

## **СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПЕРЕД ЭЛЕКТРОПУСКОМ**

*Б.Д. Шумаков*

Применение в гибридных силовых установках транспортных средств интегрированных стартер-генераторов облегчает реализацию систем стоп-старта двигателей внутреннего сгорания. Показано возможное снижение пусковых токов при определенном угловом положении вала двигателя при пуске. Рассмотрена возможная конструкция датчика и электрическая схема реализации системы позиционирования угла вала дизельного двигателя в стоп-стартном режиме работы.

Ключевые слова: транспортные средства; интегрированные электромашины; стоп-старт дизеля; датчик угла вала двигателя.

Развитие транспортных средств с гибридными силовыми установками, содержащими механические и электрические двигатели, а также накопители энергии, существенно изменяет требования к электрическим агрегатам таких машин. Одним из таких требований является объединение (интегрированность) стартера и генератора транспортного средства в одну электрическую машину. Исследования объединенных стартер-генераторных систем подтверждают достоинства интегрированного решения.

Достаточно распространенным вариантом компоновки стартер-генератора является постоянная совместная работа на общем валу двигателя внутреннего сгорания и электрической интегрированной машины. Данная реализация позволяет электрической машине в любое время работы

транспортным средствам формировать на валу крутящий или тормозной моменты, соответственно, при работе стартера или генератора. Указанное свойство является удобным для использования в системе стоп-старта, которая останавливает двигатель внутреннего сгорания в начале его работы на холостом ходу и при необходимости возобновления работы двигателя осуществляет его быстрый пуск. Данный алгоритм позволяет экономить топливо и снижать вредные выбросы, а также шум за счет сокращения времени работы двигателя на холостом ходу.

Примером реализации интегрированного стартер-генератора является электрическая машина непосредственно соединенная с выходом коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания [1, 2]. В указанных материалах представлен интегрированный стартер-генератор для дизельной силовой установки. Стартер-генератор, работает с аккумуляторной батареей напряжением 24 В, осуществляя пуск дизеля, заряд аккумуляторной батареи и общее электроснабжение транспортного средства.

Следует отметить некоторые особенности работы систем стоп-старт на транспортных средствах с бензиновыми и дизельными двигателями.

На транспортных средствах, использующих бензиновые двигатели, при остановке двигателя поршни в цилиндрах останавливаются в определенных положениях, оптимальных для дальнейшего быстрого пуска двигателя и уменьшающих пусковые токи аккумуляторной батареи. При указанных положениях цилиндров для пуска двигателя сразу осуществляют впрыск топлива и воспламеняют топливно-воздушную смесь. Происходит рабочий ход одного из цилиндров, энергия которого затрачивается в первую очередь на перевод вала двигателя из неподвижного состояния во вращательное, то есть на трогание вала. В дополнение к энергии сгорания топлива добавляют энергию стартера, который включают на непродолжительное время и двигатель начинает работать.

На транспортных средствах, использующих дизельные двигатели, данный подход неприменим, так как воспламенение топливно-воздушной смеси в цилиндре осуществляется путем сильного сжатия ее поршнем, которое происходит при вращении вала после его трогания за счет энергии аккумуляторной батареи. Таким образом, при пуске дизельного двигателя энергия аккумуляторной батареи тратится и на трогание вала и на сжатие топливно-воздушной смеси в цилиндре. На рис.1 показано качественное различие величин максимального тока аккумуляторной батареи  $I_{АКБ}$  при различных углах положения вала  $\varphi$  в начале пуска двигателя и при постоянстве углов начала сжатия топливно-воздушной смеси в цилиндрах.

Угол  $\varphi_1$  соответствует близости окончания такта сжатия в цилиндрах двигателя, а  $\varphi_2$  соответствует близости начала такта сжатия. Такты работы двигателя характеризуются изменениями тока аккумуляторной батареи  $I_{ПРОКР}$  при прокручивании вала двигателя в отсутствие воспламенения сме-

си. Рост величины тока  $I_{\text{ПРОКР}}$  соответствует такту сжатия, уменьшение – такту воспламенения (рабочему ходу). Указанные изменения  $I_{\text{ПРОКР}}$  относительно  $\varphi$  являются для конкретных типов двигателей неизменными во все время их эксплуатации.

