

что данная модель качественно адекватна моделируемым процессам и поэтому может использоваться при решении поставленных задач исследований.

### Литература

1. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М., «Машиностроение», 1981, 231 с.
2. Петрушов В.А., Московкин В.В., Евграфов Ф.Н. Мощностной баланс автомобиля. М., «Машиностроение», 1984, 160 с.
3. Лепешкин А.В., Петров С.Е. Аналитический способ оценки результатов взаимодействия эластичного колеса с деформируемой опорной поверхностью при установившемся прямолинейном качении. Известия МГТУ «МАМИ» № 2(14), 2012, т. 1, с. 233-241.
4. Вольская Н.С. Разработка методов расчета опорно-тяговых характеристик колесных машин по заданным дорожно-грунтовым условиям в районах эксплуатации. Диссертация на соискание уч. ст. д.т.н. Москва, 2008, 370 с.
5. Лепешкин А.В. Математическая модель установившегося прямолинейного движения автопоезда с гидрообъемной трансмиссией ведущих колес прицепа по деформируемой опорной поверхности. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 19477 от 11.09.2013 в Объединенном фонде электронных ресурсов «Наука и образование».

### **Эффективность бесконтактных генераторов постоянного тока для транспортных средств**

д.т.н. проф. Лохнин В.В., д.т.н. проф. Юркевич В.М., д.т.н. проф. Ивоботенко Б.А.,  
Ширков В.И.

*Университет машиностроения, МЭИ (Технический университет)  
8(495) 223-05-23 доб. 1324, lokhnin\_v\_v@mail.ru, neo-sc@yandex.ru*

*Аннотация.* Проведено исследование основных массово-эффективных характеристик бесконтактных источников постоянного тока стабильного напряжения для автотранспортных средств (гибридных автомобилей, электромобилей). Проведен сравнительный анализ существующих схем управления источниками постоянного тока, и выделены наиболее эффективные из них.

*Ключевые слова:* источник постоянного тока стабильного напряжения, электрическая машина, высокоэнергетические постоянные магниты.

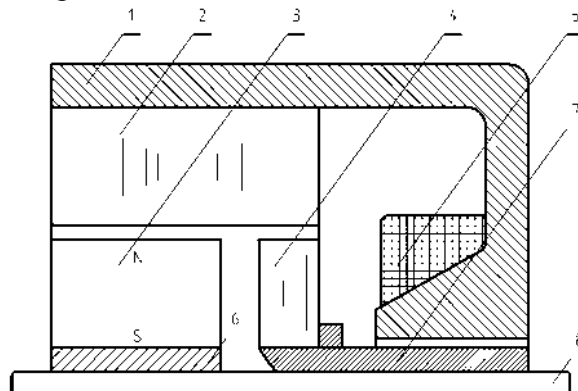
Электрические машины с возбуждением от высокоэнергетических постоянных магнитов из-за ряда своих достоинств (бесконтактность, надежное возбуждение и отсутствие потерь на него) перспективны для применения на транспортных средствах. Они востребованы в двигательном режиме работы (вентильные двигатели), но генераторный режим работы требует регулирования магнитного потока от постоянных магнитов, что связано с известными трудностями. В источнике постоянного тока на базе такого генератора появляется возможность выноса регулятора напряжения в управляемый выпрямительный блок. В случае глубокого регулирования напряжения это в настоящее время единственно эффективный метод регулирования. Источник в этом случае имеет следующую структуру: нерегулируемый генератор на постоянных магнитах, выпрямитель на диодах, тиристорах или транзисторах и сглаживающий L-C фильтр.

Если привод генератора имеет кратность частоты вращения в пределах 2-х, конкурентоспособна структура источника с регулируемым генератором на постоянных магнитах (смешанное возбуждение, рисунок 1, или усовершенствованное подмагничивание, рисунок 2), диодный выпрямитель и сглаживающий L-C фильтр.

