



Анализ и исследование выпрямительных блоков синхронных автомобильных генераторов

*Иванов Дмитрий Викторович,
ГОУ ВПО Тольяттинский государственный
университет, Тольятти*

E-mail: director@sipxecs.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные выпрямительные блоки, применяющиеся на синхронных автомобильных генераторах, проведен их анализ. Рассмотрена работа выпрямительных блоков «звезда-Ларионов», «звезда-Ларионов с нейтральным выпрямителем», «треугольник-Ларионов» и выпрямитель «три полных моста». Проверена схема коммутации фазных обмоток на схеме «три полных моста» в схему «треугольник-Ларионов» и доказана ее неэффективность. Сделаны выводы о возможности применения и замены существующих выпрямительных блоков синхронных автомобильных генераторов на выпрямительные блоки по схеме полномостового выпрямления.

Ключевые слова: синхронный генератор, электротехника, автомобильный генератор, выпрямительные блоки.

Генераторная установка автомобиля предназначена для обеспечения питанием электрических потребителей, входящих в систему электрооборудования, и зарядка аккумуляторной батареи при работающем двигателе автомобиля. Выходные параметры автомобильного генератора должны быть такими, чтобы в любых режимах движения автомобиля не происходил прогрессивный разряд аккумуляторной батареи. Кроме того, напряжение в бортовой сети автомобиля, питаемой генераторной установкой, должно быть стабильно в широком диапазоне изменения частоты вращения и нагрузок. Последнее требование вызвано тем, что аккумуляторная батарея весьма чувствительна к степени стабильности напряжения. После введения изменений в законодательстве «об движении автомобилей на территории РФ со включенным ближним светом фар» автомобиля в дневное время суток, приходится изыскивать дополнительные мощности, поскольку отечественные автомобили не проектировались с маршевыми огнями. Также, следует отметить, что практически каждый автомобиль, в настоящее время, оснащается мощными аудио системами, а значит дополнительными потребителями электрической

энергии.

На практике автомобилестроения в качестве автомобильных генераторов используются синхронные генераторы с выпрямительными блоками. В зависимости от схем соединения фаз различаются и схемы выпрямительных блоков автомобильных генераторов. Рассмотрим выпрямительные блоки и схемы подробнее.

Наиболее часто используемая схема соединения фаз синхронного автомобильного генератора это три полумоста параллельно, объединённые звездой «звезда-Ларионова» схема выпрямительного блока представлена на рис.1.

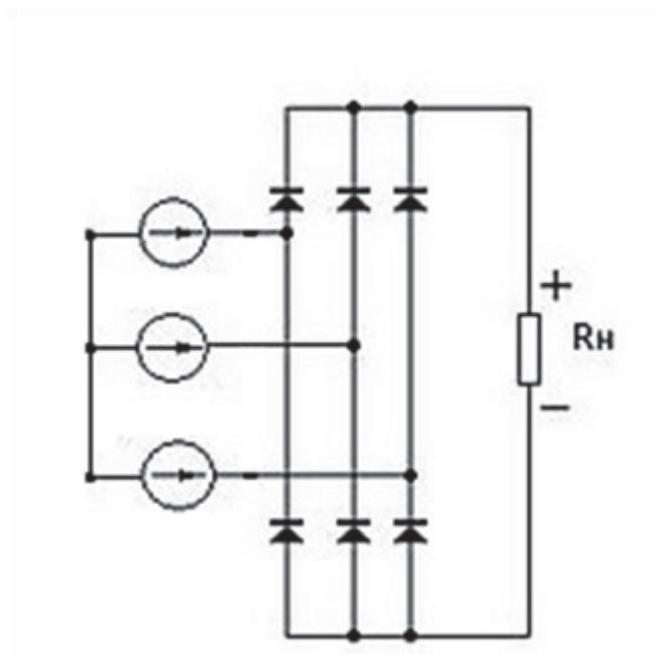


Рис.1 Схема выпрямительного блока «звезда-Ларионова»

Внешний вид ЭДС на входе (точками) и на выходе (сплошной) представлен на рис. 2.

