

Моделирование синхронного генератора с независимыми фазами

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

E-mail: director@sipxecs.ru



Аннотация. В статье представлена опытная модель генератора с независимой схемой включения фазных обмоток. Представлены результаты проведенных экспериментальных исследований синхронных автомобильных генераторов со схемой соединения фазных обмоток «треугольник» и независимой схемой соединения фаз. Представлены графические зависимости характеристик холостого хода на малых частотах вращения генератора и токоскоростных характеристик. Представлена математическая модель синхронного генератора с независимой схемой включения фазных обмоток. Представлена зависимость расхождения расчетных данных и эксперимента.

Ключевые слова: автомобильный генератор, электрооборудование автомобиля, синхронный генератор характеристики

В Тольяттинском государственном университете был разработан автомобильный генератор, отвечающий высоким требованиям по повышенной энергоотдаче и требованиям отказоустойчивости. За основу разработки был взят синхронный автомобильный генератор марки 9402.3701-06 производства завода КЗАТЭ со схемой соединения фазных обмоток «треугольник-Ларионова». Повысить токоотдачу в данном генераторе можно, если внести изменения в магнитную систему генератора и схему соединения фазных обмоток, а именно уходя от схемы соединения фазных обмоток по схеме «треугольника-Ларионова». Технологический разброс, при производстве, фазных обмоток генератора существенен, в результате чего, возникает уравнивающая ЕДС, с током, который соизмерим с фазным током обмотки генератора.

В результате проведенных исследований различных компоновок, схем соединения, а также выпрямительных схем, авторы пришли к выводу о необходимости использования независимой схемы включения фазных обмоток генератора и применения полномостовой выпрямительной схемы. Проведя

выбор элементной базы, основываясь на ранее проведенных изысканиях, в Тольяттинском государственном университете была разработана опытная модель синхронного автомобильного генератора с независимой схемой соединения фазных обмоток, представленная на рис.1.



Рис.1 Опытная модель генератора с независимым включением фаз

Отличительной особенностью данного генератора является использование ротора с модернизированной магнитной системой с использованием постоянных магнитов высокой мощности. Были выбраны магниты постоянные на основе неодим-железо-бор, поскольку магниты данной группы имеют самое высокое значение коэрцитивной силы для требуемого диапазона рабочих температур от -60 до +120 градусов Цельсия.

Модернизированный ротор представлен на рис.2.



Рис.2 Ротор синхронного генератора с модернизированной магнитной системой

Исследования опытной модели генератора проводились, с использования

методов планирования экспериментальных исследований.

График зависимости напряжения холостого хода генератора со схемой соединения фаз «треугольник-Ларионова» и схемой независимого соединения фаз с полномостовой схемой выпрямительного блока, от частоты вращения на малых частотах вращения от 500 об/мин до 2000 об/мин представлены на рис.3.

Отличительной особенностью характерных графиков является то, что при частотах вращения начиная с 1300 об/мин в опытной модели генератора идет значительное повышение напряжения холостого хода. В первую очередь это объясняется существенным изменением магнитной системы ротора. Происходит снижение частоты вращения самоиндукции генератора, что повышает напряжение холостого хода уже при малых значениях частоты вращения. В режиме холостого хода ЭДС в мосту с наибольшей на данном отрезке большого периода ЭДС обратнсмещает (закрывает) диоды в мостах с меньшими на данном отрезке большого периода ЭДС. Эквивалентное внутреннее активное сопротивление при этом равно активному сопротивлению одного моста (одной обмотки) $3r$.

