

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВИОНИКИ СОВРЕМЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В НАЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

Аэрокосмический институт
Национального авиационного университета

Электротехнические системы авионики современных воздушных систем являются важным звеном в обеспечении самого главного критерия эксплуатации воздушных судов – обеспечения безопасности полетов. Оценка качества электроэнергии современных самолетов регламентирована действующими стандартами и обеспечивается при проектировании для последующих этапов сертификации, серийного производства и эксплуатации. До 90 % всего объема испытаний осуществляется «на земле», до первого испытательного полета

Введение

Под электротехническими системами авионики [2] принято считать функциональные системы:

- систему электроснабжения (СЭС) (первичная система питания переменным током, вторичная система питания постоянным током);
- систему термообогрева (противообледенительная система);
- внутреннюю светотехническую систему (светопроводы, светильники, декоративный подсвет и др.);
- наружную светотехническую систему (внешнее осветительное и светосигнальное оборудование самолета, посадочные, рулежные и боковые фары, аэронавигационные огни, проблесковые маяки, фары освещения киля, хвостовой огонь, подсвет двигателей).

Электротехнические системы являются составной частью авионики современного ВС. Поскольку в современной литературе определение «Авионика» не приобрело четко сформулированного определения, сформулируем его так (по проф. Воробьеву В.М.):

Авионика третьего поколения современных воздушных судов (ВС) – это интегрированное автоматизированное и опосредствованное взаимодействие эргатического комплекса «экипаж – ВС - среда» с отказоустойчивыми функциональ-

ными комплексобразующими системами:

- цифровой бортовой централизованной системой с распределенными ресурсами;
- функциональными системами стандартного и общесамолетного оборудования;
- кабинным интерфейсом с элементами (органами) управления, отображения информации и комплексом электронной индикации и сигнализации;
- бортовой системой технического обслуживания (БСТО), в задачах пилотирования или самолевождения; навигации; связи и контроля;
- вне- и внутри кабиной обстановки;
- психофизиологической напряженности экипажа;
- технического состояния планера, силовой установки и оборудования, для минимизации рисков в авиационной деятельности и безопасного выполнения полетного задания на уровне требований ICAO с максимальной эффективностью.

Эффективность [5] рассматриваются как мера целесообразности вариантов построения структур систем и методов их эксплуатации с целью выбора наиболее рационального. Системная эффективность - количественная мера совокупности свойств и аспектов деятельности на

етапах жизненного цикла изделия в условиях ограничения системных ресурсов и программированной эксплуатации. Под свойствами деятельности понимают: строение; функционирование; адаптацию; развитие. Под аспектами деятельности понимают: организационно-управленческий; экономический; летно-технический; эксплуатационно-технический.

Сертификация является, по сути, системой контроля соответствия характеристик ВС, которые закладываются в сертификационном базисе. Для получения сертификата летной годности нужно пройти путь наземных и летных испытаний.

Для обеспечения наземных испытаний используется математическое, полунатурное, физическое моделирование. Поскольку многие системы являются сложными, и путем математического моделирования трудно добиться точности описания всех процессов, происходящих во время испытаний, прибегают к полунатурному и физическому моделированию, проводимым в лабораторных условиях до первого испытательного полета ВС.

Постановка задачи исследования

Задачей исследований является оценка качества электрической энергии согласно постоянно повышающимся требованиям нормативно-технических документов (НТД) ICAO а также повышение эффективности электротехнических систем авионики в условиях наземных лабораторных, эксплуатационных стендовых и доводочных испытаний.

До 2010 года НТД по сертификации систем электроснабжения воздушных судов (ВС) включала в себя литературу общемирового характера (ISO 1540.3) и ряда стран (ГОСТ 19705-89, MTL-STD-104B, ARINC 403A DO-403A-160).

Основными параметрами СЭС являются номинальные значения напряжения и частоты [1]. В переходных режимах работы $U=1.5U_{ном}$ в СЭС постоянной частоты и $U=3 U_{ном}$ в СЭС постоянного

тока. Отсюда $U_{max} \leq 235V$ для СЭС переменного тока стабильной частоты и $U \leq 167 V$ для СЭС постоянного тока. Отсюда выбраны номинальные напряжения переменного тока 115 В и 200 В на приемниках и 120 и 200 В на клеммах генераторов. Номинальное значение частоты в СЭС переменного тока отечественных и зарубежных ВС равно 400 Гц. Массогабаритные характеристики машин оптимальны для диапазона $f = 400 - 600$ Гц и обеспечивает приемлемые уровни качества электроэнергии.

