

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.313.629.73

*А. Г. Капустин, Н. С. Карнаухов*

### ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ СИСТЕМАМИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

UDC 621.313.629.73

*A. G. Kapustin, N. S. Karnauhov*

### PRINCIPLES OF CREATING DIGITAL CONTROL SYSTEMS FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS

#### **Аннотация**

Рассмотрены вопросы рационального выбора структуры цифровых систем электроснабжения воздушных судов. Приведен один из вариантов построения цифровой системы управления двухканальной автономной системы электроснабжения переменного тока постоянной частоты. Проанализированы задачи, решаемые цифровой системой управления на верхнем и нижнем уровнях.

#### **Ключевые слова:**

система электроснабжения, цифровая система управления, специализированная бортовая цифровая вычислительная машина, иерархическая структура, приемники электроэнергии, микропроцессор.

#### **Abstract**

Issues of a rational choice of the structure of power supply digital systems for aircraft are considered. One of the options of creating a digital control system for the two-channel autonomous system of constant frequency AC power supply is given. The tasks solved by a digital control system at the upper and lower levels are analyzed. The problems of rational choice framework of digital power supply systems of aircraft.

#### **Key words:**

power supply system, digital control system, specialized on-board digital computer, hierarchical structure, electric power receivers, microprocessor.

Последние достижения в разработке высоконадежных микроминиатюрных элементов и создание на их базе относительно недорогих микропроцессорных комплектов открывают широкие возможности использования цифровых систем управления (ЦСУ) в самолетных системах электроснабжения (СЭС) без ухудшения массогабаритных и экономических показателей, достигнутых в современной аналоговой аппаратуре. Применение ЦСУ позволяет на основе

анализа более полной информации о состоянии объекта и оптимизации процессов управления повысить эффективность решения всего комплекса функциональных задач и улучшить эксплуатационные характеристики СЭС [1–3].

Одной из проблем, возникающих при создании ЦСУ, является проблема рационального выбора ее структуры, которая во многом зависит от структуры и параметров объекта управления и состава решаемых функциональных задач.

Самолетные СЭС обладают рядом специфических особенностей, не позволяющих непосредственно применять методы построения ЦСУ, разработанные для других систем авиационного оборудования. Высокая скорость протекания электромагнитных процессов в современных СЭС, большой объем измеряемой и анализируемой информации неизбежно приводят к необходимости использования многомашинных ЦСУ [3–5].

Принцип построения цифровых систем управления с распределенной архитектурой основывается на функциональной и топологической децентрализации. Функциональная децентрализация предполагает разбиение достаточно сложного общего процесса управления на ряд слабо связанных между собой подпроцессов с четко определенными способами взаимодействия. Под топологической децентрализацией

понимается пространственное распределение датчиков, устройств обработки информации и исполнительных устройств. Следует отметить, что для цифровой системы управления СЭС функционально оптимальная децентрализация системы практически совпадает с топологическим оптимумом.

Анализ структуры и особенностей работы СЭС, объема используемой информации и состава решаемых функциональных задач дает основание полагать, что для многоканальных СЭС оптимальной будет иерархическая структура ЦСУ, состоящая из уровней 1 и 2 (рис. 1). Такая структура предполагает наличие центральной специализированной бортовой цифровой вычислительной машины (СБЦВМ) на верхнем уровне 1 и периферийных цифровых управляющих устройств (ЦУУ) в подсистемах нижнего уровня 2.

