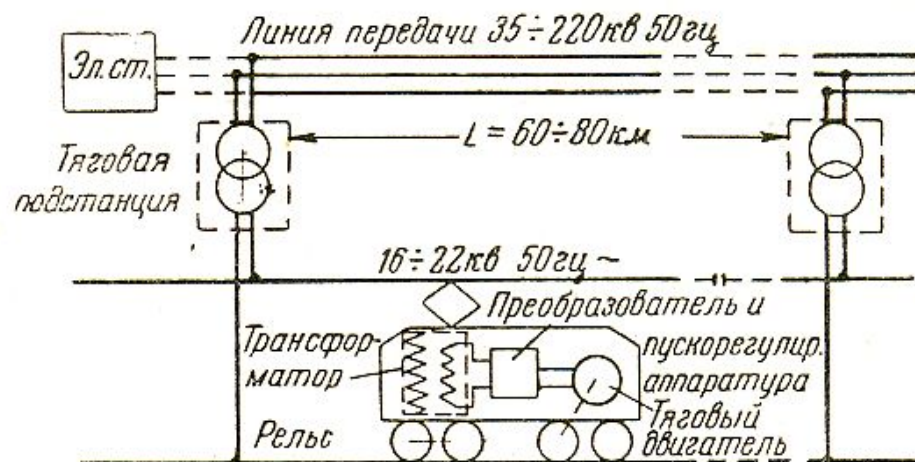
Рис. 24. Магистральная и кольцевая схемы питания потребителя
 а) – линия-шина; б) – кольцевая

В электрической тяге с передачей тока по проводам применяются следующие системы тока, упрощенные схемы которых приведены на рис. 25:

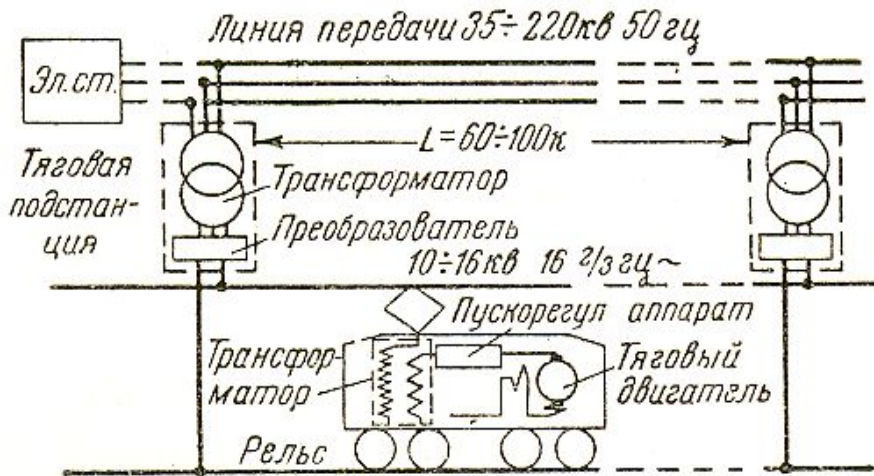
- **система постоянного тока**, в которой трёхфазный ток промышленной частоты преобразуется на тяговой подстанции в постоянный, заданного уровня напряжения (от 600В до 4000В);
- **система однофазного тока** частотой 50Гц, в которой трёхфазный ток промышленной частоты преобразуется в однофазный заданного уровня напряжения;
- **система однофазного тока пониженной частоты** (25, 162/3, 15 Гц);
- **система трёхфазного тока**, в которой контактная сеть выполняется двухпроводной, а третьим проводом являются рельсы.



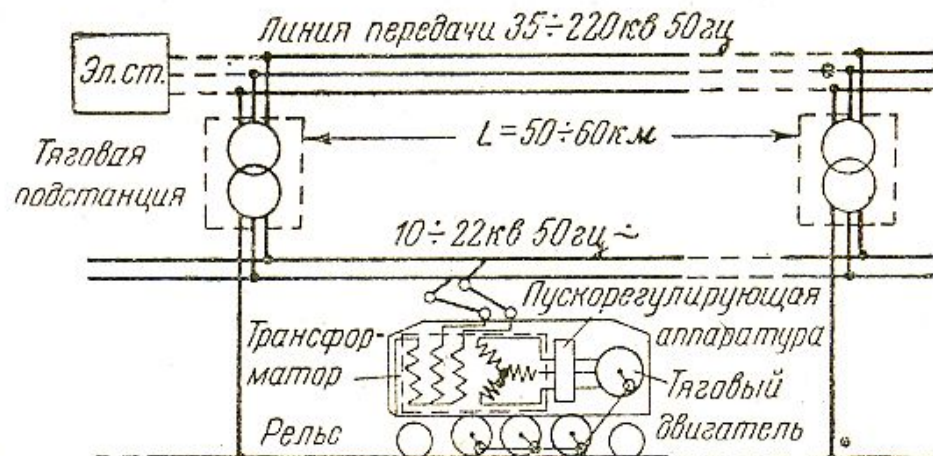
а)



