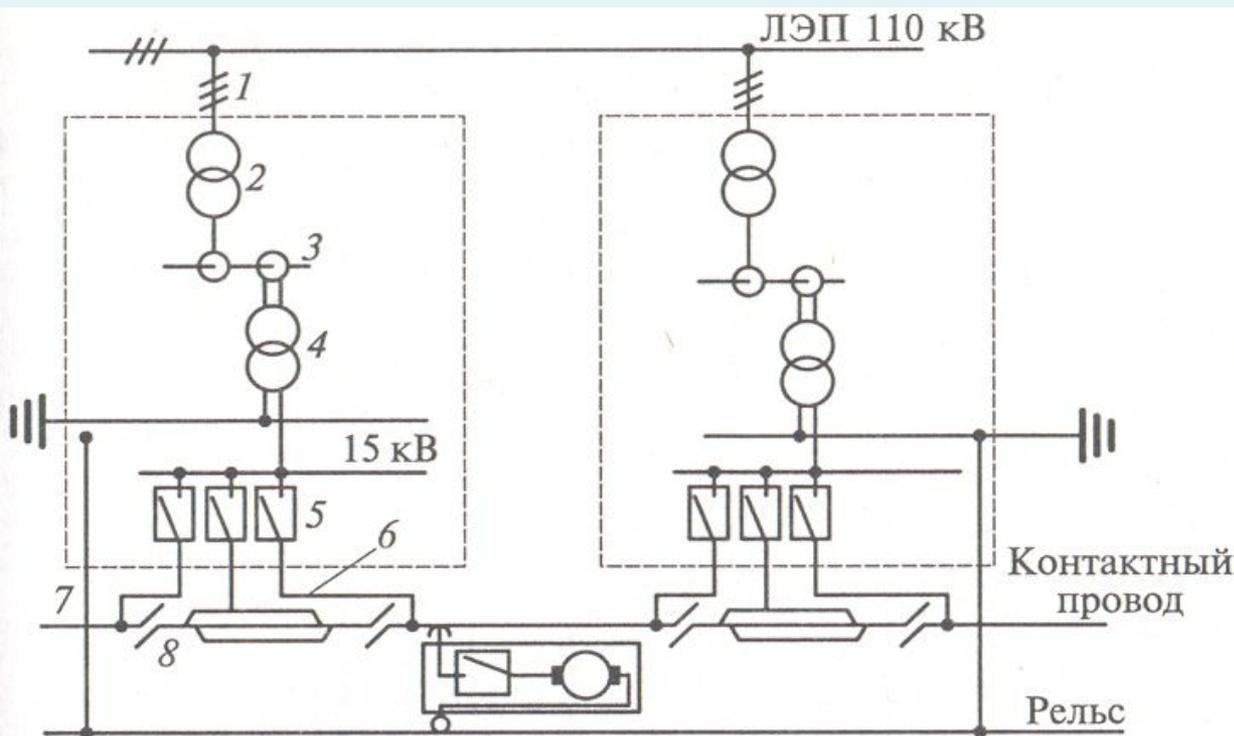


Лекция 13.

1. Централизованные и автономные системы электроснабжения (продолжение).
2. Основные проблемы электроснабжения.
3. Накопители энергии.

1. На рис. 28. приведена структурная схема преобразования трёхфазного напряжения частотой 50 Гц в однофазное напряжением 15 кВ частотой $16\frac{2}{3}$ Гц для питания подвижного состава железнодорожного транспорта.



Понижительный трансформатор 2 тяговой подстанции присоединён посредством фидера 1 к линии электропередач (ЛЭП) 110 кВ.

Со вторичной обмотки трансформатора трёхфазное напряжение подаётся на мотор – генераторную установку 3, состоящую из приводного трёхфазного синхронного электродвигателя, механически связанного с однофазным генератором. Выходное напряжение 5,7 кВ частотой $16\frac{2}{3}$ Гц

Рис. 28. Структурная схема преобразования трёхфазного в однофазное напряжение 15кВ частотой $16\frac{2}{3}$ Гц

Гц, выдаваемое генератором, повышается трансформатором 4 до 15 кВ и подаётся в тяговую сеть. При этом один конец обмотки трансформатора соединяется посредством фидера 7 с рельсовой сетью, а второй фидером 6 через автоматический выключатель 5 – с контактной сетью. Секционирование контактной сети обеспечивают воздушные промежутки 8.

