АВТОБУС «МАЗ-256» С ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ
www.orionmotor.narod.ru
Постановка задачи

Основной задачей является экономия горючего за счет рекуперации энергии при торможении автомобиля (дизель-электрический привод, городской цикл движения, экономия топлива – 30…40%).

Исходные данные:

1. Полная масса с нагрузкой ≈ 10 000 кг (**автобус «МАЗ-256»**, например, вариант маршрутного такси).
2. Длительное движение на подъем 12% при скорости 30 км/час (8,3 м/с).
3. Преодоление подъемов 15% на приемлемой скорости (20…25 км/час).
4. Максимальная скорость движения – 80…100 км/час (в динамике и при обгоне).
5. Мощность двигателя внутреннего сгорания (ДВС) ≈ 60 кВт (номинальная, 100 кВт – максимальная).

Выбор технического решения:

1. Для системы привода принимается дизель-электрическая схема с последовательной электромеханической трансмиссией и высоковольтным химическим аккумулятором (500…600 В, возможно с дополнительной конденсаторной батареей).
2. Суммарный запас энергии батарей – на 3-5 разгонов до скорости 40…60 км/час, кратковременная мощность – 60 кВт при заряде-разряде, общая масса батарей ≈ 80…120 кг. Емкость батарей – 4…6 А*часов (например, никель-гидридные батареи на 5-10 минут движения со скоростью 40…60 км/час).
3. Мощность электрогенератора на валу ДВС ≈ 60 кВт (длительно, кратковременно – 100 кВт).
4. Мощность электродвигателя на карданном валу ≈ 80 кВт (длительно, кратковременно – 100-120 кВт).

Результаты расчетов и экспертных оценок:

- Время разгона до скорости 60 км/час – не более 12 секунд.
- Максимальная скорость движения – 80…100 км/час.
- Выходная мощность частотного инвертора – 90 кВт, (длительно, кратковременно – 120 кВт).
- Мощность рекуперативного преобразователя – 60 кВт, (длительно, кратковременно – 90 кВт).
- Общая масса частотного инвертора и рекуперативного преобразователя ≈ 80…120 кг.

Выбор технического решения для электрических машин (вариант):

- Применяются синхронные двигатели **«Орион-18-2»** с постоянными магнитами (6 пар полюсов).
- Генератор и двигатель могут иметь практически одинаковые конструкции (унификация по узлам).
- Коэффициент полезного действия электрических машин ≈ 0,96-0,97 (при мощности 60 кВт).
- Обе машины имеют принудительное воздушное охлаждение (может быть и водяное).
- Габариты электрических машин: фланец ≈ 400х400 мм, длина по оси ≈ 400 мм. Масса ≈ 150…170 кг.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СХЕМА

