

Бесплатно

Государственный комитет СССР по народному образованию

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени  
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

---

А. В. ЕЛАНЦЕВ, В. В. МАРКЕЛОВ

13.12

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ  
ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ  
ПРИ КОНТРОЛЕ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ**

Методические указания к лабораторным работам по курсам  
«Специальная технология ЭВА»  
и «Специальная технология РЭА»

---

Москва

1988

Государственный комитет СССР по народному образованию  
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени  
высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана

---

А.В. ЕЛАНЦЕВ, В.В. МАРКЕЛОВ

Утверждены редсоветом МВТУ

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ  
ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ  
ПРИ КОНТРОЛЕ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ

Методические указания к лабораторным работам  
по курсам "Специальная технология ЭВА" и

"Специальная технология РЭА"

Под редакцией Б.И. Белова

Данные методические указания издаются в соответствии с учебным планом. Рассмотрены и одобрены кафедрой ИУ-4 6.04.87 г., методической комиссией факультета ИУ 19.05.87 г. и учебно-методическим управлением ИИ.12.87 г.

Рецензент к.т.н. доц. А.В. Фролов

© Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана

### Содержание

Введение . . . . .	3
Работа № 1. Исследование показателей качества выходных параметров функциональных узлов ЭА . . . . .	4
Работа № 2. Диагностирование функциональных узлов ЭА с использованием физических моделей. . . . .	14
13 Работа № 3. Оптимизация количества контрольных точек функциональных узлов ЭА. . . . .	26
12 Литература . . . . .	38
Приложение . . . . .	39

### ВВЕДЕНИЕ

В данных методических указаниях представлен цикл лабораторных работ по курсам "Специальная технология ЭВА" и "Специальная технология РЭА", посвященный рассмотрению заключительных этапов производства функциональных узлов и устройств электронной аппаратуры (ЭА) - анализу и обеспечению заданной точности выходных параметров при сборке, техническому контролю и диагностированию.

В процессе изготовления ЭА требуется обеспечить заданную точность выходных параметров, которая устанавливается техническими требованиями. При сборке функциональных узлов выполнение этих условий обеспечивается различными сочетаниями потрешностей параметров комплектующих интегральных схем (ИС) и электрорадиоэлементов (ЭРЭ). Поэтому при реализации процессов сборки ЭА требуется решить задачу, которая оптимально с технической и экономической точек зрения обеспечивала бы заданную точность выходных параметров. Это значит, что при сборке функциональных узлов желательно использовать ИС и ЭРЭ с возможно более широкими допусками, которые удовлетворяли бы заданным техническим требованиям. Для этого необходимо проведение анализа точности выходных параметров. Обычно анализ выполняется на основе математических моделей функциональных узлов и устройств ЭА, с помощью которых получают аналитическую связь выходных характеристик как функции параметров ИС и ЭРЭ. Наиболее распространенным методом анализа точности является аналитически вероятностный, применению которого посвящена работа № 1 "Исследование показателей качества выходных параметров функциональных узлов ЭА".

Соответствие значений выходных параметров ЭА требованиям технических условий оценивается с помощью различных методов и средств технического контроля и диагностирования. При этом на результаты диагностирования и их достоверность при контроле на функционирование оказывает влияние случайный характер значений контролируемых параметров, глубина контроля, точность и надежность системы контроля и т.п. Анализ этих факторов проводится в работе № 2 "Диагностирование функциональных узлов ЭА с использованием физических моделей".

Приспособленность ЭА к проведению технического контроля и диагностирования заданными средствами характеризуется ее конт-

ролепригодностью. Основным этапом по обеспечению контролепригодности является выбор количества и места размещения контрольных точек в функциональном узле и их конструктивно-технологическое оформление. Решению этого вопроса посвящена работа № 3 "Оптимизация количества контрольных точек функциональных узлов ЭА".

Исследования и анализ результатов рассматриваемых лабораторных работ проводится на ЭВМ "Электроника-60" и диалоговом вычислительном комплексе ДВК.

### Работа № 1

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ ЭА

Цель работы - исследование влияния погрешностей параметров ИС и ЭРЭ на выходные параметры и определение численных вероятностных характеристик выходных параметров функциональных узлов ЭА при решении задач анализа точности.

В процессе работы студенты знакомятся с аналитическим вероятностным методом анализа точности, с определением абсолютных и относительных коэффициентов влияния, вероятностных характеристик выходных параметров функционального узла ЭА, методикой анализа влияния параметров ИС и ЭРЭ на выходной параметр и достижения его заданной точности и использованием ЭВМ для решения этих задач.

#### Задание

1. Изучить основные задачи анализа точности, аналитический вероятностный метод анализа точности, методы определения коэффициентов влияния параметров ИС и ЭРЭ на выходной параметр функционального узла ЭА.
2. Ознакомиться с устройством лабораторного стенда, работой ЭВМ "Электроника-60" или ДВК.
3. Изучить методику и аналитические зависимости для определения численных вероятностных характеристик выходного параметра.
4. Исследовать на ЭВМ и лабораторном стенде степень влияния параметров ИС и ЭРЭ на выходной параметр ЭА.

5. Построить графики  $\delta(\tilde{q})_{расч.эвм} = f[\delta(\tilde{q}_i)]$  и проанализировать полученные результаты.

6. Исследовать возможности достижения заданной точности выходного параметра функционального узла ЭА.

7. Составить отчет по лабораторной работе.

8. Ответить на контрольные вопросы.

#### I. Теоретическая часть

В результате выполнения последовательности сборочных и монтажных операций комплектующие ИС и ЭРЭ оформляются в функциональный узел ЭА. Погрешности ИС и ЭРЭ прежде всего определяют точность выходных параметров ЭА. Данные погрешности носят случайный характер. При этом выходные параметры функциональных узлов будут также иметь некоторую погрешность, которая тоже будет по своему характеру случайной.

Для количественной оценки погрешности выходных параметров, являющейся оценкой показателя качества, необходимо решить задачу анализа точности выходных параметров ЭА. Для этого широко используется аналитический вероятностный метод, который предполагает наличие функциональной зависимости выходных параметров от параметров ИС и ЭРЭ. Законы распределения погрешностей ЭРЭ считаются известными.

Аналитическая функция, определяющая зависимость выходного параметра от параметров ЭРЭ, имеет вид:

$$Y = f(q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n), \quad (I)$$

где  $Y$  - выходная характеристика исследуемого функционального узла ЭА;  $q_1, q_2, \dots, q_n$  - параметры ИС и ЭРЭ, с помощью которых реализуется исследуемый узел ЭА.

В качестве исходной информации при решении задачи анализа точности аналитическим вероятностным методом используются:

- математическая модель исследуемого функционального узла ЭА, представленная в виде выражения (I);
- численные вероятные характеристики параметров ИС и ЭРЭ, с помощью которых реализуется исследуемый узел. Это меры положения, меры рассеивания и коэффициенты корреляции.

Мера положения характеризуется математическим ожиданием значений параметров ЭРЭ,  $M(q_i)$ ; мера рассеивания характеризуется либо дисперсией значений параметров ЭРЭ,  $D(q_i)$ , либо

средним квадратичным отклонением  $\sigma(\bar{q}_i)$ . Связь между дисперсией и средним квадратичным отклонением описывается соотношением вида

$$D(\bar{q}_i) = \sigma^2(\bar{q}_i)$$

Кроме того, при наличии взаимной связи между параметрами ИС и ЭРЭ используются коэффициенты корреляции (коэффициенты парной корреляции)  $R_{ik}$  ( $i = \overline{1, n}; k = \overline{1, n}$ ).

Решением аналитического вероятностного метода анализа точности будет математическое описание статистических свойств выходного параметра  $\bar{y}$ , где символ  $\sim$  обозначает случайный характер рассматриваемых величин.

Определим характер закона распределения выходного параметра  $\bar{y}$ .