Согласно рис. 1 следует, что прокручивание вала двигателя из начального углового положения вала  $\varphi_1$  обеспечивается при меньших максимальных токах аккумуляторной батареи нежели, чем из  $\varphi_2$ , то есть ( $I_{1\text{max}} < I_{2\text{max}}$ ). При пуске двигателя из углового положения вала  $\varphi_1$  первоначально энергия аккумуляторной батареи расходуется на перевод вала двигателя из неподвижного состояния во вращательное, и, ориентировочно, после достижения угла  $\theta_1$  ток батареи начинает уменьшаться до текущего тока  $I_{\text{ПРОКР}}$ . При пуске из положения  $\varphi_2$  к току трогания вала добавляется ток, расходуемый на сжатия смеси, и поэтому, максимальный ток аккумуляторной батареи в момент пуска становится большим, нежели, чем в предыдущем случае. Ориентировочно, после достижения угла  $\theta_2$  ток батареи начинает снижаться до текущей величины тока  $I_{\text{ПРОКР}}$ .

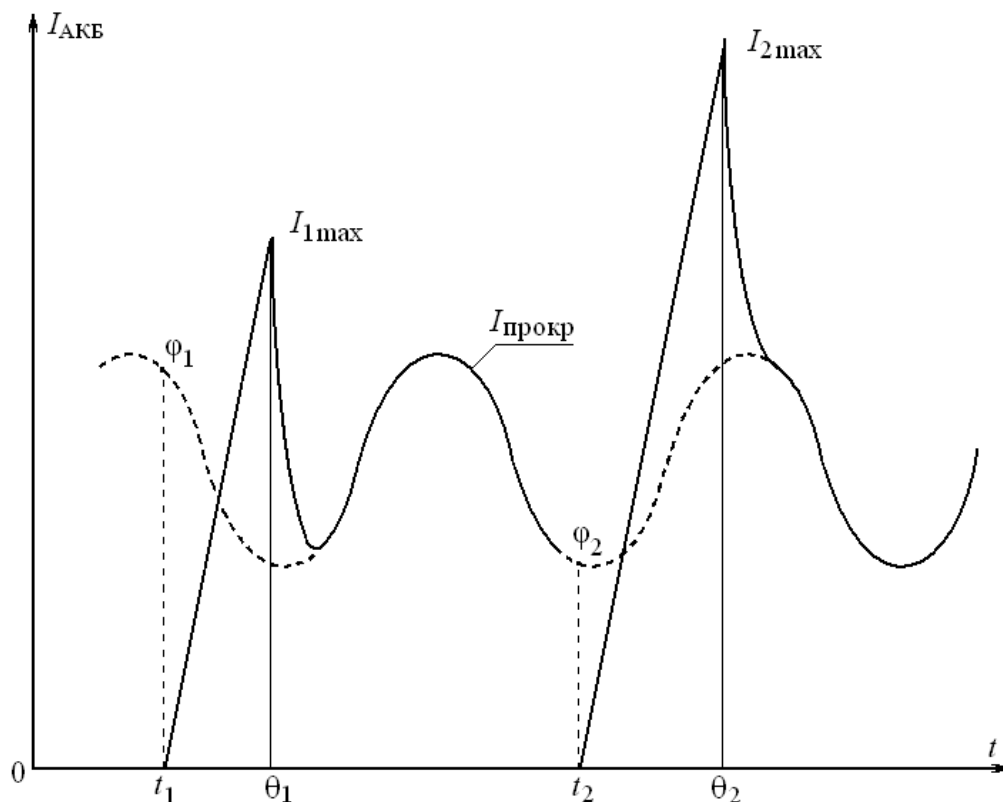


Рис. 1. Величины максимальных токов аккумуляторной батареи при различных углах положения коленчатого вала в начале пуска двигателя

Таким образом, при наличии системы позиционирования углового положения вала двигателя, устанавливающей вал при останове двигателя в угловое положение близкое к углу  $\varphi_1$  последующий пуск двигателя будет

проходить при минимальных токах батареи. При отсутствии данной системы возрастает вероятность останова вала двигателя в угловые положения близкие к  $\varphi_2$  и при последующем пуске требуется расход энергии аккумуляторную батарею одновременно на трогание и на сжатие смеси. Данное обстоятельство предопределяет возникновение значительных пусковых токов и требует применения аккумуляторных батарей большой электрической емкости. Снижение электрической емкости аккумуляторных батарей при использовании системы позиционирования на дизельных двигателях является материально и экономически выгодным.

Системы позиционирования вала двигателя, облегчающая режим работы аккумуляторной батареи, может быть реализована следующим образом. Указанная выше конструкция интегрированного стартер-генератора дополнительно оборудуется датчиком диапазона углового положения ротора, который жестко соединен с коленчатым валом двигателя [3].