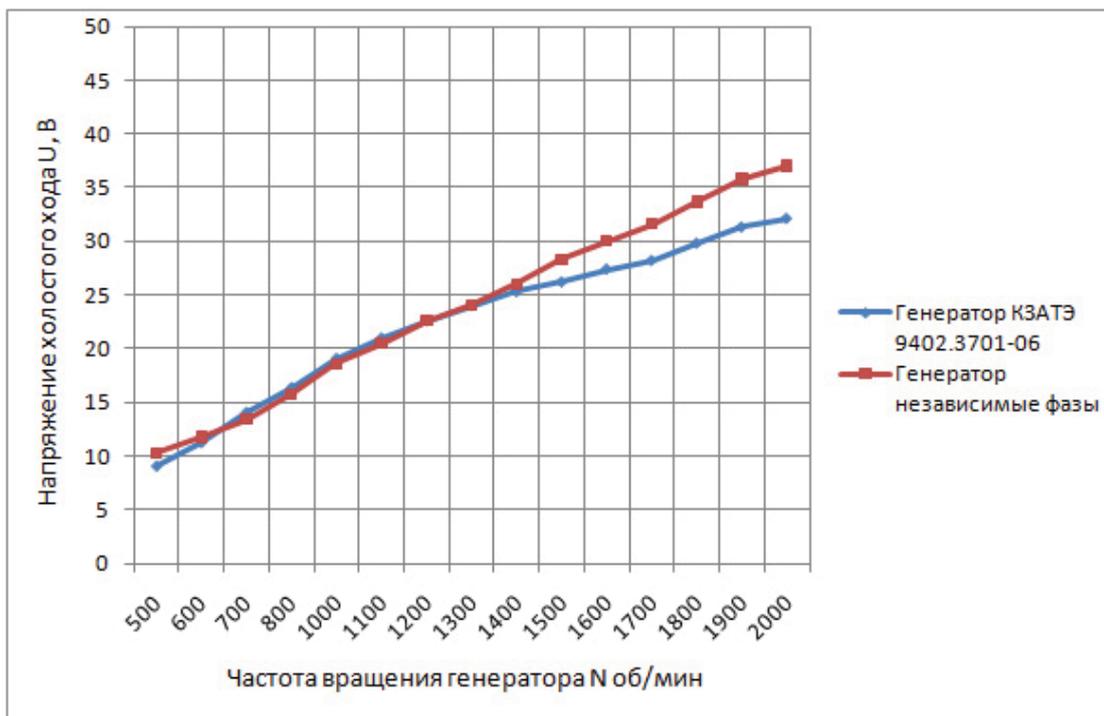


Рис.3 Сравнительная характеристика напряжения холостого хода на малых частотах вращения генератора со схемой «треугольник» и независимой схемой включения фаз

SCIENCE TIME

Сравнительная токоскоростная характеристика генераторов КЗАТЭ 9402.3701-06 со схемой соединения фаз «треугольник» и генератора с независимой схемой включения фаз на малых частотах вращения представлена на рис.4.

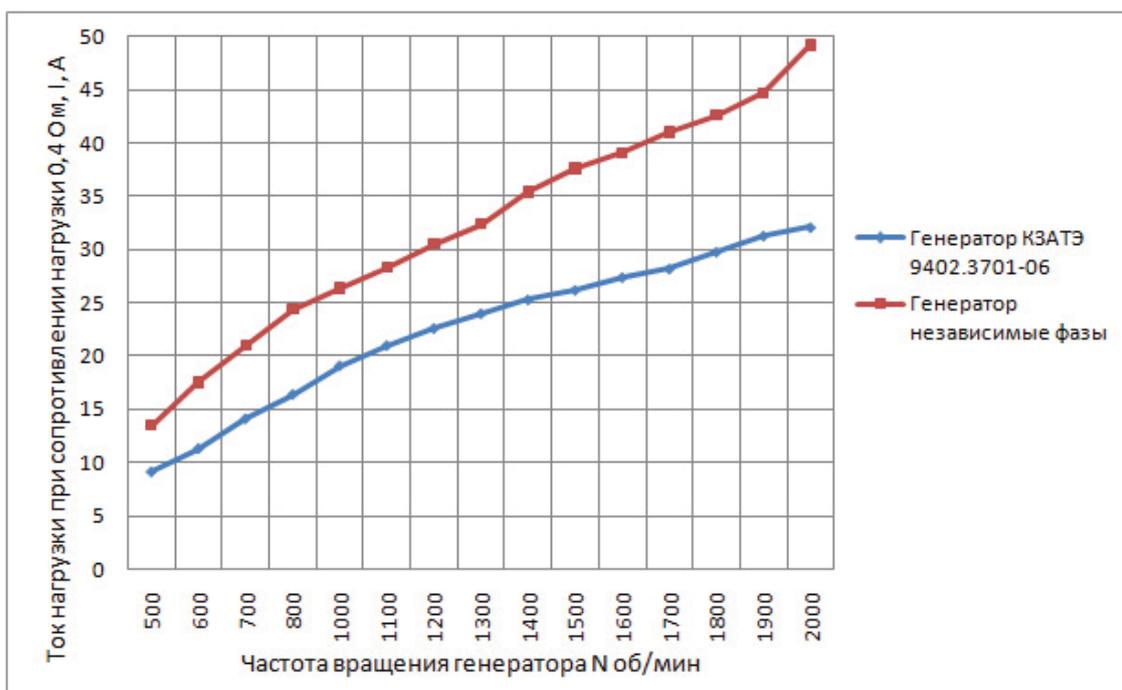


Рис.4 Сравнительная токоскоростная характеристика генераторов КЗАТЭ 9402.3701-06 и генератора с независимой схемой включения фаз

Снятие токоскоростных характеристик проводилось при использовании реостатного регулирования тока возбуждения генераторов и постоянной нагрузке 0,4 Ом на малых частотах вращения. При увеличении нагрузки (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 существенно 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 (квадратный корень из трех), эквивалентное внутреннее активное сопротивление (и потери в меди)

выпрямителя «три параллельных моста» получается меньше, чем в выпрямителе «треугольник-Ларионов». Из-за меньшего эквивалентного внутреннего активного сопротивления в выпрямителе «три параллельных полных моста» при независимом соединении фазных обмоток, нагрузочные характеристики этих двух выпрямителей получаются разными.