б)



в)



г)

Рис. 25. Варианты электрической тяги в зависимости от рода тока

На рис. 26 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.

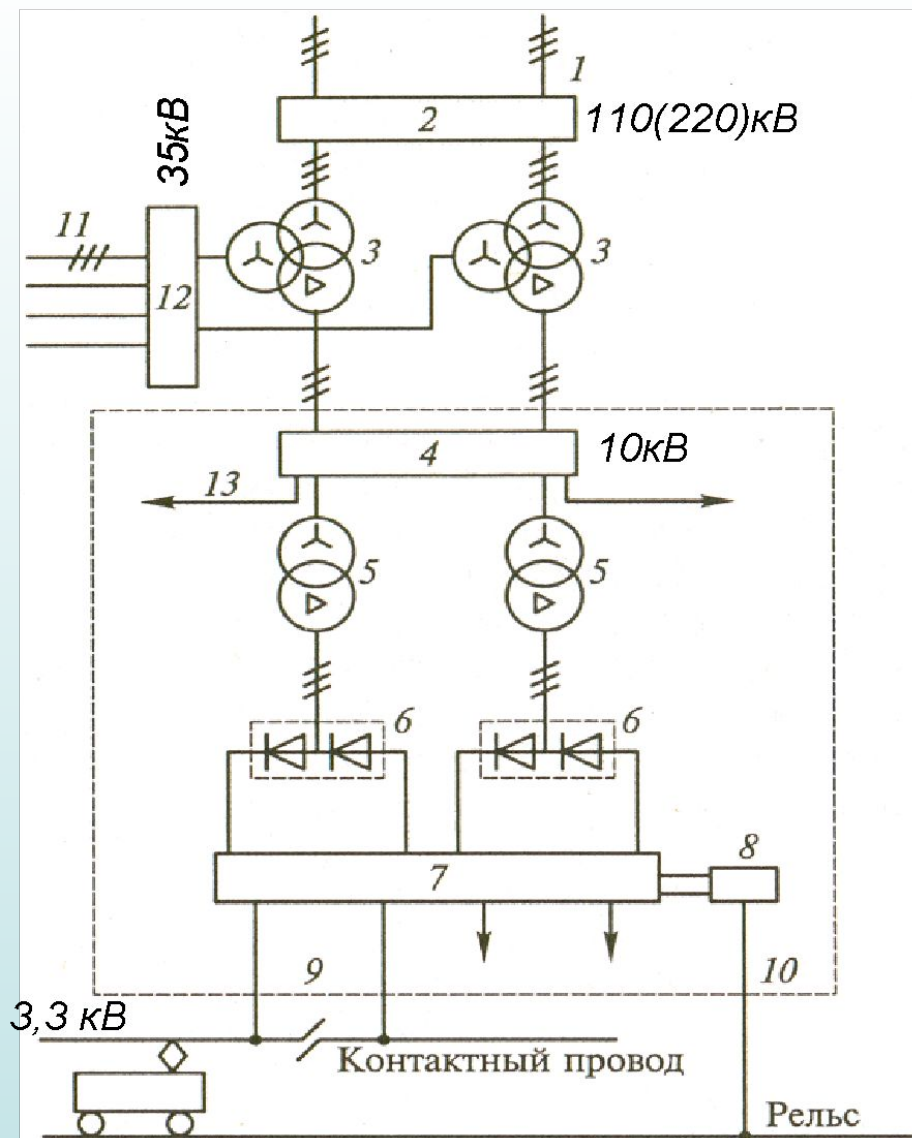


Рис. 26. Структурная схема преобразования на 3,3 кВ

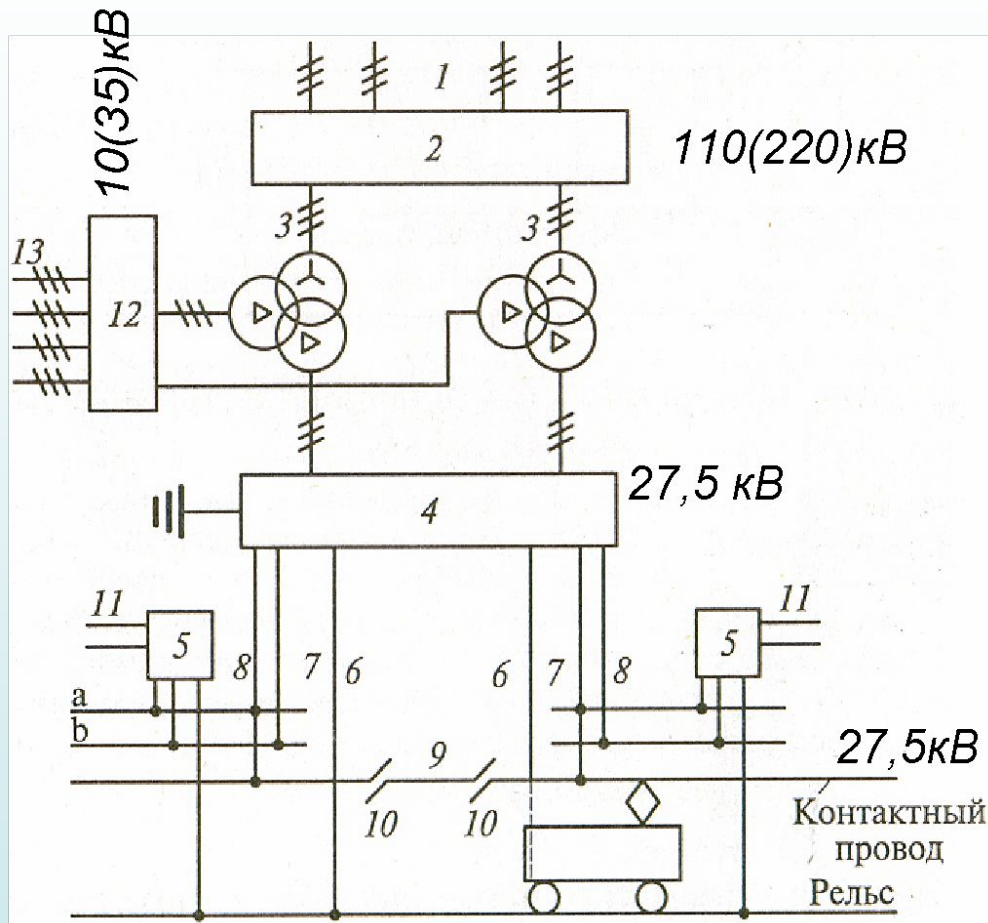


Рис. 27. Структурная схема преобразования трёхфазного в однофазное напряжением 27,5 кВ

Питающее трёхфазное напряжение 110 (220) кВ по вводам 1 подаётся на РУ (2), откуда – на понизительные трансформаторы 3. С выводов обмотки среднего напряжения понизительного трансформатора напряжение 27,5 кВ подаётся на РУ 27,5 кВ (4), откуда по фидерам 7 и 8 – на провода контактной сети, а по фидеру 6 – на рельсовую сеть.

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

Структурная схема преобразования трёхфазного напряжения частотой 50 Гц в однофазное напряжением 27,5 кВ той же частоты для питания подвижного состава железнодорожного транспорта на рис. 27.

На секционированные участки тяговой сети (между контактной сетью и рельсами) подаётся однофазное напряжение, снимаемое с разных обмоток трансформатора, соединённых в «треугольник»: между фидерами 6 и 7 – фаза А, между фидерами 6 и 8 – фаза В и между фидерами 7 и 8 – фаза С. Присоединение участков контактной сети к разным фазам (А и В) вторичной обмотки трансформатора приведёт к короткому замыканию, если не принять специальной меры – увеличения расстояния между контактными проводами, находящимися под разными потенциалами. С этой целью (см. рис. 61) участки контактной сети разделяются воздушными промежутками 10 и нейтральными (не имеющими потенциала) вставками 9.