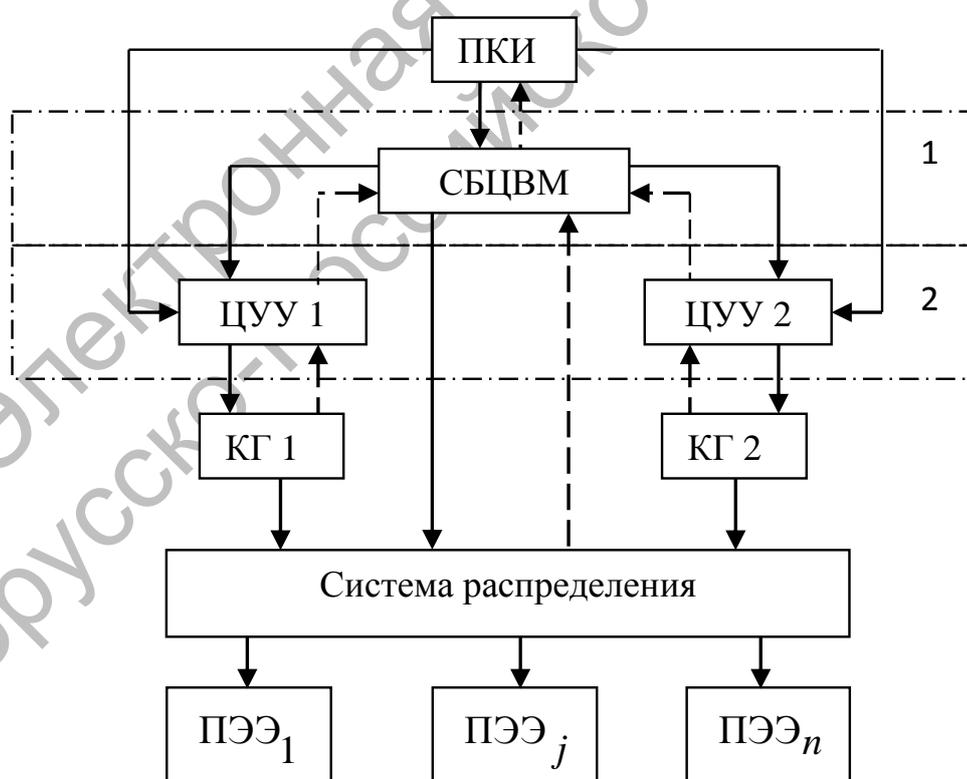


Рис. 1. Иерархическая структура ЦСУ, состоящая из уровней 1 и 2

На нижнем уровне 2 иерархии решаются задачи оперативного управления каналами генерирования (КГ): обеспечение требуемого качества электрической энергии при нормальном режиме работы; анализ технического состояния, диагностирование и защита системы генерирования. Эта информация отображается на пульте контроля и индикации (ПКИ). Указанные задачи требуют высокой частоты обмена информацией и используют информацию, локализованную в системе генерирования электрической энергии.

К задачам, решаемым на верхнем уровне 1 ЦСУ, относятся задачи управления СЭС в целом: автоматизация управления СЭС и приемниками электрической энергии (ПЭЭ) при всех режимах работы и полетных ситуациях; диагностирование технического состояния и защита системы распределения электрической энергии; контроль работоспособности СЭС и ЦСУ, а также отображение необходимой информации; прогнозирование технического состояния каналов генерирования (КГ).

Обычно в системах с распределенным управлением цифровые управляющие устройства (ЦУУ), решающие задачи нижнего уровня, координируются при помощи центральной СБЦВМ. Поскольку в рассматриваемой структуре координирующая СБЦВМ освобождена от функций управления каналами генерирования, то ее операционная система существенно упрощается. Таким образом, распараллеливание процесса обработки информации позволяет не только повысить быстродействие ЦСУ, но и снизить затраты на подготовку математического обеспечения. Причем последний фактор приобретает в настоящее время весьма существенное значение, так как стоимость разработки матема-

тического обеспечения может достигать 70...80 % от стоимости создания всей ЦСУ [4, 5].

При указанной функциональной и топологической децентрализации цифровой системы управления СБЦВМ решает в основном логические задачи и оперирует с дискретной информацией, что определяет относительно невысокие требования к частоте обмена информацией  $f_{\Pi} = 5...10$  Гц. В этом случае требуемое быстродействие защиты системы распределения электрической энергии обеспечивается за счет ввода информации в систему прерываний СБЦВМ.

Так как периодичность и длительность решения задач верхнего уровня достаточно малы, то СБЦВМ может быть комплексно использована для управления другими системами авиационного оборудования, не требующими высокого быстродействия ЦСУ. При применении для связи с объектом телемеханической системы управления на СБЦВМ целесообразно возложить функции кодирования, декодирования и распределения информации [2, 4, 5].