Из центральной предельной теоремы следует, что если некоторый параметр зависит от достаточно большого числа случайных величин, подчиненных любым законам распределения, то его описание приближенно подчиняется нормальному закону распределения. Точность этого утверждения зависит от числа случайных величин. Чем больше число случайных величин, тем больше полученный результирующий закон распределения приближается к нормальному. Так, при наличии случайных величин  $n > 4$  с достаточной для практики точностью закон распределения выходного параметра  $\bar{y}$  можно считать нормальным. При этом для описания случайных величин, подчиняющихся нормальному закону распределения, достаточно определить их математическое ожидание и дисперсию (или среднее квадратическое отклонение).

Таким образом, анализируя точность выходного параметра функционального узла ЭА, который содержит число ИС и ЭРЭ  $n > 4$ , достаточно определить математическое ожидание выходного параметра  $M(\bar{y})$  и дисперсию  $D(\bar{y})$  или среднее квадратическое отклонение  $\sigma(\bar{y})$ .

Перейдем к анализу точности. Разложим функцию  $y$  выражения (I) в ряд Тейлора в окрестности

$$\Delta q = (\Delta q_1, \Delta q_2, \dots, \Delta q_i, \dots, \Delta q_n)$$

средних (номинальных) значений параметров ЭРЭ  $q_1^0, q_2^0, \dots, q_i^0, \dots, q_n^0$ ,

где  $q_i^0 = M(q_i)$ ,  $\Delta q_i = q_i - M(q_i)$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Величина  $q_i^0$  - номинальное значение параметра  $i$ -го ЭРЭ.

Получим следующее выражение:

$$y = f(q_1^0, q_2^0, \dots, q_n^0) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial q_i} \Big|_{q_i=q_i^0} \cdot \Delta q_i + \\ + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 f}{\partial q_i \partial q_k} \Big|_{q_i=q_i^0; k=\overline{1, n}, k \neq i} \cdot \Delta q_i \cdot \Delta q_k + \dots \\ + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 f}{\partial q_i^2} \Big|_{q_i=q_i^0} \cdot \Delta q_i^2 + \dots \dots \dots (2)$$

Требуемая точность при практических расчетах погрешностей выходных параметров позволяет ограничиться членами разложения второго порядка. Коэффициенты разложения в ряд Тейлора при анализе точности, стоящие перед погрешностями параметров ИС и ЭРЭ, принято называть коэффициентами влияния. При этом различают:

- абсолютные коэффициенты влияния, которые обозначаются и вычисляются по формулам

$$A_i = \frac{\partial f}{\partial q_i} \Big|_{q_i=q_i^0; i=\overline{1, n}} ;$$

$$A_{ik} = \frac{\partial^2 f}{\partial q_i \partial q_k} \Big|_{q_i=q_i^0; k=\overline{1, n}, k \neq i; i=\overline{1, n}} ;$$

$$A_{ii} = \frac{\partial^2 f}{\partial q_i^2} \Big|_{q_i=q_i^0; i=\overline{1, n}} ;$$

- относительные коэффициенты влияния, которые обозначаются и вычисляются согласно следующим аналитическим выражениям:

$$B_i = \frac{\partial f}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{f} \Big|_{q_i=q_i^0; i=\overline{1, n}} ;$$

$$B_{ik} = \frac{\partial^2 f}{\partial q_i \partial q_k} \cdot \frac{q_i q_k}{f^2} \Big|_{q_i = q_i^0; i = \overline{1, n}; q_k = q_k^0; k = \overline{1, n}, k \neq i}$$

$$B_{ii} = \frac{\partial^2 f}{\partial q_i^2} \cdot \frac{q_i^2}{f^2} \Big|_{q_i = q_i^0, i = \overline{1, n}}$$

Коэффициенты влияния (абсолютный и относительный) определяют степень влияния параметра ЭРЭ на выходную характеристику — чем больше численное значение коэффициента влияния, тем сильнее его влияние на выходной параметр ЭА.

Будем полагать, что отклонения  $\Delta q_i (i = \overline{1, n})$  являются случайными из-за стохастического характера изменения параметров  $\tilde{q}_i (i = \overline{1, n})$ , т.е.

$$\left. \begin{aligned} \Delta \tilde{q}_i &= \tilde{q}_i - M(\tilde{q}_i), \\ M(\Delta \tilde{q}_i) &= 0; D(\Delta \tilde{q}_i) = D(\tilde{q}_i), \\ M(\Delta \tilde{q}_i \Delta \tilde{q}_k) &= R_{ik} \cdot \sigma(\tilde{q}_i) \cdot \sigma(\tilde{q}_k). \end{aligned} \right\} (3)$$

Используя свойства математического ожидания случайных величин, на основании зависимости (2) и соотношений (3) определим численную вероятностную характеристику меры положения выходного параметра:

$$M(\tilde{y}) = f(q_1^0, q_2^0, \dots, q_n^0) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n A_{ik} R_{ik} \sigma(\tilde{q}_i) \sigma(\tilde{q}_k) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n A_{ii} D(\tilde{q}_i). (4)$$

Проанализируем это выражение. Первый член формулы (4) представляет собой значение выходного параметра ЭА при номинальных значениях параметров ИС и ЭРЭ. Второй член является уточнением значения  $M(\tilde{y})$ , обусловленным корреляцией параметров ЭРЭ ( $R_{ik}$ ).

Наличие нелинейности исходного выражения выходного параметра как функции параметров ЭРЭ (1) учитывается с помощью третьего члена выражения (4).

Определим меру рассеивания выходного параметра  $\tilde{y}$ , т.е. вычислим дисперсию выходного параметра  $D(\tilde{y})$ .

Используя свойства дисперсии случайных величин и учитывая

только линейные члены разложения, получим

$$D(\tilde{y}) = \sum_{i=1}^n A_i^2 D(\tilde{q}_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1, k \neq i}^n A_i A_k R_{ik} \sigma(\tilde{q}_i) \sigma(\tilde{q}_k). (5)$$

На практике часто используют допуск на параметры комплектующих ЭРЭ и выходной параметр, который обозначается символом  $\sigma$ . Для нормальных законов распределения в случае 100%-ного выхода годных изделий ЭА связь между допуском и средним квадратическим отклонением определяется как  $\sigma = \pm 3\sigma$ .

Численные вероятностные характеристики, определенные согласно (4) и (5), являются количественными оценками случайной величины, в качестве которой используется выходной параметр исследуемого функционального узла ЭА при анализе точности.

Таким образом, определены мера положения и мера рассеивания выходного параметра исследуемого функционального узла ЭА, что является результатом анализа точности. Используя полученные численные вероятностные характеристики, можно, кроме того, рассчитать показатель серийнопригодности, определяемый как вероятность того, что выходной параметр  $\tilde{y}$  укладывается в заданные пределы поля допуска  $y_{min}$  и  $y_{max}$ , по формуле

$$P(y_{min} \leq \tilde{y} \leq y_{max}) = \Phi\left(\frac{y_{max} - M(\tilde{y})}{\sigma(\tilde{y})}\right) - \Phi\left(\frac{y_{min} - M(\tilde{y})}{\sigma(\tilde{y})}\right),$$

где  $\Phi$  — интеграл вероятности.

Структурная схема обобщенного алгоритма анализа точности функциональных узлов ЭА представлена на рис. 1.

## П. Лабораторный стенд

Лабораторный стенд состоит из макета исследуемого функционального узла ЭА, генератора сигналов ГЗ-ЗСА и контрольно-измерительного прибора (осциллограф-мультиметр СИ-112).

Макет представляет собой законченный узел, принципиальная схема и математическая модель которого приведены на лицевой панели. Генератор сигнала подключается к входным, а измерительный прибор — к выходным клеммам макета. Задание допусков на параметры ИС и ЭРЭ осуществляется дискретно соответствующими переключателями, расположенными на боковой панели макета, согласно приведенному производственному ряду погрешностей, нанесенному на панели. Значение и форма исследуемого параметра определяются по показаниям измерительного прибора.

