

УДК 621.313+621.313.17

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ АВТОНОМНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

*К.М. Виноградов, А.В. Иршин*

Приведены данные о результатах расчета основных параметров высокоскоростного автономного генератора на базе синхронной реактивной машины независимого возбуждения. Определены основные удельные массогабаритные показатели генератора. Показаны различные варианты силовых цепей. Установлено, что генератор обладает преимуществом по ряду показателей в сравнении с традиционными типами электрических машин.

Ключевые слова: массивный ротор, бесконтактность, генератор, высокие скорости, синхронная реактивная машина независимого возбуждения.

Автономные установки для производства электроэнергии, как правило, эксплуатируются в тяжелых условиях, поэтому бесконтактное исполнение генератора является часто не только желательным, но обязательным условием конструирования [1, 2]. Как правило, в автономных энергосиловых генераторных установках используются вентильно-индукторные машины, синхронные машины с постоянными магнитами. Также находят применение и асинхронные машины в качестве бесконтактных генераторов. Высокие удельные энергосиловые показатели имеют бесконтактные генераторы, выполненные на базе синхронной реактивной машины независимого возбуждения (СРМНВ) [3]. Между тем работа этой машины в генераторном режиме имеет свои особенности и достоинства, которые ниже и рассмотрены.

Известны разные варианты конструкции бесконтактных электрических генераторов для автономной сети. Обычно питание бортовой сети транспортных средств осуществляется от параллельно включенных аккумуляторной батареи и генератора постоянного тока, который приводится во вращение от двигателя внутреннего сгорания. В качестве основного источника электроэнергии применяются коллекторные генераторы постоянного тока, а также вентильные генераторы, имеющие ротор с постоянными магнитами. Наличие щеточно-коллекторного узла является главным недостатком коллекторных генераторов и приводит к снижению срока службы генератора, меньшей надежности, неблагоприятным массогабаритным характеристикам. Генераторы с постоянными магнитами характеризуются сложной технологией изготовления, нестабильностью параметров, повышенной мощностью устройств стабилизации выходного напряжения, большой стоимостью.

Надежный ротор имеют вентильно-индукторные генераторы [1]. Однако для них характерно неудовлетворительное использование электриче-

ской машины по стали из-за однонаправленного (пульсирующего) магнитного потока и плохих массогабаритных показателей.

Асинхронные генераторы характеризуются простотой изготовления, т.к. выполнены на базе общепромышленных асинхронных двигателях. Однако такие генераторы достаточно сложно поддаются регулированию.

Находят также применение бесконтактные синхронные генераторы с возбудителем и вращающимся выпрямителем, с многофазной обмоткой якоря (статора) и силовым многофазным выпрямителем на выходе генератора [4]. Однако размещение на роторе вращающейся обмотки возбуждения и диодов выпрямителя снижает механическую надежность генератора и не позволяет получить высокие угловые скорости вращения ротора.

Как известно, в синхронной реактивной машине независимого возбуждения роль обмотки возбуждения выполняют витки тех обмоток, которые располагаются напротив межполюсных промежутков и имеют полный шаг [5]. В генераторном режиме вентили коммутатора, подключенного к рабочим обмоткам, работают в режиме естественной коммутации. Поэтому в некоторых случаях целесообразно конструктивно разделить цепи обмоток рабочих, которые не требуют искусственной коммутации вентилей и, следовательно, могут быть подключены к неуправляемому выпрямителю, и обмоток возбуждения, которые подключаются на выход управляемого преобразователя. Выбирая длину полюсной дуги соответствующей времени проводимости вентилей (обычно 120 градусов), удастся рационально согласовать параметры генератора и преобразователя.

На рис. 1 представлен в разрезе пример трехфазного генератора, когда в пазах статора, расположенных в плоскостях  $A - a$ ,  $B - b$ ,  $C - c$ , сдвинутых пространственно на 120 градусов, размещены основные (силовые или якорные) обмотки с полным шагом, соединенные в звезду.

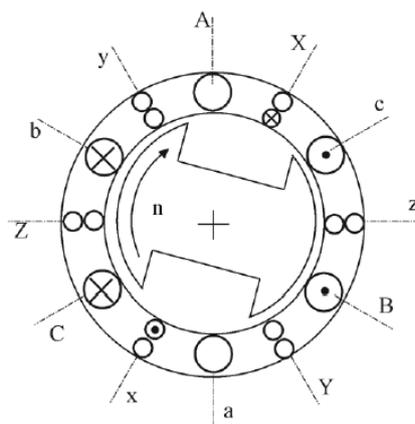


Рис. 1. Схема поперечного разреза генератора

Кроме силовых обмоток, на статоре аналогичным образом в плоскостях  $X - x$ ,  $Y - y$ ,  $Z - z$  размещены дополнительные обмотки возбуждения, также выполненные с полным шагом. На рис. 1 они выполнены для однополупе-

риодного возбуждателя, поэтому в каждом из пазов уложено по две встречно включенных полуобмотки. Это дает возможность использования стандартного полупроводникового источника тока, как у вентильно-индукторной электрической машины.