Точность поддержания напряжения на клеммах приемников в СЭС~ в установленных режимах определяется: точностью регулирования напряжения источников; изменением напряжения в электросети; небалансом напряжений из-за неравномерности нагрузок в фазах. Точность регулирования напряжения в СЭС постоянного тока осуществляется с точностью работы системы регулирования и величиной падения напряжения в сети.

Согласно нормативно-технической документации (ГОСТ 19705-89, MILSTD-704В и др) напряжение в точке регулирования трехфазной СЭС~ должно поддерживаться в пределах $\sim U = 115 \dots 119 V$, а в СЭС= $U = 27 \dots 29V$. Во вторичных системах постоянного тока напряжение в точке подключения нерегулируемых выпрямительных устройств обеспечивается в пределах $U_{ву} = 25.4 \dots 29.4 V$.

Из опыта проектирования и эксплуатации отечественных и зарубежных самолетных СЭС установлено, что оптимальное падение напряжения в системе передачи и распределения электроэнергии: для СЭС~ 115/200 В 400 Гц составляет $\Delta U = 4 V$, в СЭС= 27 В составляет $\Delta U = 1.5 \dots 3 V$.

Анализ качества СЭС после внедрения новой нормативно-технической базы

С внедрением в ГОСТ Р 54073-2010 требования к качеству напряжения переменного тока ужесточаются. Стандарт, который принят в 2010 году и введен в действие на территории Российской фе-

дерации, направлен на ещё более ограниченные диапазоны работы системы электроснабжения в «ненормальном» и «аварийном» режимах. Анализ и сравнение параметров СЭС проведено в табл. 1 и на рис. 1.

рином» режимах. Анализ и сравнение параметров СЭС проведено в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Требования к качеству напряжения переменного тока СЭС ВС.

	Напряжение любой фазы, В		
	Нормальный режим	Аварийный режим	Ненормальный режим
ГОСТ 19705-81	108-119	102-124	97-134
ГОСТ 19705-89	108-119	104-122	100-127
ГОСТ Р 54073-2010	108-118	108-118	100-126

Все эти изменения разработаны и внедрены для создания идеально спроектированных ВС с технической и экономической точек зрения. Соблюдение требований такого стандарта позволяет увеличить надёжность и срок службы оборудо-

вания, улучшить массогабаритные показатели что в свою очередь снизит затраты на создание такого ВС. На рис.1 показан анализ параметров напряжения НТД а также перспективные желаемые требования.

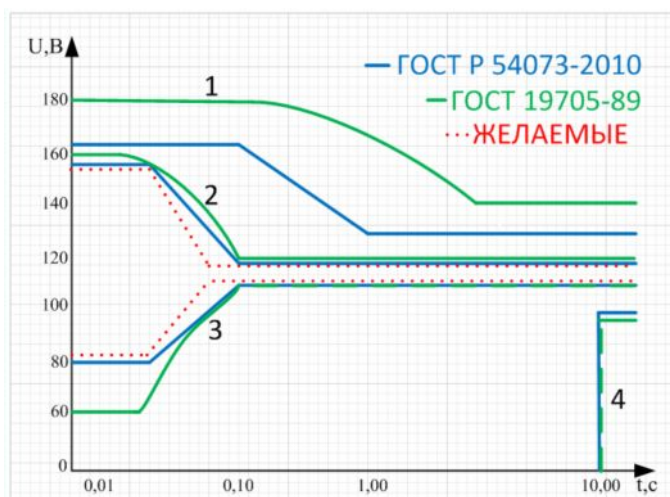


Рис.1. «Трубка допусков» качества динамического регулирования напряжения по показателям качества ГОСТ 19705-89 и ГОСТ Р 54073-2010, а также желаемые требования к качеству напряжения СЭС

Достижение желаемых параметров возможно за счет внедрения регулирования напряжения с использованием интеллектуальных систем управления энергоузлом напряжения переменного тока в том числе и на основе нейронных сетей. Разработки таких перспективных методов и алгоритмов реализации снижения разброса параметров напряжения в переходных режимах работы уже ведутся.

Согласно введенной НТД на рис. 2 изображено откорректированное трех-

мерное представление «трубки допусков» канала регулирования напряжения в различных режимах работы с учетом высоты полета и времени срабатывания защиты. Согласно приведенного рисунка зеленым цветом показана граница нормального режима работы канала регулирования. Зона красного цвета характеризует отказное состояние канала регулирования с характерными причинами выхода напряжения за «трубку допусков» ненормальной работы канала регулирования.

