

А.В. Бабушанов,
Н.И. Билоненко, канд. техн. наук,
О.Б. Бабийчук

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БЕСКОНТАКТНОГО СОВМЕЩЕННОГО СИНХРОННОГО НЕЯВНОПОЛЮСНОГО ГЕНЕРАТОРА

Виконано огляд конструкцій найбільш розповсюджених типів безконтактних суміщених синхронних генераторів, їх переваг і недоліків. Запропоновано безконтактний суміщений синхронний генератор раціональної конструкції.

Выполнен обзор конструкций наиболее распространенных типов бесконтактных совмещенных синхронных генераторов, их достоинств и недостатков. Предложен бесконтактный совмещенный синхронный генератор рациональной конструкции.

Brushless combined synchronous generators of the most popular type constructions and their disadvantages were overviewed. Brushless combined synchronous generators having a rational construction was suggested.

В настоящее время электрические машины контактного исполнения уступают место бесконтактным. Стремление совместить в одном агрегате несколько электромеханических преобразователей привело к развитию новых электрических машин, называемых совмещенными.

Известно большое количество электромеханических устройств, которые можно отнести к совмещенным электрическим машинам: машина Уайльда, двигатель Шраге-Рихтера, электромашинный усилитель поперечного поля, бесконтактный преобразователь частоты, а также совмещенные генераторы.

Особого внимания заслуживают бесконтактные совмещенные синхронные генераторы (БССГ) неявнополюсной конструкции, в которых в одной магнитной системе совмещены два синхронных генератора, один из них выполняет функции возбудителя, а второй является основным. В простейшем случае БССГ содержит четыре обмотки с помощью которых и реализуются два генератора в единой магнитной системе.

Выбор рационального конструктивного исполнения БССГ, которое бы обеспечило наибольшую технологичность изготовления и высокое качество выходного напряжения, является актуальной задачей.

На статоре БССГ уложены две обмотки: обмотка якоря генератора (ОЯГ) с числом пар полюсов p_r и обмотка возбуждения возбудителя (ОВВ) с числом пар полюсов p_b , питаемая постоянным током от аккумулятора или регулятора напряжения (рис.1).

При пересечении проводников ОЯГ, расположенной на статоре, основным магнитным полем возбуждения в ОЯГ наводится ЭДС.

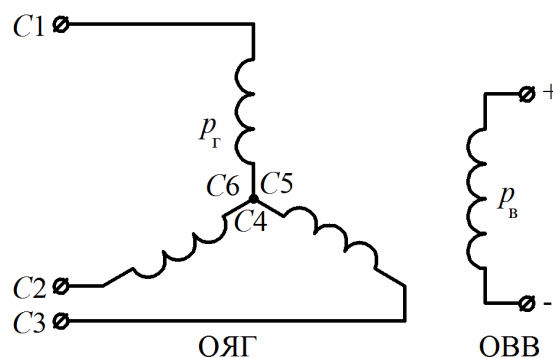


Рис.1. Структура статора БССГ

Статор может также содержать дополнительные обмотки возбуждения и устройства его регулировки, позволяющие реализовать обратную связь между выходным напряжением генератора и напряжением обмотки возбуждения возбудителя.

Каждая из обмоток статора может быть выполнена как однослойной, так и двухслойной, могут отличаться и способы укладки этих обмоток в пазы.

На роторе расположена система обмоток, предназначенных для создания переменного напряжения, магнитного поля возбуждения основного генератора, а также выпрямительный блок.

Наиболее простую конструкцию ротора имеет генератор с отдельными обмотками.

Образец такого генератора был разработан на кафедре электрических машин в начале 90-х годов [2]. Ротор его содержит обмотку возбуждения генератора (ОВГ) и обмотку якоря возбуждителя (ОЯВ), уложенные в различные пазы в один слой. Обмотка якоря возбуждения замкнута на выпрямительный блок (ВБ), питающий ОВГ постоянным током (рис. 2.).

