

УДК 621.314: 621.382: 621.314.572

С.А. Харитонов, Д.В. Коробков, Д.В. Макаров, А.Г. Гарганеев

Стабилизация напряжения синхронного генератора с постоянными магнитами при переменной нагрузке

Анализируются три сценария проектирования и управления системой генерирования электрической энергии переменного тока на базе синхронного генератора и параллельно включенного полупроводникового преобразователя. Показана возможность стабилизации напряжения синхронного генератора, определены основные электрические величины и их зависимости от режимов работы системы.

Ключевые слова: синхронный генератор, постоянные магниты, переменная нагрузка, стабилизация напряжения, полупроводниковый преобразователь.

Системы электроснабжения переменного тока для автономных объектов, где электрическая энергия вырабатывается с помощью синхронных генераторов (СГ) с постоянной частотой вращения вала, как правило, строятся на базе трехкаскадных синхронных генераторов, где стабилизация напряжения осуществляется за счет регулирования с помощью полупроводникового преобразователя тока в обмотке возбуждения генератора.

Однако существуют альтернативные варианты построения аналогичных по функциональным возможностям систем электроснабжения [1]. В частности, представляется перспективным использование в составе систем генерирования электрической энергии (СГЭЭ) для таких систем электроснабжения синхронных генераторов (СГ) с возбуждением от постоянных магнитов.

Известно, что данный тип СГ обладает рядом преимуществ, к которым можно отнести:

- отсутствие вращающихся контактов;
- возможность применения при воздушном охлаждении;
- минимальные эксплуатационные расходы;
- возможность реализации режима электростартерного запуска;
- относительная простота конструкции.

Особенностью такого генератора является нестабильность выходного напряжения при изменении величины и коэффициента мощности нагрузки. По этой причине данный тип СГ применяется в составе мехатронных систем, содержащих полупроводниковый преобразователь (ПП).

Для стабилизации напряжения СГ с постоянными магнитами можно предложить три способа включения ПП:

- последовательный;
- параллельный;
- последовательно-параллельный (комбинированный).

Достаточно традиционным является использование системы с последовательным включением полупроводникового преобразователя [1]. При таком построении системы генерирования величина, частота и качественные показатели напряжения на нагрузке могут определяться полупроводниковым преобразователем. Недостатком такой системы является то, что полупроводниковый преобразователь должен быть рассчитан на величину тока короткого замыкания нагрузки.

Возможен параллельный вариант включения преобразователя, данный тип мощных систем стал предметом анализа относительно недавно. При таком построении СГЭЭ частота напряжения на нагрузке определяется СГ, а величина и качественные показатели этого напряжения определяются совокупностью параметров СГ и ПП. К очевидным достоинствам этого типа СГЭЭ можно отнести нечувствительность ПП к режимам короткого замыкания в нагрузке.

Комбинированный параллельно-последовательный вариант включает в себя все достоинства и недостатки двух предыдущих. В такой системе роль последовательного преобразователя заключается в относительно «грубой» стабилизации напряжения на нагрузке, функции более точной стабилизации и коррекции формы напряжения возлагаются на параллельный преобразователь.

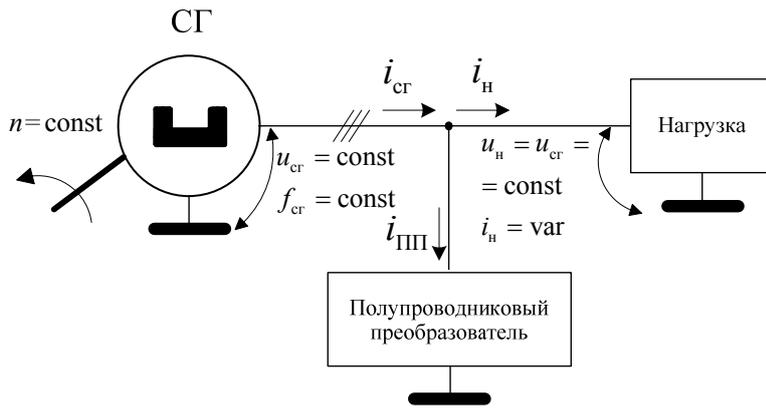


Рис. 1. Система генерирования с параллельным полупроводниковым преобразователем

В этом случае за счет реакции якоря происходит увеличение или уменьшение суммарного магнитного потока СГ.

