



Требования к моделям определяются областью их применения. В практике работы с техническими системами выделяют такие области использования моделей, как: – проектирование новых систем; – проектирование систем на базе стандартных узлов; – эксплуатация систем (настройка и развитие конфигурации). Существуют экспертные оценки требований к погрешностям моделирования в 40–50%, 20–30%, 10–30%, 20–30% соответственно. Тогда оценки чувствительности позволяют формулировать требования к точности задания параметров моделей в зависимости от требований к их адекватности, области применения.

#### Список цитированных источников

1. Майоров, С.А. Основы теории вычислительных систем / С.А. Майоров, Г.И. Новиков, Т.И. Алиев. – М.: Высшая школа, 1978. – 320 с.
2. Климович, А.Н. Оценка чувствительности характеристик ПСМО / А.Н. Климович, Н.В. Фомина // Новые математические и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы 16 РНК студентов и аспирантов. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2013. – Ч. 1. – С. 76.
3. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: Корона, 2004. – 320 с.

УДК 621.313.2:629.7

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В СРЕДЕ MATLAB

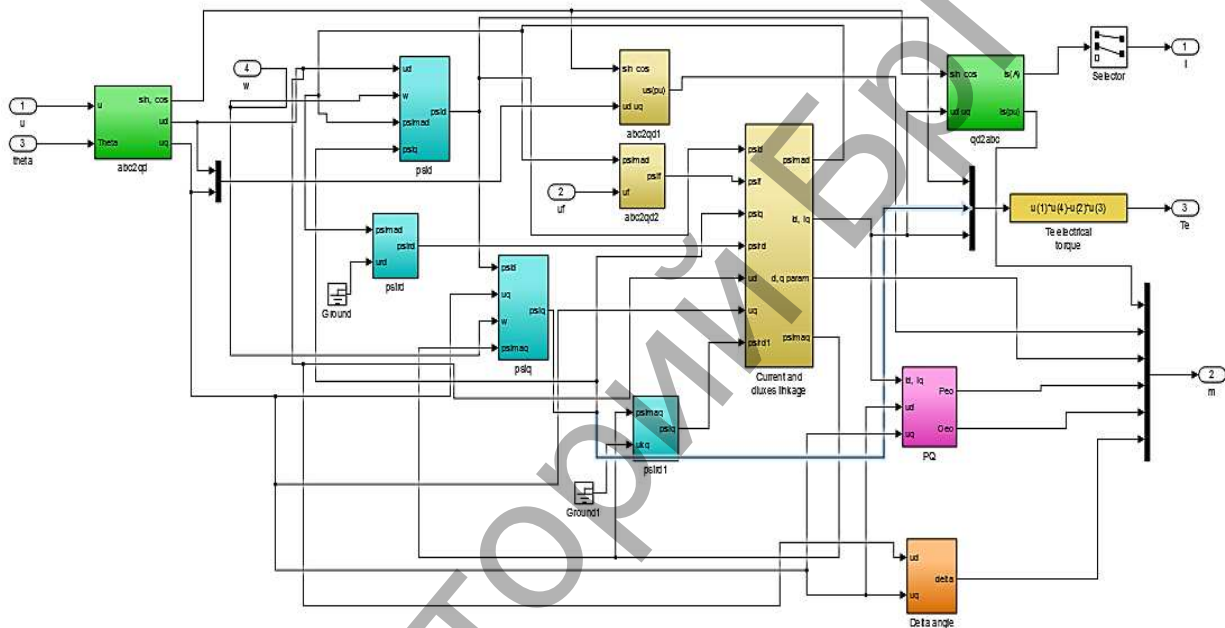
**Карнаухов Н.С.**

*Белорусская государственная академия авиации, г. Минск  
Научный руководитель: Капустин А.Г., к.т.н., доцент*

Дальнейшее совершенствование авиационных систем регулирования напряжения (СРН), а следовательно, и качества электроэнергии, связано с применением в них оптимальных законов управления и цифровой техники [1, 2, 3]. Система регулирования напряжения включает в свой состав бесконтактный синхронный генератор (СГ) переменного тока и регулятор напряжения (аналоговый или цифровой).

Переходные процессы в авиационном бесконтактном трехфазном СГ переменного тока с возбудителем описаны с помощью уравнений Парка-Горева в ортогональных осях  $d, q$  [1, 2, 3]. Для исследования свойств СГ, а в конечном итоге и СРН, разработана виртуальная модель СГ в среде MatLab (рисунок 1).