Поперечный разрез стартер-генератора с датчиком диапазона показан на рис. 2. Датчик диапазона содержит пластину с поверхностью поглощающей инфракрасное излучение, которая установлена на внешней поверхности ротора, излучатель инфракрасного излучения (ИДД), направленный в сторону внешней поверхности ротора, три последовательно расположенных приемника инфракрасного излучения (ПДД), также направленные в сторону внешней поверхности ротора. Приемники разнесены на расстояние соответствующее необходимому угловому диапазону положения ротора, а, следовательно, и коленчатого вала. Излучатель и приемники инфракрасного излучения соединены с электронным коммутирующим устройством и монтируются на корпусе двигателя, например, на кожухе закрывающим вращающийся ротор электрической машины.

При отсутствии пластины датчика диапазона около приемников излучение излучателя отражается от внешней поверхности ротора и фиксируется приемниками излучения. При расположении пластины около приемников излучения инфракрасное излучение перекрывается и поглощается, на что приемники реагируют соответствующими состояниями выходных сигналов.

При перекрытии первого, по времени срабатывания, приемника включается режим тормоза электромашины и затем спустя промежуток времени, определяемый частотой вращения ротора, включается реверсивный режим вращения ротора и коленчатого вала двигателя. При перекрытии второго, по направлению вращения ротора, приемника реверсивный режим вращения ротора машины выключается. Режим электромагнитного тормоза продолжает действовать в течение определенного периода, который определяется моментом инерции коленчатого вала и ротора машины.

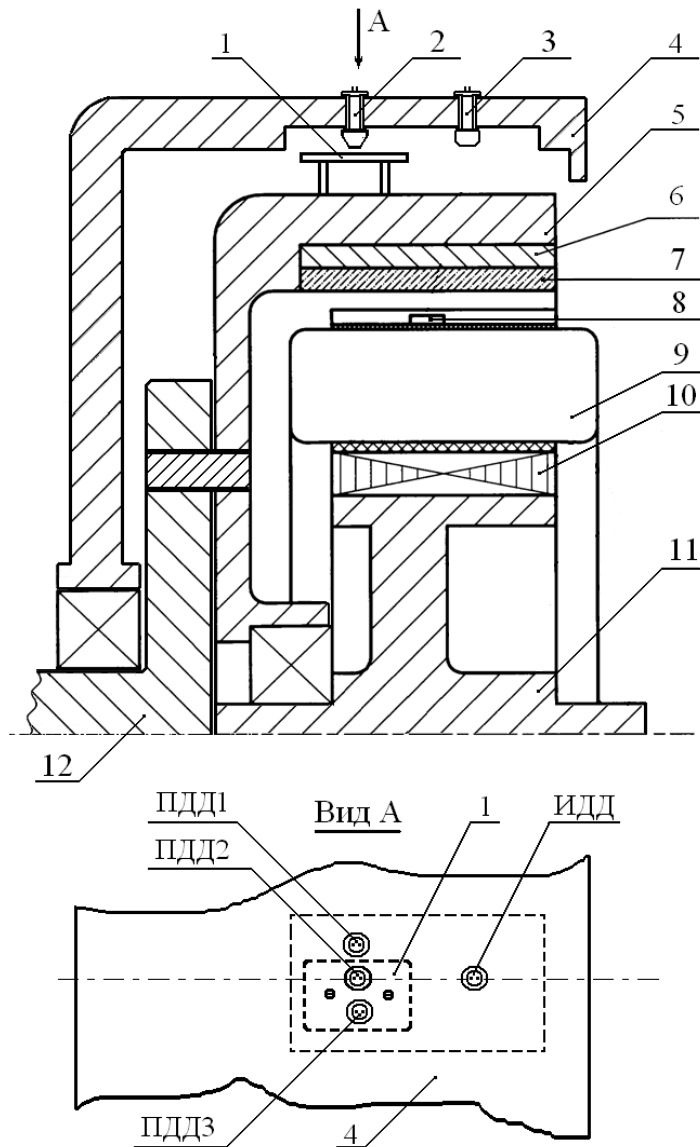


Рис. 2. Поперечный разрез стартер-генератора с датчиком диапазона:  
1 – поглощающая пластина; 2 – приемник инфракрасного излучения;  
3 – излучатель инфракрасного излучения; 4 – кожух стартер-генератора;  
5 – ротор; 6 – магнитопровод; 7 – постоянные магниты;  
8 – датчик положения ротора; 9 – обмотки стартер-генератора;  
10 – зубцы стартер-генератора; 11 – статор;  
12 – выход коленчатого вала двигателя

Ротор электрической машины должен остановиться в угловом диапазоне, при котором перекрыты первый и второй приемники. Третий приемник должен оставаться открытым. В случае перекрытия третьего приемника, то есть при перерегулировании вращения ротора, электронное коммутирующее устройство отключает режим электротормоза и включает реверсивный режим работы электромашины до момента открытия третьего приемника.