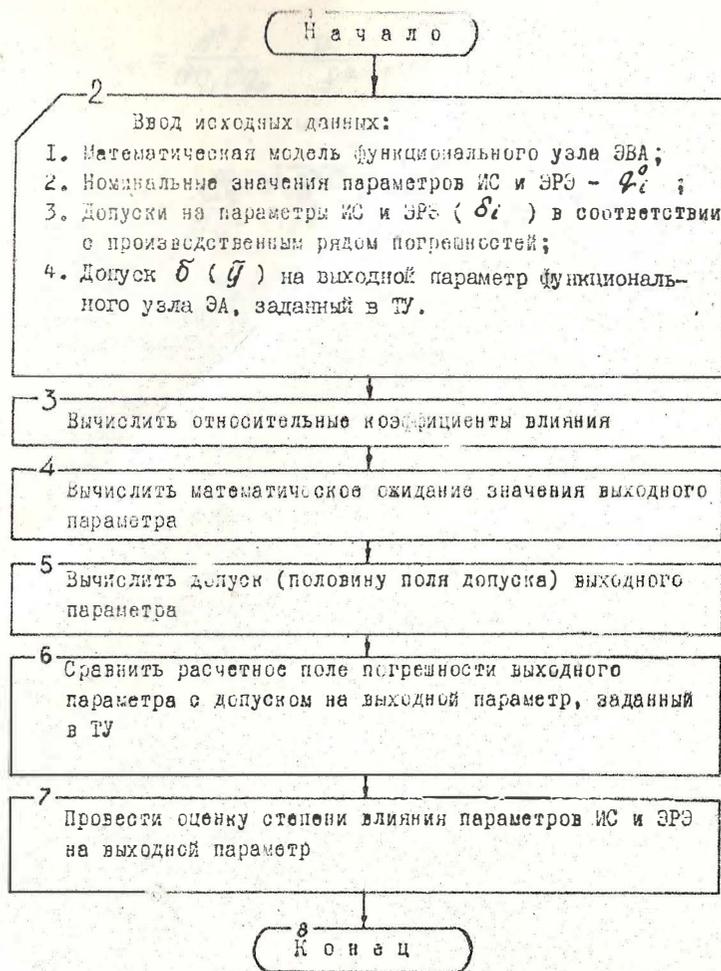


Рис. 1. Обобщенный алгоритм анализа точности функциональных узлов ЭА

### III. Вычисление на ЭВМ

Для исследования степени влияния параметров ИС и ЭРЭ на выходной параметр исследуемого функционального узла ЭА используются ЭВМ "Электроника-6С" и ДВК, предназначенные для обработки информации в системах управления технологическими процессами, в составе испытательного и контрольно-измерительного оборудования, для научно-технических и экономических расчетов.

В приложении приведена программа анализа точности выходных параметров ЭА. Программа реализована в диалоговом режиме с выводом результатов на экран дисплея и на печатающее устройство. Позволяет производить расчет допуска на выходной параметр функционального узла  $\delta(\bar{y})_{расч.}$ , коэффициентов влияния  $A_i$  и  $B_i$ , для ИС и ЭРЭ, а также определить численные вероятностные характеристики выходного параметра ЭА  $M(\bar{y})$  и  $D(\bar{y})$ .

### IV. Порядок выполнения работы

1. Изучить инструкции по эксплуатации генератора сигналов, контрольно-измерительного прибора и ЭВМ.
2. Провести на ЭВМ исследование степени влияния параметров ИС и ЭРЭ на выходной параметр исследуемого функционального узла ЭА, введя исходные данные: математическую модель узла, номинальные значения параметров комплектующих ИС и ЭРЭ  $q_i^0$ , допуски на параметры этих элементов  $\delta_i$ .
3. Вычислить на ЭВМ математическое ожидание выходного параметра  $M(\bar{y})$  и  $\delta(\bar{y})$  для произвольного сочетания любых погрешностей параметров ИС и ЭРЭ, используя при этом производственный ряд погрешностей:  $\pm 0,05\%$ ,  $\pm 0,10\%$ ,  $\pm 0,25\%$ ,  $\pm 0,5\%$ ,  $\pm 1\%$ ,  $\pm 2\%$ ,  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ ,  $\pm 30\%$ . Оценить для каждого  $i$ -го ИС и ЭРЭ степень его влияния на выходной параметр. Для этого задать допуск на выходной параметр  $\delta(\bar{y})_{зад.}$  относительно  $M(\bar{y})$  (задается преподавателем) и последовательно все значения допусков из производственного ряда погрешностей параметров ИС и ЭРЭ (допуски задаются, начиная с  $\pm 30\%$  в сторону ужесточения) до выполнения соотношения

$$\delta(\bar{y})_{зад.} \geq \delta(\bar{y})_{расч. ЭВМ},$$

где  $\delta(\bar{y})_{расч. ЭВМ}$  - допуск на выходной параметр, вычисленный на ЭВМ. При этом параметры остальных ИС и ЭРЭ (кроме  $i$ -го исследуемого) должны иметь допуск  $\pm 10\%$ .

4. Выполнить п. 3 для всех исследуемых комплектующих ИС и ЭРЭ.

5. Построить в одной системе координат графики зависимости  $\delta(\varphi)_{расч.эвм} = f[\delta(\varphi_i)]$  для каждого комплектующего элемента (рис. 2).

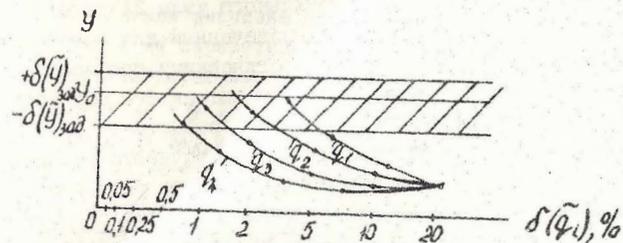


Рис. 2. Семейство графиков  $\delta(\varphi)_{расч.эвм} = f[\delta(\varphi_i)]$  для комплектующих ИС и ЭРЭ

6. Провести анализ полученных результатов и графиков, установить степень влияния параметров ИС и ЭРЭ на выходной параметр исследуемого функционального узла ЭА.

7. Вычислять, используя формулы (2,3), коэффициенты влияния для всех исследуемых ИС и ЭРЭ. Установить эффективность влияния параметров этих элементов на выходной параметр, анализируя численные значения вычисленных коэффициентов влияния.

8. Сравнить результаты, полученные согласно п. 7, с результатами, полученными в пп. 4, 6.

9. Подготовить лабораторный стенд к работе и включить питание.

10. Провести на лабораторном стенде экспериментальное исследование влияния параметров комплектующих ИС и ЭРЭ на выходной параметр. Для этого на вход исследуемого функционального узла ЭА подать входной сигнал (напряжение синусоидальной формы с амплитудой 0,3-30 мВ и частотой 100 Гц - 100 кГц), на выходе узла контрольно-измерительным прибором контролировать форму (режим 1 - осциллограф) и параметр (режим 2 - мультиметр) выходного сигнала.

11. Переключателями на боковой панели макета последовательно задавать для любого  $i$ -го комплектующего элемента значения его параметра и допуска на последний из производственного ряда погрешностей параметров ИС и ЭРЭ (допуски задаются, начи-

12

ная с +30% в сторону уместочения) до выполнения соотношения  $\delta(\varphi)_{зад} \geq \delta(\varphi)_{расч.эвм}$  здесь  $\delta(\varphi)_{расч.эвм}$  - допуск на выходной параметр, замеренный контрольно-измерительным прибором. При этом параметры остальных ИС и ЭРЭ (кроме  $i$ -го исследуемого) должны иметь допуск  $\pm 10\%$ .

12. Выполнить п. 11 для всех исследуемых комплектующих ИС и ЭРЭ.

13. Построить в той же системе координат (см. п. 5) графики зависимости  $\delta(\varphi)_{расч.эвм} = f[\delta(\varphi_i)]$  для каждого комплектующего элемента (см. рис. 2).

14. Сравнить результаты анализа точности, полученные экспериментально и с помощью ЭВМ, и сделать выводы.

15. Экспериментально исследовать возможность достижения заданной точности выходного параметра функционального узла ЭА с учетом полученных коэффициентов влияния. Для этого по результатам выполнения пп. 2+8 подбором различных сочетаний допусков на параметры ИС и ЭРЭ (с помощью переключателей на боковой панели макета) обеспечить выполнение соотношения:  $\delta(\varphi)_{зад} \geq \delta(\varphi)_{расч.эвм}$ . Провести анализ полученных результатов и сделать выводы.