Блоки abc2qd и qd2abc служат для преобразования переменных состояния СГ из фазных координат в ортогональные (оси  $d, q$ ) и обратно. С помощью блоков psid, psird, psiq, psirq, psif моделируется изменения потокосцеплений СГ и его системы возбуждения. Активные и реактивные составляющие нагрузки в модели представлены блоком PQ, характер нагрузки ( $\cos\phi$ ) учитывается блоком Delta angle. Данная модель (рисунок 1) позволяет исследовать статические и переходные режимы работы СГ при изменении нагрузки [1, 2, 3].



**Рисунок 1 – Виртуальная модель бесконтактного синхронного генератора переменного тока в среде MatLab**

В качестве объекта исследования принят авиационный бесконтактный СГ типа ГТ30НЖЧ12. Проведенные исследования по влиянию трансформаторных ЭДС и демпферных контуров на динамические характеристики математической модели СГ позволили выявить следующее: при исследовании переходных и установившихся режимов генератора допустимо пренебрегать влиянием демпферных контуров; расчеты переходных процессов генератора целесообразно проводить с учетом влияния трансформаторных ЭДС, ибо в противном случае при изменении режимов работы СГ перерегулирования напряжения будут увеличены на 5–18%, а время переходного процесса – на 15–35% по сравнению с экспериментальными данными [1, 2, 3].

Для определения оптимальных по быстрдействию управлений напряжением СГ и соответствующих им фазовых траекторий для различных по величине возмущений в диапазоне  $(0,25-2,00)P_H$  использовался принцип максимума Л.С. Понтрягина ( $P_H$  – номинальная фазовая мощность синхронного генератора).

Эффективность работы цифровой СРН с синтезированными оптимальными управлениями определялась с помощью разработанной виртуальной модели оптимального цифрового регулятора (рисунок 2).

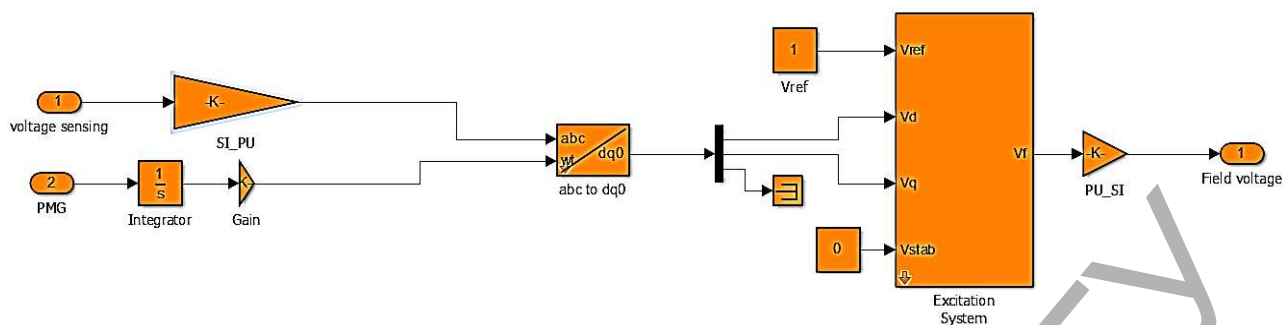


Рисунок 2 – Модель оптимального цифрового регулятора напряжения в среде MatLab

Блок voltage sensing данной модели подает выходное напряжение генератора в блок SI\_PU, где данное напряжение переводится в относительные единицы измерения PU. Блок PMG имитирует частоту вращения вала генератора. Эти сигналы после преобразования в блоках Integrator, abc to dq0, Gain подаются на входы Vd и Vq блока Excitation System. Кроме этого в данный блок подается еще 2 параметра с блоков Vref (установка регулятора напряжения) и Vstab (отклонение напряжения от заданного значения). В результате на выходе блока Excitation System формируется сигнал управления, который подается на обмотку возбуждения генератора [1, 2, 3].

Исследованиями установлено, что реализация оптимального по быстродействию закона цифрового регулятора напряжения в реальном масштабе времени позволяет (в зависимости от величины нагрузки) в 1,1–1,5 раза уменьшить максимальные отклонения напряжения; в 1,2–2 раза сократить время регулирования и в 3–5 раз повысить точность регулирования напряжения по сравнению с аналогичными характеристиками СРН с генератором ГТ30НЖ412 и серийным современным регулятором напряжения БРН120Т5А [1, 2, 3]. Такое улучшение качества электроэнергии достигается за счет реализации нелинейных коэффициентов синтезированного закона регулирования напряжения и учета, кроме интегральной квадратичной оценки отклонения напряжения СГ (используется в серийных регуляторах напряжения), аналогичной оценки отклонения тока возбуждения возбудителя генератора от установившегося значения [1, 2].

