

## БЕСКОНТАКТНЫЙ САМОВОЗБУЖДАЮЩИЙСЯ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР СОВМЕЩЕННОГО ТИПА

к.т.н. А.Д. Супрун, Н.В. Комаров  
(представил д.т.н., проф. Б.Т. Кононов)

Предложено использование бесконтактных генераторов совмещенного типа. Показаны особенности выполнения схем обмоток бесконтактного самовозбуждающегося синхронного генератора совмещенного типа и практические возможности реализации его конструкции на базе асинхронного электродвигателя.

Бесконтактные генераторы совмещенного типа отличаются от других конструкций генераторов меньшими весовыми и габаритными размерами, меньшим расходом цветных металлов, повышенной надежностью, меньшей стоимостью.

Для установок гарантированного питания предлагается использовать совмещенные синхронные генераторы, выполненные в виде двух разнополюсных машин, обмотки которых расположены в пазах одной и той же магнитной системы. Нормальная работа таких генераторов возможна при выполнении условий совмещения [1], которые формируются следующим образом:

- 1) отсутствие сил одностороннего тяжения;
- 2) отсутствие взаимоиндуктивной связи обмоток совмещенных машин.

Первое условие имеет место при

$$D_1 - D_2 \neq \pm 1,$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – числа пар полюсов совмещенных машин.

Для выполнения второго условия обмоточные коэффициенты одной электрической машины в магнитном поле другой должны быть равны нулю. Это достигается соответствующим конструированием обмоток.

Бесконтактный самовозбуждающийся синхронный генератор совмещенного типа целесообразно выполнять по типу радиально - возбуждаемых синхронных машин с совмещением в одном магнитопроводе возбудителя в виде обращенной синхронной машины и генератора в виде синхронной машины обычного исполнения. Обмотку возбуждения возбудителя и якорную обмотку генератора рекомендуется выполнять отдельными, а на роторе применить одну электрически совмещенную обмотку с однополупериодным выпрямителем.

Предложенные решения технически реализованы на базе серийного асинхронного электродвигателя. В 36 пазов статора генератора уложена трехфазная шестиполюсная двухслойная обмотка якоря (рис.1). Из-за низко-

го коэффициента заполнения паза медью большая часть паза остается свободной. Поэтому двухполюсная обмотка возбуждения возбудителя размещена в свободной от якорной обмотки части паза. Согласно схеме этой обмотки (рис.2) она занимает только 24 паза, причем ее размещение предусматривает отсутствие взаимоиндуктивной связи между обмотками. Это условие выполняется, если результирующая ЭДС, наведенная в обмотке возбуждения возбудителя полем основной машины, будет равна нулю [1].

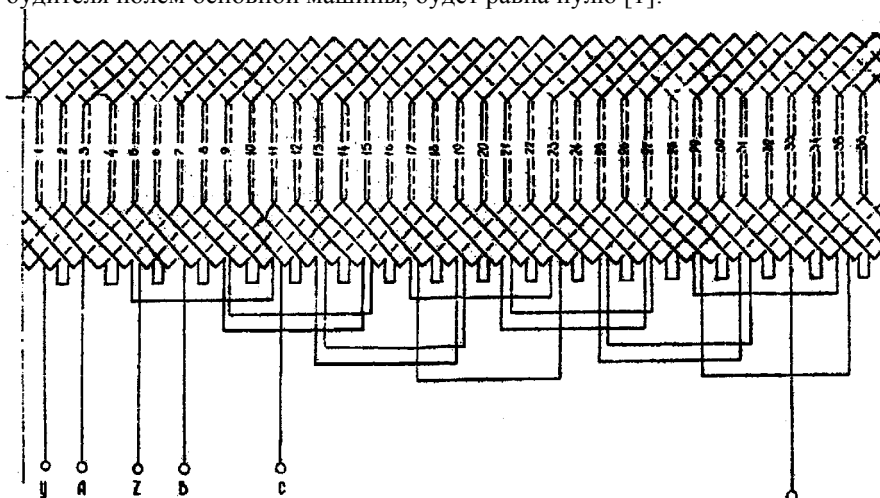


Рис.1. Схема обмотки якоря генератора ( $Z = 36$ ,  $m = 3$ ,  $2p_2 = 6$ ,  $y = 5$ )