16. Выключить лабораторный стенд.

17. Оформить отчет по лабораторной работе.

#### Содержание отчета

1. Основные задачи и цели анализа точности выходных параметров ЭА.

2. Электрическая принципиальная схема исследуемого функционального узла, структурная схема лабораторного стенда.

3. Распечатка результатов исследования на ЭВМ.

4. Результаты расчета коэффициентов влияния, графики  $\delta(\varphi)_{расч.эвм} = f[\delta(\varphi_i)]$ .

5. Результаты исследования возможностей достижения заданной точности выходного параметра функционального узла ЭА.

6. Анализ результатов и выводы по проведенному исследованию.

#### VI. Контрольные вопросы

1. Каковы основные задачи и цели анализа точности выходных параметров функциональных узлов ЭА?

13

2. В чем сущность аналитического вероятностного метода анализа точности?

3. Какова методика анализа точности выходных параметров ЭА?

4. Что такое коэффициент влияния и как он определяется?

5. Что такое показатель серийнопригодности и как он рассчитывается?

6. Оцените возможность практического использования изученной методики.

## Работа № 2

### ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ ЭА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Цель работы – исследовать влияние внезапных отказов типа "обрыв" и "короткое замыкание" ИС и ЭЭ и их соединений на выходные характеристики; найти места и причины возникших неисправностей функциональных узлов ЭА; оценить достоверность результатов диагностирования.

В процессе работы студенты знакомятся с основными видами, задачами и методами технического контроля и диагностирования, правилами составления и анализа таблиц истинности (ТИ) и неисправностей (ТН), методикой осуществления аппаратного способа функционального диагностирования с использованием физических моделей функциональных узлов ЭА, методикой оценки достоверности результатов и использованием ЭВМ для решения этих задач.

#### Задание

1. Изучить основные задачи, виды и методы технического контроля и диагностирования функциональных узлов ЭА.

2. Ознакомиться с устройством лабораторного стенда, работой ЭВМ "Электроника-60" и ДБК.

3. Ознакомиться с правилами составления и анализа ТИ и ТН.

4. Собрать систему диагностирования, исследовать влияние отказов типа "обрыв" и "короткое замыкание" ИС и ЭЭ и их соединений на выходные характеристики функциональных узлов ЭА и заполнить ТИ и ТН.

5. Определить места и причины одиночных и кратных неисправностей.

6. Оценить достоверность полученных результатов диагностирования.

7. Составить отчет по лабораторной работе.

8. Ответить на контрольные вопросы.

#### 1. Теоретическая часть

Достижение высоких эксплуатационных показателей функциональных узлов и устройств ЭА во многом определяется методами и средствами технического контроля и диагностирования в процессе их изготовления. Контроль и испытание составляют 25% от всех работ, а затраты на эти процессы – 4-30% от всех затрат на производство. В процессе изготовления ЭА различают следующие виды контроля: входной комплектующих изделий, операционный, в процессе регулировки и настройки, а также в процессе приемо-сдаточных испытаний. Согласно ГОСТ 16504-81, под техническим контролем понимают проверку соответствия объекта установленным техническим требованиям. Сущность всякого контроля сводится к осуществлению двух основных этапов:

– получение информации о фактическом состоянии объекта, признаках и показателях его свойств;

– сопоставление полученной информации с заранее установленными требованиями, т.е. обнаружение соответствия или несоответствия фактических данных требуемым (ожидаемым).

Различают контроль по объектам, целям, признаку охвата, срокам проведения и т.д. К контролю по объекту относится проверка количественных и качественных характеристик изделия, а также контроль режимов, условий и параметров технологических процессов. По целям контроль подразделяется на следующие виды: входной – проверка комплектующих изделий для производства ЭА; операционный – проверка изделия во время выполнения или после завершения определенной технологической операции; приемочный – проверка готового изделия, при которой принимается решение о его пригодности или непригодности.

По признаку охвата контроль делят на сплошной, при котором решение о качестве контролируемого изделия принимается по результатам проверки каждого изделия, и выборочный, при котором решение о качестве контролируемой партии изделий принимается по результатам проверки одной или нескольких выборок из этой партии. По срокам проведения различают летучий контроль (в случай-

ные моменты времени), периодический (через определенные интервалы) и непрерывный.

К основным задачам контроля относятся: определение технического состояния изделия ЭА в текущий и прогнозирование этого состояния в будущий моменты времени; принятие решения о пригодности изделия ЭА к выполнению своих функций; определение места и причин неисправностей; получение исходных данных для анализа влияния условий эксплуатации и технологии производства на качество функционирования. Эти задачи решаются системами контроля с различной степенью полноты, заданной достоверностью и точностью результатов контроля.

Важнейшей задачей контроля является техническое диагностирование, что представляет собой процесс определения технического состояния объекта диагностирования с заданной точностью, при этом результатом диагностирования является заключение о техническом состоянии объекта с указанием места, вида и причин неисправностей (ГОСТ 20911-75). Возможные неисправности разделяют на неисправности комплектующего элемента, определяемые как недопустимые количественные изменения какого-либо параметра вследствие необратимых физико-химических изменений, и неисправности параметров или изменений структурных связей в объекте. Различают также функционально проявляемые неисправности, при которых функционирование объекта с неисправностью отличается от функционирования исправного объекта, и соответственно функционально не проявляемые неисправности.

Неисправности комплектующих элементов делятся на первичные и вторичные. Первичные - это дефекты, которые элемент имеет при поступлении на сборку (составляют для ИС 1-5%, для транзисторов 0,7-2%, для диодов 0,2-1%, для конденсаторов 0,1-1%); вторичные связаны с отказами элементов в процессе производства и эксплуатации (некачественное соединение ИС - более 50% всех отказов). Отказы, обуславливающие неисправности в функциональных узлах ЭА, делятся на внезапные, постепенные и перемежающиеся. Внезапные отказы составляют для стационарной 50-70%, а для бортовой ЭА - 80-90% всех отказов. Среди них наиболее распространены короткие замыкания конденсаторов,  $p-n$ -переходов транзисторов, контактов электромагнитных реле, обрывы резисторов, контактов разъемов и электрических соединений ИС. Постоянные и пе-

ремежающиеся отказы составляет около 10-20%. При этом неисправности ЭА примерно поровну распределяются между этапами разработки (главное - неправильное применение ИС и ЭРЭ) 55-60% и производства 40-45% (главное - некачественное выполнение сборочных операций). При реализации операций диагностирования тратится от 50 до 70% времени на поиск места неисправности и только 30-50% - на устранение причин повреждений и замену отказывающих ИС и ЭРЭ.

Диагностирование технического состояния ЭА осуществляется при помощи средств диагностирования, а поиск неисправностей может быть выполнен программным способом, аппаратным и их комбинацией. Программные способы осуществляются при выполнении ЭА рабочей программы или при реализации специальных контрольных (тестовых) программ. При выборе рабочих программ стремятся к возможно более полному охвату функциональных узлов ЭА. Аппаратурные способы проверки могут быть реализованы встроенными и внешними техническими средствами.

Взаимодействующие между собой объект и средства диагностирования образуют систему технического диагностирования (рис. 3).