В рассматриваемой системе возможны три сценария проектирования параметров и способа управления СГЭЭ, их удобно идентифицировать с помощью рис. 2, где качественно показан характер изменения основных электрических величин.

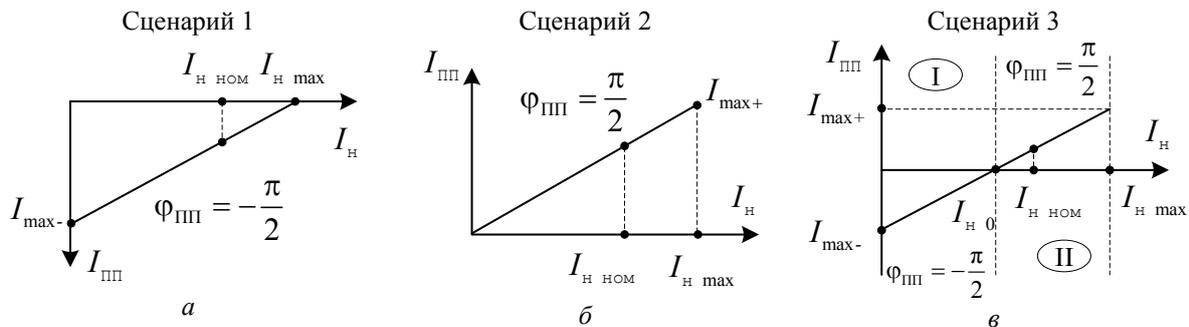


Рис. 2. Три сценария проектирования параметров и способа управления СГЭЭ

При реализации сценария 1 (рис. 2, а) величина внутренней ЭДС СГ (E_0) выбирается при заданном номинальном напряжении на нагрузке ($U_{н\text{ ном}}$) исходя из режима максимальной нагрузки СГЭЭ, т.е. при $I_n = I_{н\text{ max}}$. В этом случае ПП генерирует по отношению к напряжению СГ индуктивный характер тока ($\varphi_{\text{ПП}} = -\pi/2$). Величина этого тока максимальна в режиме холостого хода СГЭЭ и уменьшается с ростом тока нагрузки.

При реализации сценария 2 (рис. 2, б) величина внутренней ЭДС СГ выбирается из условия $E_0 = U_{н\text{ ном}}$ в режиме холостого хода СГЭЭ. При этом ПП генерирует по отношению к напряжению СГ емкостный характер тока ($\varphi_{\text{ПП}} = \pi/2$), величина которого возрастает с увеличением тока нагрузки.

Сценарий 3 (рис. 2, в) представляет наиболее общий вариант построения СГЭЭ, когда СГ и ПП проектируются из условия обеспечения номинального режима системы по нагрузке при $I_{\text{ПП}} = 0$ не на границах, а внутри диапазона изменения тока нагрузки ($0 < I_{н0} < I_{н\text{ max}}$). В этом случае ПП в первом диапазоне ($0 \leq I_n < I_{н0}$) генерирует индуктивный ($\varphi_{\text{ПП}} = -\pi/2$) по отношению к напряжению СГ характер тока $I_{\text{ПП}}$, а во втором диапазоне ($I_{н0} < I_n \leq I_{н\text{ max}}$) генерирует емкостный по отношению к напряжению СГ характер тока ($\varphi_{\text{ПП}} = \pi/2$).

Математическая модель СГЭЭ

При разработке математической модели были приняты следующие допущения:

- анализу подлежит статический режим;
- магнитная система СГ не насыщена и линейна;
- нагрузка СГЭЭ симметричная;

- полупроводниковый преобразователь работает с высокочастотной ШИМ, частота которой намного выше частоты генерируемого напряжения;
- анализ электромагнитных процессов проводится по основным гармоникам тока и напряжения СГЭЭ;
- СГ не имеет успокоительных контуров;
- магнитные сопротивления СГ по продольной и поперечной осям отличаются незначительно;
- ЭДС генератора изменяется по синусоидальному закону;
- выполняются условия теоремы о постоянстве потокосцеплений [2];
- вентили ПП идеальны.

Будем полагать, что преобразователь за счет внутренних возможностей регулирования работает в режиме источника трехфазного синусоидального тока $i_{\text{ПП}}$. Учитывая сделанные допущения, примем, что $L_d \approx L_q = L$, где L_d и L_q – индуктивности СГ по продольной и поперечной осям соответственно.

