

МАЛОМОЩНЫЙ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Г. А. СИПАЙЛОВ, А. Б. ЦУКУБЛИН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Надежность щеточно-коллекторного узла генераторов постоянного тока является основной причиной того, что в некоторых специальных установках, например, в транспорте [1] и других областях техники, в качестве источников постоянного тока применяют системы синхронный генератор — выпрямитель (СГ-В). Большинство используемых в настоящее время бесколлекторных генераторов постоянного тока имеет в качестве агрегата питания выпрямительной схемы синхронный генератор с синусоидальной формой э. д. с. Это обстоятельство приводит к тому, что качество получаемого постоянного напряжения бесколлекторных генераторов постоянного тока значительно ниже, чем у обычных коллекторных генераторов. Поэтому для получения минимальных пульсаций постоянного напряжения в ряде установок приходится принимать специальные меры. В частности, в некоторых случаях принимают увеличенное число фаз генератора [2], принимают довольно сложные каскадные схемы выпрямления [3], устанавливают сглаживающий фильтр [4] и т. д.

Анализ перечисленных методов снижения пульсаций выпрямленного напряжения показал, что они ведут либо к снижению использования агрегата питания (увеличение числа фаз), либо к усложнению схемы или увеличению числа выпрямительных элементов. Естественно, что такие меры недопустимы в системах ограниченных габаритов и веса, где вопросы использования агрегата питания являются первостепенными.

При создании бесколлекторных генераторов постоянного тока малой мощности в ряде случаев совершенно недопустима постановка сглаживающего индуктивно-емкостного фильтра, поскольку его габариты значительно увеличивают габарит всей установки.

Одним из методов получения качественного напряжения в системе синхронный генератор-выпрямитель является подбор соответствующей формы кривой э. д. с., обеспечивающей при нагрузке минимальные пульсации выпрямленного напряжения. При этом неперенным условием является также сохранение высокого коэффициента использования синхронного генератора.

Оба эти условия достаточно хорошо удовлетворяются, если в качестве агрегата питания принять трехфазный синхронный генератор с трапецеидальной формой кривой э. д. с. и мостовую схему выпрямительного блока.

Для компенсации провалов напряжения, появляющихся с нагрузкой, предлагается специальная система обмоток на роторе, обеспечи-

вающая трапецеидальную форму напряжения генератора при нагрузке.

Устройство и принцип действия

Принципиальная схема маломощного бесколлекторного генератора постоянного тока с малым уровнем пульсаций выходного напряжения представлена на рис. 1. Пакет статора генератора 1 ничем не отличается от статора обычных маломощных синхронных генераторов.

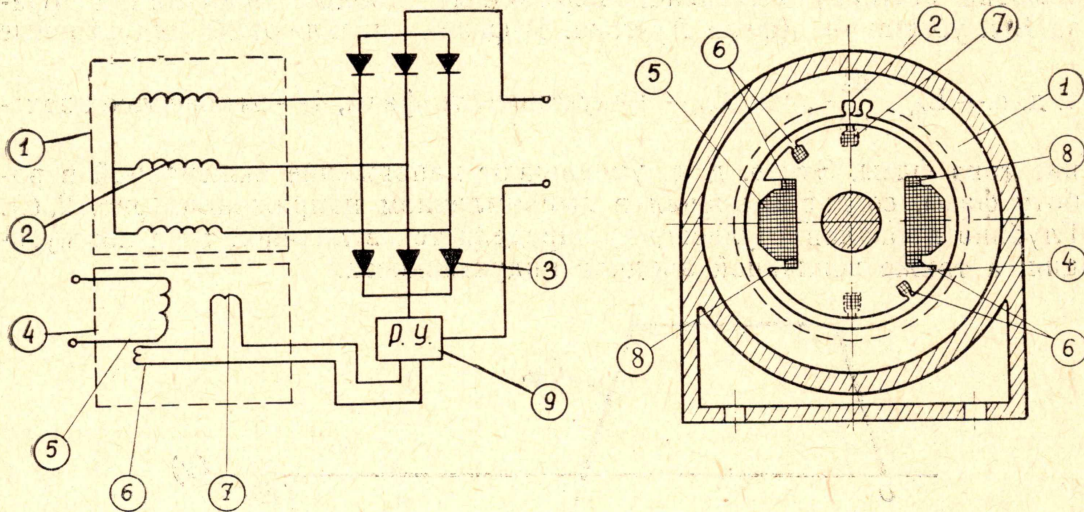


Рис. 1.