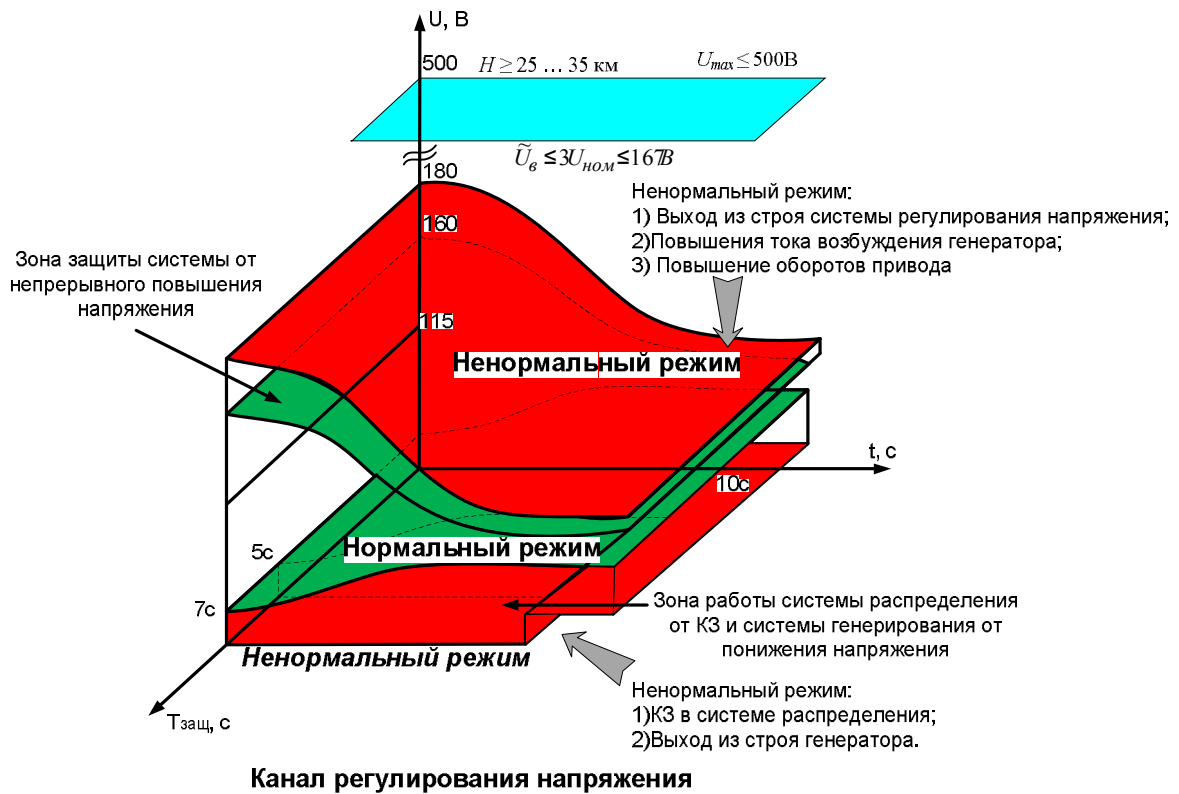


Рис. 2. Канал регулирования напряжения (трубка допусков для нормального и ненормального режимов работы), времени t , времени настройки системы защиты T и характеристикой причин возможных отказных ситуаций при повышении и понижении напряжении согласно введенному ГОСТ Р 54073-2010.

Экспериментальные стендовые испытания СЭС ВС (на основе самолета АН-148, АН-158)

Система электроснабжения самолета АН-148 выполнена по принципу независимых каналов (систем) и состоит из двух каналов первичной системы переменного трехфазного тока напряжением 115/200В постоянной частоты и связанных с ними двух каналов постоянного тока напряжением 27 В.

При нормальной и частичной работе системы электроснабжения контроль работы системы электроснабжения осуществляется с помощью системы управления общесамолетным оборудованием (СУОСО) и комплексной системы электронной индикации и сигнализации (КСЭИС-148).

В процессе испытаний [6] определялась точность поддержания напряжения в точке регулирования и на шинах распределительных устройств. Точность под-

держания напряжения в системе переменного тока определялась при питании системы от основных генераторов Г1 и Г2 при различных режимах нагрузки согласно графика нагрузок, а также при питании СЭС от генератора вспомогательной силовой установки (Гвсу).