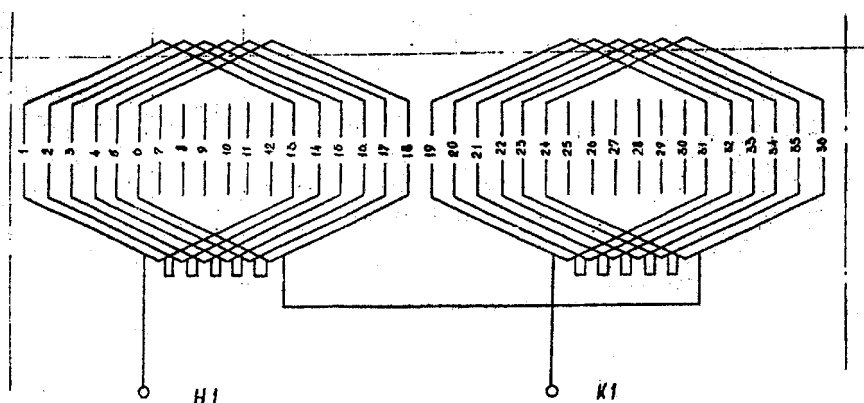


Рис.2. Схема обмотки возбуждения возбудителя ( $Z = 36$ ,  $2p_1 = 2$ ,  $a = 1$ ,  $y = 12$ )

В общем случае величина ЭДС, индуцируемая в обмотке, зависит от скоса пазов, шага обмотки, ее распределения по пазам, а также от расположения или группировки катушечных групп.

ЭДС в обмотке возбуждения возбудителя (рис.2) от поля генератора определяется выражением

$$E_{12} = E'_{12} \cdot k_{c12} \cdot k_{y12} \cdot k_{p12} \cdot k_{q12}, \quad (1)$$

где  $E'_{12}$  – ЭДС в обмотке возбуждения возбудителя в случае выполнения ее нескошенной с полным шагом и симметричным расположением катушечных групп в поле основной машины;

$k_{c12}, k_{y12}, k_{p12}, k_{q12}$  – коэффициенты скоса, укорочения шага, распределения катушек или катушечных групп обмотки возбуждения в магнитном поле основной машины.

При равенстве нулю любого из этих коэффициентов, результирующая ЭДС (1), наведенная в обмотке возбуждения возбудителя, равна нулю.

Для разработанного генератора условие отсутствия взаимоиндуктивной связи между обмотками совмещенных машин (рис.1; рис.2) достигнуто укорочением шага обмотки возбуждения возбудителя. В результате этого коэффициент укорочения (2) обмотки в магнитном поле основной машины

$$k_{y12} = \sin \frac{y_1}{\tau_1} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{p_2}{p_1}, \quad (2)$$

( $y_1$  – шаг обмотки возбуждения возбудителя;  $\tau_1$  – полюсное деление возбудителя;  $p_1, p_2$  – число пар полюсов возбудителя и генератора).

Это означает, что полем генератора в каждой катушке обмотки возбуждения возбудителя наводится ЭДС, равная нулю.

Магнитное поле возбудителя в установившемся режиме неподвижно относительно статора, а потому не образует переменных потокоцеплений с обмоткой якоря генератора. В переходных режимах (при включении и отключении обмотки возбуждения, при сбросе и набросе нагрузки) поле возбудителя образует переменные потокоцепления и наводит в проводниках обмотки якоря ЭДС. Для выполнения условия отсутствия взаимоиндуктивной связи между обмотками (рис.1, 2) в данном случае необходимо чтобы результирующая ЭДС в обмотке якоря генератора, вызванная действием переменных потокоцеплений, была равна нулю. Это достигнуто тем, что обмоточный коэффициент обмотки якоря генератора в поле возбудителя равен нулю, вследствие равенства нулю коэффициента распределения катушечных групп (3) обмотки якоря генератора в поле возбудителя

$$k_{q21} = \left( \sin \frac{q_{k2}}{2} \cdot \gamma_{qk2} \cdot \frac{p_1}{p_2} \right) / \left( q_{k2} \cdot \sin \frac{\gamma_{qk2}}{2} \cdot \frac{p_1}{p_2} \right), \quad (3)$$

где  $q_{k2}$  – число пар разнополярных катушечных групп обмотки якоря генератора;

$\gamma_{qk2}$  – угол между парой разнополярных катушечных групп обмотки якоря генератора в собственном поле.

Это означает, что полем возбудителя в каждой катушке обмотки якоря генератора наводятся ЭДС, геометрическая сумма которых в пределах каждой катушечной группы равна нулю.

К достоинствам в отдельности для якорной обмотки генератора (рис.1) и обмотки возбуждения возбудителя (рис.2) относится: во-первых то, что все катушки выполнены одинаковой ширины и имеют одинаковую форму, во-вторых, небольшой вылет лобовых частей. Кроме того, катушки обмотки возбуждения возбудителя удается разместить в свободной от якорной обмотки части паза. При таком расположении обмоток на статоре (рис.1; рис.2) крышки серийного асинхронного электродвигателя, пакет сердечника статора и его корпус остаются без изменения, что особо важно для технологии изготовления данного генератора.