В пазах статора укладывается сосредоточенная трехфазная обмотка с полным шагом (2). Фазы обмотки соединяются в звезду. В случае невозможности выполнить сосредоточенную обмотку можно применить распределенную обмотку, однако, при этом не следует выбирать число пазов на полюс и фазу более двух, так как это приведет к сильному усложнению формы полюсов индуктора. Фазы статора подключены к мостовому выпрямителю 3, являющемуся выходом генератора.

Ротор генератора 4 имеет явнополюсную конструкцию, однако, ширина полюсов выбирается не по законам проектирования явнополюсных машин, а из условия получения требуемой формы кривой э. д. с.

Отличительной особенностью ротора является то, что на каждом его полюсе располагаются по две обмотки: основная 5, создающая основной магнитный поток машины, и дополнительная 6, связанная с выходом генератора. Дополнительная обмотка выбирается таким образом, чтобы поток, создаваемый ею, индуктировал в обмотке статора э. д. с., которая компенсировала бы провалы напряжения при нагрузке генератора на выпрямитель. Кроме того, для компенсации реакции якоря на роторе в поперечной оси может быть расположена компенсационная обмотка 7, хотя ее применение в машинах явнополюсной конструкции не является обязательным.

Чтобы исключить влияние высшей гармонической реакции якоря на обмотку возбуждения, на каждом полюсе устанавливается демпферная система.

Для балансировки ротора и симметрии обмоток на роторе устанавливаются изоляционные прокладки 8. Питание роторных обмоток осуществляется обычным способом через кольца и щеточный аппарат. При этом ток в дополнительной и компенсационной обмотках изменяется по закону, определяемому выходным током через регулирую-

щее устройство 9, а также индуктивным сопротивлением рассеяния статорной обмотки генератора.

Необходимость дополнительной обмотки, компенсирующей провалы напряжения при нагрузке, можно объяснить, если рассмотреть коммутационный процесс переключения вентилей.

Причинами появления пульсаций выпрямленного напряжения системы синхронный генератор-выпрямитель с э. д. с. трапецеидальной формы (рис. 2, а) при нагрузке являются переходные электромагнитные процессы переключения вентилей. При отключении фазы А и включении фазы В анодная индуктивность (индуктивность рассеяния обмотки статора) затягивает переходный процесс нарастания (фаза В и убывания (фаза А) тока. В фазах появляются индуктивные

э. д. с. — $L_{\phi} \frac{di}{dt}$, где L_{ϕ} — индуктивность фазы, i — мгновенное значение

тока фазы. Эти э. д. с. уменьшают напряжение включаемой в работу фазы, создавая провал в выпрямленном напряжении (рис. 2, б). Глубина провалов (пульсации) определяется величиной тока коммутации, а также величиной анодной индуктивности.