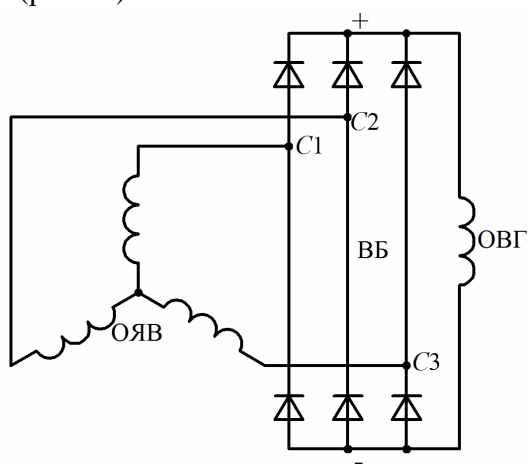


Рис.2. Схема соединения обмоток ротора генератора с отдельными обмотками

Принцип действия генераторов описанной конструкции основан на следующем.

Обмотка возбуждения возбуждителя, расположенная на статоре, создает магнитное поле возбуждения возбуждителя. При вращении ротора проводники обмотки якоря возбуждителя пересекают магнитное поле ОВВ, в результате чего в ОЯВ наводится ЭДС. Полученное переменное напряжение выпрямляется с помощью ВБ и питает обмотку возбуждения генератора, создающую основное поле возбуждения, неподвижное относительно ротора и вращающееся относительно статора.

Ротор разработанного образца содержит 30 пазов, поэтому для достижения симметричной кривой распределения МДС обмотки уложены с пропуском пазов, как это показано на рис.3.

Здесь пазы, заполненные ОВГ, отмечены штриховкой с большим интервалом, а пазы, заполненные ОЯВ – штриховкой с малым интервалом между линиями.

К недостаткам генераторов такого типа можно отнести наличие двух типов обмоток ротора, усложняющее обмоточно-изоляционные работы, и неполное использование обмоточного пространства ротора.

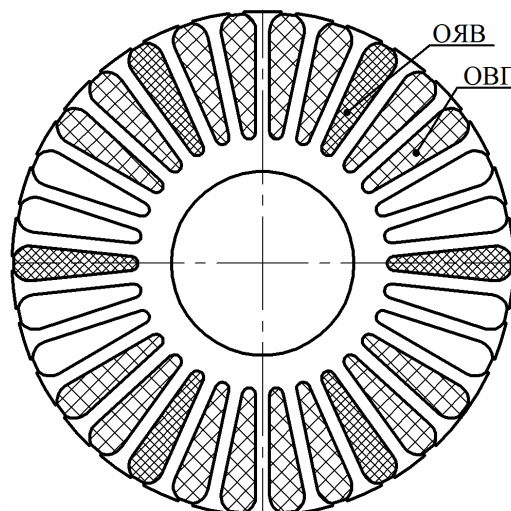


Рис.3. Поперечный разрез ротора генератора с отдельными обмотками

Известен генератор с дополнительной обмоткой возбуждения, разработанный Клементьевым В.А [3]. Ротор генератора содержит обмотку возбуждения, уложенную не по всей окружности и образующую большие зубцы (БЗ). Обмотка выполнена как минимум из двух обмоток ОВГ1 и ОВГ2 (рис.4.), каждая из которых замкнута на выпрямитель через дополнительную обмотку возбуждения (ДОВГ).

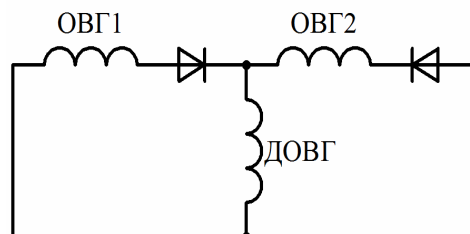


Рис.4. Схема соединения обмоток ротора генератора с ДОВГ

Обмотка возбуждения уложена в пазы, ближайшие к БЗ. В ДОВГ, уложенной в пазы, более удаленные от БЗ, не наводится ЭДС (рис.5.).

