

## ПРИВОД ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

*Хадеев Р.Г.*

*Обнинск*

**Ключевые слова:** планетарный дифференциал, генератор, передаточное отношение, эффективность трансмиссии, синхронный электродвигатель, энергия постоянного магнита.

**Аннотация.** В статье предлагается схема простого устройства, в полной мере обеспечивающего автоматическое изменение крутящего момента и передаточного отношения во всем диапазоне движения транспортного средства, начиная со старта, при работе тягового двигателя на постоянных и оптимальных оборотах. Предлагаемая в статье схема трансмиссии более экономична, чем современные коробки передач, нет отключений тягового двигателя от ведущего колеса для переключений, двигатель от старта может работать на постоянных и оптимальных оборотах. Предельные параметры увеличения крутящего момента ограничены. Показаны пределы возможного преобразования крутящего момента. Также рассмотрены особенности работы, преимущества её использования, влияние на экономичность и диапазон изменения параметров в процессе эксплуатации. Предложенный способ включения тягового и вспомогательного моторов позволяют использовать их в оптимальном по экономичности режиме. Рассмотрена возможность и предложен способ использования устройства для автономного обогрева и зарядки аккумуляторной батареи в период стоянки.

## ELECTRIC VEHICLE DRIVE

*Khadeev R.G.*

*Obninsk*

**Keywords:** planetary differential, generator, gear ratio, transmission efficiency, synchronous electric motor, permanent magnet energy.

**Abstract.** The article proposes a diagram of a simple device that fully ensures automatic changes in torque and gear ratios throughout the entire range of movement of the vehicle, starting from the start, when the traction engine is operating at constant and optimal speeds. The transmission scheme proposed in the article is more economical than modern gearboxes; there is no disconnection of the traction motor from the drive wheel for shifting; the engine can operate at constant and optimal speed from the start. The maximum torque increase parameters are limited. The limits of possible torque conversion are shown. The features of the work, the advantages of its use, the impact on efficiency and the range of changes in parameters during operation are also considered. The proposed method of switching on the traction and auxiliary motors allows them to be used in an optimal and economical mode. The possibility is considered and a method of using the device for autonomous heating and charging the battery during parking is proposed.

**Введение.** В перспективе в городах России со временем появится инфраструктура для обслуживания электротранспорта. Так или иначе, а электромобиль в городском хозяйстве – наше будущее. Дорогие и тяжелые современные образцы отойдут в прошлое, на их место придут удобные и экономичные. При этом будут решаться технологические проблемы, например, такие как емкость заряда батарей, относительный вес тяговых электродвигателей, простая и полезная трансмиссия.

**Существующие проблемы и методы исследования.** Современные электроприводные транспортные средства преимущественно оснащаются СДПМ – синхронными двигателями с постоянными магнитами [1]. Но у электродвигателя СДПМ есть проблемы и они пока не получили достаточного распространения из-за плохих пусковых свойств, а также их высокой стоимости, что обусловлено их сложностью и затратами на изготовление и обработку магнитных материалов. Напряженность магнитного поля при росте температуры снижается. При значительных токах может произойти размагничивание, даже если температура не достигнет критического значения. У обычного синхронного электродвигателя таких недостатков нет. Синхронные двигатели могут работать с высоким, близким к единице, коэффициентом мощности, у него высокий коэффициент полезного действия, повышенные возможности по перегрузке. Он меньше зависим от напряжения в сети питания. У

синхронного электродвигателя абсолютно жесткая механическая характеристика, при увеличении нагрузки на валу он автоматически увеличивает так и увеличивается крутящий момент. Он надежен, но он может работать только на постоянных оборотах, обусловленных частотой тока, а также у него отсутствует пусковой крутящий момент и для его пуска необходимо использовать специальные способы, либо устройства [2].