- При данной схеме трансмиссии ДВС приводит в движение генератор, а вырабатываемая им электроэнергия питает электродвигатель, вращающий ведущие колеса. Последовательной схему силовой установки называют потому, что поток мощности поступает на ведущие колеса, проходя ряд преобразований. От механической энергии, вырабатываемой ДВС, в электрическую энергию, вырабатываемую генератором, и опять в механическую. Данная схема позволяет использовать ДВС относительно малой мощности, с условием его постоянной работы в диапазоне максимального КПД (в крейсерском режиме движения). Это позволяет стабильно генерировать достаточное количество энергии для питания электродвигателя и заряда аккумуляторной батареи.
- Данная схема позволяет легче выполнить новые экологические нормы для ДВС, продлить ресурс двигателя, обеспечивает экономию горючего за счет рекуперации энергии при торможении автомобиля и за счет постоянной работы ДВС в диапазоне максимального КПД.
- В целом система такого электропривода выполняет и функцию автоматической коробки передач, снижая утомляемость водителя и обеспечивая повышенную безопасность движения.
- Электрогенератор выполняет функции маховика, стартера и бортового генератора.
- Добавляется специальное электрооборудование: частотные инверторы, преобразователи, бортовая ЭВМ, различные датчики (остальное указано выше).
- Наличие мощного высоковольтного источника электроэнергии на борту автомобиля позволяет по-новому решать задачи для вспомогательных систем транспортного средства (кондиционер, обогреватель, холодильник, радиотелевизионные устройства, электроусилители руля и тормозов, освещение, приводы дверей, люков и т.д.). При этом можно сохранить и традиционные низковольтные приводы и системы с 12-вольтовым питанием.
- Отсутствуют некоторые традиционные узлы и агрегаты: маховик, стартер, генератор, муфта сцепления, коробка переключения скоростей. Бортовой аккумулятор на 12 В остается, но меньшей емкости.
- Предусматривается возможность суммирования электрической мощности с электрогенератора (60 кВт) и батареи (30…60 кВт) при разгоне автомобиля или при выполнении обгона.
- Рекуперация энергии и заряд аккумулятора производится при переключении тягового электродвигателя в режим генератора при торможении или при движении под уклон, а запасенная батареей энергия питает обратимую машину, переключившуюся в режим электродвигателя, которая, в свою очередь, вращает ведущие колеса. Предварительная оценка эффективности режима рекуперации – возврат при торможении до 75 % накопленной кинетической энергии (городской цикл движения с ограничением скорости на уровне 60 км/час и плавным торможением).
- Известные из технической литературы сведения по такому техническому решению позволяют уверенно утверждать, что при данной схеме трансмиссии расход топлива снизится примерно на 30…40%.
- Применение высоковольтных синхронных двигателей, предназначенных для систем прямого привода, позволяет реализовать электропривод без применения понижающих планетарных редукторов на валу электродвигателя. Двигатель и генератор являются относительно низкооборотными моторами и напрямую подключаются к карданному валу заднего моста и к выходному валу ДВС, соответственно. Электрические машины этого типа имеют весьма высокую удельную мощность при относительно низких оборотах (0,6 кВт на 1 кг массы двигателя или генератора при 2000 об/мин.).
- ***Энергетический центр*** – уникальная система, управляющая созданием и распределением запасов электрической энергии, хранящейся в батарее и создаваемой генератором. Основные компоненты энергетического центра: мощная высоковольтная батарея, блок управления энергией, полупроводниковое коммутационное устройство, рекуперативная тормозная система.
- ***Блок управления энергией*** и полупроводниковое устройство переключения управляют потоком энергии между генератором, батареей и электромотором. Данные устройства осуществляют преобразование электроэнергии в соответствии с текущими потребностями системы. Потребность в преобразовании продиктована следующими причинами: генератор и электромотор – машины переменного тока, в то время как аккумулятор оперирует постоянным током, кроме того, выходное напряжение батареи не соответствует выходному напряжению генератора, а также входному напряжению инвертора, управляющего тяговым электромотором.
- ***Инвертор*** – блок, преобразующий постоянный ток, поступающий от аккумуляторной батареи, в переменный ток, используемый для питания электромотора. В силовой установке может быть предусмотрена высоковольтная схема преобразования одного постоянного тока в другой, тоже постоянный. Но поскольку она повышает напряжение, то происходит равномерный рост электрической мощности при той же величине значения тока. В результате получают более высокую производительность и повышенный крутящий момент тягового электромотора. По предварительной оценке требуется инвертор на 90 кВт с выходной частотой до 0,5 кГц.
- ***Рекуперативная тормозная система*** при торможении переводит тяговый электромотор в генераторный режим. Вырабатываемая при этом электроэнергия используется для заряда аккумуляторной батареи. Особо эффективную работу система обеспечивает в городских условиях, при чередовании режимов старт-стоп. Заметим, что в традиционных тормозных системах кинетическая энергия автомобиля при замедлении теряется полностью.