Наличия в начале процесса останова ротора режима электромагнитного торможения электромашин, и последующего кратковременного формирования в ней реверсивного момента позволяют фиксировать заданное положение перекрывающей пластины ротора между вторым и третьим приемниками инфракрасного излучения. Угловой диапазон положения ротора определяется расстоянием между вторым и третьим приемниками излучения. При определенных постоянных величинах угловой скорости ротора в начале торможения, продолжительностей включения режимов торможения и реверса результат процесса останова ротора с большой вероятностью будет однозначным и без автоколебаний.

Электрическая схема системы позиционирования, показанная на рис. 3, работает следующим образом.

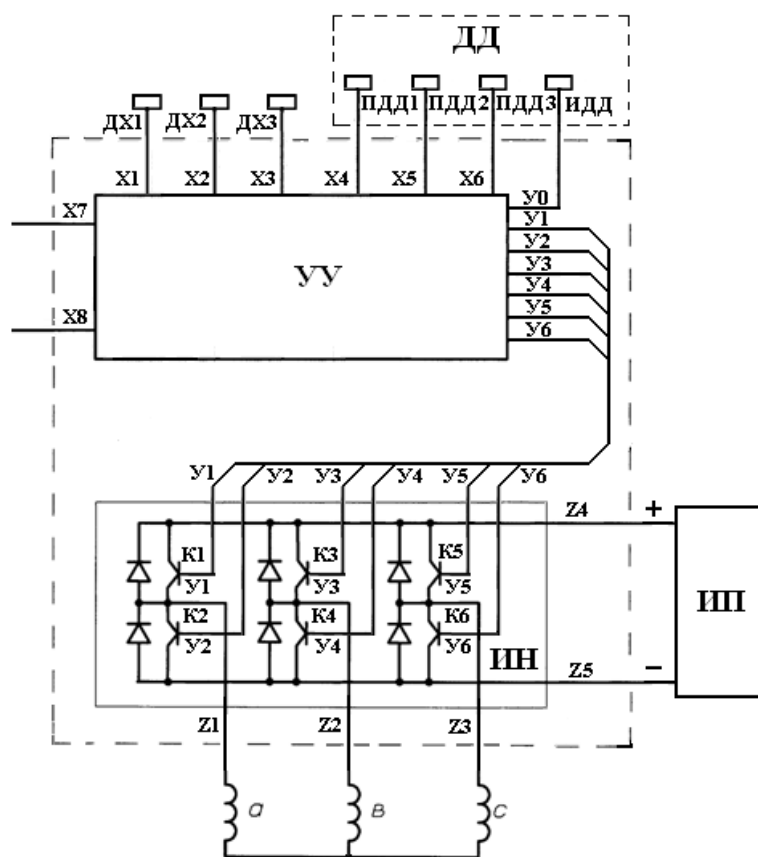


Рис. 3. Электрическая схема системы позиционирования:  
 ДД – датчик диапазона; ДХ – датчики положения ротора;  
 ИН – инвертор; ИП – источник питания; X7 – включение команды  
 «Пуск»; X8 – включение команды «Останов»

При подаче команды «Пуск» на вход X7, управляющее устройство (УУ) оценивает на входах X1, X2 и X3 сигналы гальваномагнитных датчиков ДХ, которые показывают направление намагниченности постоянных магнитов ротора, находящихся непосредственно над датчиками. По положению постоянных магнитов и зубцов управляющим устройством определя-

ются фазы обмоток и требуемые направления токов в них. Выбранные фазы и направления токов задаются путем формирования на выходной шине управляющего устройства сигналов управляющих команд (У1, У2, У3, У4, У5, У6), которые поступают на входы инвертора напряжений (ИН). В соответствии с сигналами управления транзисторные ключи инвертора (К1, К2, К3, К4, К5, К6) подключают к выводам (Z4, Z5) источника питания (ИП) выводы фаз обмоток статора (Z1, Z2, Z3). Протекающие по обмоткам статора токи создают магнитные поля, которые взаимодействуя с магнитными полями постоянных магнитов, формируют вращающий момент ротора. Ротор под действием вращающего момента поворачивается, одновременно вращая коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания.

