

УДК 62.833

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В НЕКОТОРЫХ АГРЕГАТАХ АВТОМОБИЛЕЙ С ПИТАНИЕМ ОТ СТАНДАРТНОГО ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

**Бухвалов В.В.***ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,  
Тюмень, e-mail: general@tsogu.ru*

В статье предлагается использовать переменный трехфазный ток, снимаемый непосредственно с обмоток статора автомобильного электрогенератора для питания асинхронного трехфазного электродвигателя. Такой, более простой и дешевый электродвигатель мог бы найти применение для привода, например, вентиляторов охлаждения. Исследуются преимущества и недостатки электрических машин постоянного тока с питанием от бортовой сети автомобиля, в сравнении с электродвигателями с питанием трехфазным переменным током. Показаны преимущества асинхронных машин, простота их конструкции, низкая стоимость, более высокая надежность и рабочий ресурс. Делается вывод о возможности применения асинхронных двигателей, например для привода вентиляторов охлаждения. Приведена электрическая схема подключения таких двигателей к стандартному электрогенератору автомобиля. Показана возможность модернизации стандартного электрогенератора на любом автомобиле путем отпайки от фазных обмоток трех выводов соответствующего сечения для соединения нагрузки по схеме треугольник и звезда без нулевого провода.

**Ключевые слова:** автомобиль, электрогенератор, трехфазный ток, асинхронный трехфазный электродвигатель, вентилятор охлаждения

## ABOUT APPLICATION OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS IN SIDE SOME UNITS OF VEHICLES (AUTOMOBILES) WITH STANDARD ELECTRIC GENERATOR POWER SUPPLY

**Bukhvalov V.V.***FSBEI HE «Tyumen State Oil and Gas University», Tyumen, e-mail: general@tsogu.ru*

It is offered in the article to use three-phase alternate current received directly from a stator windings of vehicle (automobile) electric generator for three-phase asynchronous electric motor power supply. Such simpler and more cheap electric motor may find application for e.g. cooling fan drives. Advantages and shortcomings of direct current electric machines with power supply by in-vehicle circuit in comparison with three-phase alternate current electric motors are investigated. Some base advantages of three phase alternate current motors are simplicity of construction, low cost, higher reliability and working life of asynchronous machines. The low cost is provided by less material demand and more simple technology of production. Higher reliability and working life are provided by simpler and more durable collector unit construction of three phase alternate current asynchronous electric motor. It is concluded there is an application capability of asynchronous electric motors for e.g. cooling fan drives. It is given the electrical diagram for connection of such drives to standard electric generator of vehicle. It is shown the capability of any vehicle standard electric generator modernization by soldering three wires of necessary diameter to phase windings for delta-connected and star-connected without neutral wire.

**Keywords:** automobile, vehicle, electric generator, three-phase current, asynchronous three-phase electric motor, cooling fan

В современных автомобилях многие важные основные и вспомогательные функции выполняются при помощи электропривода. Все применяемые электродвигатели разной мощности и назначения питаются от бортовой сети постоянным током. Применение на автомобилях именно электродвигателей постоянного тока определено главным условием – наличием источника постоянного тока (аккумулятора) для питания бортовой сети автомобиля на стоянке при выключенном генераторе. При запуске двигателя автомобиля начинает вращаться генератор, энергия которого поступает в бортовую сеть для потребления. Величина электрического напряжения, которое вырабатывает генератор, всегда немного больше, чем дает аккумуляторная батарея и автома-

тически, при помощи встроенного в генератор электронного блока, поддерживается на этом уровне независимо от оборотов генератора и тока потребления. Поскольку напряжение генератора больше напряжения аккумулятора, часть тока направлена от генератора в аккумулятор, т.е. происходит подзарядка аккумулятора.

Историческое развитие систем электропитания бортовой сети автомобиля прошло два этапа, если анализировать по принципу действия его генератора. А именно, по механизму получения на выходе генератора именно постоянного напряжения электрической энергии. Первоначально это был механический электрический переключатель (коммутатор) обмоток якоря электрического генератора постоянного тока.