При питании системы электроснабжения от основных генераторов минимальное напряжение на клеммах приемников электроэнергии составляет 108,3В, от генератора Гвсу минимальное напряжение составляет 108,4В что требованиям ГОСТ 19705-89, и ГОСТ Р 54073-2010 не менее 108В, соответствует. Максимальное напряжение на аварийных шинах при максимальном в соответствии с ГОСТ 19705-89 напряжении в точке регулирования 120В в любом из режимов будет не более 120,2В, что требованиям ГОСТ 19705-89, и не более 122В, соответствует, а ГОСТ Р 54073-2010 не соответствует (118 В).

Неравномерность нагрузок наиболее и наименее нагруженных фаз в системе переменного тока не превышает 12,6% мощности фазы основного генератора и 12,1% мощности фазы Гвсу, что требованиям ГОСТ 19705-89, и ГОСТ Р 54073-2010 не более 15%, соответствует. Небаланс напряжений не превышает 1,9В, что требованиям ГОСТ 19705-89, и ГОСТ Р 54073-2010 не более 3В, соответствует

Коэффициент нелинейных искажений формы кривой напряжения переменного тока не превышает 5,6%, а при питании от генератора Г2 не превышает 6,4%, что требованиям ГОСТ 19705-89, и ГОСТ Р 54073-2010, не более 8%, соответствует, а при питании от генератора Гвсу во всех измеренных режимах коэффициент нелинейных искажений формы кривой напряжения переменного тока не превышает 7,6%, что требованиям ГОСТ 19705-89, и ГОСТ Р 54073-2010, не более 8%, соответствует.

Модуляция фазного напряжения в установившемся режиме работы системы электроснабжения определялась на шинах Г1 и Г2 при питании от генераторов Г1 и Г2, а также на аварийных шинах. Коэффициент амплитудной модуляции не превышает 0,55%, что соответствует требованиям ГОСТ 19705-89, и ГОСТ Р 54073-2010 не более 1%.

Все экспериментальные данные по испытаниям, что касаются системы постоянного тока напряжением 27 В, то они соответствуют ГОСТ 19705-89, и ГОСТ Р 54073-2010.

Выводы

Оценка качества электроэнергии СЭС ВС регламентирована действующими НТД и введение более жестких требований влечет за собой разработку более совершенных СЭС ВС. Несоответствие максимального напряжения на аварийных шинах СЭС-148 в аварийных режимах работы обуславливает реализацию проектируемых СЭС с более жесткой регулировкой напряжения, которое должно со-

ответствовать НТД. Проектируемая в будущем СЭС осуществима внедрением интеллектуальных автоматизированных систем регулирования параметров СЭС (в том числе и на основе нейронных сетей). Выход на новый уровень внедряемого оборудования должен соответствовать глобальному критерию эксплуатации ВС – обеспечения безопасности полетов.

Список литературы

1. Синдеев И. М., Савелов А.А. Системы электроснабжения воздушных судов. – М.: Транспорт, 1990. – 296 с.
2. Электрооборудование пассажирских самолетов / Под ред. Е.М.Никанорова, В.Д.Жаркова. М.: «Машиностроение», 1983, 368с.
3. ГОСТ 19705-89. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Требования к качеству электроэнергии. М.: ГК СССР по стандартам, 1989, с.45
4. ГОСТ Р 54073-2010. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. М: ФГУП "НИИСУ", ФГУП "НИИАО", 2010, электронная версия.
5. ДСТУ 3589-97. Системи та комплекси авіаційного обладнання. Надійність та експлуатація. Терміни та визначення. К.: Київстандарт, 1997, с. 28.
6. АКТ № 29-3340-05 „По результатам заводских лабораторных испытаний системы электроснабжения самолета АН-148-100”.
7. ОСТ 100699-87. Оборудование авиационное внутрикабинное, осветительное и светосигнальное. Методы измерения световых параметров. Введен 01.01.1988. – 24 с.
8. Воробьев В.М., Захарченко В.А., Ильенко С.С., Сильнягин А.А.. Методология оценки качества электроэнергии систем электроснабжения современного воздушного судна, «Проблеми інформатизації та управління» Зб. наук. пр.: Вип.16.-К.: НАУ, 2006, с. 36–48.

Статью представлено в редакцию 15.09.2013