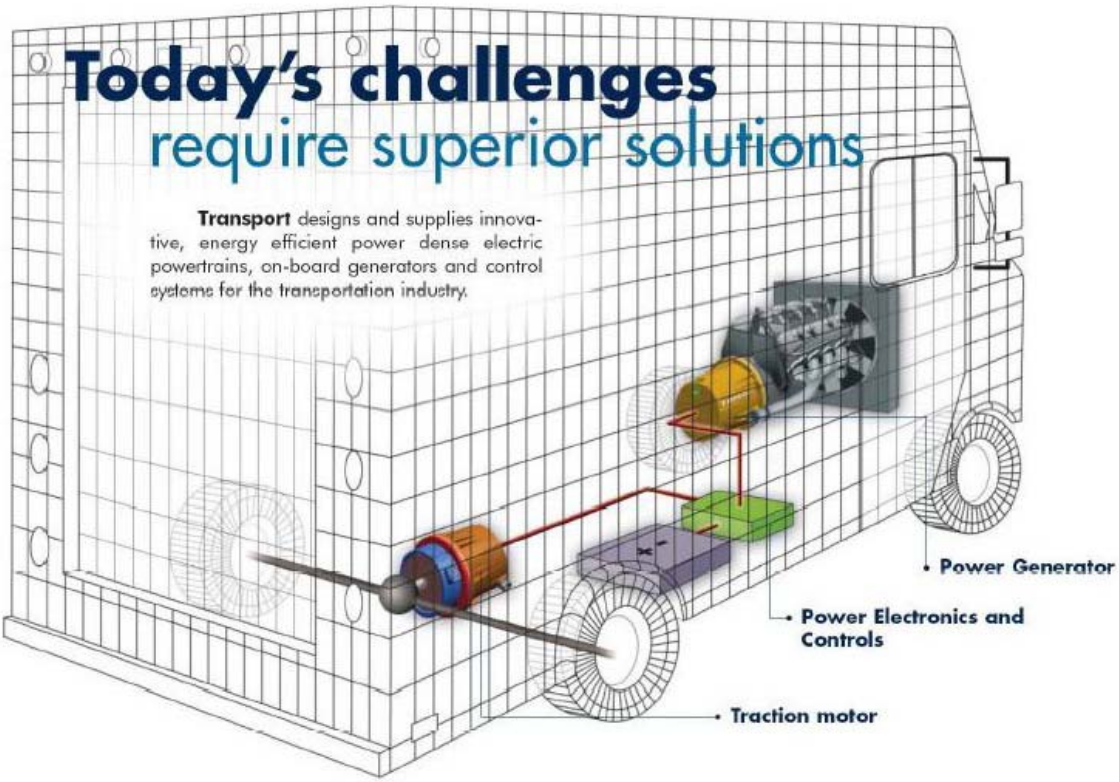
РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ

Начало движения.
Для начала движения и на малых скоростях ДВС может не использоваться (он может быть даже остановлен). При плавном наборе скорости энергия, запасенная в батарее, поступает на блок управления электропитанием. Он, в свою очередь, направляет энергию на электромотор, что позволяет автомобилю плавно трогаться с места. При достижении определенной скорости или при недостаточном запасе энергии в батарее производится запуск ДВС.

Движение в нормальном режиме.
В этом случае ДВС приводит во вращение генератор, с которого энергия передается в энергетический центр и с него на электромотор, передающий момент на ведущие колеса. При необходимости генератор осуществляет заряд батареи, отдавая ей излишки энергии. Следует отметить, что полный заряд батареи нежелателен, поскольку при рекуперативном торможении батарея должна иметь возможность принять определенное количество энергии.

Разгон.
При переходе с нормальной скорости на повышенную или максимальную скорость основная доля энергии на тяговый электродвигатель по-прежнему поступает с генератора, однако для улучшения динамики разгона дополнительная энергия может быть взята от батареи. При этом мощность привода равна суммарной мощности ДВС и батареи.

Торможение.
Для оптимизации количества сохраняемой энергии управляемая электроникой тормозная система принимает решение о том, когда следует использовать гидравлическую систему, а когда – рекуперативное торможение (оно и является приоритетным). При рекуперативном торможении тяговый электродвигатель работает в генераторном режиме, создавая тормозной момент на ведущей оси. Вырабатываемая энергия поступает на блок управления электропитанием, а оттуда на высоковольтную аккумуляторную батарею или в тормозные резисторы.

Ограничение мощности.
Основная доля полезной мощности в нормальном режиме поступает от генератора на выходном валу ДВС (40…60 кВт, 600 В). Мощность с аккумуляторной батареи (20…60 кВт, 500 В) используется в нормальном режиме лишь в диапазоне скоростей от 0 до 40…60 км/час и при движении в этом же диапазоне скоростей с остановленным ДВС. Рекуперативная мощность при торможении ограничивается в основном зарядной мощностью батарей (30…60 кВт) и мощностью рекуперативного инвертора (60…90 кВт). При необходимости быстрого торможения рекуперация дополняется включением обычных тормозов, и обе тормозные системы действуют совместно. Можно дополнительно отметить, что режим торможения двигателем внутреннего сгорания здесь невозможен, однако рекуперативная система торможения может быть дополнена резисторным торможением (60… 120 кВт, торможение на затяжном спуске или резкое торможение).

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СХЕМА ПРИВОДА