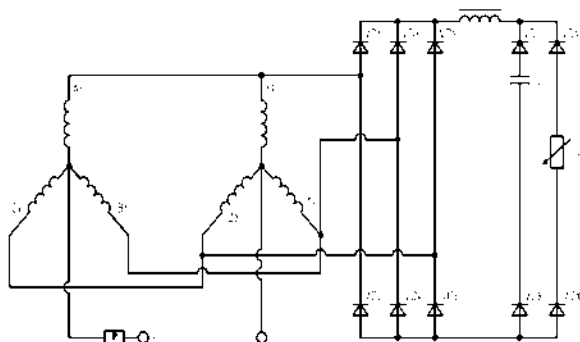
Оценим массовые показатели ряда источников на базе бесконтактного генератора с высокоэнергетическими постоянными магнитами на следующие технические задания:

- мощность генератора – 9 кВт;
- выходное напряжение источника – 30 В;

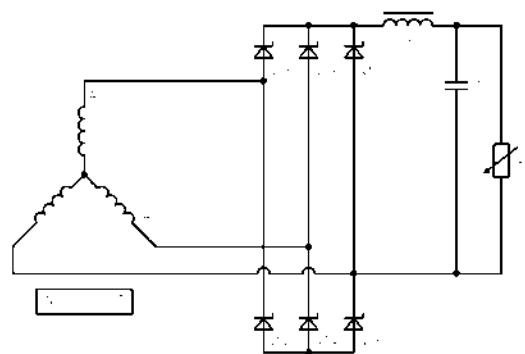
- минимальная частота вращения – 4500 об/мин;
- максимальная частота вращения – 7000 об/мин;
- двойная перегрузка по мощности в течение 5 сек на частоте вращения 7000 об/мин;
- полуторакратная перегрузка в течение 5 мин;
- охлаждение – принудительная воздушная вентиляция;
- пульсации выходного напряжения  $\leq 10\%$ .



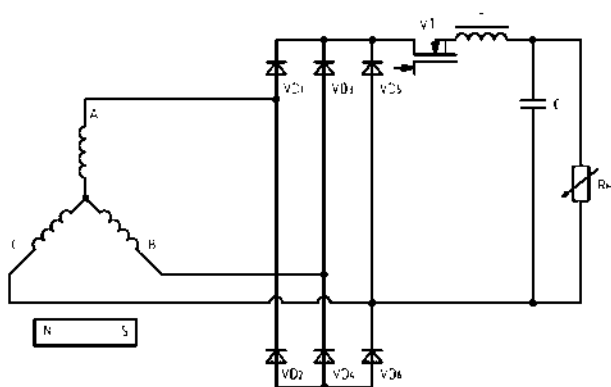
**Рисунок 1. Генератор комбинированного возбуждения: 1-корпус; 2-статор; 3-магнит; 4-пакет ротора; 5-обмотка возбуждения; 6-втулки; 7-немагнитный материал; 8-вал.**



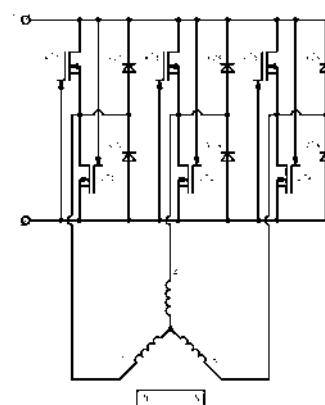
**Рисунок 2. Источник постоянного тока с усовершенствованным подмагничиванием спинки якоря**