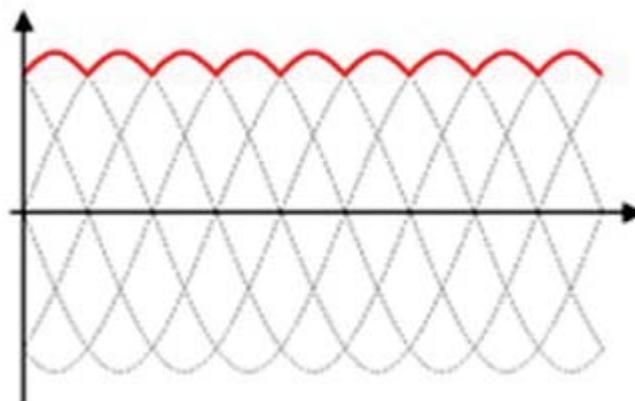


Рис.2 Внешний вид ЭДС на выходе с выпрямительного блока

Площадь под интегральной кривой ЭДС равна:

$$S = 12 \left(\int_{\pi/3}^{\pi/2} E_m \sin(\omega t) d(\omega t) + \int_{\pi/6}^{\pi/3} E_m \sin(\omega t) d(\omega t) \right) = 12 \frac{\sqrt{3}}{2} E_m = 6\sqrt{3} E_m$$

Средняя ЭДС равна

$$E_{sr} = \frac{6\sqrt{3}E_m}{2\pi} = \frac{3\sqrt{3}E_m}{\pi} = 1,65E_m = 2,34E_{2eff}$$

В этом выпрямителе есть большой период равный 360° и малый период, равный 60° . Малый период состоит из двух зеркальносимметричных частей по 30° . В начале малого периода ($\omega t = 0$) ЭДС в одной из ветвей равна нулю, в двух других — по $0,87 \times E_m$. Эти две ветви включены последовательно. Эквивалентное внутреннее активное сопротивление при этом равно $6r$. Далее, одна из ЭДС увеличивается от $0,87$ до $1,0$, другая уменьшается от $0,87$ до $0,5$, а третья растёт от $0,0$ до $0,5$. Эквивалентная схема при этом изменяется и представляет собой две последовательно включенные ветви, в одной из которых одна ЭДС и её сопротивление равно сопротивлению одной обмотки $3r$, в другой две параллельно включенные ЭДС с сопротивлением $3r$ каждая, эквивалентное сопротивление двух параллельных ветвей равно $3r/2$. Эквивалентное активное внутреннее сопротивление всей цепи равно $3r/2 + 3r = 9r/2 = 4,5r$. В режимах близких к холостому ходу в параллельных ветвях ЭДС в ветви с большей ЭДС

закрывает диод в ветви с меньшей ЭДС, при этом изменяется эквивалентная схема. При увеличении нагрузки появляются и увеличиваются отрезки периода на которых обе ветви работают на нагрузку параллельно.

На практике чаще применяется в место схемы выпрямителя «звезда-Ларионов» схема «звезда-Ларионов с нейтральным выпрямителем» представленная на рис.3.

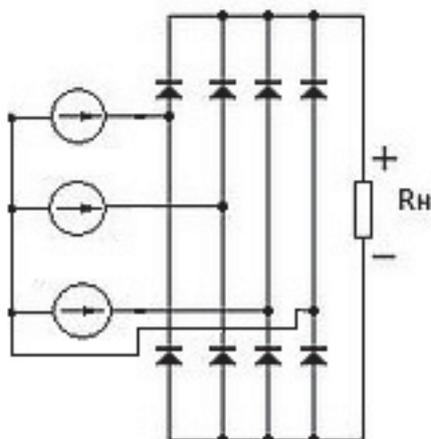


Рис.3 Схема «звезда-Ларионов с нейтральным выпрямителем»

Использование дополнительной пары диодов объясняется графиком представленным на рис.4.

Использование диодов позволяет получить сумму синусоид первой, U_1 , и третьей, U_3 гармоник.

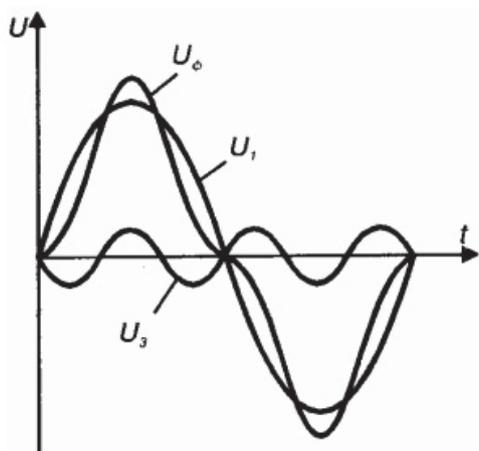


Рис.4 График фазной ЭДС с учетом третьей гармоники

SCIENCE TIME

Чтобы использовать эту мощность добавлены диоды, подсоединенные к нулевой точке обмоток фаз, таким образом, к точке где сказывается действие фазного напряжения. Эти диоды выпрямляют только напряжение третьей гармоники фазного напряжения. Применение этих диодов увеличивает мощность генератора на 5...15% при частоте вращения более 3000 об/мин. Схема «треугольник-Ларионова» рис.5 имеет потери в меди больше, чем в выпрямителе «звезда-Ларионов», поэтому на практике чаще применяется схема «звезда-Ларионов».