Без учета активных потерь в генераторе, а также высокочастотных гармоник в токе преобразователя, используя символический метод расчета, принимая напряжение на нагрузке равным номинальному напряжению ($U_{\text{H}} = U_{\text{H ном}}$), получим схему замещения одной фазы СГЭЭ (рис. 3).

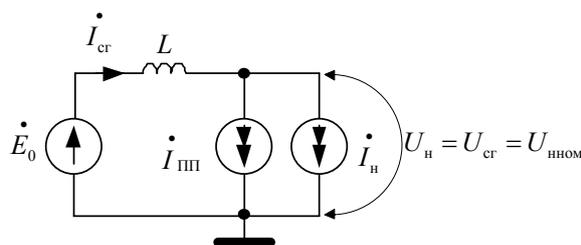


Рис. 3. Схема замещения одной фазы СГЭЭ

Здесь $\dot{E}_0 = E_0 e^{j\theta}$ – эффективное значение ЭДС холостого хода генератора, $\dot{I}_{\text{ПП}} = I_{\text{ПП}} e^{\pm j\frac{\pi}{2}} = \pm j I_{\text{ПП}}$, $\dot{I}_{\text{H}} = I_{\text{H}} \cos \varphi_{\text{H}} + j \cdot I_{\text{H}} \sin \varphi_{\text{H}}$, $j = \sqrt{-1}$, $I_{\text{ПП}}$, I_{H} – эффективное значение токов ПП и нагрузки, $U_{\text{H}} = U_{\text{сг}}$ – эффективное значение выходного напряжения на нагрузке, равное напряжению СГ, φ_{H} – угол сдвига тока нагрузки относительно напряжения СГ.

Для общности полученных результатов воспользуемся относительными единицами, которые будем обозначать x^* . В качестве базовых величин примем номинальное напряжение и ток нагрузки: $U_{\text{б}} = U_{\text{H ном}}$, $I_{\text{б}} = I_{\text{H ном}}$, тогда $S_{\text{б}} = U_{\text{б}} I_{\text{б}}$ – базовое значение мощности. Введем понятие тока короткого замыкания СГЭЭ: $I_{\text{кз}} = \frac{E_0}{\omega L}$, где ω – круговая частота напряжения СГ.

Используя схему замещения (см. рис. 3), получим следующее соотношение для определения в относительных единицах величины E_0^* :

$$E_0^* = \left\{ \left[1 + \left(\frac{I_{\text{H}}^* \sin \varphi_{\text{H}} \pm \frac{I_{\text{ПП}}^*}{I_{\text{кз}}^*} \right) E_0^* \right]^2 + \left(\frac{I_{\text{H}}^* \cos \varphi_{\text{H}}}{I_{\text{кз}}^*} E_0^* \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Из соотношения (1) получим выражение для тока ПП, при котором обеспечивается равенство $U_{\text{сг}} = U_{\text{H ном}}$:

$$I_{\text{ПП}}^* (I_{\text{H}}^*) = \pm \left[\sqrt{\left(I_{\text{кз}}^* \right)^2 - \left(I_{\text{H}}^* \cos \varphi_{\text{H}} \right)^2} - I_{\text{кз}}^* / E_0^* - I_{\text{H}}^* \sin \varphi_{\text{H}} \right]. \quad (2)$$

При этом ток генератора будет определяться с помощью соотношения

$$I_{\text{сг}}^* (I_{\text{H}}^*) = \sqrt{\left[I_{\text{ПП}}^* (I_{\text{H}}^*) + I_{\text{H}}^* \sin \varphi_{\text{H}} \right]^2 + \left(I_{\text{H}}^* \cos \varphi_{\text{H}} \right)^2}. \quad (3)$$

Количественная оценка электрических параметров СГЭЭ

Токи и напряжения в системе зависят от выбранного сценария проектирования и способа управления. Анализ процессов в системе при том или ином сценарии проведем в порядке их нумерации.

При определении параметров системы будем считать заданными, кроме номинальных параметров нагрузки, также значение тока короткого замыкания, максимальный ток нагрузки и коэффициент мощности в режиме перегрузки СГЭЭ ($I_{H \max}$, $\cos\varphi_{H \max}$). Искомыми величинами являются: зависимость тока ПП от тока нагрузки ($I_{ПП}(I_H)$) и его максимальное значение ($I_{\max\pm}$), а также ЭДС (E_0) и ток ($I_{сг}$) генератора.