**Рисунок 3. Источник с тиристорным выпрямителем**



**Рисунок 4. Источник с диодным выпрямителем и транзисторным импульсным стабилизатором напряжения**



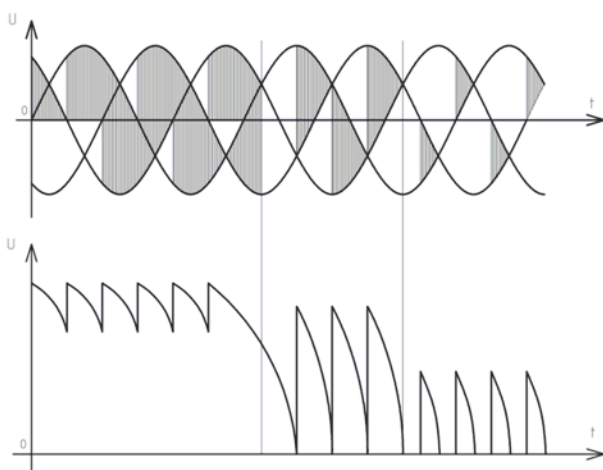
**Рисунок 5. Источник с выпрямителем на IGBT-транзисторах**

Оценим массовые показатели источников перечисленных выше вариантов:

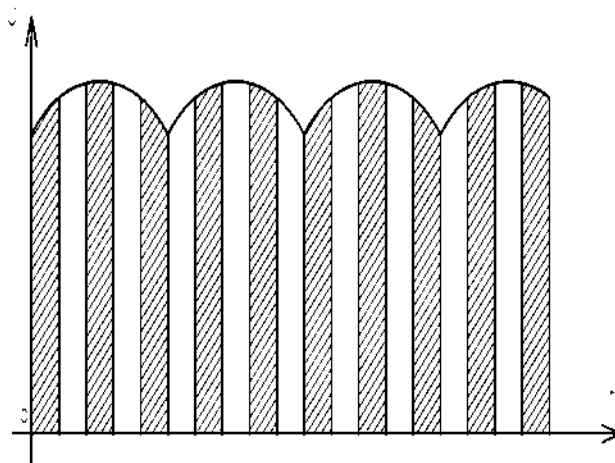
- 1) генератор смешанного возбуждения – диодный выпрямитель по трехфазной мостовой схеме – сглаживающий L-C фильтр;

- 2) генератор с усовершенствованным подмагничиванием спинки якоря (рисунок 1), в котором ток подмагничивания целесообразно взять с выхода источника – диодного выпрямителя – сглаживающий фильтр [2];
- 3) генератор – тиристорный управляемый выпрямитель – сглаживающий L-C фильтр (рисунок 3);
- 4) генератор – диодный выпрямитель – транзисторный импульсный стабилизатор напряжения – L-C фильтр (рисунок 4);
- 5) генератор – транзисторный выпрямитель с ключевым режимом работы транзисторов (ШИМ) – L-C фильтр (рисунок 5).

На рисунках 6 и 7 показано выпрямленное напряжение на выходе тиристорного выпрямителя (рисунок 6) и выпрямителя на транзисторах (рисунок 7) или диодного выпрямителя с импульсным транзисторным регулятором без учета коммутационных провалов в выходном напряжении.



**Рисунок 6. Фазное и выпрямленное напряжения в источнике с тиристорным выпрямителем**



**Рисунок 7. Выпрямленное напряжение в источнике с транзисторным выпрямителем**

В таблице 1 приведены сравнительные показатели по массе рассматриваемых источников, рассчитанных по вышеприведенному техническому заданию.

Таблица 1

**Массовые характеристики генераторов при различном исполнении**

Источник	$G_a$ , кг	$G_{\phi}$ , кг	$G_{\Sigma}$ , кг
Генератор с электромагнитным возбуждением	11,15	2	13,15
Нерегулируемый генератор – транзисторный выпрямитель	11,13	1	12,3
Нерегулируемый генератор – тиристорный выпрямитель	11,13	10	21,13
Нерегулируемый генератор – диодный выпрямитель – импульсный регулятор	11,13	1,4	12,53
Генератор смешанного возбуждения	13,15	2	15,15
Генератор с усовершенствованным подмагничиванием спинки якоря	13,2	2	15,2

В таблице:  $G_a$  – масса активных материалов генератора,  $G_{\phi}$  – масса сглаживающего фильтра.