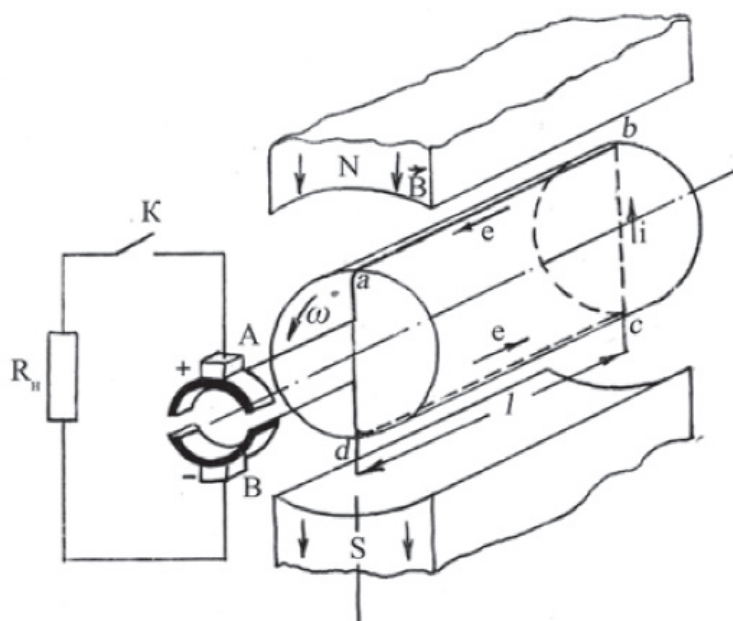


Рис. 1. Получение полярного напряжения при помощи щеточно-коллекторного узла при вращении рамки в магнитном поле

В работах [1–10] показана теория работы любой электрической машины постоянного тока, как двигателя, так и генератора при помощи щеточно-коллекторного узла, который одновременно выполняет функцию датчика положения якоря и переключателя тока в его обмотках. На рис. 1. представлена схема, поясняющая принцип работы щеточно-коллекторного узла генератора постоянного тока, а именно получение полярного напряжения, т.е. (+) на одной и (–) на другой щетке. Как известно, при вращении якоря в соответствии с законом электромагнитной индукции в проводниках витка  $ab$  и  $cd$  при пересечении ими магнитного поля будет индуцироваться ЭДС, которая равна

$$e = BLV,$$

где  $V$  – линейная скорость движения проводника относительно магнитного поля;  $B$  – индукция магнитного поля;  $L$  – длина активной части витка. Направления ЭДС в проводниках  $ab$  и  $cd$  определяются по правилу правой руки. По контуру  $abcd$  эти ЭДС складываются, и так как верхний и нижний проводники находятся в одинаковых магнитных условиях, то ЭДС витка  $E$  будет:  $E = 2 \cdot e$ . Автомобильные генераторы по такой схеме получения постоянного тока, не строясь уже достаточно давно, чего нельзя сказать обо всех применяемых сегодня в автомобилях электродвигателях, кроме шаговых с электронным управлением. В настоящей статье они упомянуты как пример

сложной, дорогой конструкции с небольшим ресурсом, содержащей щеточно-коллекторный узел и якорь с большим числом обмоток, каждая из которых присоединялась к соответствующей ламели, контакту коллектора.

Применяемые сегодня автомобильные генераторы являются классическим примером машин переменного трехфазного тока, который возбуждается (генерируется) в обмотках статора. Вращающийся якорь намагничивается постоянным током, подводимым к его обмотке так же при помощи щеточного узла, но его конструкция значительно проще и надежнее, чем у рассмотренного выше классического генератора постоянного тока. Ротор (а именно так называют вращающийся магнитный возбудитель в машинах переменного тока) создает вращающееся магнитное поле [7–10]. Для этой цели на валу ротора и расположена обмотка возбуждения. Она помещается в две половины полюса, в каждой полюсной половине имеются выступы – они называются клювами. На роторе расположены и два контактных кольца, и именно через них идет питание обмотки возбуждения. Кольца чаще всего изготавливаются из меди или другого цветного металла с низким коэффициентом трения в паре с угольной щеткой, например латуни. Непосредственно к кольцам припаяны выводы одной обмотки возбуждения. Поскольку контактные кольца генератора переменного тока не имеют в отличие от генератора постоянного тока

поперечных разделителей и образуют гладкую поверхность, износ токоподводящих графитовых щеток значительно снижен.