Со вторичной обмотки низкого напряжения 10(35) кВ через РУ (12) по питающим линиям 13 напряжение подаётся на районные подстанции потребителей.

Нетяговые потребители снабжаются электроэнергией по питающим фидерам 11, присоединённым к РУ (5).

Однако наибольшая сложность осуществления рекуперативного торможения в системе с маховиком заключается в создании надежного и эффективного привода, работающего во всём диапазоне скоростей с высоким КПД.

Ёмкостной накопитель энергии

Ёмкостные накопители (ЕН) запасают энергию электрического поля в виде заряда на обкладках.

К достоинствам данного вида накопителя энергии можно отнести:

- простоту технического обслуживания;
- надежность в работе;
- высокую эффективность передачи накопленной энергии в нагрузку;
- возможность изменения в широких пределах параметров импульса;
- работу в широком диапазоне температур;
- длительный эксплуатационный срок.

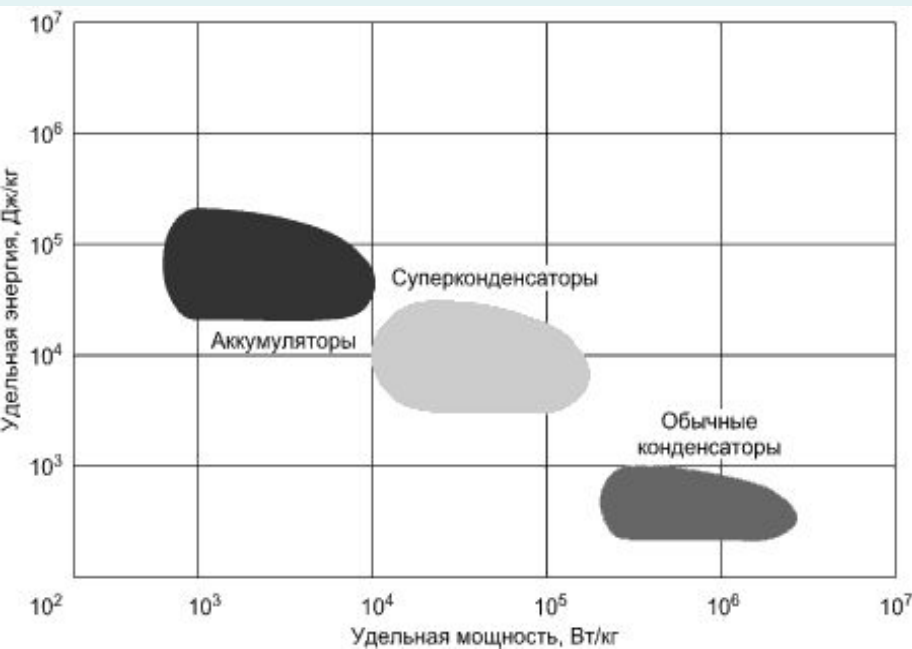
Существенное ограничение применения ЕН на электрическом транспорте обусловлено тем, что накопителем электрической энергии может быть конденсатор, обладающий ёмкостью не менее десятков или даже сотен фарад.

Использование емкостных накопителей становится эффективным в связи с разработкой за рубежом и в России конденсаторов с двойным электрическим слоем (КДЭС) или электро-химических конденсаторов (ЭХК).

Функционально КДЭС представляют собой класс устройств для накопления - выделения энергии, в которых используются электролиты и электроды различного вида. При этом в от-

личие от аккумуляторных батарей, в которых энергия накапливается в форме внутренней энергии вещества активной массы электродов, электрохимические конденсаторы используют накопление заряда на поверхности раздела сред: электрод (электронный проводник) – электролит (ионный проводник).

Величину отдаваемой ЭХК энергии при различной мощности разряда характеризует график Рагони, представленный на рис. 33.



Благодаря тому, что расстояние между заряженной поверхностью проводника (из которого изготавливаются электроды) и слоем ионов очень мало (измеряется ангстремами), а величина поверхности проводника, изготовленного из высокопористого материала (например, активированного угля), достигает $1500 \dots 3000 \text{ м}^2/\text{г}$ (см. рис. 71), емкость угольного электрода массой 1 г может составлять $100 \dots 500 \text{ Ф}$.