Коэффициент полезного действия любого электродвигателя зависит от нагрузки на его валу [3]. Обычно диапазон максимального КПД находится в пределах от половины нагрузки и до 80% максимальной мощности [4]. Когда электродвигатель отдает меньшую мощность, растут потери. В процессе эксплуатации для сохранения высокого КПД тяговый двигатель транспортного средства должен быть нагружен преимущественно на 0,6-0,8 от максимальной нагрузки. Во многих случаях в процессе эксплуатации двигатель транспортного средства загружен на меньшую мощность. Это приводит к снижению КПД, к снижению экономичности.

Для оптимизации процесса передачи крутящего момента на ведущее колесо можно изменить устройство привода электрического транспортного средства, применив трансмиссию, показанную на рисунке 1. Её работа подробно описана в [5].

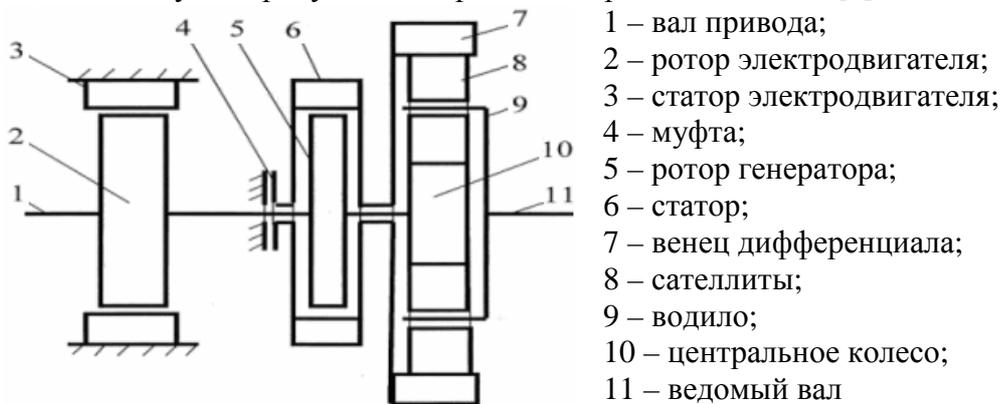


Рис. 1. Схема трансмиссии

Такая трансмиссия состоит из трех основных элементов: асимметричного дифференциала, генератора, и вспомогательного электродвигателя, установленных на валу тягового двигателя. Её работа основана на сравнении силы, необходимой для движения транспортного средства с силой Ампера, возникающей при работе генератора с учетом асимметрии дифференциала. При возникновении нагрузки на ведомом валу он тормозится, вращение в большей степени передаётся через шестерни дифференциала с увеличением передаточного отношения, крутящий момент на ведомом валу возрастает, а также при постоянных оборотах тягового электродвигателя вращение в большей степени передаётся на статор генератора, скольжение между статором и ротором увеличивается, сила сцепления статора и ротора возрастает, сила Ампера увеличивается, и скорость вращения ведомого вала восстанавливается.

Устройство несложное. Для подтверждения целесообразности включения механизма в трансмиссию транспортного средства были изготовлены несколько моделей, подтверждающих его работоспособность и полезность. Первая модель устройства подтверждала способность способа преобразования передаточного отношения и крутящего момента. В дальнейшем несколько трансмиссий с различными параметрами были изготовлены для определения оптимальных величин передаточных отношений дифференциала. Определилась закономерность увеличения передаточного отношения с увеличением асимметричности дифференциала. В результате выяснилось, что оптимальное передаточное отношение дифференциала для преобразования крутящего момента ограничено и примерно равно 2,6. На рисунке 2 показана модель устройства с таким передаточным отношением.

При ограниченном изменении крутящего момента передаточное отношение может изменяться в очень широком диапазоне. Крутящий момент достигает максимальной величины, превышающей крутящий момент тягового двигателя в 2,6 раза, и в дальнейшем не

увеличивается. Но тяговый мотор может работать на постоянных, оптимальных оборотах на любом этапе движения транспортного средства. Это оправдывает экономическую целесообразность применения такой трансмиссии.