Структурная схема преобразования трёхфазного напряжения в однофазное 2×25 кВ частотой 50 Гц для железнодорожного электрического транспорта приведена на рис. 29.

Особенностью этой схемы является применение специальных однофазных трансформаторов 3 и их присоединение к тяговой сети. Первичные обмотки трансформаторов подключены к питающей сети на междуфазные напряжения разных фаз. Вторичная обмотка каждого трансформатора состоит (рис. 29б) из двух секций $a1 - x1$ и $a2 - x2$, каждая из которых рассчитана на напряжение 27,5 кВ, т.е. при их последовательном соединении создаётся напряжение 55 кВ. При таком исполнении вторичных обмоток общие точки 4 секций всех трансформаторов через РУ 27,5 кВ присоединяются посредством провода 5 и фидера 8 к рельсовой сети, выводы $x2$ посредством фидера 7 – к питающему, а выводы $a1$ посредством фидера 6 – к контактному проводу.

В результате напряжение тяговой сети между контактным проводом и рельсами составляет 27,5 кВ, а между контактным проводом и питающим – 55 кВ. Автотрансформаторы 12, соединяющие контактную, питающую и рельсовую сети, устанавливаются вдоль полотна железной дороги на расстоянии 8...12 км.

На рис. 30 приведена структурная схема преобразования трёхфазного напряжения частотой 50 Гц в напряжение 600 В постоянного тока, применяемой на тяговых подстанциях наземного городского электрического транспорта.



Рис. 29. Структурная схема преобразования трёхфазного напряжения в однофазное 2×25 кВ частотой 50 Гц

Достоинства централизованных систем электроснабжения

1. Бóльшая степень надёжности (за счёт бóльшего количества электростанций);
2. Меньшая удельная (приведённая к единице установленной мощности оборудования) мощность резервного оборудования;
3. Сnivelированная (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 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.

3. Одним из наиболее эффективных способов рационального расходования электрической энергии в электротехнических системах, использующих электромеханические преобразователи, является применение накопителей. В настоящее время известны различные типы накопителей энергии: гидроаккумулирующие (ГА), воздушно-аккумулирующие (ВА), газотурбинные, электрохимические (ЭХ), механические, электромеханические (ЭМ), инерционные, ёмкостные, сверхпроводящие, индуктивные и т.д. Каждый тип накопителей энергии имеет свои характерные энергетические показатели, режимы работы, особенности конструктивного и схемотехнического исполнения, определяющие рациональные области их применения.

Критериями для обоснования целесообразности внедрения того или иного типа накопителя на подвижном составе городского электрического транспорта являются следующие:

1. Удельная энергоёмкость, измеряемая в Вт·ч/кг или Дж/кг и определяющая массогабаритные показатели данного накопителя;
2. Удельная стоимость накопительного устройства (удельные капиталовложения);
3. Долговечность, измеряемая общим числом циклов «заряд–разряд» или сроком службы;
4. Диапазон температур, в котором сохраняется работоспособность накопителя;
5. Простота и доступность технического обслуживания;
6. Время заряда накопителя (выбор производится исходя из времени торможения ЭПС);
7. Время и величина потерь при хранении энергии;
8. Время реверса;
9. Скорость и глубина разряда (глубина разряда позволяет снизить величину массогабаритных показателей и величину «мертвого объема»);
10. Безопасность работы;

11. КПД накопительного устройства

Электрохимические накопители энергии

Электрохимическими накопителями называются химические источники тока, предназначенные для многократного использования их активных веществ, регенерируемых путем заряда.

К этому типу накопителей можно отнести химические аккумуляторные батареи (АБ) и электрохимические генераторы (ЭХГ).

К достоинствам электрохимических накопителей можно отнести: возможность длительного хранения энергии до 10^4 ч, высокий КПД, отсутствие механических перемещений, бесшумность работы.

Современная техника в зависимости от назначения располагает целым рядом АБ, это – свинцовые, медно-литиевые, железо-никелевые (ЖН), никель-кадмиевые (НК), серебряно-цинковые (СЦ), серно-натриевые и другие типы аккумуляторов.