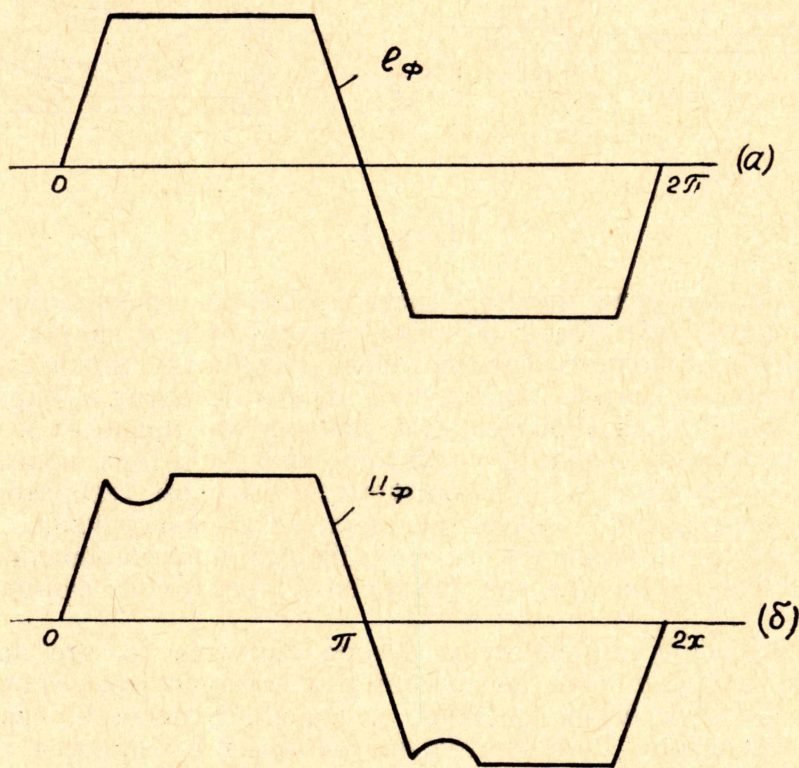


Рис. 2.

Следовательно, в момент переключения необходимо иметь такую э. д. с., чтобы скомпенсировать провалы фазного напряжения.

Рассмотрим, как должна изменяться э. д. с. синхронного генератора, если задаться целью получить от трехфазного мостового выпрямителя, нагруженного индуктивно-активной нагрузкой ($L_{н} = \infty$) идеально сглаженное напряжение. При рассмотрении этого вопроса будем исходить из того, что реакция якоря генератора не оказывает влияния на форму э. д. с. генератора.

Из теории работы многофазных мостовых выпрямителей известно, что выпрямленное напряжение, при идеально сглаженном выпрям-

ленном токе может быть записано в интервале повторяемости $\frac{\pi}{m}$ двумя уравнениями:

1) в период коммутации тока с фазы А на фазу В

$$U_d = \frac{e_A + e_B}{2} - e_C - \frac{3}{2} I_d r'; \quad (1)$$

2) во внекоммутационный интервал времени при работе фаз В и С

$$U_d = e_B - e_C - 2I_d r' \quad (2)$$

где I_d — среднее значение выпрямленного тока;
 r' — суммарное активное сопротивление фазы генератора и прямое сопротивление выпрямительного элемента.

Если предположить, что во внекоммутационном интервале, выполнено условие при $\omega t = \gamma \div \frac{\pi}{m}$

$$-(e_C - I_d r') = e_B - I_d r' = U = \text{const}, \quad (3)$$

то появление пульсаций выпрямленного напряжения возможно лишь за счет коммутационного процесса. Поэтому для получения идеально сглаженного выпрямленного напряжения необходимо в момент коммутации обеспечить при $\omega t = 0 \div \gamma$.

$$\frac{e_A + e_B}{2} - e_C - \frac{3}{2} I_d r' = 2U = \text{const}. \quad (4)$$

Учитывая, что генератор дает симметричную систему э. д. с., т. е.

$$e_A(t) = e_B\left(t + \frac{2\pi}{m}\right) = e_C\left(t - \frac{2\pi}{m}\right)$$

и ограничиваясь рассмотрением только двух-трех вентильного режима работы выпрямителя $\gamma < \frac{\pi}{m}$, можно установить, что e_C в выражении