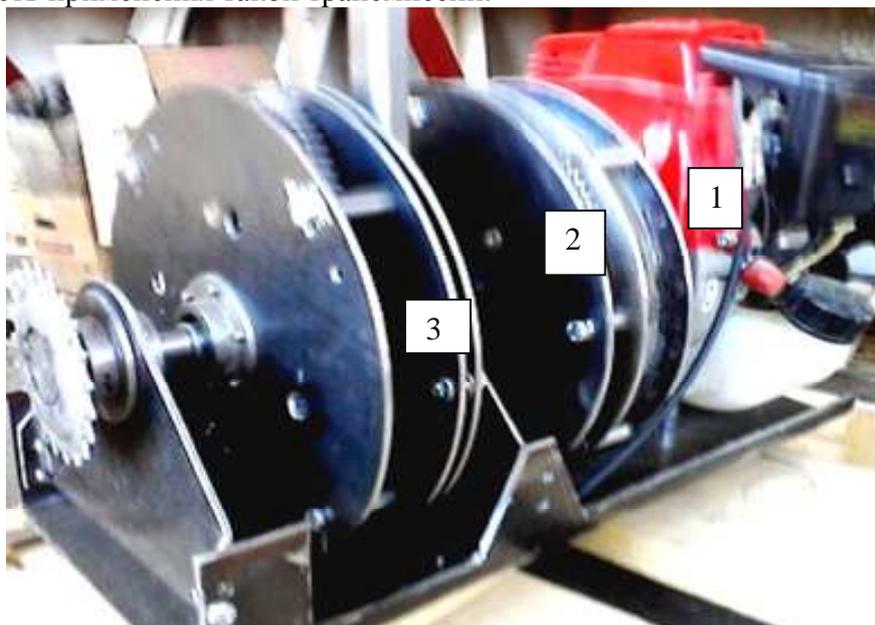


Рис. 2. Модель трансмиссии: 1 – двигатель; 2 – генератор; 3 – дифференциал

**Работа трансмиссии.** Работает такая трансмиссия следующим образом. Вал тягового двигателя 1 соединен с установленными на нем ротором электродвигателя 2, ротором генератора 5 и с центральной шестерней планетарного дифференциала 10. Один выход дифференциала, его водило 9 с сателлитами 8 соединены с ведомым валом 11 и передают на вал вращения, а второй выход дифференциала, его венец 7 свободно вращается на валу привода и соединен со статором генератора 6. Статор генератора 6 и его ротор 5 образуют машину двойного вращения. Второй выход дифференциала и соединенный с ним статор могут фиксироваться муфтой 4, соединяющей его с корпусом. Статор электродвигателя 3 установлен на корпусе и соединен с ним. При вращении вала привода 1 водило 9 вращается в ту же сторону, но уменьшает обороты ведомого вала 11 пропорционально передаточному отношению дифференциала и передает больший крутящий момент. Второй выход дифференциала, его венец 7 стремится вращаться в обратную сторону, но если в цепи генератора есть электрическая нагрузка, возникает электроиндукционная сила, увлекающая статор 6 за ротором 5, и частично блокирует дифференциал, увеличивая скорость вращения ведомого вала 11. Оба выхода дифференциала вращают ведомый вал в одну сторону. Потери минимальны. При увеличении нагрузки на ведомом валу он тормозится, скольжение между ротором и статором увеличивается. Выход, соединенный со статором генератора, замедляет вращение, и вращение в большей степени передается через шестерни дифференциала, передаточное отношение и крутящий момент на ведомом валу автоматически увеличивается. Электрический ток с генератора поступает на потребители транспортного средства, на обмотку возбуждения, если тяговым является синхронный электродвигатель [6], а также на ротор электродвигателя 2, который совместно с тяговым электромотором вращает вал привода, компенсируя затраты на производство электрического тока, выработанного для работы трансмиссии. Оба мотора находятся на общем валу. Они различны по мощности и по принципу образования электромагнитной индукции. В процессе движения на различных режимах они могут работать вместе или поочередно, обеспечивая экономичность движения.