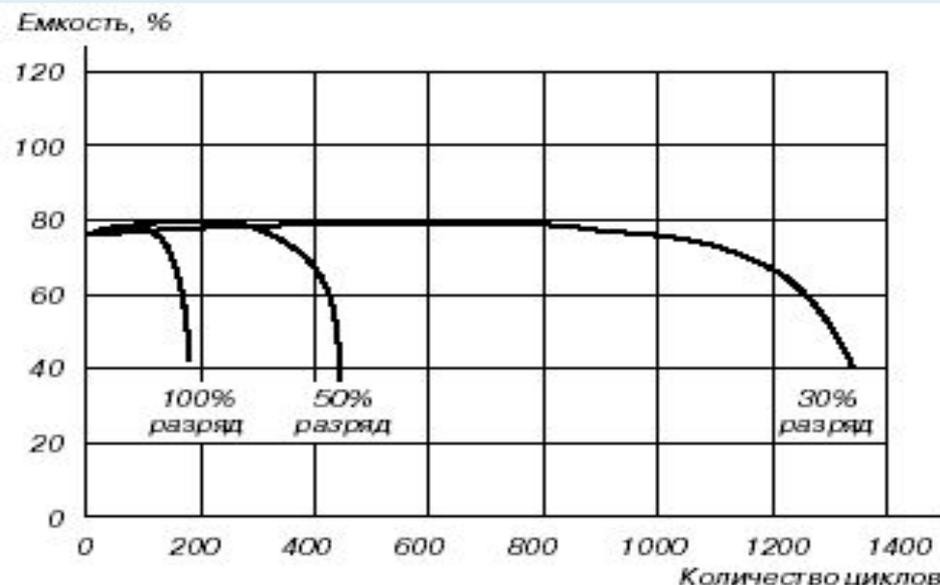


Рис.31. Изменение емкости аккумулятора в зависимости от количества циклов и глубины разряда

Долговечность аккумулятора оценивают сроком службы или количеством циклов. При этом чем меньшая глубина разряда АБ, тем большее количество циклов он прослужит (рис. 31).

Серьезной проблемой при внедрении АБ является влияние изменения температуры внешней среды на его емкость. На рис. 32 показана зависимость емкости от температуры. Предельная емкость аккумуляторных батарей достигается при нормальной температуре (20°C).

Механические накопители энергии

Механический накопитель – самый древний вид накопителя. Механические накопители (МН) различных конструкций позволяют непосредственно запасать и использовать кинетическую и потенциальную разновидности механической энергии.

Второе рождение МН получили с изобретением супермаховиков (СМ) – аккумуляторов энергии изготавливаемых из сверхпрочных ните- и лентовидных материалов путем навивки и обладают высокой удельной энергией, на порядок большей, чем у лучших монолитных маховиков. При этом разрыв их от случайной причины, в отличие от обычных маховиков, практически безопасен. Достоинством кинетических аккумуляторов (КА) является возможность накопления значительного количества энергии в небольшой массе при высоких скоростях вращения.

На рис. 32 представлена схема городского электробуса с МНЭ: 1 – источник тока; 2 – электродвигатель; 3 – механизм реверса; 4 – коробка отбора мощности; 5 – планетарный дисковый вариатор; 6, 7 – карданные передачи; 8 – главная передача; 9 – коническая зубчатая передача; 10 – супермаховичный накопитель.

При вышеперечисленных достоинствах МН обладают рядом недостатков:

- наличие компенсационных потерь некоторой части накопленной энергии в режимах хранения и разряда;
- сложность реализации плавного регулирования силы тяги в соответствии с условиями движения;
- превышение массы кожуха в МН над массой маховика, по условиям безопасности работы, что приводит к значительному увеличению общей массы НЭ;