Сценарий 1

Исходя из определения данного сценария, величина ЭДС холостого хода генератора (E_0) выбирается в режиме максимального тока нагрузки ($I_H^* = I_{H \max}^*$), при этом ток ПП равен нулю ($I_{ПП}^*(I_{H \max}^*) = 0$). Используя соотношение (1), при вышеуказанных условиях получим следующее соотношение для определения величины E_0^* :

$$E_0^* = \left[\sqrt{1 - \left(\frac{I_{H \max}^* \cos\varphi_{H \max}}{I_{кз}^*} \right)^2} - \frac{I_{H \max}^* \sin\varphi_{H \max}}{I_{кз}^*} \right]^{-1}. \quad (4)$$

В режиме холостого хода СГЭЭ ток ПП должен иметь максимальное значение ($I_{ПП}^* = I_{\max-}^*$), учитывая это, из (2) получим

$$I_{\max-}^* = I_{кз}^* \frac{E_0^* - 1}{E_0^*}. \quad (5)$$

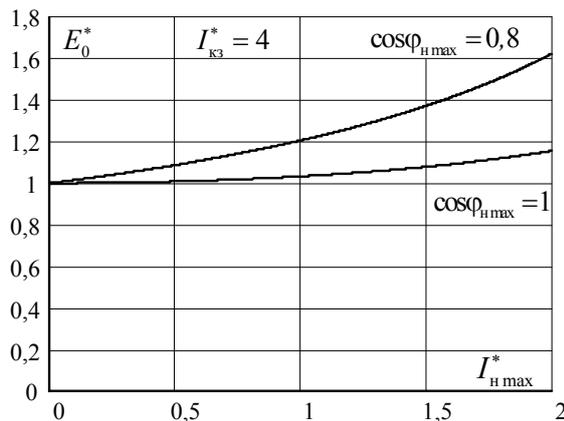


Рис. 4. Зависимость ЭДС генератора от максимального тока нагрузки

Сценарий 2

В данном сценарии ЭДС СГ выбирается исходя из режима холостого хода из условия $E_0^* = 1$.

Зависимость тока ПП ($I_{ПП}^*$) от величины и характера тока нагрузки в соответствии с (2) определяется соотношением вида

$$I_{ПП}^* = I_{кз}^* + I_H^* \sin\varphi_H - \sqrt{\left(I_{кз}^*\right)^2 - \left(I_H^* \cos\varphi_H\right)^2}. \quad (7)$$

Максимальное значение тока ПП найдем из соотношения (7) при условии $I_H^* = I_{H \max}^*$ и $\varphi_H = \varphi_{H \max}$:

$$I_{\max+}^* = I_{кз}^* + I_{H \max}^* \sin\varphi_H - \sqrt{\left(I_{кз}^*\right)^2 - \left(I_{H \max}^* \cos\varphi_H\right)^2}. \quad (8)$$

При известных значениях тока ПП и нагрузки ток СГ определяется с помощью соотношения (3) независимо от выбранного сценария.

На рис. 5, в качестве примера, для $I_{КЗ}^* = 4$ приведены зависимости тока ПП (рис. 5, а) и СГ (рис. 5, б) в функции величины тока нагрузки для сценариев 1 и 2.