При вращении ротора положение постоянных магнитов относительно обмоток изменяется, вращающий момент начинает уменьшаться. Поворот ротора отражается в сигналах датчиков положения ротора. Управляющее устройство оценивает изменения в данных датчиков положения ротора и на их основе определяет необходимые для создания вращающего момента фазы и направления токов в них. Изменившиеся сигналы управления поступают на входы инвертора напряжений, происходят соответствующие переключения ключей инвертора, что приводит к увеличению вращающего момента ротора. Дальнейшее поворачивание ротора ведет к новым переключениям ключей в инверторе напряжений, что в конечном итоге приводит к вращению ротора и к пуску двигателя.

Управляющее устройство при вращении ротора по частоте переключений датчиков положения ротора анализирует величину частоты вращения ротора и связанного с ним коленчатого вала. При достижении ротором минимальной пусковой частоты двигателя внутреннего сгорания управляющее устройство отключает команды управления инвертором напряжений.

При подаче на вход Х8 команды «Останов» рабочие циклы в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания прекращаются, коленчатый вал двигателя вместе с ротором, вращаясь по инерции, останавливается. Одновременно, при подаче команды «Останов», управляющее устройство включает излучатель инфракрасного излучения (У0) датчика диапазона, подключается к выходам датчиков положения ротора и к выходам (Х4, Х5, Х6) приемников инфракрасного излучения. По частоте переключений датчиков положения ротора управляющее устройство определяет текущую частоту вращения останавливающегося ротора. При уменьшении частоты вращения ротора до определенной величины, при которой мощности электромашинны достаточно для быстрой остановки двигателя, производится точная установка ротора в заданное угловое положение, которая производится следующим образом.

При перекрытии поглощающей пластиной первого приемника датчика диапазона (ПДД1) управляющее устройство, по показаниям датчиков положения ротора, определяет фазы и направления токов для включения

электромашин в режим электромагнитного тормоза. По сигналам управляющего устройства инвертор напряжения и источник питания обеспечивают требуемый режим работы электрической машины.

По истечению заданного промежутка времени после включения режима торможения, управляющее устройство производит анализ состояний всех приемников датчика диапазона. В случае перекрытия приемника ПДД1 и открытых приемников ПДД2 и ПДД3, управляющим устройством формируются сигналы управляющие инвертором на доворачивание ротора на угол, при котором перекрывается приемник ПДД2. В случае перекрытия пластиной приемников ПДД2 и ПДД3, управляющим устройством формируются сигналы управляющие инвертором на обратное поворачивание ротора на величину угла, при котором приемник ПДД3 перейдет в открытое состояние.

Следовательно, после остановки двигателя ротор, а также и коленчатый вал двигателя будут находиться в заданном угловом положении, при котором край пластины датчика диапазона будет расположен между приемниками ПДД2 и ПДД3. По истечению заданного промежутка времени после установки приемников ПДД2 и ПДД3 в соответственно перекрытое и открытое состояния, управляющее устройство отключает команды управления инвертором напряжений. При необходимости изменения углового положения коленчатого вала при остановке двигателя следует изменять на роторе место расположения поглощающей пластины.

Таким образом, наличие на транспортном средстве с дизельным двигателем интегрированного стартер-генератора позволяет реализовать систему позиционирования вала двигателя при его выключении, что в целом облегчает режим работы аккумуляторной батареи и дает возможность уменьшения ее емкости.

#### Библиографический список

1. Воронин, С.Г. Стартер-генератор для дизельной силовой установки / А.И. Согрин, П.О. Шабуров, Б.Д. Шумаков // Электротехника. – 2013. – № 10. – С. 25–29.
2. Пат. 134368 Российской Федерации, МПК Н02К 1/27, Н02К 21/22, Н02К 29/06. Стартер-генератор транспортного средства / С.Г. Воронин, А.И. Согрин, П.О. Шабуров, Б.Д. Шумаков, Б.А. Мурдасов, В.И. Кислицын. – № 2013116048/07; заявл. 09.04.2013; опубл. 10.11.2013. Бюл. № 31. – 12 с.
3. Пат. 129316 Российской Федерации, МПК Н02К 29/06. Электросистема пуска-останова двигателя внутреннего сгорания / Б.Д. Шумаков, А.И. Согрин, П.О. Шабуров. – № 2012156155/07; заявл. 24.12.2012; опубл. 20.06.2013. Бюл. № 17 – 15 с.

[К содержанию](#)