При обосновании требований к цифровой системе регулирования напряжения необходимо учитывать ряд специфических факторов, обусловленных функционированием системы [1, 2, 3]. Так, величина такта обмена информацией для процессов регулирования напряжения должна быть не более  $(1-1,5) \cdot 10^{-3}$ , в то время как такт обмена информацией при решении задач защиты и управления может быть порядка  $(80-100) \cdot 10^{-3}$  с [1, 2, 3]. Отсюда следует приоритетность выполнения задачи регулирования напряжения по отношению к задачам защиты и управления, что необходимо учитывать при построении оптимальной цифровой системы управления всей системы электроснабжения воздушных судов [1, 2, 3].

Исследование переходных процессов в канале генерирования электроэнергии с СГ и оптимальной цифровой системой управления напряжением, реализующей оптимальный по быстродействию закон управления напряжением, позволили определить пределы допустимых значений ступенчатых характеристик переходного напряжения [1, 2]. Так, длительность переходных процессов при реализации оптимального по быстродействию закона регулирования напряжения цифровой системой управления позволит добиться сокращения времени регулирования до  $(15-20) \cdot 10^{-3}$  с при одновременном уменьшении диапазона изменения напряжения с  $(88-155)$  В (при П-законе регулирования) до  $(107-122)$  В (оптимальный закон регулирования с цифровым регулятором напряжения). Приведенные данные удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к системам электроснабжения переменного тока, и превосходят показатели качества электрической энергии в существующих системах, определенных в ГОСТ Р 54073–2010.

Результаты проведенных исследований разработанной оптимальной цифровой системы регулирования напряжения в канале генерирования электроэнергии с СГ свидетельствуют об эффективности данной системы и широких возможностях повышения с ее помощью качества электроэнергии на перспективных воздушных судах, что несомненно положительно скажется на повышении надежности функционирования приемников и повышении безопасности полетов воздушных судов.

#### **Список цитированных источников**

1. Карнаухов, Н.С. Субоптимальная автоматическая система регулирования напряжения авиационного синхронного генератора для перспективных воздушных судов / Н.С. Карнаухов // Молодежь и будущее авиации космонавтики: конкурс научно-технических работ и проектов 17–21 ноября 2014 г.: сборник аннотаций работ. – М.: МАИ (НИУ), 2014. – 326 с.
2. Карнаухов, Н.С. Анализ качества электроэнергии авиационной системы генерирования переменного тока с синхронным генератором и оптимальным цифровым регулятором напряжения / Н.С. Карнаухов, А.Г. Капустин // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. – 2015. – 2(61). – С. 51–55.
3. Капустин, А.Г. Использование среды MatLab для создания, исследования и настройки виртуальных моделей авиационного электропривода / А.Г. Капустин, Н.С. Карнаухов // Компьютерные измерительные технологии: материалы I Международного симпозиума. – М.: ДМК Пресс, 2015. – С. 244–246.

УДК 519.237: 681.3

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ИНДИКАТОРОВ**

*Кондратович Е.В., Гилевская Л.С.*

*Белорусский государственный университет, г. Минск  
Научный руководитель: Малюгин В.И., к.физ.-мат.н., доцент*

### **1. Проблема разработки опережающих экономических индикаторов**

Проблемой разработки опережающих экономических индикаторов начали заниматься в первой половине XX века в контексте задачи анализа и обоснования экономических циклов [1]. В рамках традиционного подхода к решению данной задачи экономисты исследуют совместную динамику некоторого *сводного индекса опережающих индикаторов* и *базового экономического индикатора*. Наиболее общим показателем экономической активности, который целесообразно применять в качестве базового индикатора, является *реальный валовой внутренний продукт* (ВВП). На практике, однако, использование ВВП в качестве базового индикатора может быть сопряжено с методологическими особенностями формирования статистической информации о данном показателе.

В качестве опережающих экономических индикаторов во многих странах применяются *индексы экономических настроений* – ИЭН (*Economic Sentiment Indexes – ESI*), которые вычисляются по данным конъюнктурных опросов различных категорий участников экономических отношений и оказываются полезными для мониторинга текущей экономической ситуации и прогнозирования возможных изменений в краткосрочном периоде. Методологической основой для расчета *индексов экономических настроений*, а также некоторых других опережающих индикаторов, служит методология, разработанная Статистическим департаментом Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). В соответствии с гармонизированной системой [2], вопросы в анкетах, связанные с оценкой текущего положения в организациях-респондентах, основываются на сопоставлении фактических результатов с «нормальным» уровнем (приемлемым для экономических условий, сложившихся в период проведения обследования). Получаемая на основе конъюнктурных опросов информация носит качественный характер. Результаты обработки ответов представляются в виде простых и сводных индикаторов деловой активности. В качестве простых индикаторов используются балансы ответов (в процентах),