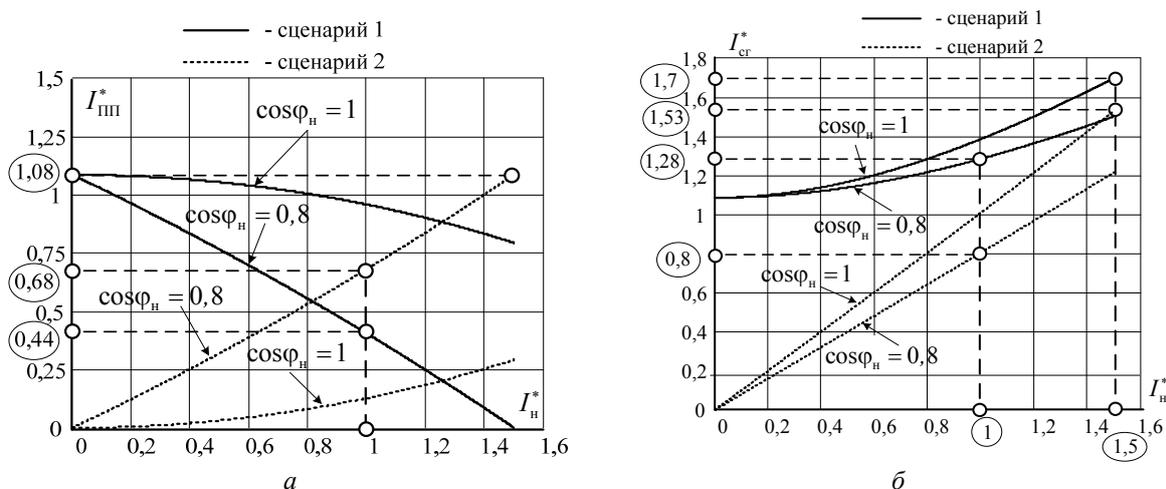


Рис. 5. Зависимость преобразователя (а) и тока генератора (б) от тока нагрузки СГЭЭ

Как следует из рис. 5, а, несмотря на различный характер зависимости тока $I_{ПП}^*$ от I_H^* , максимальные значения тока ПП в обоих сценариях одинаковы: $I_{\max-}^* = I_{\max+}^* = 1,08$. В номинальном режиме СГЭЭ ($I_H^* = 1, \cos \varphi_H = 0,8$) ток ПП в сценарии 1 меньше ($I_{ПП}^* = 0,44$), чем в сценарии 2 ($I_{ПП}^* = 0,68$). Максимальное значение тока СГ (рис. 5, б) в обоих сценариях различно, при $I_H = I_{H, \max} = 1,5$ имеем:

$$\begin{cases} I_{СГ \max}^* = 1,7 - \text{сценарий 1;} \\ I_{СГ \max}^* = 1,53 - \text{сценарий 2.} \end{cases}$$

В номинальном режиме СГЭЭ ток СГ в сценарии 1 больше ($I_{СГ}^* = 1,28$), чем в сценарии 2 ($I_{СГ}^* = 0,8$). Наиболее существенно токи СГ в двух сценариях отличаются в режиме холостого хода, действительно, в сценарии 2 ток холостого хода СГ равен нулю, а в сценарии 1 – $I_{СГ}^* = 1,08$.

Таким образом, сценарий 2 обладает очевидным преимуществом, т.к. обеспечивает меньшую величину тока синхронного генератора. Это преимущество обеспечивает для этого сценария меньшую установленную мощность СГЭЭ и, как следствие, меньшую массу и габариты.

Сценарий 3

Исходя из принципа работы системы, в данном сценарии максимальное значение тока преобразователя следует искать в двух точках, а именно при $I_H^* = 0$ и $I_H^* = I_{H, \max}^*$. Обозначим $I_H^* = I_{H0}^*, \varphi_H = \varphi_{H0}$ – ток нагрузки и угол сдвига этого тока относительно напряжения СГ, при котором ток полупроводникового преобразователя равен нулю (см. рис. 2, б). В первом диапазоне ($\varphi_{ПП} = -\pi/2$), исходя из принятого значения I_{H0}^* , определяется ЭДС синхронного генератора:

$$E_0^*(I_{H0}^*, \varphi_{H0}) = \left[\sqrt{1 - \left(\frac{I_{H0}^* \cos \varphi_{H0}}{I_{КЗ}^*} \right)^2} - \frac{I_{H0}^* \sin \varphi_{H0}}{I_{КЗ}^*} \right]^{-1}. \quad (9)$$

Максимальное значение тока ПП $I_{ПП}^* = I_{\max-}^*$ определяется по соотношению (5) с учетом (9):

$$I_{\max-}^* = I_{КЗ}^* + I_{H0}^* \sin \varphi_{H0} - \sqrt{(I_{КЗ}^*)^2 - (I_{H0}^* \cos \varphi_{H0})^2}. \quad (10)$$

Зависимость тока преобразователя от тока нагрузки найдем из выражения

$$I_{\text{ПП}}^* = \sqrt{(I_{\text{КЗ}}^*)^2 - (I_{\text{Н}}^* \cos \varphi_{\text{Н}})^2} - I_{\text{Н}}^* \sin \varphi_{\text{Н}} - \frac{I_{\text{КЗ}}^*}{E_0^*(I_{\text{Н0}}^*, \varphi_{\text{Н0}})}.$$

Связь между ЭДС СГ и параметрами тока $I_{\text{Н0}}^*$ определяется с помощью соотношения

$$I_{\text{Н0}}^* = \frac{I_{\text{КЗ}}^*}{E_0^*(I_{\text{Н0}}^*, \varphi_{\text{Н0}})} \left\{ -\sin \varphi_{\text{Н0}} + \sqrt{\left[E_0^*(I_{\text{Н0}}^*, \varphi_{\text{Н0}}) \right]^2 + (\sin \varphi_{\text{Н0}})^2 - 1} \right\}. \quad (11)$$