Возможны и другие версии обмоток в генераторе, например, с другим числом фаз, с различным числом фаз обмоток силовых и возбуждения, размещаться не в разных, а в одних и тех же пазах статора [4]. Привлекательным с точки зрения использования полупроводниковых вентилей является вариант пятифазного генератора, у которого возбуждатель построен на полумостовых ключах (стойках). В этом случае обмотки якоря и возбуждения не разделяются, т.е. одна и та же фаза статора выступает и как обмотка якоря и как обмотка возбуждения.

Цепи рабочих обмоток могут быть выполнены как по общеизвестной трехфазной мостовой схеме, так и по схеме «звезда – обратная звезда» с уравнительным реактором. Хотя второй вариант и приводит к некоторому увеличению обмоточной меди, но при том же числе вентилей, что и в мостовой схеме, позволяет получить двойной выпрямленный ток при в два раза меньшем суммарном падении напряжения на вентилях выпрямительной схемы, что актуально для электроэнергетических установок, имеющих малое напряжение бортовой сети, например, 12 или 28 В.

Цепи возбуждения при разделенных обмотках якоря и возбуждения при их дополнительном разделении на полуобмотки могут быть выполнены так же, как типовые схемы силовых цепей вентильно-индукторных двигателей [1]. На рис. 2 обмотки включены по однополупериодной схеме: по обмоткам 1, 3 и 5 через ключи VT1, VT3 и VT5 проходят положительные полуволны фазных токов возбуждения, а по обмоткам 2, 4 и 6 через ключи VT2, VT4 и VT6 – отрицательные полуволны. Цепи обмоток идентичны, поэтому на схеме (рис. 2) изображены только цепи обмоток 1 и 6. В цепи обмоток возбуждения 1...6, расположенных равномерно вдоль расточки статора и имеющих полный шаг, включены транзисторы VT1...VT6, которые образуют коммутатор (переключатель) фазных токов возбуждения генератора.

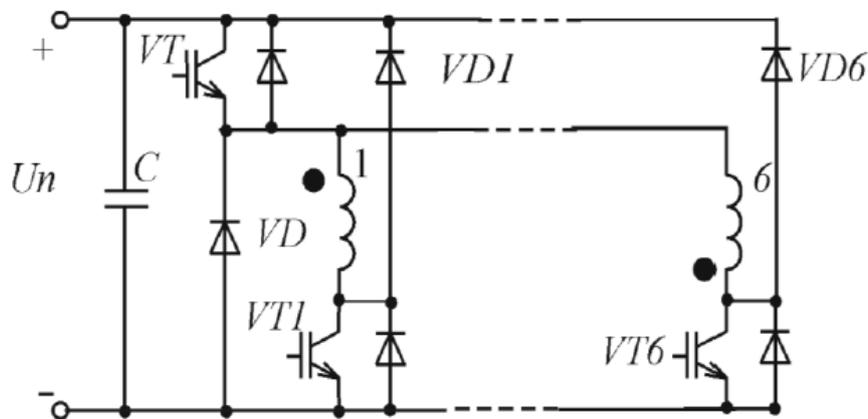


Рис. 2. Схема подключения обмоток возбуждения генератора

**Заключение.** Простота конструкции обеспечивает высокую технологичность изготовления электрической машины, бесконтактное исполнение в сочетании с «холодным» не содержащим обмоток ротором повышает надежность работы подшипников и всей машины.

Возможность выполнить ротор массивным (т.е. полюса ротора и вал из одной цельной заготовки) существенно повышает его прочность и поперечную жесткость, что позволяет получать высокие угловые скорости и большие перегрузки по моменту. Для изготовления генератора возможно использование технологий серийных асинхронных машин. Высокая механическая прочность массивного ротора позволяет выполнить машину с относительно малым диаметром с одновременным увеличением относительной длины активной части.

Малые мощности управления по цепи возбуждения при достаточно высоком быстродействии этого канала способствуют достижению высокой точности поддержания заданного напряжения при благоприятных массогабаритных показателях электроэнергетической установки.

#### Библиографический список

1. Усынин, Ю.С. Электроприводы и генераторы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, К.М. Виноградов // *Электричество*. – 2007. – № 3. – С. 21–26.
2. Усынин, Ю.С. Синхронная реактивная машина / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, К.М. Виноградов // Патент России №2422972. 2011. Бюл. № 18.
3. Усынин, Ю.С. Генераторная установка с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, К.М. Виноградов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика»*. – 2007. – Вып. 7. – № 12(84). – С. 37–40.
4. Параметрическая оптимизация частотно-регулируемых электроприводов / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков и др. // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика»*. – 2012. – Вып. 18. – № 37(296). – С. 30–33.
5. Usinin, Y.S. The electric drive of a tram with an average floor / Y.S. Usinin, M.A. Grigorjev, K.M. Vinogradov // *SAE Technical Papers*. – 2008. – no. 1. DOI:10.4271/2008-01-1828.

[К содержанию](#)