

Захарченко В. А., Ильенко С.С., Козуб В. В.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены вопросы построения и исследования динамической модели авиационного бесконтактного синхронного генератора с тиристорным регулятором напряжения системы электроснабжения воздушного судна в статическом и динамическом режимах.

Постановка проблемы. Процесс развития систем электроснабжения (СЭС) воздушных судов (ВС) сопровождается ужесточением требований к точности поддержания уровня напряжения. Увеличение точности стабилизации напряжения ведет к повышению надежности работы авиационного оборудования при эксплуатации и снижению массы СЭС при проектировании, вследствие уменьшения массы сети, поскольку чем точнее работает регулятор напряжения, тем на большую потерю напряжения можно рассчитывать сеть, а следовательно, сечение проводов и масса сети оказываются меньшими. Уменьшение ошибки регулирования напряжения с ± 2 до $\pm 1\%$ позволяет уменьшить массу оборудования на 2–4%. Что сказывается на экономичности производства СЭС. Так в [1] отмечается, что при выпуске 1000 ВС дополнительный доход составляет 5,5 млн. долларов, если масса оборудования на одном ВС уменьшится всего лишь на 1 кг.

Возмущающие воздействия в СЭС ВС, обусловленные изменениями нагрузки и частоты вращения ротора генераторов, приводят к отклонению напряжения генераторов от установленных значений. Изменение нагрузки возможно от нуля до номинального ее значения, а диапазон изменения частоты вращения роторов генераторов постоянного и переменного тока переменной частоты составляет 1,2–2,5 и более.

Современный уровень развития авионики требует обеспечения высокого качества электрической энергии. Анализ проблемы в области разработки, производства, сертификации и эксплуатации СЭС ВС, высветил существующие противоречия между высокими требованиями [2,3,4] к эффективности функционирования таких систем и возможностями авиапредприятий удовлетворить эти требования. Отмеченное противоречие характерно не только для процесса эксплуатации существующих СЭС, но и для процесса создания новых типов СЭС ВС. Требования к качеству электрической энергии определяются ГОСТ 19705-89, согласно которому, при указанном диапазоне изменения нагрузки в СЭС с генераторами переменного тока стабильной частоты, установившиеся значения напряжения фазы должны соответствовать значениям, указанным в табл. 1.

Значения установившегося напряжения СЭС переменного трехфазного тока постоянной частоты

Точка измерения	Напряжение фазы, В			Среднее значение напряжения трех фаз, В		
	Режим работы СЭС					
	нормальный	ненормальный	аварийный	нормальный	ненормальный	аварийный
На приемнике	108–119	100–127	104–122	–	–	–
В точке регулирования	–	–	–	111–118	105–125	112–120

Без принятия специальных мер напряжение на зажимах генератора может отклоняться больше допустимого уровня. Поэтому в СЭС ВС используют специальные системы автоматического регулирования напряжения (САРН). На большинстве современных ВС основным источником переменного тока являются синхронные генераторы, а стабилизация уровня напряжения осуществляется с помощью автоматического регулирования в цепи возбуждения.

Для каждого из режимов работы СЭС ГОСТ 19705 - 89 дает определение конкретных требований в отношении изменения значений параметров электроэнергии.

Для переменного тока первичной подсистемы такими параметрами являются:

- равномерное деление нагрузок между фазами в трехфазной системе;
- минимальный угол сдвига фаз векторов напряжений;
- небаланс напряжений при неравномерности нагрузок в разных режимах работы СЭС;
- коэффициент модуляции при периодически возникающей импульсной нагрузке;
- несинусоидальность напряжения в постоянном режиме;
- наличие импульсов напряжения на шине при отключениях приемников и др.

Как видно из приведенного выше перечня параметров качества электрической энергии на борту ВС, в основном, они относятся к динамическим параметрам оценки качества ее регулирования, то есть качества переходных процессов в СЭС. Можно отметить справедливость такого подхода, поскольку количественная оценка качества переходного процесса в любой системе всегда более объективно может характеризовать как совершенство самой системы, так и степень износа ее элементов в процессе эксплуатации. В связи с этим возникает задача выбора и обоснования применения наиболее рациональной методики оценки динамических свойств как СЭС ВС, которые создаются, так и тех, которые уже эксплуатируются.

Для оценки динамических и статических характеристик системы регулирования напряжения (время переходного процесса, погрешность в

установившемся режиме и др.) анализируется математическая модель системы. В процессе анализа выявляют влияние отдельных элементов системы регулирования на ее устойчивость, определяют области возможных значений ее параметров, обеспечивающих высокое качество переходных процессов. Как видим, необходимо в первую очередь сформировать математическую модель системы для последующей ее оценки.