В результате проведенных экспериментальных исследований авторы пришли к выводу, что наибольшее влияние, на малых частотах вращения синхронного генератора, имеют такие параметры как величина сопротивления нагрузки, частота вращения ротора генератора и индуктивная составляющая нагрузки.

Для получения математической модели использовались центральные композиционные ротатбельные планы второго порядка. С получением полинома в виде:

$$I_n = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j} b_{ijij} X_i^2 X_j^2$$

В качестве искомого параметра принимался ток нагрузки генератора I_n . Уравнение регрессии имеет вид:

$$I_n = -76,996 + 0,0942N - 24,186R + 210,553L + 192,93RL - 0,01683NR - 5,024NL - 2,988R^2 + 0,00019N^2$$

При построении полинома использовались методы Стьюдента, Фишера, критерий Кохрена. Характеристические коэффициенты полинома оценивались по значимости, отбрасывались малозначимые.

График приведенной теоретической и экспериментальной токоскоростной характеристики синхронного генератора с независимым соединением фазных обмоток при малых частотах вращения представлен на рис.5.

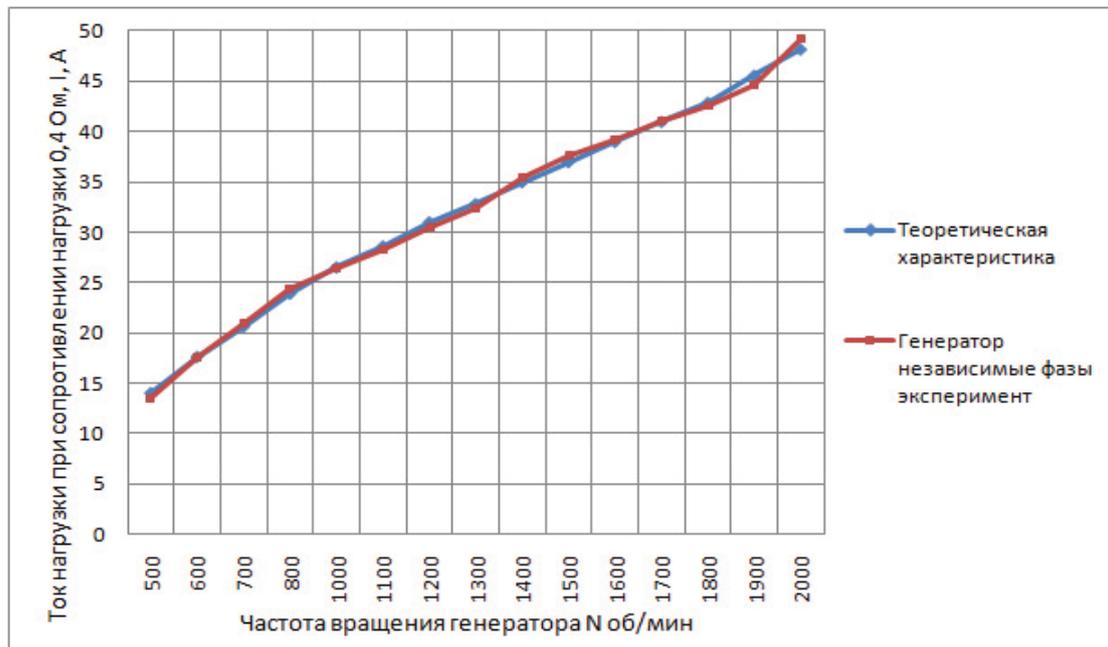


Рис.5 График теоретической и экспериментальной токоскоростной характеристики генератора с независимым соединением фазных обмоток на малых частотах вращения

Таким образом, к качеству заключения и выводов можно отметить следующие:

- по свойствам полученный генератор относится ближе к источникам тока;
- может практически полностью заменить собой основные модели автомобильных генераторов применяющихся в настоящее 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;
- за счет повышенной токоотдачи и снижения потерь в фазных обмотках и выпрямительном блоке повышается его эффективность на 14%;
- математическая модель в виде полинома практически полностью совпадает с экспериментальными характеристиками генератора на малых частотах вращения.

Литература:

1. Акимов С.В., Боровских Ю.И., Чижков Ю.П. Электрическое и электронное

SCIENCE TIME

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.