Оптимальное передаточное отношение в планетарной передаче может увеличиваться примерно до 2,6, что подробно описано в [7], что позволяет применить тяговый двигатель значительно меньшей мощности, а также использовать его в пределах оптимального КПД. При увеличении нагрузки на ведомом валу увеличивается ток, вырабатываемый генератором,

и мотор, установленный на валу тягового электродвигателя, соединенный с ним, в большей степени участвует в совместном вращении ведомого вала. Пуск тягового двигателя производится в холостом режиме электродвигателем, установленным на его валу, после этого может включаться в работу генератор и на ведомом валу возникает крутящий момент. Управление передаточным отношением и крутящим моментом такого устройства производится изменением тока нагрузки в цепи генератора. Изменение передаточного отношения в очень широких пределах происходит автоматически и зависит от нагрузки на ведомом валу. Это позволяет тяговому электродвигателю работать на постоянных и оптимальных оборотах на всех режимах, включая старт и разгон. Когда ведомый вал ещё не вращается, статор генератора вращается в обратную сторону, а на ведомом валу действует максимальный крутящий момент. Поэтому увеличение крутящего момента до величины 2-2,5, при отсутствии механизма сцепления, при работе двигателя на оптимальном режиме, вполне достаточно для динамичного старта. Современные генераторы такой мощности имеют КПД 85%. Потери при выработке и передаче электроэнергии от генератора на вспомогательный электродвигатель составляют 4,5% мощности, что меньше чем потери в современных автомобильных трансмиссиях. Обычно в современных трансмиссиях эта величина варьируется от 11 до 20%. Вал привода в процессе движения не отключается от трансмиссии для переключений. Электромотор всегда работает на оптимальных оборотах [8]. Также необходимо учесть, что в обычной автомобильной трансмиссии со временем и выработкой ресурса потери значительно увеличиваются. В случае применения предложенной трансмиссии эта величина значительно меньше, так как меньше износ механических элементов.

Особенно следует отметить простоту управления крутящим моментом. На современных электропоездах для управления крутящим моментом используются сложные и дорогие устройства. Предлагаемая трансмиссия позволяет просто и надежно, с большой точностью управлять крутящим моментом на ведомом валу, что особенно важно для управления приводом локомотивов [9]. Для электропоезда использование такой трансмиссии позволит отказаться от громоздких редукторов соединяющих тяговый электродвигатель с ведущей колёсной парой.

Есть ещё одно удивительное и очень полезное свойство такого устройства, которое позволит в будущем им воспользоваться. Напряженность магнитного поля, создаваемая постоянными магнитами генератора, изготовленными из современных магнитных материалов, создает в цепи электрическую индукцию, позволяющую не только обеспечивать вращение генератора электромотором, но и получать дополнительную энергию, которую можно использовать для зарядки аккумуляторов в периоды стоянки, когда тяговый электродвигатель выключен. Для этого нужно дать импульс вращения для пуска ротору вспомогательного электродвигателя, соединенному на общем валу с ротором генератора, при зафиксированном муфтой на корпус его статором. То, что энергия магнита может применяться, да и уже применяется, для увеличения эффективности электрических машин известно. Например, синхронный генератор с КПД 98%, до 10% тратит на питание возбуждения [10]. Если заменить его ротор на ротор с постоянными магнитами, то эти затраты исчезнут. Это наверно не значит, что КПД стал больше единицы, а только то, что здесь используется энергия магнита. Существуют высокоэффективные электрические машины, электродвигатели, использующие силу и энергию постоянного магнита, например, электродвигатель, разработанный в Ростове группой под руководством Корнилова Г.М. Такой электродвигатель позволяет получить на валу значительно большую мощность по сравнению с затратами. Это позволяет получать избыток энергии, используя энергию постоянного магнита. Предложенное устройство трансмиссии автомобиля в будущем позволит автономно заряжать и обогревать аккумуляторную батарею на стоянке и, без острой необходимости, не пользоваться зарядными станциями.

**Результаты.** Предложенный способ построения трансмиссии может стать решением нескольких проблем. Главное – повышается экономичность. Упрощается и удешевляется управление крутящим моментом ведомого вала, что особенно актуально для электропоездов.