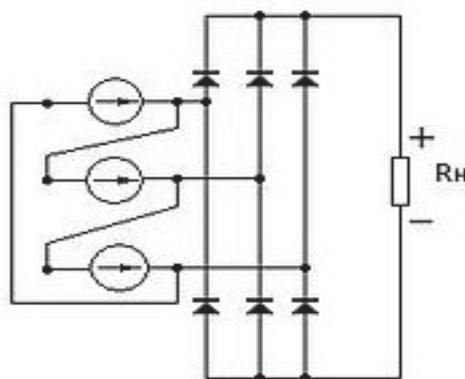


Рис.5 Схема выпрямителя «треугольник-Ларионова»

Площадь под интегральной кривой равна:

$$S = 12 \int_{\pi/3}^{\pi/2} E_m \sin(\omega t) d(\omega t) = 12 \frac{1}{2} E_m = 6 E_m$$

Средняя ЭДС равна:

$$E_{sr} = \frac{6 E_m}{2\pi} = \frac{3 E_m}{\pi} = 0,95 E_m = 1,35 E_{2eff}$$

В работе схемы «треугольник-Ларионов» есть два периода. Большой период равен 360° (2π). Малый период равен 60° ($\pi/3$), и повторяется внутри большого 6 раз. Малый период состоит из двух малых полупериодов по 30° ($\pi/6$), которые зеркальносимметричны и поэтому достаточно разобрать работу

схемы на одном малом полупериоде в 30° .

На холостом ходу и в режимах близких к нему ЭДС в ветви с наибольшей на данном отрезке периода обратнсмещает (закрывает) диоды с меньшими на данном отрезке периода ЭДС.

В начальный момент ($\omega t = 0$) ЭДС в одной из ветвей равна нулю, а ЭДС в двух других ветвях равны $0,87E_m$, при этом открыты два верхних диода и один нижний диод. Эквивалентная схема представляет собой две параллельные ветви с одинаковыми ЭДС (0,87) и одинаковыми сопротивлениями по $3r$ каждое, эквивалентное сопротивление обеих ветвей равно $3r/2$. Далее, на малом полупериоде, одна из двух ЭДС, равных 0,87, растёт до 1,0, другая уменьшается до 0,5, а третья растёт от 0,0 до 0,5.

$$3r \cdot 6r / (3r + 6r) = 18r^2 / (9r) = 2r.$$

Частота пульсаций равна $6f$, где f — частота сети.

На практике менее известны полномостовые трёхфазные выпрямители по схеме «три параллельных моста», которые по многим параметрам превосходят выпрямитель Ларионова А. Н.

По схемам выпрямителей можно видеть, что выпрямитель Ларионова А.Н. является «недостроенным» выпрямителем «три параллельных моста» представленная на рис.6.

Площадь под интегральной кривой равна:

$$S = 12 \int_{\pi/3}^{\pi/2} E_m \sin(\omega t) d(\omega t) = 12 \frac{1}{2} E_m = 6E_m$$

Средняя ЭДС равна:

$$E_{sr} = \frac{6E_m}{2\pi} = \frac{3E_m}{\pi} = 0,95E_m = 1,35E_{2eff}, \text{ то есть такая же, как и в}$$

схеме «треугольник-Ларионов» и в $\sqrt{3}$ раз меньше, чем в схеме «звезда-Ларионов».

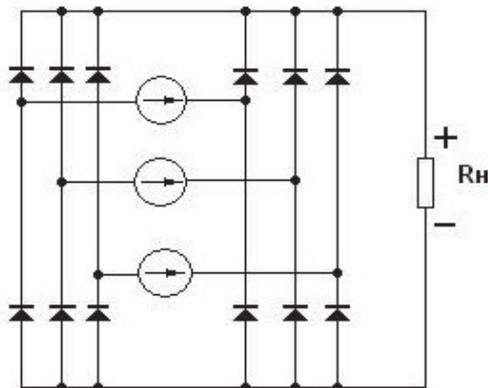


Рис.6 Схема выпрямителя «три параллельных моста»
с независимой схемой соединения фаз

В режиме холостого хода ЭДС в мосту с наибольшей на данном отрезке большого периода ЭДС закрывает диоды в мостах с меньшими на данном отрезке большого периода ЭДС. Эквивалентное внутреннее активное сопротивление при этом равно активному сопротивлению одного моста $3r$. При уменьшении R_n появляются и увеличиваются отрезки периода на которых два моста работают на нагрузку параллельно, эквивалентное внутреннее активное сопротивление на этих отрезках периода при этом равно сопротивлению двух параллельных мостов $3r/2 = 1,5r$. При дальнейшем увеличении нагрузки появляются и увеличиваются отрезки периода на которых все три моста работают на нагрузку параллельно, эквивалентное внутреннее активное сопротивление на этих отрезках периода равно сопротивлению трёх параллельных мостов r . В режиме короткого замыкания все три параллельных моста работают на нагрузку, но полезная мощность в этом режиме равна нулю.