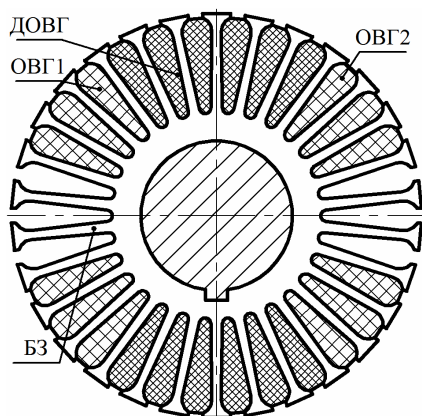


Рис. 5. Поперечный разрез ротора

Генератор выполнен с соотношением чисел пар полюсов $p_r \div p_b = 1 \div 2$. Рассмотрим принцип действия такого генератора. Расположенная на статоре ОВВ создает четырехполюсное поле, неподвижное относительно статора. В расположенных на роторе концентрических обмотках ОВГ1 и ОВГ2 индуцируется ЭДС. По проводникам обмотки протекает постоянная составляющая выпрямленного тока, создающая основное магнитное поле возбуждения. Обмотки ОВГ1 и ОВГ2 создают двухполюсное поле при встречном включении диодов. Для того, чтобы токи в катушках обмотки не спадали до нуля, что характерно для однополупериодного выпрямления, параллельно ОВГ1 и ОВГ2 включается двухполюсная ДОВГ. По ней протекают выпрямленные токи. Наличие ДОВГ улучшает качество выпрямления и ускоряет протекание переходных процессов.

В структуру ротора, приведенной на рис 4, принципиальное соединение обмоток образовано за счет коммутации катушечных групп КГ1–КГ4 по определенному алгоритму (рис 6.).

В результате естественной коммутации вентилей, обеспечивающей протекание токов в нечетных катушках от начала к концу, а в четных – от конца к началу, образуется несколько повторяющихся в течение полупериода структур, характеризующихся индивидуальным набором запертых и открытых диодов, приведенных в таблице.

Такое переключение диодов эквивалентно созданию четырехполюсной машины.

Преимуществом данного генератора в том, что ДОВГ обеспечивает быстрое протекание переходных процессов и улучшает ка-

чество выпрямленного тока обмотки возбуждения генератора.

К его недостаткам можно отнести использование части обмоточного пространства ротора, недостаточную эффективность использования активных материалов и трудоемкость изготовления и укладки обмоток возбуждения.

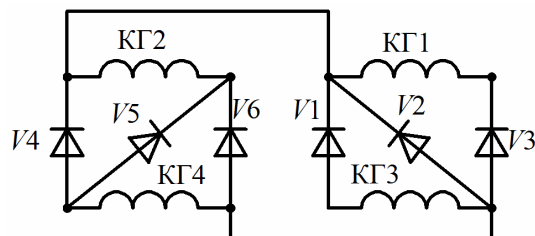


Рис. 6. Схема соединения КГ

Состояние диодов в определенный момент времени полупериода

Диод \ Группа	I	II	III	IV	V
V1	-	-	-	+	+
V2	+	+	+	+	-
V3	-	-	-	+	+
V4	+	+	+	-	-
V5	-	+	+	+	+
V6	+	+	-	-	-

Известен генератор с обмоткой возбуждения, состоящей из трех частей, разработанный Караваяевым В.Т. [4,1].

На роторе рассматриваемого генератора размещена ОЯВ, совмещенная с ОВГ с выводами переменного тока и нулевыми выводами, замкнутая через выпрямитель по цепи постоянного тока, между выходными зажимами выпрямителя и нулевыми выводами совмещенной обмотки включены дополнительные обмотки возбуждения (рис.7.).

Обмотка ротора состоит из совмещенной обмотки (СО), выполняющей функции якорной обмотки возбудителя и обмотки возбуждения генератора (ОВГ1), и двух совершенно идентичных частей обмотки возбуждения генератора ОВГ2 и ОВГ3, причем все эти обмотки соединены последовательно с ВБ.

Части ОВГ1, ОВГ2 и ОВГ3 в целом со-

ставляют полную обмотку возбуждения генератора.

Ротор выполнен с двумя типами пазов (рис. 8): прямоугольными, предназначенными для укладки ОЯВ и ОВГ и круглыми, в которых уложена только ОЯВ.

Как показано на рис. 8, совмещенная обмотка, состоящая из ОЯВ и ОВГ1, расположена в верхней части паза и показана плотной штриховкой. Две части обмотки возбуждения ОВГ2 и ОВГ3 расположены в нижней части паза и изображены крупной штриховкой, различающейся углом наклона.