На рис.3 приведена схема электрически совмещенной обмотки ротора, которая осуществляет связь между возбудителем и генератором, а потому от способа ее выполнения во многом зависят электрические показатели генератора в целом. Параметры обмотки оказывают существенное влияние на условия работы вращающегося выпрямителя ротора. Следует учитывать также требования надежности, простоты и технологичности изготовления обмотки ротора. Электрически совмещенную обмотку ротора для бесщеточного возбуждения следует выполнять с максимально возможным обмоточным коэффициентом в поле основной машины. При этом относительно поля возбудителя этот коэффициент может значительно отличаться от максимального.

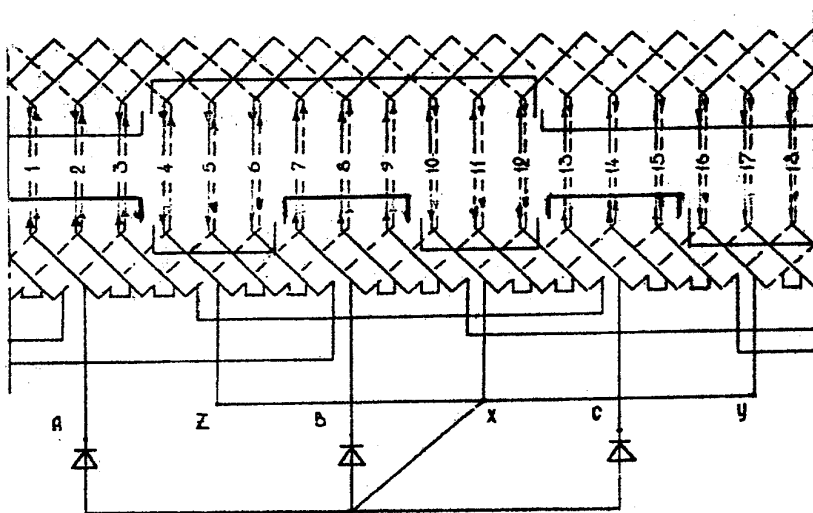


Рис.3. Схема электрически совмещенной обмотки ротора ( $Z = 18, 2p_1 = 2, 2p_2 = 6, y = 3$ )

Электрически совмещенная обмотка ротора (рис.3) выполнена с полным шагом в магнитном поле генератора. При этом обмоточный коэффициент в этом поле имеет максимально возможное значение, а расход проводникового материала заметно снижен из-за уменьшения лобовых частей обмотки. В то же время в магнитном поле возбuditеля обмоточный коэффициент обмотки уменьшается в два раза, так как при неизменном коэффициенте распределения коэффициент укорочения шага обмотки в поле возбuditеля имеет вид

$$k_{y1} = \sin \frac{y_1}{\tau_1} \cdot \frac{\pi}{2} = \sin \frac{3}{9} \cdot \frac{\pi}{2} = 0,5,$$

где  $y_1, \tau_1$  – шаг обмотки и полюсное деление возбuditеля.

ЭДС в обмотке (рис.3) от потока возбuditеля уменьшится в два раза, а величина синхронного индуктивного сопротивления – в четыре раза. Следовательно, ток в роторе соответственно и намагничивающая сила (н.с.) возбуждения генератора возрастут в два раза, в то время как н.с. реакции якоря возбuditеля останется без изменения.

Для сохранения н.с. возбуждения генератора неизменной при той же выходной мощности следует примерно в два раза уменьшить поток возбуждения возбuditеля, а значит, во столько же раз уменьшить его мощность возбуждения.

Таким образом, выполнение обмотки ротора с шагом равным полюсному делению основной машины позволяет примерно в два раза уменьшить мощность возбуждения возбuditеля и более эффективно использовать проводниковый материал обмотки.

Ротор бесконтактного синхронного генератора совмещенного типа отличается от ротора базового серийного асинхронного электродвигателя числом пазов в пакете сердечника и их площадью. Для облегчения выполнения бесконтактного самовозбуждающегося синхронного генератора совмещенного типа число пазов в роторе должно быть равно 18. Активная длина пакета сердечника ротора генератора равна активной длине пакета сердечника статора. Принятая конструкция ротора позволяет заимствовать вал и подшипники базового серийного электродвигателя. Блок вращающегося выпрямителя закреплен на валу посредством напресовки.

Таким образом, показаны особенности выполнения схем обмоток бесконтактного самовозбуждающегося синхронного генератора совмещенного типа и практические возможности реализации его конструкции на базе серийного асинхронного электродвигателя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины. – М.: Машиностроение, 1987. – 426 с.

*Поступила в редколлегию 20.06.2001*