Из этого следует, что с учётом разницы величин ЭДС ($\sqrt{3}$), эквивалентное внутреннее активное сопротивление (и потери в меди) выпрямителя «три параллельных моста» получается меньше, чем в выпрямителе «звезда-Ларионов». Из-за меньшего эквивалентного внутреннего активного сопротивления в выпрямителе «три параллельных полных моста» нагрузочные характеристики этих двух выпрямителей получаются разными.

Выпрямитель «три параллельных моста» имеет большую надёжность, чем выпрямитель «звезда-Ларионов». При обрыве (выгорании) 5/6 диодов выпрямитель «звезда-Ларионов» становится полностью неработоспособным, а выпрямитель «три параллельных моста», в случае оставшихся диодов в противоположных плечах одного моста, ещё даёт около 1/6 от полной мощности. В выпрямителе «три параллельных полных моста» средний ток через один диод

почти вдвое меньше, чем в выпрямителе «звезда-Ларионов», а такие диоды дешевле и доступнее.

При очень малых токах нагрузки эквивалентное внутреннее активное сопротивление почти равно активному сопротивлению одной обмотки, то есть больше, чем в выпрямителе «треугольник-Ларионов».

А для устранения данного недостатка, при очень малых токах нагрузки схему «три параллельных моста» можно переключать на схему «треугольник-Ларионов» переключателем с тремя замыкающими контактными группами.

Для проверки эффективности данного решения был реализован силовой выпрямительный блок совмещенный с блоком релейной коммутации фаз, представленный на рис.7.

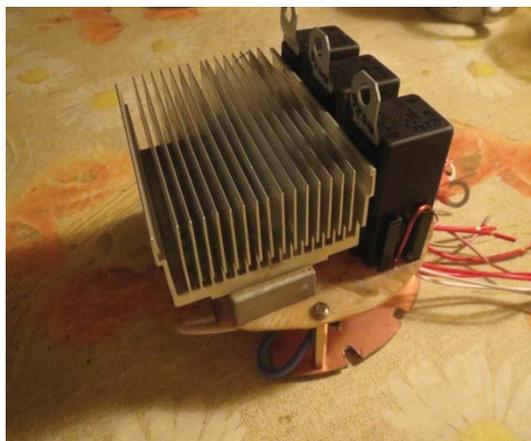


Рис.7 Силовой выпрямительный блок «три параллельных полных моста» с блоком релейной коммутации фаз генератора.

В результате применения релейной коммутации фаз, пульсация выходного напряжения значительна. Эффективность применения коммутации остается под большим вопросом, поскольку в соответствии с современным законодательством движение автомобиля подразумевается со включенным ближним светом фар, а это дает 110Вт нагрузки и 24 Вт нагрузки от габаритных огней, что суммарно почти в два раза превышает минимальное значение нагрузки до которой необходимо осуществлять коммутацию фазных обмоток.

В качестве выводов и заключения следует отметить:

- выпрямительный блок синхронного генератора «три полных моста» позволяет отнести генератор не к источнику ЭДС, а ближе к источнику тока;
- выпрямительный блок «три полных моста» может практически полностью заменить собой основные выпрямительные блоки на автомобильных генераторах со схемой «треугольник-Ларионова», применяющихся в настоящее

SCIENCE TIME

время;

- при его использовании уменьшаются потери в меди и уменьшается нагрев фазных обмоток;
- за счет применения схемы независимого соединения фазных обмоток и полномостовой схемы выпрямительного блока надежность генератора значительно повышается;
- коммутация фазных обмоток при малых токах потребления неэффективна, как с точки зрения пульсации напряжения, так и с точки зрения практики использования;
- за счет повышенной токоотдачи и снижения потерь в фазных обмотках и выпрямительном блоке повышается его эффективность на 14%.

Литература:

1. Акимов С.В., Боровских Ю.И., Чижков Ю.П. Электрическое и электронное оборудование автомобилей. - М.: Машиностроение, 1988.-276 с.
2. Чижков Ю.П., Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей. Учебник для ВУЗов.- М.:Издательство «За рулем»,2003.-384 с., ил.
3. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей. – М.: Транспорт, 2001.- 287 с., ил.