Повышение передаточного отношения от тягового электродвигателя к ведущему колесу позволяет использовать двигатели значительно меньшей мощности. При старте и разгоне тяговый электродвигатель работает в оптимальном режиме, на постоянных и оптимальных оборотах. В такой трансмиссии незначительно увеличиваются потери в процессе эксплуатации. Соединение через дифференциал тягового и вспомогательного электродвигателей позволяет значительно повысить эффективность трансмиссии.

**Заключение.** Переход на электрический транспорт предполагает создание надежного и дешёвого автомобиля. Включение такой трансмиссии в схему электрического транспортного средства позволит сделать его более надежным и дешёвым.

#### Список литературы

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 265 с.
2. Микеров А.Г. Управляемые вентильные двигатели малой мощности: Учебное пособие. – СПб.: СПбГЭТУ, 1997. – 246 с.
3. Захарченко Д.Д., Ротанов Н.А. Тяговые электрические машины. Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1991. – 178 с.
4. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. – СПб.: Изд. дом «Питер», 2007. – 541 с.
5. Хадеев Р.Г. Трансмиссия для гибрида // Сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции. – Уфа: НИЦ «Вестник науки», 2022. – С. 28-32.
6. Khadeev R.G. Gearing Of An Electric Vehicle// Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST). 2020, vol. 7, iss. 8, pp. 12505-12506.
7. Хадеев Р.Г. Гибридный автомобиль // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: НИЦ МС, 2023. – №6. – С. 37-41.
8. Логунов В.Н., Смагин В.Г., Доронин Ю.И. Устройство тепловоза ТГМ6А. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1989. – 239 с.
9. Дубровский З.М., Попов В.И., Тушканов Б.А. Грузовые электровозы переменного тока: Справочник. – М.: Транспорт, 1991. – 148 с.
10. Калишев Г.В., Комаров Ю.Н., Романов В.М. Устройство и эксплуатация автомобилей МАЗ-500А и ГАЗ-66: Учебное пособие. – М.: ДОСААФ, 1981. – 82 с.

#### References

1. Sokolovsky G. G. Electric drives of alternating current with frequency regulation. – M.: Publ. Centre "Academy", 2006. – 265 p.
2. Mikerov A.G. Low-power controllable brushless motors: Textbook. – SPb.: Saint-Petersburg State Electrotechnical University, 1997. – 246 p.
3. Zakharchenko D.D., Rotanov N.A. Traction electric machines. Textbook for universities railway transport. – M.: Transport, 1991. – 178 p.
4. Voldek A.I., Popov V.V. Electric cars. AC machines: Textbook for universities. – SPb.: Publ. house "Peter", 2007. – 541 p.
5. Khadeev R.G. Transmission for a hybrid // Collection of scientific articles based on the materials of the IX International Scientific and Practical Conference. – Ufa: Scientific Centre "Bulletin of Science", 2022. – P. 28-32.
6. Khadeev R.G. Gearing Of An Electric Vehicle// Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST). 2020, vol. 7, iss. 8, pp. 12505-12506.
7. Khadeev R.G. Hybrid car // Machines, units and processes. Design, creation and modernization: Materials of the international scientific and practical conference. – SPb.: SRC MS, 2023. – No. 6. – P. 37-41
8. Logunov V.N., Smagin V.G., Doronin Yu.I. Design of the TGM6A diesel locomotive. – 2nd ed., revised and additional. – M.: Transport, 1989. – 239 p.
9. Dubrovsky Z.M., Popov V.I., Tushkanov B.A. Freight electric locomotives of alternating current: Directory. – M.: Transport, 1991. – 148 p.
10. Kalishev G.V., Komarov Yu.N., Romanov V.M. Design and operation of MAZ-500A and GAZ-66 cars: Textbook. – M.: DOSAAF, 1981. – 82 p.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Хадеев Равиль Гафиевич</b> – кандидат технических наук	<b>Khadeev Ravil Gafievitch</b> – candidate of technical sciences
khadeev@mail.ru	

Получена 10.10.2023