(4) с учетом (3) определится

$$e_C = -(U + I_d r') \quad (5)$$

при $\omega t = 0 \div \gamma$. Следовательно, с учетом этого при $\omega t = 0 \div \gamma$

$$\frac{e_A + e_B}{2} - \frac{I_d r'}{2} = U = \text{const}. \quad (6)$$

Полагая из условия простоты получения, что э. д. с. отключаемой фазы в период коммутации меняется по прямолинейному закону

$$e_A = -\frac{U}{\beta} (\omega t - \beta), \text{ найдем закон изменения э. д. с. фазы В.}$$

$$e_B = \frac{U}{\beta} (\omega t + \beta) + I_d r' \quad (7)$$

Таким образом, для получения минимальных пульсаций выпрямленного напряжения мостового трехфазного выпрямителя синхронный генератор должен обеспечить э. д. с., форма которой описывается следующими уравнениями:

$$\omega t = -\beta \div 0, e(\omega t) = \frac{U}{\beta} (\omega t + \beta);$$

$$\omega t = 0 \div \gamma, e(\omega t) = \frac{U}{\beta} (\omega t + \beta) + I_d r';$$

$$\omega t = \gamma \div \frac{2\pi}{m}, e(\omega t) = U + I_d r';$$

$$\omega t = \frac{2\pi}{m} \div \frac{2\pi}{m} + \beta, e(\omega t) = -\frac{U}{\beta} (\omega t - \frac{2\pi}{m} - \beta).$$

Форма э. д. с. для этого случая приведена на рис. 3, а. С учетом реакции якоря синхронного генератора, влияющей не только на величину, но и на форму фазных э. д. с., рассчитанная кривая э. д. с. исказится и приобретет вид, показанный на рис. 3, б. Для создания такой э. д. с.

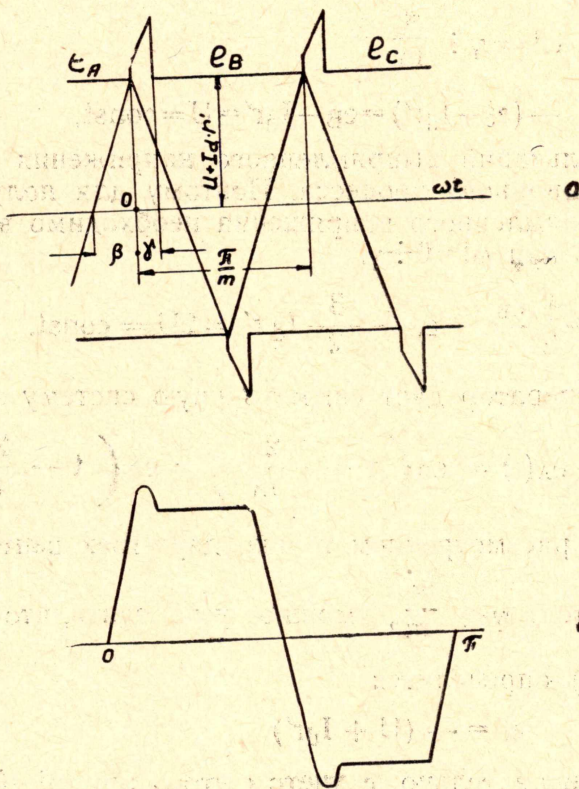


Рис. 3.

необходима дополнительная катушка на полюсе индуктора. Размер дополнительной катушки по ширине полюса определяется величиной угла коммутации, который может быть подсчитан по приближенной формуле

$$\gamma = \arccos \left(1 - \frac{I_d x_s}{\frac{4\pi}{m\beta} U \sin \frac{\pi}{m}} \right),$$

где x_s — индуктивное сопротивление рассеяния генератора.

Таким образом, даже при индуктивной нагрузке может быть получено достаточно качественное постоянное напряжение, с использованием только трехфазного мостового выпрямителя.

Подобный генератор может найти применение в системах, нужда-

ющихся в постоянном токе, в которых по условиям эксплуатации недопустимо наличие щеточно-коллекторного аппарата и фильтрующих элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Крögerис, Я. К. Шинка. Бесконтактный генератор постоянного тока. Народное хозяйство Советской Латвии, № 5, 1959.
2. Г. А. Ковальков. Выпрямительный генератор. Филиал ВИНТИ АН СССР, № Э-59-11/4, 1959.
3. Г. Г. Федосеев. Выпрямители и стабилизаторы. Госиздат Искусство, 1960.
4. Н. А. Левин. Сглаживающие индуктивно-емкостные фильтры выпрямителей. Диссертация, ЛЭТИС, Ленинград, 1962.