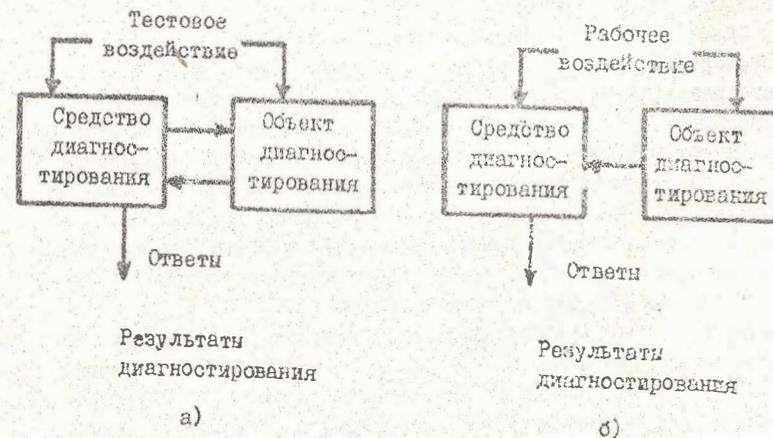


Рис. 3. Системы тестового (а) и функционального (б) диагностирования технического состояния ЭА

В системе тестового диагностирования на объект подаются специально организованные тестовые воздействия от средств диагностирования (рис. 3 а); в системе функционального диагностирования

на объект поступают только рабочие воздействия, измерения и анализ откликов объекта на которые осуществляется средствами диагностирования (рис. 3 б). Результатами поиска неисправностей являются разбиение на классы различных и неразличимых между собой неисправных состояний и определение соответствующих им признаков (построение идентификатора неисправностей). Описание процесса диагностирования (алгоритм диагностирования) представляет собой безусловную или условную последовательность элементарных проверок и правил анализа результатов. Для возможности формализации построения алгоритмов диагностирования анализу подвергается не сам объект, а его физическая или математическая модель как в исправном, так и в неисправном состоянии. Анализ результатов проводится на основе диагностической информации, объем и формы представления которой зависят от методов поиска неисправностей. Наиболее распространенной формой представления такой информации является ТН. Каждый столбец ТН описывает поведение объекта при заданной неисправности, соответствующей этому столбцу; каждая строка ТН определяет множество неисправностей объекта, проверяемых на входном наборе, соответствующем этой строке. Обобщенный алгоритм технического диагностирования ЭА представлен на рис. 4.

Одной из основных характеристик систем диагноза является достоверность контроля и диагностирования, т.е. меры определенности результатов диагноза. При выборе количественной меры достоверности руководствуются тем, что достоверность результатов зависит от объема и точности измерения параметров и позволяет решить обратную задачу - определить объем контроля и диагностирования ЭА, необходимую точность измерения параметров по заданной достоверности. Поскольку качество решений оценивается вероятностями ошибок, то следует построить достоверность результатов как функцию вероятностей ошибок.

Параметры контроля и диагностирования функциональных узлов ЭА являются случайными величинами  $X$  с плотностью распределения  $f(x)$ . Если диагностирование осуществлять идеальной системой диагностирования и определить область  $a-b$  существования параметра  $X$ , т.е.

$$a \leq x \leq b, \quad (6)$$

то функциональный узел ЭА считается работоспособным. Однако в реальном процессе неизбежно появляются ошибки, в результате

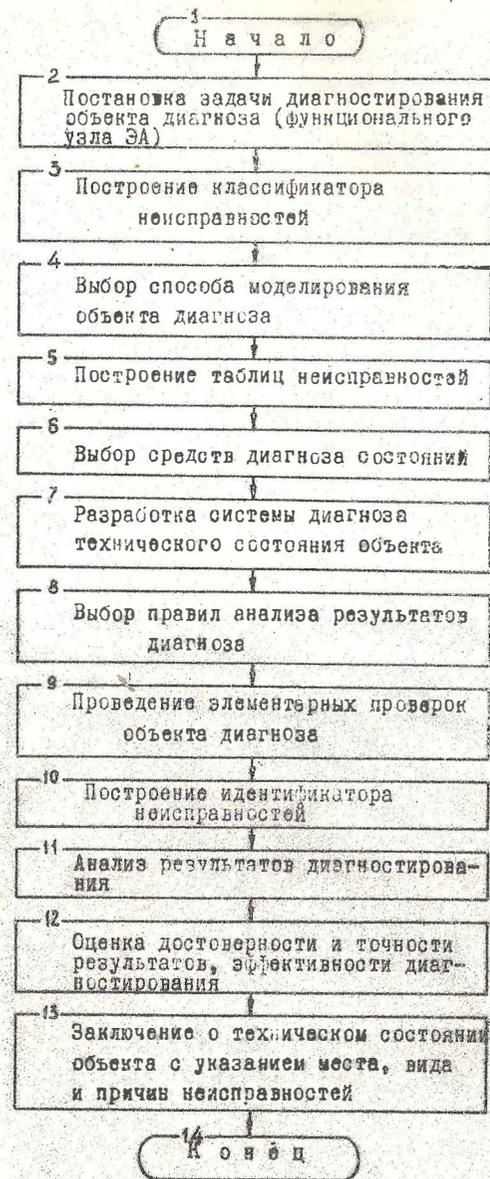


Рис. 4. Обобщенный алгоритм технического диагностирования функциональных узлов ЭА

торых истинное значение случайной величины  $x$  реализуется случайной величиной  $Z = x + y$ , где  $y$  - случайная ошибка контроля. Это приводит к замене условия (6) условием вида

$$a' \leq Z \leq b' \quad (7)$$

Здесь  $a'-b'$  - допустимая область значений случайной величины  $x$ , не совпадающая с областью  $a-b$ . Замена условия (6) условием (7) приводит к ошибочным решениям, в результате которых часть работоспособных функциональных узлов ЭА бракуется, а отказавшие узлы рассматриваются как работоспособные. В соответствии с условием (7) с состоянием ЭА могут быть высказаны две взаимноисключающие гипотезы:  $H_0$  - функциональный узел работоспособен и  $H_0$  - функциональный узел отказал.

При реальном процессе контроля может происходить одно из четырех несовместных событий (рис. 5):  $H_1$  - истинное значение параметра в пределах допуска и его измеренное значение также в пределах допуска ( $a \leq x \leq b$ ;  $a' \leq Z \leq b'$ );  $H_2$  - истинное значение параметра в пределах допуска, измеренное значение - за его пределами ( $a \leq x \leq b$ ;  $Z > b'$  или  $Z < a'$ );  $H_3$  - истинное значение параметра за пределами допуска, измеренное его значение - в пределах допуска ( $x < a$  или  $x > b$ ;  $a' \leq Z \leq b'$ );  $H_4$  - истинное значение параметра за пределами допуска и измеренное его значение также за пределами допуска ( $x > b$  или  $x < a$ ;  $Z > b'$  или  $Z < a'$ ).

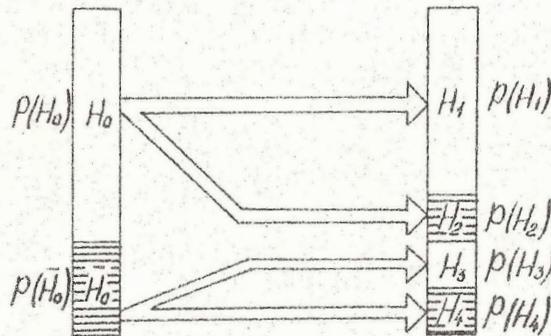


Рис. 5. Принятие решений в процессе контроля и диагностирования

События  $H_1$  и  $H_4$  соответствуют правильным решениям, принятым по результатам диагностирования, а события  $H_2$  и  $H_3$  - ошибочным. Ошибки, соответствующие событиям  $H_2$  и  $H_3$ , называют ошибками 1-го рода (риск поставщика  $\alpha$ ) и 2-го рода (риск заказчика  $\beta$ ).

Для характеристики качества контроля и диагностирования используют вероятность правильного решения

$$D = P(H_1) + P(H_4) = 1 - P(H_2) - P(H_3), \quad (8)$$

где  $P(H_i)$  - вероятность события  $H_i$ ;  $D$  - достоверность результатов.

Достоверность решения  $D_{\text{годн}}$  - функциональный узел годен и  $D_{\text{негодн}}$  - функциональный узел не годен - оценивается соотношениями:

$$D_{\text{годн}} = \frac{P(H_1)}{P(H_1) + P(H_3)}; \quad D_{\text{негодн}} = \frac{P(H_4)}{P(H_2) + P(H_4)} \quad (9)$$

Совокупность показателей достоверности (8) и (9) обеспечивает оценку качества контроля и диагностирования. Чем выше значения показателей  $D_{\text{годн}}$  и  $D_{\text{негодн}}$ , тем выше качество контроля и диагностирования. Исходной информацией для решения этой задачи являются:  $f(x)$  - плотность распределения контролируемого параметра ЭА и  $f(y)$  - плотность распределения случайных ошибок в оценке показателя качества (характеристика системы диагноза).