Значительно более жесткие требования предъявляются к цифровым управляющим устройствам, используемым для оперативного управления каналами генерирования электрической энергией. Необходимость обеспечения максимального быстродействия цифровых управляющих устройств оказывает существенное влияние на их структуру. Один из вариантов построения цифрового устройства управления, состоящего из цифрового вычислительного устройства (ЦУУ) и устройства связи с объектом управления, приведен на рис. 2.

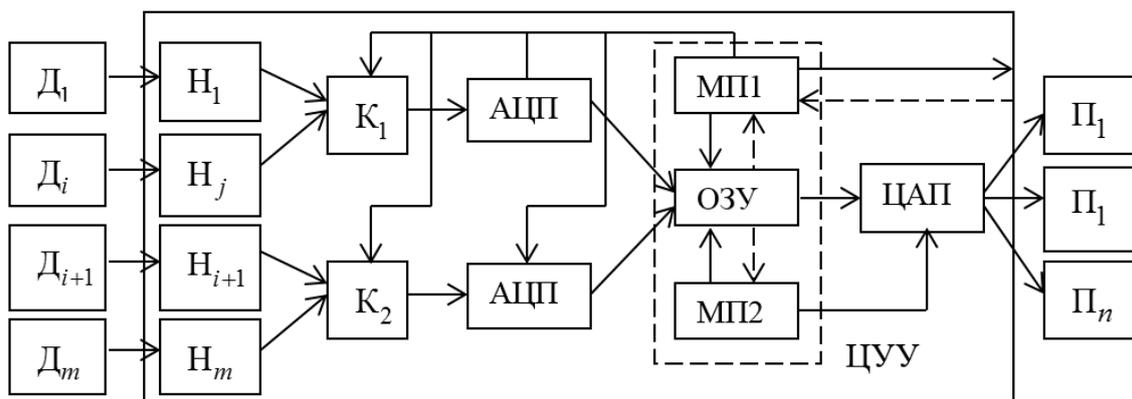


Рис. 2. Цифровое управляющее устройство (ЦУУ): МП1, МП2 – микропроцессоры; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство;  $\Pi_1 \dots \Pi_n$  – приемники электроэнергии; первичные преобразователи информации;  $D_1 \dots D_m$  – датчики;  $H_1 \dots H_m$  – нормализаторы;  $K_1, K_2$  – коммутаторы; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЦАП – преобразователь цифрового кода в аналоговую информацию

Применение методов цифрового управления в каналах генерирования электрической энергии предполагает решение широкого круга функциональных задач, требующих точного измерения большого количества физически разнородных величин. В то же время необходимо создать достаточно простую ЦСУ, имеющую высокие массогабаритные показатели [4].

Эффективность цифровых устройств управления каналами генерирования во многом определяется рациональностью построения устройств связи с объектом, характеристики которых выбираются на основании тщательного анализа процессов управления. Учитывая существующие требования к качеству электрической энергии, можно полагать, что допустимая погрешность измерения напряжения и частоты не должна превышать 0,5 %, а длительность цикла измерения выходных координат при прямом цифровом регулировании быть не более 5 мс.

Следует отметить, что ряд требуе-

мых характеристик может быть обеспечен как путем применения более совершенной аппаратуры, так и путем рационального выбора структуры измерительной части устройства связи с объектом. Относительно высокая сложность измерительных преобразователей предполагает использование минимального количества АЦП, которые образуют централизованную измерительную систему, обслуживающую ряд микропроцессов (МП1 и МП2), предназначенных для решения отдельных функциональных задач [5].

На микропроцессор МП1 целесообразно возложить функции управления работой устройств связи с объектом, предварительную обработку информации и реализацию алгоритмов защиты канала генерирования от недопустимых отклонений напряжения и частоты. Тогда микропроцессор МП2 сможет обеспечить эффективное решение задач прямого цифрового регулирования выходных координат системы.

При разработке цифровых управ-

ляющих устройств, используемых для оперативного управления каналами генерирования электрической энергии, необходимо существенное внимание уделить организации процесса ввода измеряемой информации. Большой объем анализируемой информации и высокая скорость протекания электромагнитных переходных процессов делают нецелесообразным применение системы ввода информации с прерыванием вычислений, приводящее к нерациональному использованию вычислительного потенциала процессора. Следовательно, в цифровых устройствах управления каналами генерирования электрической энергии, отличающихся высокой частотой обмена информацией, желательно обеспечить возможность прямого ввода информации в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Анализ современного уровня развития средств вычислительной техники показывает, что при использовании микропроцессорных управляющих комплексов реализация этого требования не вызовет существенных затруднений [4, 5].