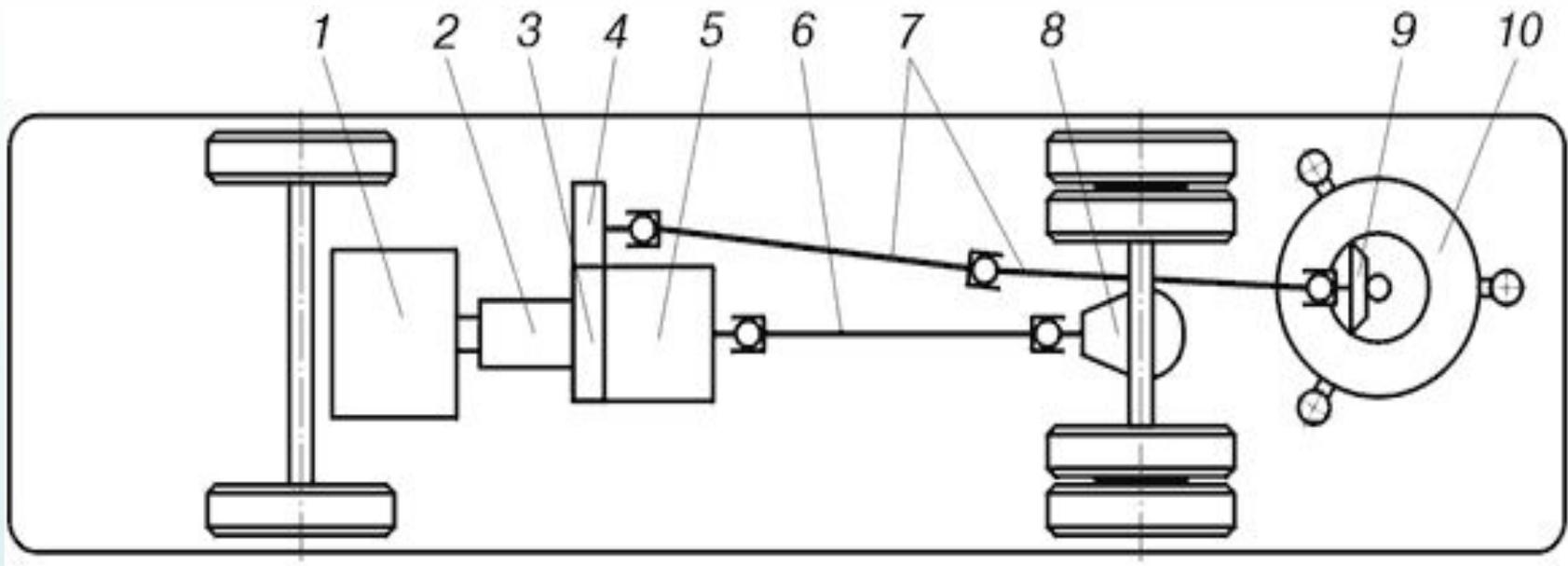


Рис. 32. Схема городского электробуса с МНЭ

- наличие опасности механического разрыва накопителя при выходе его из строя, поскольку допустимые скорости вращения достигают $10^4 \dots 10^5$ об/мин;
- нестабильность размеров накопителя, возможно частичное изменение диаметра на скоростях свыше 5 – 7 тыс. об/мин, которое не будет компенсировано после его остановки;
- использование энергоемкости маховика, как правило, на одну треть из соображений прочности и безопасности, что приводит к значительному снижению его энергоемкости, поскольку частота вращения связана с величиной накапливаемой энергии квадратичной зависимостью;
- высокая стоимость высокопрочных материалов;
- возможность появления гироскопического эффекта при движении на высоких скоростях ЭПС, особенно сильно проявляющего себя в момент изменения направления движения транспортного средства в пространстве.

Ёмкостной накопитель энергии

Ёмкостные накопители (ЕН) запасают энергию электрического поля в виде заряда на обкладках. В процессе заряда напряжение на конденсаторе с емкостью C возрастает от нуля до значения U_{max} с накоплением энергии W , равной величине

$$W = CU^2/2 .$$

К достоинствам данного вида накопителя энергии можно отнести:

- простоту в техническом обслуживании;
- 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.

Использование ёмкостных накопителей становится эффективным в связи с разработкой за рубежом и в России конденсаторов с двойным электрическим слоем (КДЭС) или электрохимические конденсаторы (ЭХК), электрическая удельная емкость которых в 300 – 2000 раз выше емкости традиционных конденсаторов.

В отличие от аккумуляторных батарей, в которых энергия накапливается в форме внутр-решеточной 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.