Во втором диапазоне ($\varphi_{\text{ПП}} = \pi/2$) зависимость тока преобразователя от тока нагрузки имеет вид

$$I_{\text{ПП}}^* = I_{\text{Н}}^* \sin \varphi_{\text{Н}} + \frac{I_{\text{КЗ}}^*}{E_0^*(I_{\text{Н0}}^*, \varphi_{\text{Н0}})} - \sqrt{(I_{\text{КЗ}}^*)^2 - (I_{\text{Н}}^* \cos \varphi_{\text{Н}})^2}.$$

Максимальное значение тока ПП $I_{\text{ПП}}^* = I_{\text{max+}}^*$

$$I_{\text{max+}}^* = I_{\text{Н max}}^* \sin \varphi_{\text{Н}} + \frac{I_{\text{КЗ}}^*}{E_0^*(I_{\text{Н0}}^*, \varphi_{\text{Н0}})} - \sqrt{(I_{\text{КЗ}}^*)^2 - (I_{\text{Н max}}^* \cos \varphi_{\text{Н}})^2}. \quad (12)$$

Необходимо отметить, что сценарий 3 не всегда может быть реализован, т.к. при определенных параметрах $I_{\text{КЗ}}^*, I_{\text{Н max}}^*, \cos \varphi_{\text{Н max}}$ во всем диапазоне изменения тока нагрузки ($0 \div I_{\text{Н max}}^*$) не

произойдет переход во второй диапазон. Это наглядно иллюстрируется рис. 6, где, например, показано, что при выполнении условия $I_{\text{max-}}^* = I_{\text{max+}}^*$ для $I_{\text{КЗ}}^* = 4$; $I_{\text{Н max}}^* = 1,5$; $\cos \varphi_{\text{Н max}} = 0,8$ при коэффициенте мощности нагрузки $\cos \varphi_{\text{Н}} \geq 0,985$ в заданном диапазоне изменения тока нагрузки ПП будет работать только с $\varphi_{\text{ПП}} = -\pi/2$, т.е. будет реализован сценарий 1.

Выбор величины тока $I_{\text{Н0}}^*$ может быть обусловлен различными критериями, так, например, можно предложить в качестве критерия выбора равенство максимального тока ПП при $I_{\text{Н}}^* = 0$ и $I_{\text{Н}}^* = I_{\text{Н max}}^*$, т.е. $I_{\text{max-}}^* = I_{\text{max+}}^*$. В результате получим

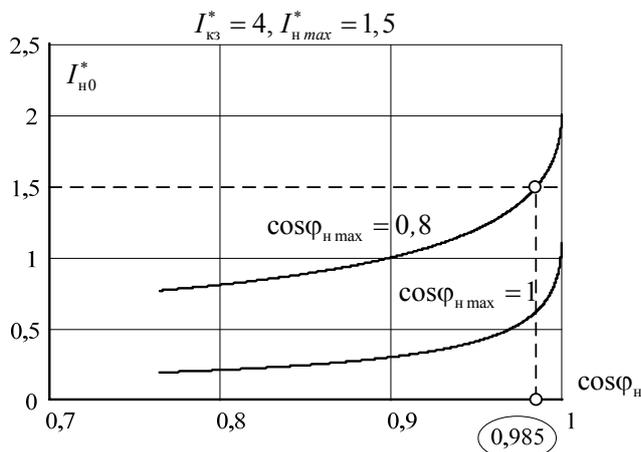


Рис. 6. Зависимость тока $I_{\text{Н0}}^*$ от коэффициента мощности нагрузки

$$I_{\text{Н0}}^* = \frac{I_{\text{КЗ}}^* \left[E_0^*(I_{\text{Н max}}^*, \varphi_{\text{Н max}}) + 1 \right]}{2E_0^*(I_{\text{Н max}}^*, \varphi_{\text{Н max}})} \left\{ -\sin \varphi_{\text{Н}} + \sqrt{\frac{2E_0^*(I_{\text{Н max}}^*, \varphi_{\text{Н max}})}{E_0^*(I_{\text{Н max}}^*, \varphi_{\text{Н max}}) + 1}}^2 + (\sin \varphi_{\text{Н}})^2 - 1} \right\}. \quad (13)$$