Статор необходим для создания переменного электрического тока, объединяет металлический сердечник и обмотки, сердечник набран из пластин, они изготовлены из электротехнической трансформаторной стали. В пазы статора уложены три обмотки (они разбиты на секторы для более равномерного взаимодействия). Между собой обмотки соединяются по схемам «звезда» или «треугольник». В любом случае эти три вывода трехфазного напряжения соединяются с выпрямителем тока, который собран обычно по мостовой схеме и имеет шесть полупроводниковых диодов. Выпрямитель осуществляет преобразование переменного тока, который вырабатывает непосредственно автомобильный генератор, в постоянный ток для бортовой сети. Таким образом, можно зафиксировать факт наличия электрической энергии в двух проявлениях:

1. В виде постоянного тока в бортовой сети, т.е. на выходе генератора и клеммах аккумулятора.

2. В виде переменного трехфазного тока, который собственно вырабатывается генератором автомобиля и поступает на вход выпрямителя, полупроводниковые диоды которого встроены в корпус генератора так, что на выходе мы получаем постоянное напряжение.

Перед тем как перейти к выводу о возможности и целесообразности применения трехфазного асинхронного электродвигателя на автомобиле, рассмотрим свойства и характеристики электродвигателей постоянного тока. Двигатели постоянного тока имеют несколько вариантов

соединения обмоток вращающегося якоря и неподвижного статора.

От выбора схемы их соединения с источником постоянного тока очень сильно зависят их рабочие характеристики. Различают двигатели: с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением. Двигатели небольшой мощности часто выполняют с постоянными магнитами для создания поля возбуждения. Механические, нагрузочные характеристики их весьма разнообразны и поэтому выбираются в зависимости от условий применения. По своим эксплуатационным возможностям двигатели постоянного тока, безусловно, чрезвычайно удобны, как электромеханические преобразователи энергии, для очень широкого круга задач. Они позволяют легко изменять направление вращения (реверс), управляются по скорости вращения и крутящему моменту, но при всем обилии преимуществ имеют заметный недостаток, который задан в самой конструкции такого рода двигателей. Этот недостаток обусловлен необходимостью переключения полярности обмоток якоря, при их переходе через южный –  $S$  и северный –  $N$  полюса магнитов статора, т.е. имеет принципиальный характер.

Фото классического маломощного электродвигателя постоянного тока [2] на рис. 2 показывает сложность его конструкции и материалоемкость коллектора, изготовленного из меди.

Из рисунка видно, что наличие щеточно-коллекторного узла в двигателе постоянного тока обуславливает сложность конструкции, высокую стоимость изделия и ограничивает ресурс двигателя за счет износа щеток и загрязнения коллектора.

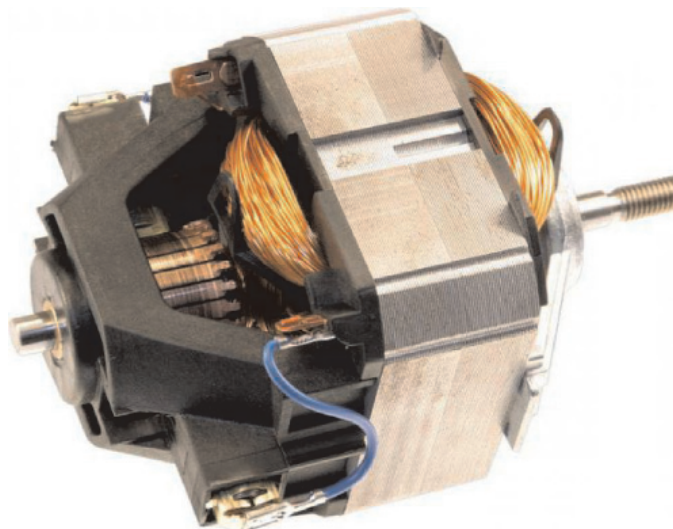


Рис. 2. Фото типового электродвигателя постоянного тока со стороны щеточно-коллекторного узла