Задаваясь допуском на выходной параметр диагностируемого узла ( $a, b$ ), получают следующие ненормированные законы распределения как результат сложения функций плотности распределения  $f(x)$  и  $f(y)$  на границах  $a$  и  $b$  (рис. 6):

- закон распределения для функциональных узлов ЭА, численные значения выходных параметров которых находятся ниже области допустимых значений,

$$\psi_1(x) = f(x) \int_{-\infty}^{a-x} f(y) dy;$$

- закон распределения для узлов, численные значения выходных параметров которых находятся в поле допуска,

$$\psi_2(x) = f(x) \int_{a-x}^{b-x} f(y) dy;$$

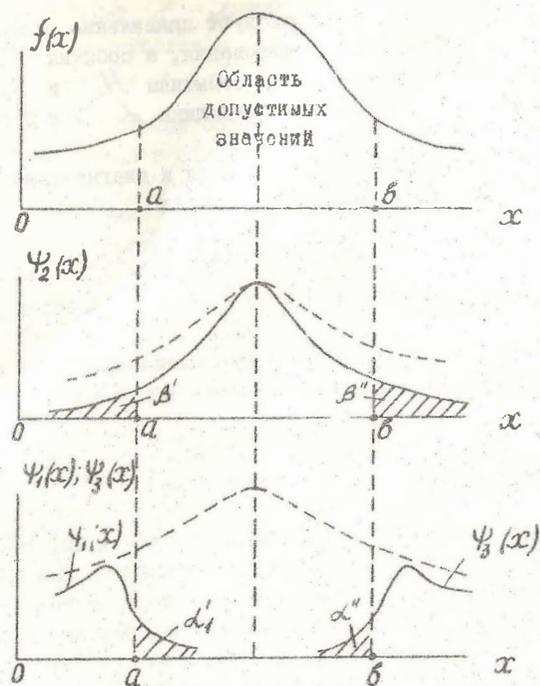


Рис. 6. Распределение выходного параметра разделенных частей функционального узла ЭА

- закон распределения для узлов, численные значения выходных параметров которых находятся выше области допустимых значений

$$\Psi_3(x) = f(x) \int_{b-x}^{+\infty} f(y) dy$$

По законам распределения  $\Psi_1(x)$ ,  $\Psi_2(x)$  и  $\Psi_3(x)$  вычисляются вероятности различных ситуаций при диагностировании:

$$\left. \begin{aligned} P(H_1) &= \int_a^b \Psi_2(x) dx, \\ \lambda = \lambda' + \lambda'' = P(H_2) &= \int_a^b \Psi_1(x) dx + \int_a^b \Psi_3(x) dx, \\ \beta = \beta' + \beta'' = P(H_3) &= \int_{-\infty}^a \Psi_2(x) dx + \int_b^{+\infty} \Psi_2(x) dx, \\ P(H_4) &= \int_{-\infty}^a \Psi_1(x) dx + \int_b^{+\infty} \Psi_3(x) dx. \end{aligned} \right\} (10)$$

## II. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд состоит из макета исследуемого функционального узла ЭА, генератора сигналов ГЗ-36А и контрольно-измерительного прибора (осциллограф-мультиметр СИ-112).

Макет представляет собой законченный узел, принципиальная схема которого с указанием вида и места неисправности и контрольных точек приведена на лицевой панели. Генератор сигналов подключается к выходным клеммам макета, измерительный прибор - к контрольным точкам исследуемого узла. Задание неисправностей осуществляется переключением тумблеров "Неисправность" на лицевой панели из положения "0" в положение "1". Значение и форма исследуемого параметра определяется по показаниям измерительного прибора.

## III. Анализ результатов на ЭВМ

Для анализа достоверности полученных результатов используется ЭВМ "Электроника-60" и ДВК. В приложении приведена программа оценки достоверности результатов контроля и диагностирования функциональных узлов ЭА. Программа реализована в диалоговом режиме с выводом результатов на экран дисплея и на печатающее устройство. Позволяет построить функцию распределения выходного параметра  $f(x)$ , провести расчет его математического ожидания  $M(x)$  и среднего квадратического отклонения  $\sigma(x)$ , а также вычислить показатели достоверности результатов контроля и диагностирования  $D, D_{0.95}, D_{0.99}$ .

#### IV. Порядок выполнения работ

1. Изучить инструкцию по эксплуатации генератора сигналов, контрольно-измерительного прибора и ЭВМ.
2. Подготовить лабораторный стенд к работе и включить питание.
3. Установить все тумблеры "Неисправность" макета в нулевое положение.
4. Подать на вход исследуемого функционального узла ЭА входной сигнал (напряжение синусоидальной формы с амплитудой 4-5 В и частотой 400 Гц - 100 кГц).
5. Проконтролировать контрольно-измерительным прибором форму (режим 1 - осциллограф) и уровни (режим 2 - мультиметр) сигналов в каждой контрольной точке исследуемого узла и результаты контроля занести в табл. 1.

Таблица 1

Таблица истинности

Контролируемый сигнал (уровень/форма)	Номер контрольной точки узла ЭА												
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

6. Задать неисправность в исследуемом узле ЭА. Для этого тумблер "Неисправность I" макета перевести в положение "I".
7. Проконтролировать форму и уровни сигналов в каждой контрольной точке исследуемого узла и результаты контроля занести в табл. 2.

Таблица 2

Таблица неисправностей

Номер контрольной точки функционального узла ЭА	Номер неисправности и ее вид												
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

8. Устранить введенную неисправность, переведя тумблер "Неисправность I" макета в положение "0".

9. Последовательно задавать возможные неисправности (включение соответствующих тумблеров "Неисправность") и выполнять процесс контроля и диагностирования аналогично п. 6-8.

10. Анализируя табл. 1 и 2, выбрать характерные контрольные точки в исследуемом узле для каждой неисправности.

11. Провести поиск неисправностей в функциональном узле ЭА (неисправности задаются преподавателем), используя данные табл. 1 и 2.

12. Аналогично п. 9 проанализировать кратные неисправности (неисправности задаются преподавателем).

13. Проанализировать достоверность результатов на ЭВМ, введя исходные данные из табл. 1 и 2:  $X = \{x_i\}$ ,  $i = 1, n$ ,  $n_{\text{итер}} = 100$ . ЭВМ строит  $f(x)$  и вычисляет математическое ожидание  $M(x)$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma(x)$ .

14. Вычислить на ЭВМ и построить  $f(y)$ , введя  $M_1 = M(x) - k\sigma(x)$  и  $M_2 = M(x) + k\sigma(x)$ . Коэффициенты  $k$  задаются преподавателем.

15. Построить функции распределения:

$$\psi_1(x) = f(x) \cdot f(y) \quad \text{на интервале } -\infty < x \leq M_1 + 3\sigma;$$

$$\psi_2(x) = f(x) \cdot f(y) \quad \text{на интервале } M_1(x) - 3\sigma \leq x \leq M_1(x) + 3\sigma;$$

$$\text{приняв } f(x) = f(y);$$

$$\psi_3(x) = f(x) \cdot f(y) \quad \text{на интервале } M_2 - 3\sigma \leq x < +\infty$$

16. Вычислить на ЭВМ показатели достоверности  $D, D_{до}, D_{не},$  задав нижнюю  $\alpha = M - 2,5\sigma(x)$  и верхнюю  $\beta = M + 2,5\sigma(x)$  границы допуска случайной величины.

17. Исследовать на ЭВМ влияние параметров системы диагноза на достоверность результатов контроля и диагностирования (по рекомендации преподавателя варьируются значения  $\sigma, M_1, M_2$ ).

18. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

19. Выключить питание лабораторного стенда.

20. Оформить отчет по лабораторной работе.

## V. Содержание отчета

1. Основные задачи, решаемые техническим контролем и диагностированием.

2. Электрическая принципиальная схема исследуемого функционального узла с указанием мест неисправностей и расположения контрольных точек, структурная схема системы диагностирования.