От величины тока $I_{\text{Н0}}^*$ зависят максимальные значения тока ПП и СГ, что иллюстрируется с помощью рис. 7. Как следует из рис. 7, минимальное значение тока СГ имеет место при $I_{\text{Н0}}^* \approx 0,35$, тогда $I_{\text{СГ max}}^* = 1,35$ (т.е. ток СГ меньше тока нагрузки $I_{\text{Н max}}^* = 1,5$), однако в этом случае во втором диапазоне ($\varphi_{\text{ПП}} = \pi/2$) возрастает ток ПП и достигает величины $I_{\text{max+}}^* \approx 0,864$. При выполнении условия равенства максимальных токов ПП в двух диапазонах получим $I_{\text{Н0}}^* = 0,814$, $I_{\text{max-}}^* = I_{\text{max+}}^* = 0,542$ и максимальный ток СГ $I_{\text{СГ max}}^* = 1,39$. Учитывая незначительное увеличение тока СГ и существенное уменьшение тока ПП, можно рекомендовать к применению при проектировании СГЭЭ условие $I_{\text{max-}}^* = I_{\text{max+}}^*$ как один из критериев минимизации массы и габаритов системы.

На рис. 8 приведена зависимость тока СГ от тока нагрузки для двух значений тока I_{H0}^* . Эти графики подтверждают сделанные выводы, но также показывают, что при данном сценарии в режиме холостого хода СГЭЭ ток генератора не равен нулю. Максимальная величина этого тока определяется значением I_{\max}^* . Выбор параметров системы является задачей принятия ряда компромиссных решений и требует детальной информации об условиях применения СГЭЭ.

Таким образом, сценарий 3 позволяет значительно уменьшить токи полупроводникового преобразователя и синхронного генератора по сравнению со сценариями 1 и 2, при этом можно обеспечить в диапазоне токов нагрузки $I_H^* = 1 \div I_{H\max}^*$ выполнение условия $I_{\text{СГ}}^* \approx I_H^*$. Однако этот сценарий сохраняет недостаток сценария 1, а именно, в режиме холостого хода СГЭЭ ток генератора не равен нулю.

Схемная реализация полупроводникового преобразователя

Универсальной схемой полупроводникового преобразователя для рассматриваемого типа СГЭЭ, обеспечивающей все сценарии проектирования и способы управления, является схема инвертора напряжения (ИН) [3], работающая с высокочастотной ШИМ в обращенном режиме (рис. 9). Для обеспечения емкостного характера тока $I_{\text{ПП}}$ напряжение на конденсаторах C_{ϕ} должно быть больше величины $1,17U_H$, а в случае индуктивного характера этого тока напряжение должно быть соответственно меньше этой величины. Такая зависимость напряжения от сценария работы обеспечивается алгоритмом управления преобразователем.

Выводы

1. В рамках принятых допущений аналитически доказана возможность стабилизации напряжения синхронного генератора с постоянными магнитами при переменной величине нагрузки за счет использования параллельного подключения полупроводникового преобразователя. Стабилизация осуществляется регулированием перетоков реактивной мощности между генератором и преобразователем.
2. Предложено три различных сценария проектирования и управления системой генерирования электрической энергии с постоянной величиной выходного напряжения. Сценарии значительно отличаются выбором исходных параметров генератора и преобразователя. Однако схемная реализация полупроводникового преобразователя для всех вариантов построения может быть идентичной на базе инвертора напряжения с высокочастотной ШИМ.
3. Проведен анализ электромагнитных процессов в системе генерирования для каждого из предложенных сценариев. Показано, что третий сценарий позволяет реализовать в полной мере пре-