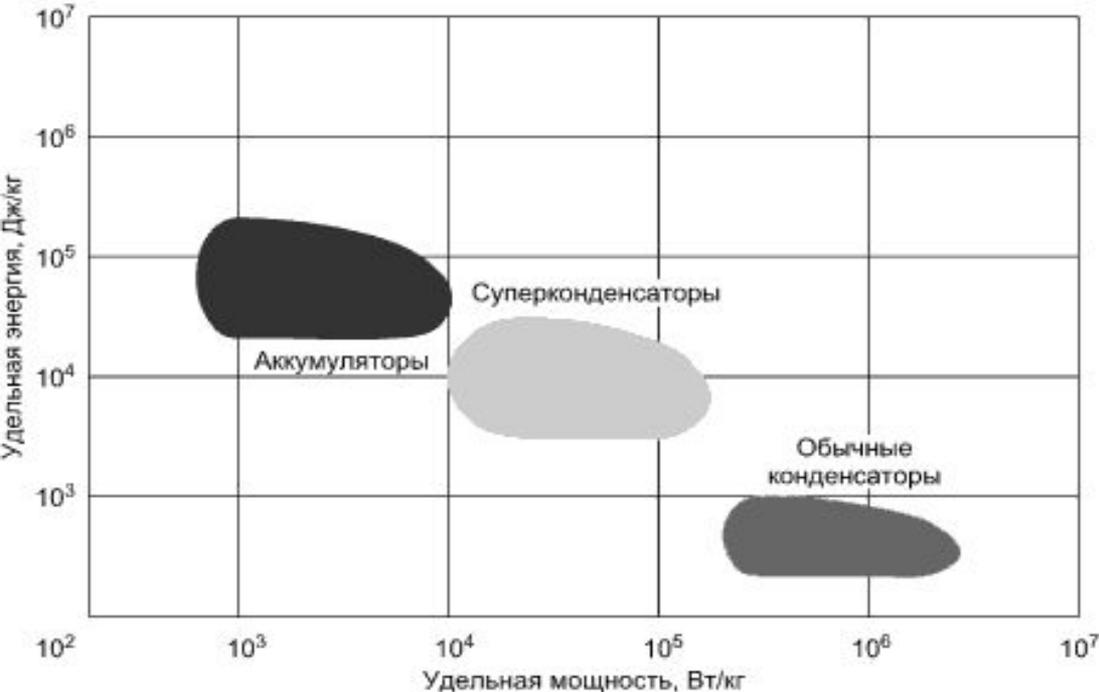


Рис. 33. Позиционирование различных видов накопителей в зависимости от их удельных характеристик по графику Рагони

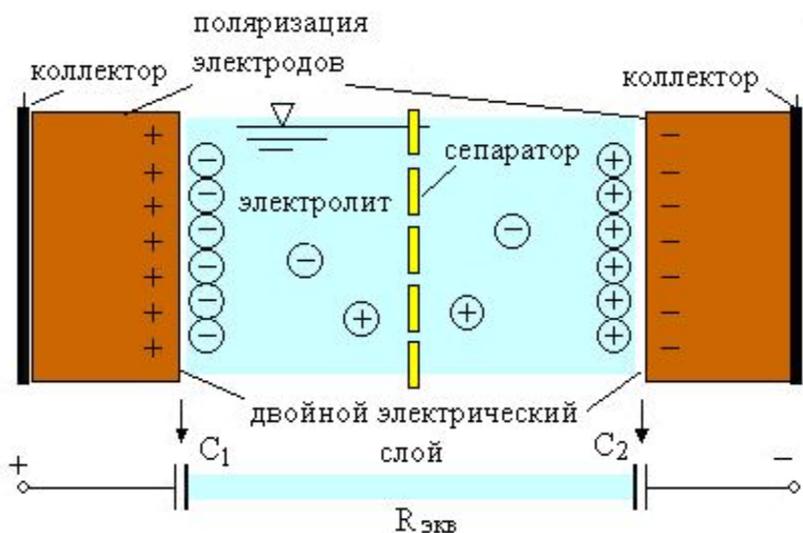


Рис. 34. Упрощенная эквивалентная схема КДЭС

Запасенная удельная энергия, представленная на графике Рагони, рассчитывается по формуле, применяемой для любых типов конденсаторов:

$$E_{уд\ макс} = CU^2/2m ,$$

где $E_{уд}$ – удельная энергия на единицу массы, Дж/кг;

C – емкость конденсатора, Ф;

U – рабочее напряжение, В;

m – масса, кг.

Максимальная (пиковая) удельная мощность КДЭС определяется соотношением:

$$P_{уд\ макс} = U^2/4mR_i ,$$

где R_i – эквивалентное внутреннее сопротивление конденсатора, Ом.

Упрощенная эквивалентная схема КДЭС приведена на рис. 34.

Вариант конструктивного исполнения КДЭС приведён на рис. 35.



Рис. 34. Конструктивное исполнение КДЭС

Скорость отдачи энергии КДЭС мало зависит от температуры конденсатора и остается теоретически неизменной в диапазоне от -100 до $+160^{\circ}\text{C}$. Это объясняется тем, что накопление электроэнергии в КДЭС не связано с протеканием в нем химических реакций.

Конструктивно КДЭС представляет собой систему (рис. 34), 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.

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 твердого раствора