

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Н. П. БАЙДА, В. М. РАЗИН, Я. И. КАПИЦКИЙ,  
Г. П. ПАВЛЕНКО, В. М. ТАНАСЕЙЧУК

(Представлена научным семинаром  
кафедры вычислительной техники)

Системы автоматического контроля (САК) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) появились в результате прогресса в области автоматизации радиоизмерений и представляют в настоящее время новую отрасль техники. САК позволяет осуществить практически полную автоматизацию процесса контроля работоспособности и поиска неисправностей РЭА, уменьшить время восстановления и сократить количество обслуживающего персонала. При этом значительно повышается достоверность и объективность контроля, накапливается необходимая информация для прогнозирования постепенных отказов [1—12].

В зависимости от вида связи с проверяемой аппаратурой и целевого назначения САК РЭА можно разделить на три большие группы [1]: внешние, внутренние (встроенные), комбинированные.

Внешние САК применяют для проверки РЭА средней сложности, связь внешних САК с проверяемой аппаратурой осуществляется по радиолиниям или по кабельным линиям связи (рис. 1). Внешние САК являются в большинстве случаев универсальными, т. е. пригодными для проверки различных видов аппаратуры.

Внутренние (встроенные) САК функционально связаны с основной аппаратурой. В состав внутренних САК (рис. 2) входят встроенные приборы и датчики, генераторы стимулирующих сигналов, коммутаторы, блоки обработки данных, устройства регистрации и индикации результатов контроля. Встроенные САК в большинстве случаев являются специализированными, т. е. пригодными для проверки одного вида аппаратуры. В таких системах последовательность проверки параметров устанавливается при разработке аппаратуры и в дальнейшем не изменяется. В универсальных встроенных САК имеется возможность изменения программы контроля.

Комбинированные САК (рис. 3) представляют собой сочетание внешней и внутренней систем контроля. Внутренняя система контроля обеспечивает проверку общей работоспособности РЭА в процессе функцио-