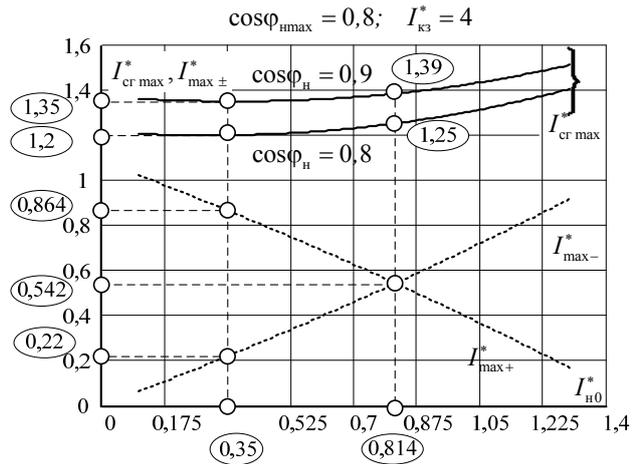


Рис. 7. Зависимости максимального тока СГ и ПП от величины тока I_{H0}^*

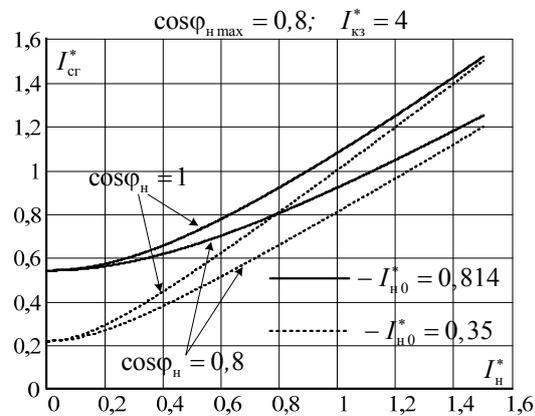


Рис. 8. Зависимость тока СГ от тока нагрузки

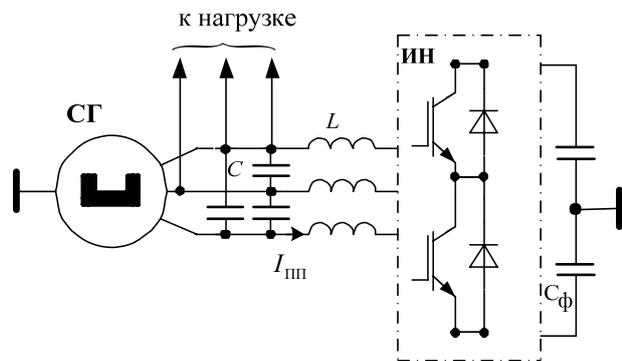


Рис. 9. Схема универсального полупроводникового преобразователя

имущества системы. При этом в СГЭЭ с полупроводниковым диапазоном изменения тока нагрузки и $\cos\varphi_H \leq 0,98$ максимальный ток синхронного генератора не превышает ток нагрузки.

4. Использование сценариев 1 и 2 при проектировании и управлении СГЭЭ приводит к необходимости установки полупроводникового преобразователя со значением максимального тока в два раза большим, чем при реализации сценария 3. Отличительной особенностью сценария 2 является практически пропорциональная зависимость тока полупроводникового преобразователя от тока нагрузки, что обеспечивает нулевое значение тока синхронного генератора в режиме холостого хода СГЭЭ.

Работа выполнена по государственному контракту № 13.G36.31.0010 от 22.10.2010 г.

Литература

1. Лёвин А.В. Электрический самолёт: от идеи до реализации / А.В. Лёвин, И.И. Алексеев, С.А. Харритонов, Л.К. Ковалев. – М.: Машиностроение, 2010. – 288 с.
2. Трещев И.И. Электромеханические процессы в машинах переменного тока. – Л.: Энергия. Ленингр. отд., 1980. – 344 с.
3. Харитонов С.А. Электромагнитные процессы в системах генерирования электрической энергии для автономных объектов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 536 с. – Серия «Монографии НГТУ».

Харитонов Сергей Александрович

Д-р техн. наук, проф., зав. каф. промышленной электроники
Новосибирского государственного технического университета (НГТУ)
Тел.: (383) 346-08-66
Эл. почта: Kharit1@yandex.ru

Коробков Дмитрий Владиславович

Ассистент каф. промышленной электроники НГТУ

Макаров Денис Владимирович

Аспирант каф. промышленной электроники НГТУ

Гарганеев Александр Георгиевич

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. электронных средств автоматизации и управления ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41-47-69
Эл. почта: garganeev@rambler.ru

Kharitonov S.A., Korobkov D.V., Makarov D.V., Garganeev A.G.

Stabilization of voltage of the synchronous generator with constant magnets at variable loading

Three scenarios of design and management of system of generating of electric energy of a variable of a current on the basis of the synchronous generator and in parallel switched-on semi-conductor converter are analyzed. Possibility of stabilization of voltage of the synchronous generator is shown, the main electric sizes and their dependences on working hours of system are defined.

Keywords: synchronous generator, constant magnets, variable loading, voltage stabilization, semi-conductor converter.