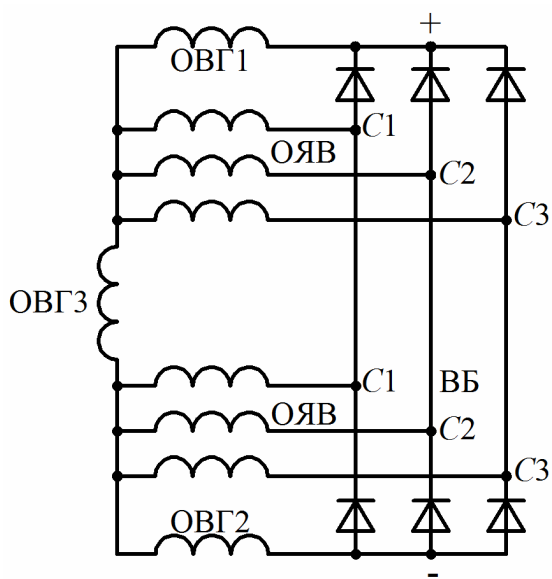


Рис. 7. Схема соединения обмоток ротора генератора Каравая В.Т.

Рассмотрим очевидные недостатки данного БССГ:

кривая МДС возбуждения содержит гармоники, кратные трем, что обусловлено действием дополнительной обмотки и вызывает увеличение коэффициента искажения синусоидальности кривой выходного фазного напряжения генератора;

наличие двух типов пазов разной конфигурации и сечений резко повышает трудоемкость штамповочных работ и вызывает необходимость увеличения сечения спинки сердечника ротора при заданном значении индукции.

Генератор с выпрямителем, соединенным по схеме Миткевича [5]. Данный генератор выполнен с блоком автоматической регулировки возбуждения, расположенным на статоре (рис. 9).

За счет остаточного намагничивания магнитной системы якоря в обмотках ОЯГ и дополнительной обмотке возбуждения возбудителя (ДОВВ) наводится ЭДС, которая выпрямляется выпрямителем ВВ1 и через открытый транзистор импульсного регулятора тока возбуждения (ИРТВ) замыкается на обмотке возбуждения возбудителя ОВВ. Создается магнитный поток, замыкающийся на роторе и пересекающий СО. В ней наводится ЭДС, выпрямляется выпрямителем, выполненным на трех диодах, появляется постоянная составляющая тока, которая создает основной поток возбуждения.

Принцип действия генератора заключается в следующем.

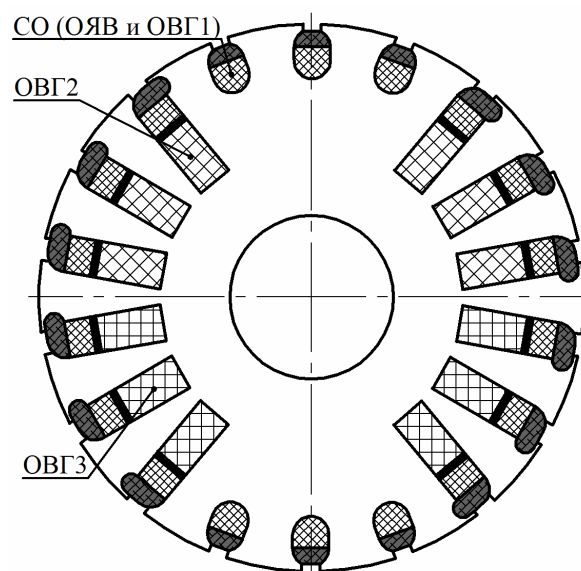


Рис. 8. Поперечный разрез ротора генератора с обмоткой возбуждения из трех частей

Генератор возбуждается, и напряжение на ОЯГ возрастает. При достижении определенной величины сигнал обратной связи управляет работой ИРТВ, а последний уменьшает длительность открытого состояния транзистора, тем самым ограничивая ток возбуждения и напряжение холостого хода на обмотке ОЯГ.

Известно, что на роторе данного генератора расположена совмещенная обмотка и в качестве ВВ использована нулевая схема выпрямления на трех диодах (рис.10).

К очевидным недостаткам генератора можно отнести следующее:

среднее значение выпрямленной ЭДС в 1,15 раз меньше, чем при применении мос-

товой схемы выпрямления Ларионова. Относительные пульсации напряжения составляют 60 %, в отличие от 14 % при использовании мостовой схемы;

наличие на статоре трех обмоток приводит к усложнению обмоточно-изоляционных работ.