Для оценки материальных затрат на изготовление двигателя этого типа целесообразно сравнить обмотки статора и якоря по их намагничивающей силе. Откуда видно, что поскольку механический крутящий момент создается взаимодействием этих магнитных полей, то эти силы примерно равны. Очевидно, равны и индуктивности их обмоток, т.е. число витков их обмоток и затраты меди.

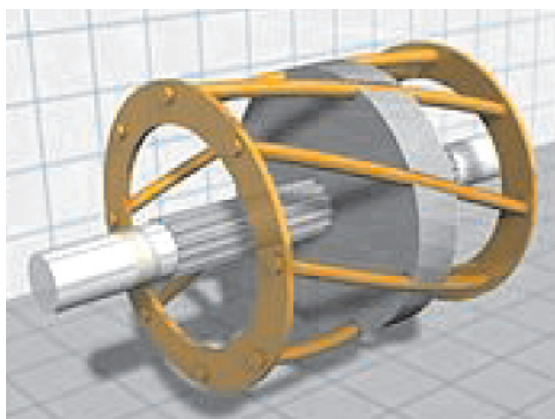


Рис. 3. Ротор асинхронного электродвигателя с короткозамкнутой обмоткой, магнитопровод показан в виде диска

Таким образом, стоимость якоря двигателя постоянного тока по материалоемкости (расходу меди) и трудозатратам на изготовление, ввиду сложности размещения и закрепления обмоток в пазах якоря, составит более 50% полной стоимости двигателя. По

этому предложение об использовании хотя бы в некоторых применениях асинхронных трехфазных двигателей, которые могут быть примерно вдвое дешевле, весьма выгодно.

Эффект экономии достигается простотой конструкции вращающейся части асинхронного двигателя, его ротора, который так же состоит из набора пластин электротехнической стали, но его обмотка выполнена путем заливки в пазы ротора расплавленного алюминия без применения ручного труда. Схематичное изображение ротора [11] показано на рис. 3.

Залитые расплавленным алюминием пазы ротора – это проводники обмотки, по которым протекает ток, создающий магнитное поле, вращающее ротор. Замыкание тока происходит через торцевые шайбы, которые формируются одновременно с заливкой пазов ротора. Простота конструкции, отсутствие медной обмотки и коллектора доказывают экономические преимущества применения таких двигателей, а практически абсолютная надежность электрической части короткозамкнутого ротора еще более повышает конкурентоспособность асинхронных машин. Однако эти преимущества можно получить лишь при условии наличия переменного трехфазного тока для питания обмоток статора и создания вращающегося магнитного поля. Принцип работы асинхронного двигателя [1, 3, 12] основан на использовании вращающегося магнитного поля, создаваемого тремя катушками статора. При включении, когда ротор в покое, через его магнитную систему в проводниках