Один из вариантов построения ЦСУ двухканальной автономной СЭС переменного тока постоянной частоты приведен на рис. 3.

Цифровые устройства (ЦУУ1, ЦУУ2) решают задачи оперативного управления каналами генерирования (КГ1, КГ2) путем обработки информации об изменениях выходных координат системы:  $U_A, U_B, U_C$  – напряжения фаз генераторов;  $I_A, I_B, I_C$  – фазные токи генераторов;  $U_{вв}$  – напряжение возбуждения возбудителей ге-

нераторов;  $\Omega$  – выходные частоты вращения приводов постоянной скорости и по заданным алгоритмам формируют управляющие сигналы, вводимые в регуляторы напряжения (РН1, РН2) и регуляторы частоты (РЧ1, РЧ2). Информация о техническом состоянии каналов генерирования электрической энергии, получаемая в результате анализа текущих значений выходных координат, передается в СБЦВМ верхнего уровня иерархической структуры ЦСУ.

Центральная СБЦВМ осуществляет управление СЭС в двух режимах: автоматическом (в зависимости от условий полета и технического состояния отдельных элементов СЭС); по командам, вводимым экипажем с пульта управления (ПКУ).

Для обеспечения быстродействующей защиты системы распределения электрической энергии в СБЦВМ вводится информация от установленных в ней датчиков, а в систему распределения передаются сигналы управления коммутационными устройствами. Кроме того, в СБЦВМ поступает информация о техническом состоянии выпрямительных установок (ВУ) и аккумуляторных батарей (АБ), которая используется для управления работой указанных устройств.

Итак, рассмотренный подход к построению цифровых систем управления самолетными СЭС является наиболее приемлемым, поскольку он учитывает «технологическое» единство процессов производства, распределения и потребления электрической энергии и обеспечивает эффективное решение комплекса задач, возлагаемых на ЦСУ [2].