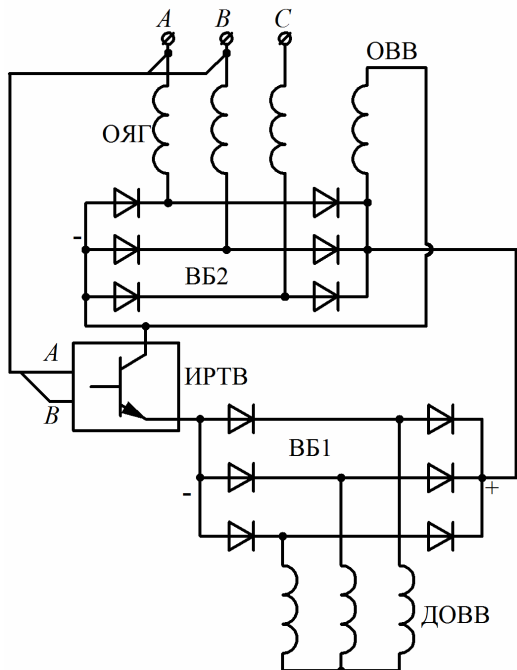


Рис.9. Схема соединения обмоток статора совмещенного генератора

Перечисленные недостатки рассмотренных компоновок генераторов свидетельствуют о необходимости разработки рациональной их компоновки. Такая компоновка генератора должна содержать на статоре и роторе совмещенные распределенные обмотки, уложенные по всем пазам машины, а выпрямительный блок – обеспечивать минимальный уровень пульсации напряжения ОЯВ.

При попытке создать совмещенную обмотку статора получен вариант, в котором постоянным током ОВВ обтекает половина КГ, что значительно увеличивает нагрев ОЯГ и уменьшает его мощность.

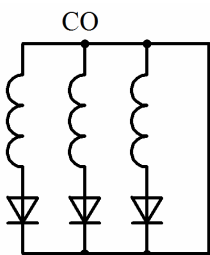


Рис.10. Схема совмещенной обмотки

Примем конструкцию статора аналогичной рассмотренным генераторам (рис. 1.). На статоре расположены электрически несомкнутые обмотки ОВВ и ОЯГ с соотношением чисел пар полюсов $p_r \div p_b$. Обмотка якоря генератора выполняется однослойной. Для погашения гармоник, кратных трем, она выполняется с изменением структуры. Обмотка возбуждения возбудителя укладывается у дна паза статора в каждом пазу, что обеспечивает более качественную кривую распределения МДС ОВВ, чем в случае укладки ОВВ в пазы, пропущенные при укладке ОЯГ. Ротор содержит однослойную совмещенную обмотку, выполняющую функции ОЯВ и ОВГ, замкнутые через выпрямитель, выполненный по мостовой схеме Ларионова (рис.12) [6].

Обмотка возбуждения генератора занимает 2/3 пазов ротора, что исключает гармоники кратные трем из кривой МДС, создаваемой ОВГ.

Как показано на рис. 12, СО содержит катушечные группы, по которым протекают одновременно постоянный ток ОВГ $I=$ и переменный ток ОЯВ $I\sim$.

Обмотка возбуждения генератора и обмотка якоря возбудителя генератора такой конструкции выполнены с тремя параллельными ветвями каждая. ОЯВ представляет собой трехфазную однослойную обмотку, соединенную звездой, линейное напряжение которой после выпрямления является питающим для ОВГ.

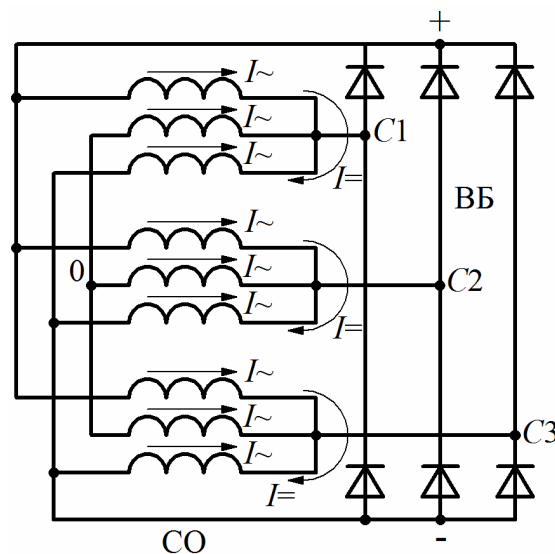


Рис.12. Компоновка ротора предложенного генератора

К преимуществам генератора такой конструкции можно отнести следующее:

совмещенная обмотка, объединяющая функции ОЯВ и ОВГ, выполнена однослойной, в развалку. Это облегчает обмоточно-изоляционные работы и обеспечивает экономии обмоточного провода;

пазы ротора имеют одинаковую конфигурации (рис. 13.), что облегчает штамповочные работы;

ОВГ занимает 2/3 пазов ротора, что исключает гармоники, кратные трем из кривой МДС и выходного напряжения генератора.

СО (ОЯВ и ОВГ)

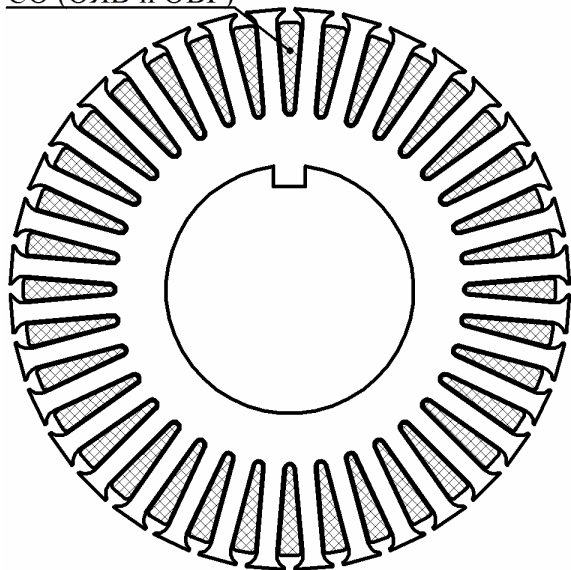


Рис. 13. Структура ротора генератора

Таким образом, существующие типы совмещенных синхронных неявнополюсных генераторов обладают определенными недостатками. Предложено конструктивное исполнение совмещенного синхронного генератора, обеспечивающее простоту его изготовления и качественные выходные параметры.

Список использованной литературы

1. А.с. СССР № 44748 от 07.02.72. Бесконтактная синхронная машина / Караваев В.Т. // Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. Бюл. № 31, 1974. С. 146.

2. Дегтев В.Г. Трехфазный неявнополюсный синхронный генератор / Дегтев В.Г., Билоненко Н.И. // Праці наук.-техн. конф., присвяченої 100-річчю від дня народ-

ження видатного українського вченого-електромеханіка Тихона Губенко, Львів-Славськ: – 1996. – С.63-65.

3. Патент № 2085011 Россия, МКИ Н 02 К 19/38. Бесконтактная синхронная машина / Клементьев А.В., Бондарев В.Н., Орлов В.И. (Украина) - № 94005506; Заявл. 15.02.94; Опубл. 20.07.97. Бюл. № 20. – 4 с.

4. Караваев В.Т. Бесконтактный совмещенный синхронный генератор /Караваев В.Т. // Электричество, № 11. – 1990. – С.17-25.

5. Патент Богатырев Н.И.; Темников В.Н.; Вронский О.В. Зайцев Е.А. и др. Кубанский государственный аграрный университет. Патент Российской Федерации RU2145461.

6. Патент Дегтев В.Г., Билоненко Н.И., Бабушанов А.В. Патент Украины № 90568 от 11.05.2010. Бюл. № 9.

Получено 21.10.2010.



Бабушанов
Алексей Викторович,
асс. каф. электр. машин
Одесск. нац. политехн.
ун-та.
E-mail:
kem.abv@gmail.com



Билоненко
Николай Иванович,
к.т.н., ст. научн. сотр.
Начальник науч.-иссл.
отдела комп. техн. Одесск.
нац. политехн. ун-та.
E-mail: lubil@ctc.opu.ua



Бабийчук
Ольга Борисовна,
ст. преп. Одесск. нац.
политехн. ун-та.
E-mail: babiychuk@ukr.net