Из анализа таблицы следует, что источник с нерегулируемым генератором и транзисторным выпрямителем с ключевым режимом работы транзисторов имеет наименьшую массу (12,13 кг).

Источник с нерегулируемым генератором, диодным выпрямителем и импульсным регулятором напряжения несколько уступает по массе предыдущему варианту (12,53 кг), однако следует учитывать, что в таком варианте транзисторный ключ рассчитан на полную

мощность источника (IGBT-транзисторы выполняются в настоящее время на напряжение до 1000В и ток до 1000А) и создает дополнительные потери мощности.

Источники с регулирующими генераторами на постоянных магнитах уступают источнику с генератором электромагнитного возбуждения, выполняемого в бесконтактном варианте по схеме подвозбудитель – возбудитель – вращающийся выпрямитель – обмотка возбуждения генератора (13,15 кг и 15,2 кг соответственно), однако в случае необходимости обеспечения стартерного режима работы генератора генератор электромагнитного возбуждения не обеспечивает этот режим.

### Литература

1. Кривлев А.В. Методы проектирования цифровой системы управления мехатронного модуля привода с вентильным двигателем. М.: Издательство МАИ-ПРИНТ, 2009, 192 с.
2. Лохнин В.В. Регулируемый синхронный генератор. Авт. Св-во №1029345.83, Бюл. №26.

### **Подбор системы электростартерного пуска с емкостным накопителем энергии и аккумуляторной батареей**

к.т.н. доц. Малеев Р.А., Шматков Ю.М.  
Университет машиностроения  
495-223-05-23, доб. 1574

*Аннотация.* В статье представлены разработанные на кафедре «Автотракторное электрооборудование» Университета машиностроения различные способы и задачи по подбору систем электростартерного пуска с емкостным накопителем энергии и аккумуляторной батареей для конкретных ДВС и проведен их анализ.

*Ключевые слова:* система электростартерного пуска, емкостный накопитель энергии, аккумуляторная батарея, частота вращения

Традиционные системы электростартерного пуска (СЭП) с аккумуляторными батареями (АБ) обычно рассчитывают на минимальные пусковые частоты вращения и соответствующие им моменты сопротивления, которые определяют при экспериментальных исследованиях двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в холодильных камерах или по рекомендациям ОСТ и ГОСТ, соответствующим данному типу двигателя и заданным условиям пуска.

Рекомендации по минимальной пусковой частоте и моменту сопротивления в отраслевом стандарте даны на основании материалов экспериментального исследования большого числа как отечественных, так и зарубежных двигателей. Поскольку испытания обычно проводились с целью исследования их материалов при последующем проектировании или подборе СЭП с АБ, то прокручивания валов двигателей при определении моментов сопротивления и для построения пусковых характеристик при различных условиях пуска проводились при установке на испытуемый ДВС электростартера, мощность которого близка к мощности электростартера, установка которого предполагается на данный ДВС. При этом питание электростартера осуществляется от стартерной АБ или низковольтного агрегата.

При использовании в СЭП емкостного накопителя энергии (НЭ) (либо без АБ в разрядной цепи на СЭ, либо в комбинации с АБ при их параллельном соединении) наиболее выгодный вариант СЭП по выбранному показателю качества (минимум массы всей СЭП, минимум массы источника тока СЭП, минимум объема, стоимости и т.д.) может оказаться при частоте вращения коленчатого вала ДВС большей минимальной пусковой частоты, что может привести к необходимости определения параметров СЭП с НЭ и СЭП с комбинированным источником тока (КИТ) во всем диапазоне пусковых частот вращения вала ДВС. Следовательно, желательно во всем диапазоне пусковых частот сравнить параметры указанных систем пуска между собой и с традиционной СЭП с АБ.

Здесь следует отметить, что при выборе минимальной пусковой частоты вращения  $n_{\min}$  для всех автомобильных ДВС и при всех условиях пуска оговаривается допустимое время пуска (две попытки по 10 с для бензиновых двигателей и одна или две попытки по 15с для