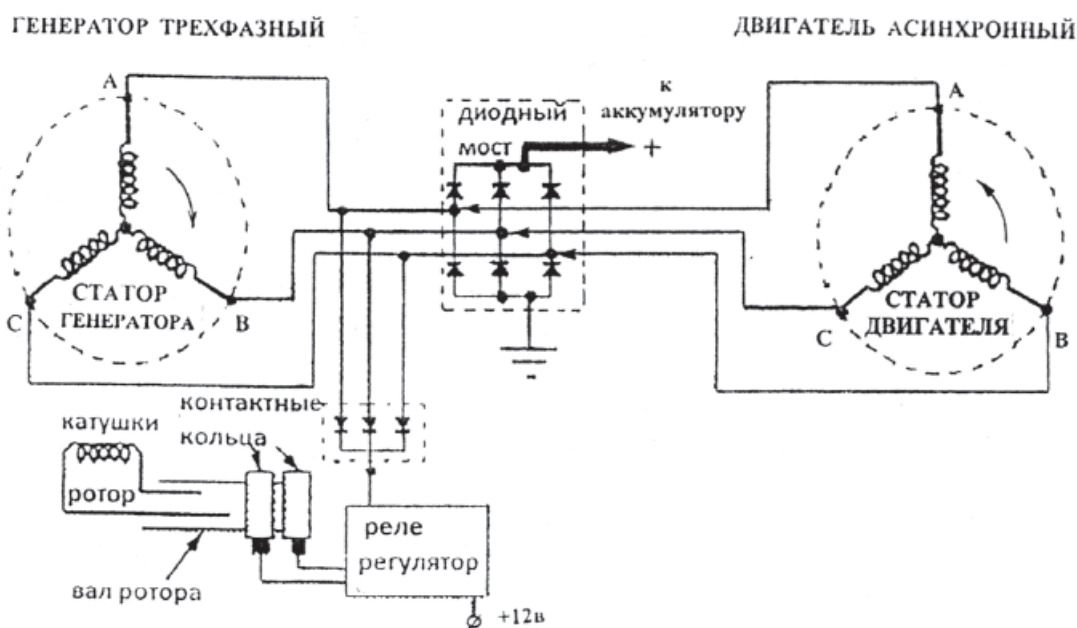


Рис. 4. Схема подключения трехфазного асинхронного двигателя к обмоткам статора (показано стрелками) типового автомобильного генератора

наводится электродвижущая сила (ЭДС), поскольку проводники замкнуты сами на себя и катушки ротора имеют незначительное омическое сопротивление, эта ЭДС вызывает большие токи в них. По закону Ленца магнитное поле этих токов взаимодействует с полем статора, и ротор начнет вращаться в ту же сторону, в какую вращается поле, создаваемое катушками статора. В установленном режиме ротор будет вращаться чуть медленнее (асинхронно) полю статора.

Трехфазный переменный ток для питания асинхронного трехфазного двигателя предлагается брать от стандартного автомобильного генератора. Переделка, т.е. доработка стандартного генератора крайне проста и состоит в присоединении трех проводников соответствующего сечения (отпайке) к выводам статорной обмотки генератора, например, в местах соединения с выпрямительными диодами. Электрическая схема присоединения трехфазного асинхронного электродвигателя к стандартному автомобильному генератору [11, 12] приведена на рис. 4. Соединение обмоток – звезда-звезда без нулевого провода, причем амплитуда напряжения не зависит от оборотов генератора вследствие работы реле регулятора напряжения.

Из рис. 4 видно, что при заданном соединении фаз, когда фазы *B* и *C* генератора подключены к фазам *C* и *B* двигателя, ротор двигателя будет вращаться в направлении, противоположном направлению вращения генератора.

Таким образом, предложенный для применения в агрегатах легковых и грузовых автомобилей асинхронный трехфазный электродвигатель с питанием от обмоток стандартного генератора автомобиля, во-первых, значительно проще, надежнее и дешевле двигателей постоянного тока, за счет исключения из его конструкции коллекторно-щеточного узла и, во-вторых, не уступает по возможности управления реверсом направления вращения. Использование данного предложения в тех агрегатах, которые включаются после запуска двигателя автомобиля, когда начинает функционировать генератор, несмотря на переменную частоту питающего тока, может быть оправдано и выгодно.

### Список литературы

1. Акимов С.В. и др. Электрическое и электронное оборудование автомобилей / С.В. Акимов, Ю.Ю. Боровских, Ю.П. Чижов. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
2. Алекс Шульга Коллекторный двигатель [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.syl.ru/article/222824/new\\_kollektornyiy-dvigatel---chto-eto](http://www.syl.ru/article/222824/new_kollektornyiy-dvigatel---chto-eto).
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1973. – 750 с.
4. Бухвалов В.В., Барсуков С.И., Муравьев В.П. Инженерный метод расчета электродинамических форсунок

дизельных двигателей // Двигателестроение. – 1981. – № 6. – С. 16–18.