Реализация методики оценки качества динамической системы по переходным характеристикам содержит в себе выполнение следующих действий:

- формирование динамической модели системы «генератор – регулятор»;

- составление уравнения динамики СЭС ВС в виде:

$$(a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0) \Delta U = (b_3 p^3 + b_2 p^2 + b_1 p + b_0) \Delta f, \quad (1)$$

где ΔU – относительное изменение напряжения; Δf – относительное значение основного возмущения (изменение скорости вращения ГПТ или синхронного генератора, изменение нагрузки или других параметров в зависимости от типа СЭС ВС);

- разработка структурной схемы САР;

- оценка статической ошибки ΔU (в соответствии с [3]) и уточнение коэффициентов уравнения (1):

$$\Delta U = b_0 / a_0 \Delta f;$$

- определение корней характеристического уравнения САРЧ или САРН

$$p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0$$

Как пример рассмотрим наиболее перспективную систему – бесконтактный синхронный генератор (БСГ) с тиристорным регулятором напряжения (ТРН) [5].

В рассматриваемой системе на рис.1, при условии, что корректирующие и стабилизирующие устройства не учитываются, выделим три основных звена:

- синхронный генератор G;
- возбудитель В;
- ТРН.

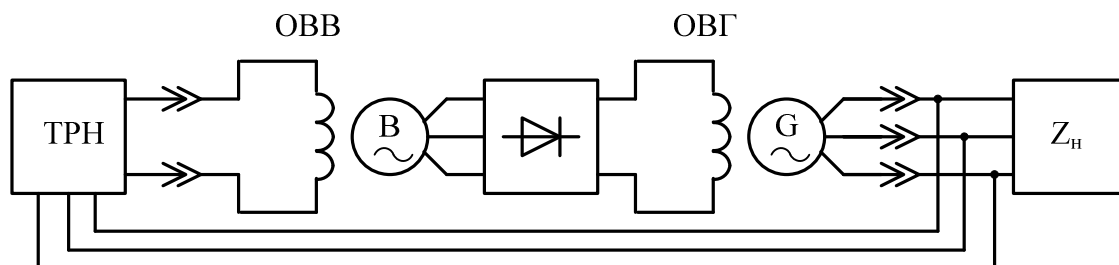


Рис.1. Принципиальная схема САР напряжения БСГ с тиристорным регулятором

Цель исследования – определение статических характеристик в системе на начальном этапе функционирования (ошибка, перерегулирование) и

динамических характеристик, согласованных с ГОСТ 19705-89, в рамках координат напряжения и времени (мажоранта и миноранта) для определения переходного процесса и установившегося режима вхождения в трубку допусков в указанный период времени.

Выводы. Основными показателями, характеризующими качество переходного процесса регулирования напряжения БСГ, являются время регулирования и величина перерегулирования.

Наиболее точно время регулирования и величину перерегулирования можно определить по кривой переходного процесса, получаемой при решении уравнения движения системы. Приблизительно качество переходного процесса и время регулирования можно оценить непосредственно по коэффициентам характеристического уравнения третьего порядка на основании диаграммы Д.А. Браславского [8] или используя нормированную диаграмму И.А. Вышнеградского, а учитывая требования ГОСТ 19705-89, как показано в [7] мы можем получить количественную оценку, необходимую для проверки соответствия работы системы требованиям [3], согласованным с требованиями ИСАО.

Литература

1. Синдеев И. М., Савелов А. А. Системы электроснабжения воздушных судов. – М.: Транспорт, 1990. – 296 с.
2. ГОСТ 19705–81. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. – М.: Изд.станд., 1981. – 45 с.
3. ГОСТ 19705–89. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. – М.: Изд.станд., 1989. – 45 с.
4. ГОСТ Р 54073–2010. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. Национальный стандарт Российской Федерации. Разработан ФГУП НИИСУ, ФГУП «НИИАО». Введен 2011–01–01.
5. Терехов В. М. Элементы автоматизированного электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.
6. Захарченко В.П., Воробйов В.М., Кічігін А.А. Оцінка якості функціонування бортових динамічних систем за перехідними характеристиками // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. – 2003. – Т. 9. – С. 149–157.
7. Теория автоматического управления /Под ред. А.А.Воронова. М.: Высшая школа, 1986. - 367 с.
8. Захарченко В.А., Панов В.И. Оценка динамических свойств авиационных энергоузлов с применением вычислительной техники. – К.: КМУГА, 1984. – 36 с.
9. Браславский Д.А. Оценка времени регулирования по коэффициентам характеристического уравнения // Труды МАИ, Выпуск 75. – М.: Оборонгиз, 1957.