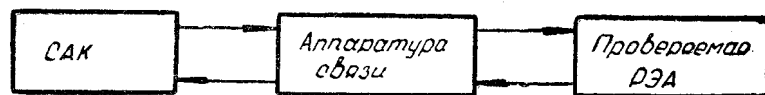


Рис. 1. Упрощенная блок-схема внешней САК

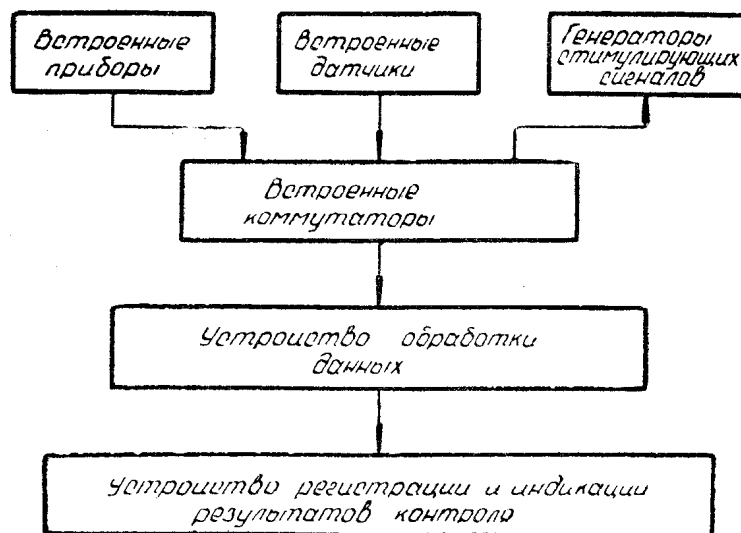


Рис. 2. Упрощенная блок-схема внутренней (встроенной) САК

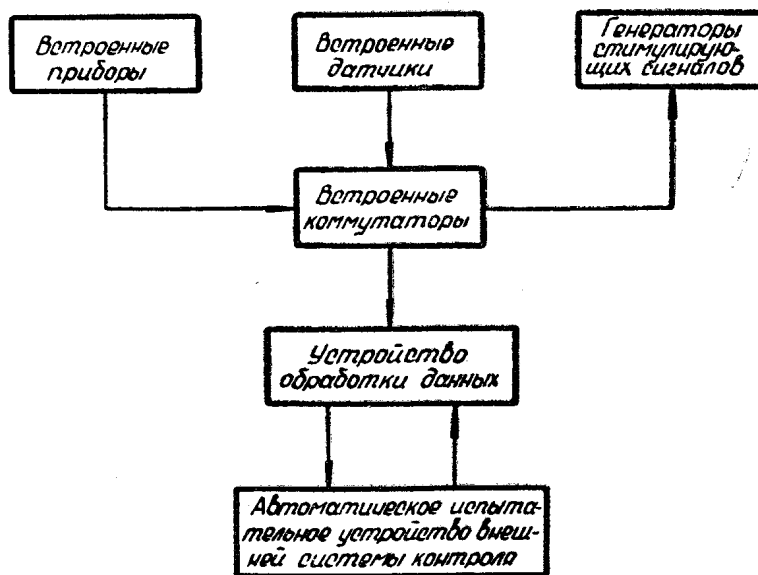


Рис. 3. Упрощенная блок-схема комбинированной системы контроля.

нирования и выдает информацию об основных параметрах отдельных блоков аппаратуры. Поиск неисправностей в РЭА и комплексная всесторонняя проверка производится в помощь внешней системы контроля.

### Методы контроля

Работоспособность РЭА может контролироваться несколькими методами, определяющими готовность ее к действию с различной степенью достоверности. Применение того или иного метода определяется назначением контролируемой РЭА, ее сложностью и надежностью, а иногда

и техническими возможностями. Подробная классификация методов контроля приведена в [3].

Основными методами контроля работоспособности РЭА являются функциональный, допусковый, диагностический и профилактический [2].

Функциональный контроль является наиболее распространенным методом автоматической оценки работоспособности РЭА. При этом (обычно на вход проверяемого устройства подается возмущающий сигнал, а реакции на него оцениваются по срабатыванию исполнительных устройств или по сигналам на рабочих индикаторах проверяемой аппаратуры. При функциональном контроле количественные характеристики выходных параметров РЭА не измеряются, поэтому достоверность его ограничена, но из-за простоты реализации он широко используется на практике.

Допусковый контроль производится количественными измерениями выходных параметров аппаратуры по принципу «годен-не годен» или «ниже-годен-выше». Этот метод позволяет в большей достоверностью получить информацию о работоспособности РЭА и ее выходных параметрах, определяющих технические характеристики аппаратуры.

При диагностическом контроле обнаруживают неисправные узлы и блоки аппаратуры, а иногда и отдельные элементы, являющиеся причиной появления отказов. Применение этого метода повышает готовность РЭА, сокращает время ее восстановления.

Как известно [2], коэффициент готовности аппаратуры определяется выражением:

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_v},$$

где

$T_0$  — среднее время наработки аппаратуры на один отказ;

$T_v = t_{yn} + t_{nn}$  — среднее время восстановления аппаратуры;

$t_{nn}$  — среднее время, затрачиваемое на поиск одной неисправности;

$t_{yn}$  — среднее время, затрачиваемое на устранение одной неисправности.

Для повышения коэффициента готовности необходимо уменьшать время восстановления аппаратуры, которое, в основном, определяется величиной  $t_{nn}$ . Разработано несколько методов оптимизации процесса поиска неисправностей [4, 6]: метод «половинного разбиения» (средней точки); метод «время-вероятность»; информационные методы поиска, метод синдромов, метод распознавания образов и другие.

При методе «половинного разбиения» неразветвленные участки схемы делят пополам, производя каждую последующую проверку по середине оставшейся непроверенной части схемы.

Метод «время-вероятность» основывается на знании интенсивности отказов и среднего времени, затрачиваемого на проверку различных участков схемы. Метод дает значительный выигрыш во времени при поиске отказов с высокой интенсивностью и неэффективен при поиске отказов с малой интенсивностью.

Информационные методы поиска основаны на применении теории информации к процессу отыскания неисправностей в сложных радиоэлектронных системах. Процесс поиска неисправностей рассматривается как процесс снятия неопределенности состояния контролируемой РЭА. Количество информации, получаемое при проведении одного шага проверки, равно:

$$H_k = -[P_k \log_2 p_k + (1 - p_k) \log_2 (1 - p_k)],$$

где:  $P_k$  — вероятность безотказной работы РЭА по  $K$ -му параметру.

