

УДК 621.314: 621.391

В.Г. Гарганеев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск, Россия

e-mail: garganeev@gambler.ru

Д.А. Падалко

Томский университет систем управления и радиоэлектроники, г.Томск, Россия

### **УСЛОВИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАШИННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С ПОЗИЦИЙ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*Проведено исследование и получены условия самовозбуждения электромашиных генераторов с позиций теории автоматического управления.*

**Ключевые слова:** генератор, возбуждение, инвертор.

Проведені дослідження і отримані умови самозбудження електромашиинних генераторів з позицій теорії автоматичного управління.

**Ключові слова:** генератор, збудження, інвертор.

**Введение**

С точки зрения теории автоматического управления режим самогенерации в электрических машинах различной конструкции аналогичен и подчиняется принципам организации положительной обратной связи при условии выполнения баланса фаз и амплитуд. Рассмотрение электрических машин с самовозбуждением магнитного потока с позиций теории автоматического управления интересен с точки зрения выяснения общности режимов генерации и основывается на принципах синтеза структурных схем этих машин, получения передаточных функций, а также их анализа с целью получения условий самовозбуждения.

**Постановка задачи.** Критерием правильности анализа может быть идентичность математических выражений, а также физических условий самовозбуждения, полученных другими авторами в классических трудах по электрическим машинам, например, [1]. Задачей исследования является вывод передаточных функций электрических генераторов, а также построение их структурных схем.

**Проведение исследований**

На рис. 1, 2 приведены соответственно структурные схемы ГПТ и АГ с самовозбуждением. Согласно схеме ГПТ наличие остаточного магнитного потока  $\Phi_{ост}$  приводит при вращении якоря к возникновению ЭДС  $E_r$  на выходе генератора. В обмотке возбуждения с числом витков  $n_b$ , представленной аperiодическим звеном  $k_b/(1+T_bP)$ , возникает ток возбуждения, который создает МДС  $F$  и соответствующий магнитный поток. Таким образом, образуется контур положительной обратной связи по магнитному потоку, способствующий процессу самовозбуждения. Амплитуда потока и ЭДС ограничивается за счет нелинейности характеристики намагничивания  $\Phi(F)$ . Как и в схемах с самовозбуждением представленный процесс характеризуется балансом фаз и амплитуд.

Что касается баланса амплитуд, то он выполняется при петлевом коэффициенте усиления, равном единице и может быть получен из выражений общей передаточной функции системы. Баланс фаз в ГПТ фактически отсутствует, так как коллектор, выполняющий функцию «модулятора-демодулятора», превращает переменный в якоре магнитный поток в постоянный.

В схеме АГ происходит фактически тот же процесс, что и в схеме ГПТ. Однако для выполнения баланса амплитуд в статорной цепи переменного тока необходимо получить емкостную составляющую тока  $I_C$  после блока дифференцирования, которая в цепи ротора «поддержит» развитие магнитного потока. Известно, что в АГ емкостную составляющую получают за счет батареи конденсаторов.

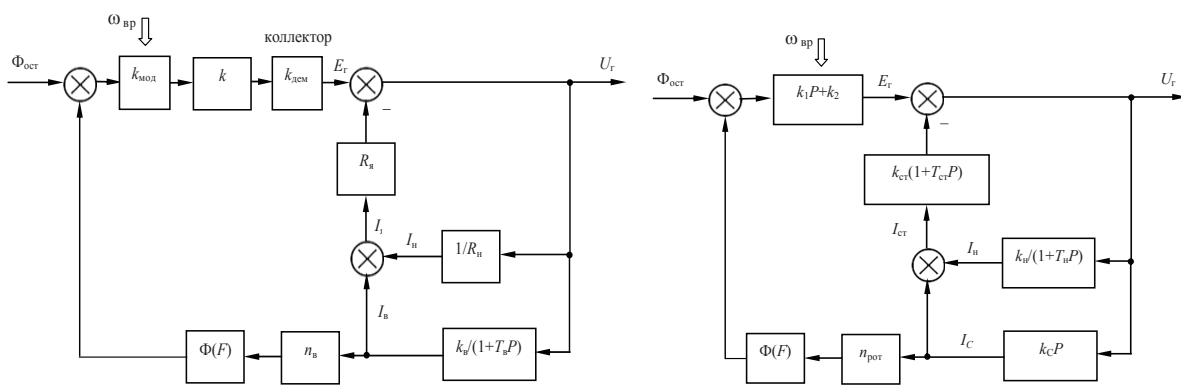


Рис.1

Рис.2

Представленные схемы позволят получить известные в теории электрических машин условия самовозбуждения, однако, с позиций теории автоматического управления:

для ГПТ 
$$\frac{|X_{ГПТ}| - R_Я}{R_B} \geq 1 + \frac{R_Я}{R_H}, \tag{1}$$

где:  $X_{ГПТ}$  – общее индуктивное сопротивление ГПТ, соответствующее магнитному потоку;  $R_{я}$ ,  $R_{н}$  – соответственно активные сопротивления обмотки якоря и нагрузки;

$$\text{для АГ и СГГ} \quad \frac{X_m - X_\sigma}{X_c} \geq 1 + \frac{X_\sigma}{Z_H}, \quad (2)$$

где:  $X_m$  – индуктивное сопротивление АГ (СГГ), соответствующее основному магнитному потоку;  $X_\sigma$  – индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки;

$X_c$  – емкостное сопротивление конденсатора;

$Z_H$  – сопротивление нагрузки.

Аналогичные по форме выражения (1), (2) показывают, что для ГПТ и АГ (СГГ) существует критическое значение цепи возбуждения. С другой стороны, превышение нагрузки выше некоторого значения приводит также к невыполнению условий самовозбуждения, а, фактически, к срыву генерации, что согласуется с видом соответствующих внешних характеристик.

Желание устранить в схеме ГПТ коллектор приводит к необходимости перейти к обращенной конструкции электрической машины, применив в неподвижной относительно наблюдателя цепи якоря полупроводниковый коммутатор, как и в бесконтактном двигателе постоянного тока. Однако, процесс самовозбуждения в этом случае может развиваться лишь в случае магнитной «податливости» материала ротора, а единственным типом электрических машин с таким материалом является гистерезисная машина с ротором из викаллой [3]. В этом случае процесс самовозбуждения аналогичен процессу в АГ при фиктивном числе витков ротора  $n_{рот}$ .

Необходимость регулировки выходного напряжения АГ и СГГ при изменении нагрузки как по величине, так и по характеру приводит к идее применения в СГЭЭ в качестве поставщика и регулировщика реактивного тока полупроводникового преобразователя (ПП). Для СГГ в ПП дополнительно может быть предусмотрено наличие устройства импульсного подмагничивания ротора, как это используется у синхронно-гистерезисных двигателей [2]. При возникновении аварийных ситуаций, приводящих к перегрузке СГЭЭ, процесс самогенерации прекращается («срыв генерации»), не приводя к катастрофическим последствиям.

#### Выводы

Процессы самовозбуждения электрических машин различной конструкции с позиций теории автоматического управления едины и подчиняются принципам организации положительной обратной связи при условии выполнения баланса фаз и амплитуд. Анализ процесса самовозбуждения электрических машин с позиций теории автоматического управления и с позиций их классической теории приводят к идентичным формам математических выражений, а также к аналогичным физическим условиям самовозбуждения. Применение ПП для самовозбуждения АГ и СГГ является перспективным в части создания автономных регулируемых СГЭЭ.

#### Список литературы

1. Вольдек А.И. Электрические машины/ А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
2. Гарганеев А.Г. Мехатронные системы с синхронно-гистерезисными двигателями/ А.Г. Гарганеев, С.В. Брованов, С.А.Харитонов.– Томск. Издательство Томского политехнического университета, 2012.– 227 с.
3. Делекторский Б.А., Управляемый гистерезисный привод/ Б.А. Делекторский, В.Н. Тарасов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 128 с.

#### Conditions of the electric power generators self-excitation from the perspectives of the automatic control theory

A.G. Garganeev

Tomsk National Research Polytechnic University, e-mail: garganeev@rambler.ru

D.A. Padalko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics<sup>2</sup>

*During the research, the conditions of the electric power generator self-excitation were obtained from the perspectives of the automatic control theory.*

**Key words:** generator, excitation, inverter.

1. Voldek A. I. Electrical Machines/ A.I. Voldek. – L.: Energia, 1974. – 840 p.
2. Garganeev A. G. Hysteresis-Synchronous Motor Mechatronic Systems / A. G. Garganeev, S. V. Brovanov, S. A. Kharitonov. – Tomsk. Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2012. – 227 p.
3. Delektorsky B .A., Controlled Hysteresis Drive/ B. A. Delektorsky, V. N. Tarasov. – M.: Energoatomizdat, 1983. – 128 p.