5. Бухвалов В.В., Барсуков С.И., Муравьев В.П. Проблемы применения управляемых форсунок с электродинамическим приводом в топливной аппаратуре дизельных двигателей // Двигателестроение. – № 7. – С. 23–24.

6. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Асинхронная\\_машина](https://ru.wikipedia.org/wiki/Асинхронная_машина) (дата обращения 05.03.2016).

7. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 440 с.

8. Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам. – Академия, 2005. – 458 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eknigi.org/professii/52413-spravochnik-po-yelektricheskim-mashinam.html> (дата обращения 06.03.2016).

9. Осин И.Л., Антонов М.В. Устройство и производство электрических машин малой мощности: учеб. пособие для СПТУ. – М.: Высш. шк., 1988. – 215 с.

10. Радиоэлектроника и электротехника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.radioingener.ru/category/mashiny-postoyannogo-toka/> (дата обращения 05.03.2016).

11. Типовая схема генератора [Электронный ресурс]. – URL: <http://avtoshkola-garant.ru/wp-content/uploads/2015/09/sistema-zaryadki-avtomobilya-generator-759fe8ce.jpg> (дата обращения 06.03.2016).

12. Электронный учебник «Электрические машины», кафедра Электромеханики Московского энергетического института (технического университета). – URL: <http://elmech.mpei.ac.ru/em/EM/Ch5/5-01.htm> (дата обращения: 05.03.2016).

### References

1. Akimov S.V. i dr. Jelektricheskoe i jelektronnoe obudovanie avtomobilej / S.V. Akimov, Ju.Ju. Borovskih, Ju.P. Chizhov. M.: Mashinostroenie, 1988. 280 p.
2. Aleks Shulga Kollektornyj dvigatel [Jelektronnyj resurs]. URL: [http://www.syl.ru/article/222824/new\\_kollektornyiy-dvigatel---chto-eto](http://www.syl.ru/article/222824/new_kollektornyiy-dvigatel---chto-eto).
3. Bessonov L.A. Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki. M.: Vysshaja shkola, 1973. 750 p.
4. Buhvalov V.V., Barsukov S.I., Muravev V.P. Inzhenernyj metod rascheta jelektrodinamicheskikh forsunok dizelnyh dvigatelej // Dvigatellestroenie. 1981. no. 6. pp. 16–18.
5. Buhvalov V.V., Barsukov S.I., Muravev V.P. Problemy primeneniya upravljajemyh forsunok s jelektrodinamicheskim privodom v toplivnoj apparature dizelnyh dvigatelej // Dvigatellestroenie. no. 7. pp. 23–24.
6. Vikipedija [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Асинхронная\\_машина](https://ru.wikipedia.org/wiki/Асинхронная_машина) (data obrashhenija 05.03.2016).
7. Kasatkin A.S., Nemcov M.V. Jelektrotehnika: ucheb. posobie dlja vuzov. 4-e izd., pererab. M.: Jenergoatomizdat, 1983. 440 p.
8. Kacman M.M. Spravochnik po jelektricheskim mashinam. Akademija, 2005. 458 p. [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://eknigi.org/professii/52413-spravochnik-po-yelektricheskim-mashinam.html> (data obrashhenija 06.03.2016).
9. Osin I.L., Antonov M.V. Ustrojstvo i proizvodstvo jelektricheskikh mashin maloj moshhnosti: ucheb. posobie dlja SPTU. M.: Vyssh. shk., 1988. 215 p.
10. Radiojelektronika i jelektrotehnika [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.radioingener.ru/category/mashiny-postoyannogo-toka/> (data obrashhenija 05.03.2016).
11. Tipovaja shema generatora [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://avtoshkola-garant.ru/wp-content/uploads/2015/09/sistema-zaryadki-avtomobilya-generator-759fe8ce.jpg> (data obrashhenija 06.03.2016).
12. Jelektronnyj uchebnik «Jelektricheskie mashiny», kafedra Jelektromehaniki Moskovskogo jenergeticheskogo instituta (tehničeskogo universiteta). URL: <http://elmech.mpei.ac.ru/em/EM/Ch5/5-01.htm> (data obrashhenija: 05.03.2016).