Последовательность программы поиска неисправностей составляется из условия:

$$H_{k-1} > H_k > H_{k+1}.$$

При методе синдромов проверкой охватывается вся контролируемая аппаратура в целом и ее отдельные элементы, до уровня которых отыскиваются неисправности. В процессе анализа каждый результат проверки «годен» — «не годен» относится к определяемому синдрому (признаку). Библиотека таких синдромов составляется предварительно, программируется и вводится в запоминающее устройство системы контроля. Преимущество метода заключается в том, что для проверки РЭА не требуется подачи стимулирующих сигналов.

Сущность метода распознавания образов заключается в разделении  $m$ -мерного пространства значений выходных параметров РЭА на  $P$  подпространств признаков неисправностей. Этот метод так же, как и метод синдромов, реализуется с помощью ЦВМ.

При профилактическом или прогнозирующем контроле периодически проверяются выходные параметры и основные блоки РЭА, чтобы, исходя из накапливаемой информации о состоянии аппаратуры, предсказать, какой узел или блок явится причиной отказа на определенном временном интервале. Своевременное предотвращение отказов позволяет существенно повысить надежность действия РЭА. Основу профилактического контроля составляют метод граничных испытаний и статистические методы прогнозирования отказов.

На практике используются все методы автоматического контроля работоспособности аппаратуры, однако наибольшее распространение получил метод допускового контроля в сочетании с диагностическим контролем и прогнозированием отказов аппаратуры.

### Характеристики САК

Свойства любой САК определяются рядом характеристик. Наиболее общими из них являются [1, 4, 6]:

- достоверность результатов контроля;
- эффективность САК;
- надежность;
- вес и габаритные размеры;
- общее количество контролируемых параметров;
- полнота контроля;
- точность измерения параметров;
- возможность и точность прогнозирования состояния проверяемой РЭА;
- наличие и вид самоконтроля;
- возможность автоматического включения резервных блоков.

Достоверность результатов контроля характеризует способность системы контроля правильно отражать реальное состояние проверяемой РЭА и является важнейшей технической характеристикой любой САК.

Понятие эффективности контроля в настоящее время не является однозначным. Одни авторы [8] под эффективностью системы понимают отношение даваемого ею эффекта к затратам. Другие при определении эффективности учитывают точностные характеристики системы и суммарные затраты на контроль. Некоторые авторы [9—11] связывают эффективность с вероятностью выполнения системой поставленной за-

дачи. В общем случае под эффективностью САК понимается качественная оценка решения общей задачи контроля с достоверностью не ниже заданной в течение заданного времени.

Полнота контроля характеризует, какой процент из общего числа параметров, определяющих работоспособность аппаратуры, охвачен контролем:

$$П_k = \frac{N_k}{N_\Sigma},$$

где:

$N_k$  — число параметров, охваченных контролем;

$N_\Sigma$  — общее число параметров, характеризующих работоспособность РЭА.

### Принципы построения систем автоматического контроля радиоэлектронной аппаратуры

Обобщенная структурная схема САК РЭА приведена на рис. 4. Реальная система контроля должна содержать только те блоки, которые позволяют обеспечить соответствие ее характеристик требованиям эксплуатации. В общем случае в состав САК РЭА входят следующие устройства [4, 6, 13, 14]:

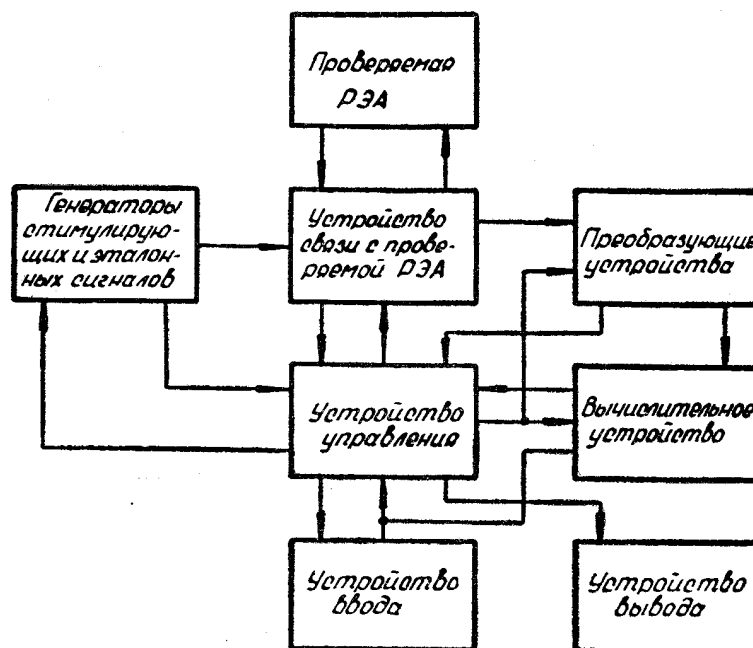


Рис. 4. Обобщенная структурная схема САК

устройство связи с проверяемой РЭА;  
генераторы стимулирующих и эталонных сигналов;  
преобразующие устройства;  
вычислительное устройство (ВУ);  
устройство управления;  
устройство ввода;

#### **устройство вывода.**

Устройство связи содержат аппаратуру для передачи контролируемых и стимулирующих сигналов по радиопередающим или по кабельным линиям связи, нормализаторы и коммутаторы сигналов. Последние выполняются на контактных (реле, шаговые искатели, магнито-управляемые контакты) или на бесконтактных (диоды, транзисторы, газоразрядные лампы) элементах.

Генераторы стимулирующих и эталонных сигналов вырабатывают необходимые для контроля входные стимулирующие (возбуждающие) сигналы и эталонные величины сигналов, с которыми сопоставляются результаты измерений. Они подразделяются на генераторы электрических напряжений и токов, временных интервалов, генераторы частоты, импульсов и т. д.

Преобразующие устройства (аналого-цифровые преобразователи) осуществляют преобразование контролируемых сигналов к виду, удобному для ввода в ЦВМ.

Вычислительное устройство производит обработку информации о состоянии проверяемой РЭА по заданной программе.

Устройство ввода хранит программы контроля и определяет режим работы других блоков САК. Для этой цели применяют перфокарты, перфоленты, магнитный барабан, запоминающие устройства на ферритовых сердечниках, магнитные ленты и магнитные диски.

Устройство вывода осуществляет печать и индикацию результатов контроля.

С целью повышения достоверности результатов контроля в устройстве САК вводят цепи самоконтроля. Частичная самопроверка САК осуществляется в процессе функционирования, а полная самопроверка производится перед началом работы, в режиме профилактики перед началом работы, в режиме профилактики или после получения отрицательного результата проверки.

В настоящее время разрабатываются главным образом комбинированные САК для контроля отдельных видов РЭА. Имеются попытки создать универсальные комбинированные САК, которые после незначительного изменения в структурной схеме путем замены или добавления некоторых стандартных блоков (генераторов сигналов, коммутаторов, датчиков и т. д.) могут быть использованы для проверки различных радиоэлектронных комплексов.

### **Современное состояние и перспективы развития систем автоматического контроля радиоэлектронной аппаратуры**

В последние годы в нашей стране и за рубежом ведутся большие работы по исследованию, разработке, производству и эксплуатации САК РЭА. Эти системы различны по назначению, сложности, стоимости, принципам программирования, управления и обработки информации, а также техническому уровню их выполнения [1,15].

Современные САК РЭА встраиваются в аппаратуру или придают ей. Они выполняются на интегральных схемах (ИС) с использованием ЦВМ. Перспективным считается метод разработки САК, получивший название «автоматический системный самоконтроль» (АСС) [16].

Согласно основному принципу АСС, контрольное оборудование должно проектироваться одновременно с действующими элементами аппаратуры на каждом этапе разработки радиоэлектронной системы.

По такому методу в США разрабатывается система контроля оборудования космических кораблей, которые могут работать без вмешательства человека многие годы [17]. Цель работы заключается в создании для космических кораблей бортовой ЭВМ, не требующей ухода в течение 10 лет. Все основные операции по обнаружению ошибок выполняет ЭВМ. По данным управляющего диагностического блока включается необходимый резерв. Все блоки выполняются на интегральных схемах.

Однако существующие схемы построения систем контроля имеют ряд недостатков, которые иногда не позволяют обеспечить высокую достоверность и эффективность контроля.

Основными недостатками современных САК являются [1]:

- большая сложность;
- ограниченность логических операций;
- низкая надежность;
- недостаточная помехоустойчивость;
- отсутствие возможности самообучения.