Рис. 70. Позиционирование различных видов накопителей в зависимости от их удельных характеристик по графику Рагони

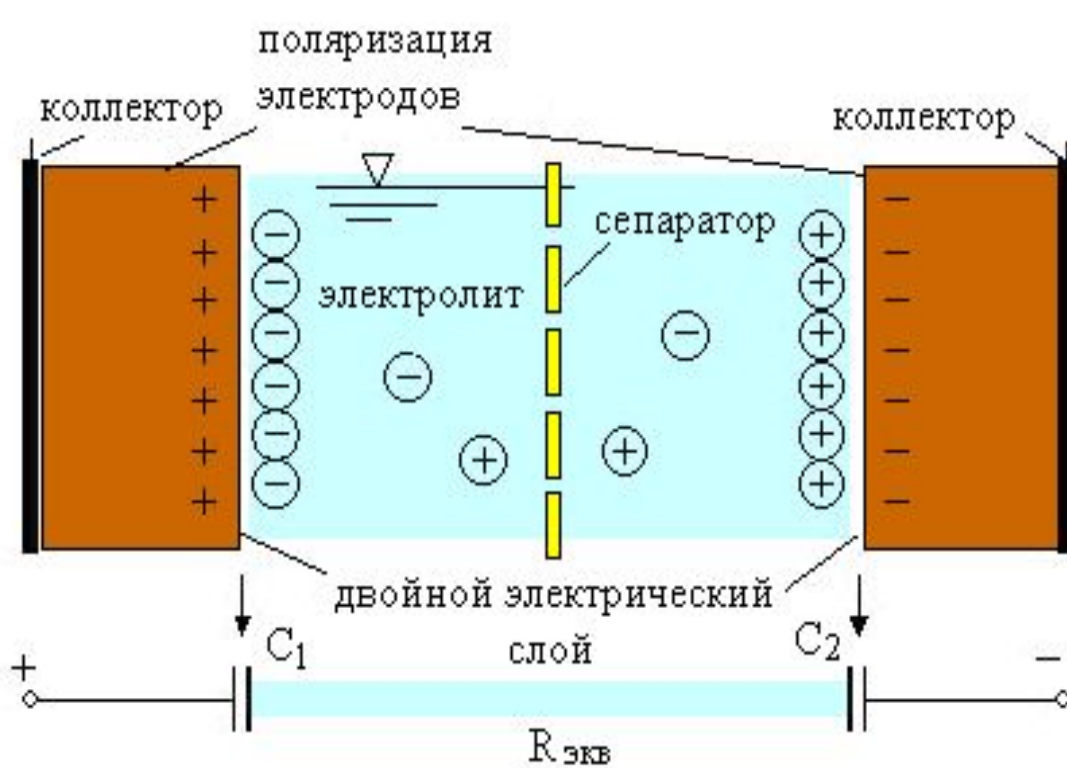


Рис. 71. Упрощенная эквивалентная схема КДЭС

Скорость отдачи энергии КДЭС мало зависит от температуры конденсатора и остается теоретически неизменной в диапазоне от -100 до $+160$ °С. Это объясняется тем, что накопление электроэнергии в КДЭС не связано с протеканием в нем химических реакций. Конкретный состав электролита принципиальной роли не играет. В частности, он может быть как кислотным или щелочным, так и солевым (нейтральным), или с электролитом в виде твёрдого раствора. Принципиальное значение имеет лишь концентрация ионов. Ионы скапливаются на поверхности электродов, образуя так

называемый двойной электрический слой, если приложенный потенциал не превышает энергию гидратации ионов, как правило, несколько вольт. В случае дальнейшего увеличения напряжения начинается электролиз, поэтому рабочее напряжение ограничено потенциалом гидратации ионов.



Конструктивно КДЭС представляет собой систему (рис. 72), состоящую из двух электродов, помещенных в электролит, где двойной электрический слой на поверхности каждого электрода является отдельным конденсатором, соединенными между собой последовательно через проводник с ионной проводимостью (электролит) и разделенные сепаратором – слоем ионопроводящего, но электрононепроводящего материала.

В октябре 2003 года были спроектированы улучшенные КДЭС, названные конденсаторами на нанозатворах или наноуглеродными конденсаторами. Плотность энергии в них составила 50–75 , что десятикратно превышает показатели существующих КДЭС.

Рис. 72. Конструктивное исполнение КДЭС