3. ТИ и ТН с результатами исследований для одиночных и кратных неисправностей.

4. Результаты оценки достоверности результатов диагностирования.

5. Анализ результатов и выводы по проведенному исследованию.

## VI. Контрольные вопросы

1. Какие задачи решаются при техническом контроле и диагностировании функциональных узлов ЭА?

2. Какие виды отказов характерны для узлов ЭА в процессе их производства и эксплуатации? Какова их доля в общем количестве отказов ЭА различного назначения?

3. Какие виды систем диагностирования Вы знаете?

4. Как используются ТИ и ТН при диагностировании ЭА?

5. Какова методика диагностирования функциональных узлов и устройств ЭА с использованием физических моделей?

6. Как оценивается достоверность результатов диагностирования?

7. Оцените возможность практического использования изученной методики.

## Работа № 3

### ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВА КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ ЭА

Цель работы — оптимизировать количество контрольных точек (КТ) функциональных узлов ЭА, позволяющих полностью идентифицировать возможные неисправности с указанием их места и причины; исследовать влияние чувствительности средства диагноза на количество КТ и предельную глубину диагностирования.

В процессе работы студенты знакомятся с задачами техничес-

кого диагностирования, этапами обеспечения контролепригодности узлов ЭА, математическим обеспечением оптимизации количества КТ, оценкой достигаемой глубины диагностирования, использованием ЭВМ для решения этих задач.

## Задание

1. Изучить задачи, решаемые техническим диагностированием функциональных узлов ЭА, этапы обеспечения контролепригодности ЭА.

2. Ознакомиться с математическим решением задачи выбора и оптимизации количества КТ функциональных узлов ЭА.

3. Ознакомиться с устройством лабораторного стенда, работой ЭВМ "Электроника-60" или ДВК.

4. Собрать систему диагностирования, провести оптимизацию количества КТ.

5. Исследовать влияние чувствительности средств диагностирования  $\mu$  на количество КТ, различимость неисправностей  $\gamma$  и предельную глубину диагностирования  $h$ .

6. Построить графики  $\gamma(\mu)$ ,  $h(\mu)$  и провести анализ полученных результатов.

7. Составить отчет по лабораторной работе.

8. Ответить на контрольные вопросы.

## I. Общие положения

Техническое диагностирование функциональных узлов и устройств ЭА целесообразно начинать в процессе их проектирования. Для этого необходимо учесть способы и средства проверки и наладки ЭА в условиях производства или ремонта, организацию проверки правильности функционирования и поиска неисправностей в условиях ее эксплуатации и хранения. Часто проектирование ЭА осуществляется без учета ее контролепригодности, что является в последующем причиной недопустимо больших затрат на техническое обслуживание, поскольку в общем бюджете времени, отведенного на подготовку ЭА, операции контроля и диагностирования составляют до 90%. Чем на более ранней стадии обнаружена причина неисправности и чем выше достоверность ее установления, тем эффективнее мероприятия по предупреждению отказов ЭА.

Указанную проблему решают путем конструкторско-технологиче-

ческого проектирования контролепригодной ЭА. Контролепригодность – свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля и диагностирования заданными средствами. Обеспечение контролепригодности предусматривает необходимость: 1) аппаратурной (программно-аппаратурной) приспособленности изделия к диагностированию в процессе его производства, эксплуатации и ремонта в соответствии с заданными требованиями к эффективности диагностирования; 2) взаимного согласования характеристик изделия, методов диагностирования и характеристик средств диагноза.

По ГОСТ 23563-79 работы, обеспечивающие контролепригодность ЭА, включают следующие основные этапы:

- формирование требований к контролепригодности аппаратуры;
- разработка конструкторско-технологической документации, необходимой для описания и анализа ЭА как объекта диагностирования;
- выбор математического аппарата моделирования неисправностей и разработка диагностической модели аппаратуры;
- анализ диагностической модели и выбор диагностических параметров;
- выбор количества и места размещения КТ в аппаратуре и их конструктивно-технологическое оформление;
- определение и оценка достигнутого уровня контролепригодности.

Узловым моментом реализации этих этапов является выбор количества и места КТ, которые меняются в зависимости от сложности и назначения ЭА.

При осуществлении процесса технического диагностирования, состоящего из элементарных проверок, каждая из которых характеризуется подачей на объект диагноза тестового или рабочего воздействия, снимаемые с объекта ответы поступают на средство диагноза (см. рис. 3). Ответы могут сниматься как с основных выходов объекта, так и с дополнительных выходов, предназначенных специально для целей диагностирования. Эти основные и дополнительные выходы называют контрольными точками.

КТ – это место расположения первичного источника информации о контролируемом параметре функционального узла и устройства ЭА. КТ может являться частью (элементом) контролируемого объекта или находиться на некотором удалении от него. В ней

обычно размещают датчики, начало вывода от электрической схемы функционального узла к измерительному прибору и т.п. Выбор количества и места КТ в ЭА повышает ее управляемость и наблюдаемость.

Пусть для функционального узла ЭА известны параметры комплектующих элементов, описанные передаточной функцией  $W$ , связи между ними,  $n$  узловых точек и множество входных сигналов  $\{X\}$ . В качестве КТ выберем все  $n$  узловых точек исследуемого узла, для которого по физической или математической модели получены значения выходных характеристик  $Y_n$  в каждой  $n$ -й КТ.

При заданном множестве неисправностей  $\{S\}$  и соответствующем ему множестве признаков  $\{N\}$ , т.е.

$$S_m \in \{S\}, N_m \in \{N\}, \{S\} \leftrightarrow \{N\},$$

где  $m = 1, 2, 3, \dots$  – число возможных неисправностей, функциональный узел может находиться в исправном  $Y_0$  или в одном из  $Y_{sm}$  неисправных состояний, причем

$$\forall Y_{sm}: Y_{sm} \in \{\Omega\} \leftrightarrow Y_{sm} \in \{Y\}, Y_0 \in \{Y\};$$

здесь  $\{Y\}, \{\Omega\}$  – множество возможных и неисправных состояний узла соответственно.

Каждое состояние узла будет характеризоваться своим подмножеством выходных сигналов  $\{Y_n\}$  в каждой  $n$ -й КТ или сигнатурой,

$$\{Y_n\} = \{Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n\} \in \{Y\},$$

$$\text{где } \{Y_1\} = \{Y'_0, Y'_{s1}, Y'_{s2}, \dots, Y'_{sm}\};$$

$$\{Y_2\} = \{Y''_0, Y''_{s1}, Y''_{s2}, \dots, Y''_{sm}\};$$

$$\{Y_n\} = \{Y^n_0, Y^n_{s1}, Y^n_{s2}, \dots, Y^n_{sm}\}.$$

Сформулируем сигнатурную матрицу  $Y$ , каждая строка которой – сигнатура неисправностей или набор значений диагностических признаков (параметров), полученных в результате моделирования соответствующей неисправности:

$$Y = \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ s_j \\ \vdots \\ s_m \end{matrix} \begin{bmatrix} y_0^1 & y_0^2 & \dots & y_0^i & \dots & y_0^n \\ y_1^1 & y_1^2 & \dots & y_1^i & \dots & y_1^n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_j^1 & y_j^2 & \dots & y_j^i & \dots & y_j^n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_m^1 & y_m^2 & \dots & y_m^i & \dots & y_m^n \end{bmatrix}$$

Для анализа сигнатурной матрицы  $Y$  введем функцию чувствительности к неисправности  $U_{s_j}^n$ , определяющую влияние неисправности на уровень выходного сигнала  $Y_n$  в  $n$ -й КТ, т.е.

$$U_{s_j}^n = \frac{\partial Y_n}{\partial S_j} = \left| \frac{y_0^n - y_j^n}{y_0^n} \right|, \quad j = \overline{1, m}.$$

Множество неисправностей  $\{S\}$  порождает множество функций чувствительности к неисправности, т.е.