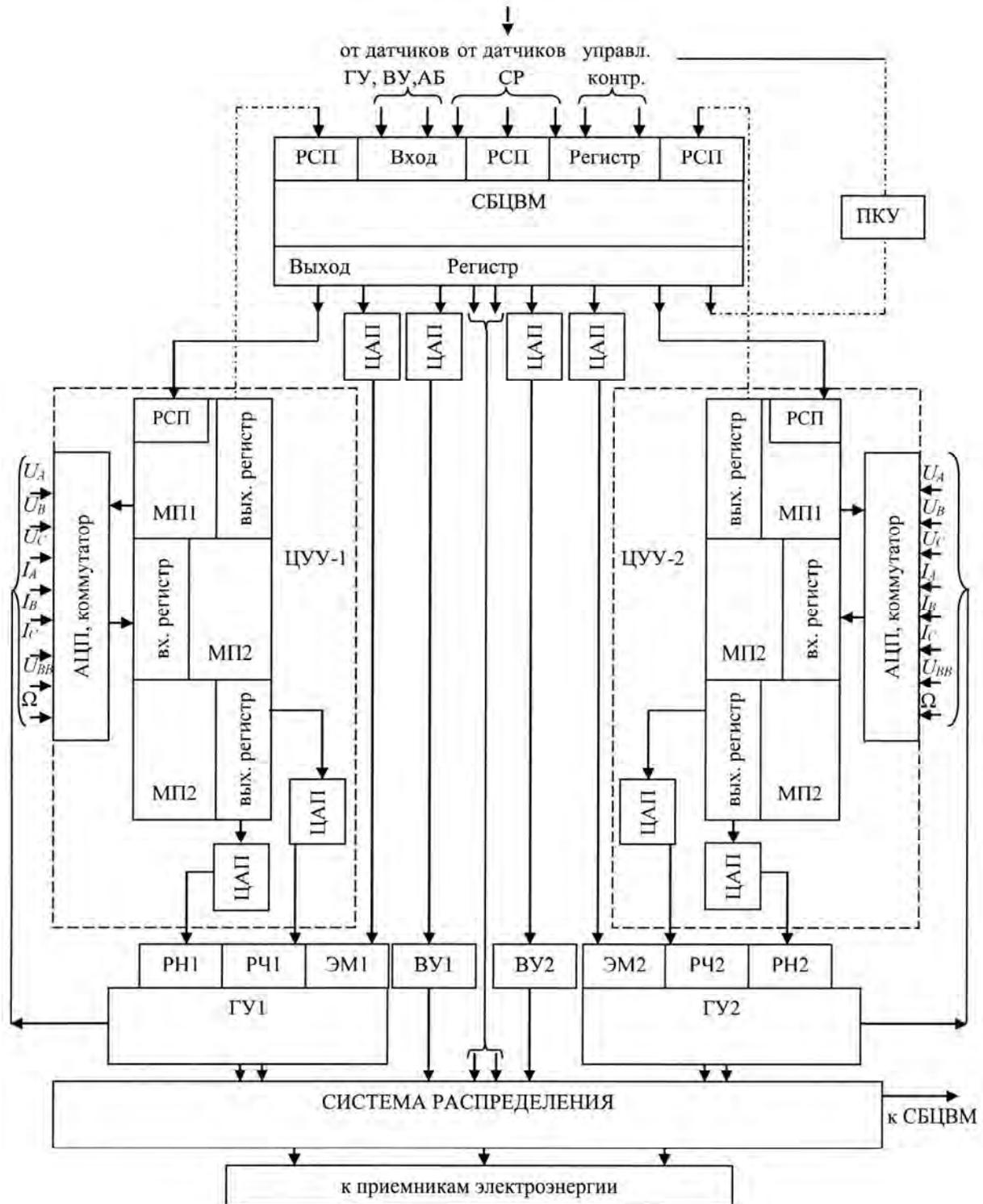


Рис. 3. ЦСУ двухканальной СЭС переменного тока постоянной частоты

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Капустин, А. Г.** Анализ свойств системы электроснабжения с цифровой системой управления / А. Г. Капустин // Совершенствование обеспечения полетов авиации : материалы 4-й Военно-науч. конф. курсантов и молодых ученых. – Минск : МГВАК, 2013.

2. **Карнаухов, Н. С.** Цифровой алгоритм полной компенсации возмущений в статическом режиме работы автономной системы электроснабжения / Н. С. Карнаухов, А. Г. Капустин // Совершенствование обеспечения полетов авиации : материалы 4-й Военно-науч. конф. курсантов и молодых ученых. – Минск : МГВАК, 2013.

3. **Карнаухов, Н. С.** Перспективные направления повышения показателей качества электроэнергии первичных систем электроснабжения воздушных судов / Н. С. Карнаухов // Академические жуковские чтения : материалы Всероссийской науч.-практ. конф. – Воронеж : Военно-воздушная акад. им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, 2013.

4. **Капустин, А. Г.** Цифровое управление перспективными автономными системами электроснабжения / А. Г. Капустин // Совершенствование обеспечения полетов авиации : материалы 5-й Военно-науч. конф. курсантов и молодых ученых. – Минск : МГВАК, 2014.

5. **Капустин, А. Г.** Применение ЦВМ в перспективных автономных системах электроснабжения / А. Г. Капустин // Совершенствование обеспечения полетов авиации : материалы 5-й Военно-науч. конф. курсантов и молодых ученых. – Минск : МГВАК, 2014.

*Статья сдана в редакцию 4 апреля 2015 года*

**Александр Григорьевич Капустин**, канд. техн. наук, доц., Белорусская государственная академия авиации. Тел.: +375-295-71-42-58.

**Николай Сергеевич Карнаухов**, курсант, Белорусская государственная академия авиации. E-mail: Karnauhov\_07@mail.ru.

**Aleksandr Grigoryevich Kapustin**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian State Aviation Academy. Phone: +375-295-71-42-58.

**Nikolai Sergeyeovich Karnaukhov**, cadet, Belarusian State Aviation Academy. E-mail: Karnauhov\_07@mail.ru.