В связи с этим проводятся большие работы по исследованию возможности, с одной стороны, упрощения систем контроля и повышения их надежности, с другой стороны — расширения логических операций САК и повышения точности измерений.

Упрощение системы контроля может быть достигнуто в результате системного подхода к разработке основной и контрольной аппаратуры, для чего применяется описанный выше метод АСС.

С целью повышения надежности современные САК выполняются на высоконадежных элементах (интегральных схемах, трансфлюксорах, параметронах и т. д.).

Исследуется возможность использовать для передачи информации неэлектрические сигналы с тем, чтобы повысить устойчивость систем к внешним электромагнитным воздействиям. Так, например, в последнее время были созданы системы контроля, в которых передача и логическая обработка информации осуществлялись с помощью света. Кроме того, исследуются возможности построения систем контроля на основе пневмоники.

Предполагается внедрение методов контроля по уровню инфракрасного излучения (ИК). Измерение ИК электронных схем позволяет обнаруживать такие дефекты, которые при обычных методах контроля не выявляются [18].

Перспективным считается метод контроля, использующий изменение параметров ее математической модели, проводимое до совпадения ее характеристик с выходными характеристиками реальной аппаратуры. Основное достоинство указанного метода — отсутствие необходимости в дополнительных контрольных точках [19].

В последние годы были начаты исследования по выяснению возможностей создания систем контроля на принципах нейрокибернетики с использованием электрических моделей нейронов. Полученные результаты показывают, что это позволит значительно расширить логические возможности систем и создать самообучающиеся системы контроля.

В настоящее время ведутся разработки универсальных САК на базе унифицированных функциональных блоков, которые могут быть приспособлены для проверки различных классов аппаратуры.

Намечаются новые области применения САК. Например, предполагается создание аппаратуры для измерения и индикации параметров психологического состояния летчика на борту сверхзвукового пассажирского самолета [20]. Системы автоматического контроля станут неотъемлемой частью самоорганизующихся систем, в которых они будут вы-

полнять функции непрерывного диагностирования и саморемонта, а при наличии неустранимого отказа выбирать оптимальный режим функционирования аппаратуры с ухудшенными характеристиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. Д. Лебедев. Состояние и развитие автоматических систем контроля. Энергия, М.-Л., 1967.
2. В. А. Долгов. Встроенные автоматизированные системы контроля. Энергия, М.-Л., 1968.
3. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры. Под ред. В. Ю. Лавриченко. Высшая школа, М., 1968.
4. Автоматизация радиоизмерений. Под ред. В. П. Балашова. Советское радио, 1966.
5. Введение в техническую диагностику. Под ред. К. Б. Карандеева. Энергия, М., 1968.
6. В. В. Сомик, Н. Г. Коньков. Автомат проверяет самолет и ракету. М., Воениздат, 1967.
7. Электрические методы автоматического контроля. Под ред. К. Б. Карандеева. Энергия, М.-Л., 1965.
8. В. К. Бурцев, Д. В. Свичарник. О надежности и эффективности систем автоматического контроля и регулирования. Приборостроение, № 6, 1963.
9. Б. В. Васильев, Б. А. Козлов, Л. Г. Ткаченко. Надежность и эффективность радиоэлектронных устройств. Советское радио, 1965.
10. А. С. Касаткин, И. В. Кузьмин. Оценка эффективности автоматизированных систем контроля. Энергия, 1967.
11. В. А. Луцкий. Расчет надежности и эффективности радиоэлектронной аппаратуры. Изд. АН УССР, Киев, 1963.
12. Ремонтпригодность радиоэлектронной аппаратуры. Сб. пер. под ред. О. Ф. Поставского. Советское радио, М., 1964.
13. Элементы автоматических систем контроля. Под ред. П. И. Кузнецова. Энергия, М.-Л., 1967.
14. Автоматическая проверка оборудования самолетов и ракет. Сб. статей под ред. В. А. Боднера. М. ИИЛ, 1962.
16. Электроника (пер. с англ.), 1968, т. 41, № 10, стр. 11—19.
17. Электроника (пер. с англ.), 1967, т. 40, № 18, стр. 49.
18. Электроника (пер. с англ.), 1967, т. 40, № 7, стр. 16—28.
19. Электроника (пер. с англ.), 1967, т. 40 № 1, стр. 83—86.
20. Электроника (пер. с англ.), 1968, т. 41, № 9, стр. 23—32.