$$U = \{U_{s_j}^n\}, \quad U_{s_j}^n \in \{U\}, \quad S_j \in \{S\}.$$

Тогда для всех  $U_{s_j}^n$  из  $\{U\}$  сформулируем сигнатурную матрицу  $U$ , каждая строка которой -  $n$ -разрядная сигнатура - характеризует отклонение значений измеряемых параметров от номинальных при соответствующей неисправности  $S_j$ :

$$U = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ s_j \\ \vdots \\ s_m \end{matrix} \begin{bmatrix} u_1^1 & u_1^2 & \dots & u_1^i & \dots & u_1^n \\ u_2^1 & u_2^2 & \dots & u_2^i & \dots & u_2^n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ u_j^1 & u_j^2 & \dots & u_j^i & \dots & u_j^n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ u_m^1 & u_m^2 & \dots & u_m^i & \dots & u_m^n \end{bmatrix}$$

Матрица  $U$  описывает значения физических параметров (напряжений, токов, сопротивлений) в  $n$  КТ для каждой  $S_m$  неисправности, т.е. определяет их признаки  $\{P_m\}$ , под которыми понимаются отклонения контролируемого параметра от нормы при появлении неисправности:

$$\{S\} = \{S_1, S_2, \dots, S_j, \dots, S_m\} \rightarrow \{P\} = \{P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_m\}, \quad (II)$$

$$\text{где } \{P_1\} = \{u_1^1, u_1^2, \dots, u_1^i, \dots, u_1^n\} \rightarrow S_1;$$

$$\{P_2\} = \{u_2^1, u_2^2, \dots, u_2^i, \dots, u_2^n\} \rightarrow S_2;$$

$$\{P_m\} = \{u_{s_m}^1, u_{s_m}^2, \dots, u_{s_m}^i, \dots, u_{s_m}^n\} \rightarrow S_m.$$

Соотношение (II) есть идентификатор (словарь) неисправностей, позволяющий по известному признаку однозначно определить возникшую в функциональном узле ЭА неисправность.

Оптимальное количество КТ  $n_{opt}$  определяется критерием минимума числа точек при минимальных себестоимости  $C$  и длительности  $\tau$  процессов контроля и диагностирования, максимальных различимости (меры чувствительности  $\mu$ ) и глубины диагностирования  $h$ :

$$n_{opt} \rightarrow \min\{n, C, \tau\} \cup \max\{h, \mu\};$$

такое условие оптимизации

$$n_{opt} = \sup\{u_{s_1-s_m}^1, u_{s_1-s_m}^2, \dots, u_{s_1-s_m}^n\} \rightarrow n_{min}$$

при

$$|u_{s_j}^l - u_{s_j}^i| \geq \mu \leq |u_{s_j}^l - u_{s_j}^i|, \quad l = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (I2)$$

где  $\mu$  - мера чувствительности, характеризующая уровень контролируемого параметра, измеренного средствами диагностирования и показывающая возможность измерения двух соседних значений функции чувствительности к неисправности, принадлежащих различным  $S_m$  неисправностям, но измеренных в одной КТ.

Оптимизацию количества КТ функционального узла ЭА целесообразно осуществлять по этапам. На каждом из этапов вводится критерий оптимизации, по которому КТ (координаты) перераспределяются по степени значимости. Для удобства анализа вводятся различные обозначения этих точек на каждом этапе и используется введенный термин КТ-координата.

На первом этапе, анализируя  $n$ -разрядные сигнатуры матрицы  $U$ , сортируем и располагаем  $U_j^n$  в возрастающем порядке по координатам  $n$ , получая упорядоченное множество КТ  $B_n$ :

$$B_i = \{z_i^1 \dots z_m^1\}, \dots, B_n = \{z_i^n \dots z_m^n\},$$

где

$$z_i^1 = \sup\{U_i^1, U_i^2, \dots, U_i^{S_m}\}, \dots, z_i^n = \sup\{U_i^n, U_i^{n-1}, \dots, U_i^{S_m}\};$$

$$z_m^1 = \inf\{U_m^1, U_m^2, \dots, U_m^{S_m}\}, \dots, z_m^n = \inf\{U_m^n, U_m^{n-1}, \dots, U_m^{S_m}\};$$

$$z_i^1 > z_i^2 > \dots > z_i^m, \dots, z_i^n > z_i^{n-1} > \dots > z_i^m;$$

$z_i^j$  - условный номер КТ, в которой  $U_{S_m}^j$  имеет максимальное значение, т. е.  $z_i^1 \rightarrow (U_{S_m}^1)_{max}, z_i^2 \rightarrow (U_{S_m}^2)_{max}, \dots, z_i^n \rightarrow (U_{S_m}^n)_{max}$ .

Теперь, с учетом условия (I2) определяем количество различных неисправностей в каждой точке, т.е. определяем признаки (соседние сигналы), соответствующие неисправностям, которые можно измерить с помощью имеющегося средства диагностирования:

$$K_1, K_2, K_3, \dots, K_n.$$

На втором этапе, перераспределяя КТ, сортируем и располагаем их по максимальному числу различных неисправностей, получая упорядоченное множество КТ  $M$ :

$$M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}, \quad (I3)$$

$$M_1 = \sup\{B_1(K_1), B_2(K_2), \dots, B_n(K_n)\},$$

$$M_n = \inf\{B_1(K_1), B_2(K_2), \dots, B_n(K_n)\},$$

$$M_1 > M_2 > \dots > M_n,$$

где  $M_i$  - условный номер перераспределенной КТ, в которой

$$K = K_{max}, M_2 \rightarrow K = K_{max} - 1, M_n \rightarrow K = K_{min}.$$

Выбираем наиболее информативную координату  $M_1$  и, используя условие (I2), исключаем из анализа по другим координатам ряда (I3) признаки отказов  $\Pi_n$ , определенных по данной координате:

$$\{S_{K_1}^{n_1}\} \cap \{S_{K_2}^{n_2}\} \cap \dots \cap \{S_{K_n}^{n_n}\}.$$

На третьем этапе методом циклического перебора неисправностей по всем координатам с возвратом к наиболее информативным координатам из ряда (I3) с учетом условия (I2) находим минимальную совокупность координат (КТ)  $\Pi_{opt}$ , однозначно определяющих все возможные неисправности  $\Pi_{opt} = \Pi_{min} = n(d)$ , причем индекс КТ указывает на ее место в функциональном узле. Гра-

зе

фическая интерпретация различности неисправностей представлена на рис. 7 а, структурная схема алгоритма оптимизации - на рис. 8.

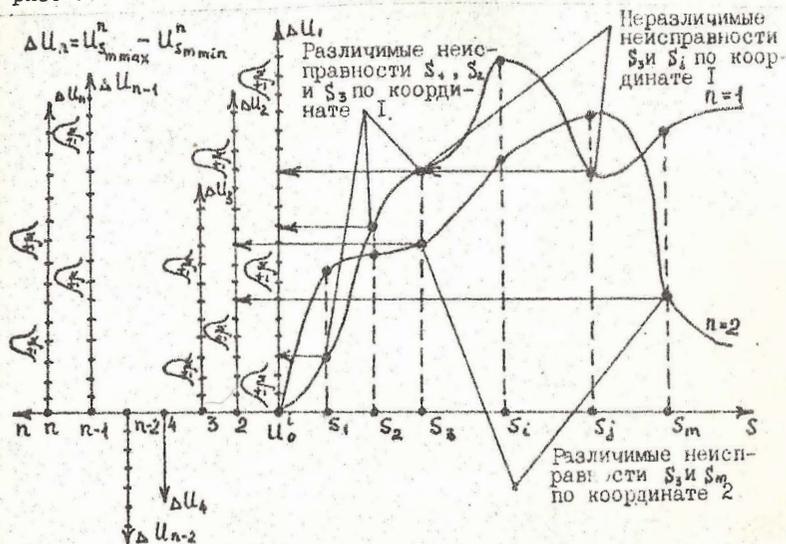


Рис. 7. Анализ различности неисправностей

Эффективность выбора КТ оценивается достигнутой глубиной диагностирования  $L$ , т.е. указанием составной части функционального узла ЭА, с точностью до которых определяется место неисправности. Количественно  $L$  выражается одним из показателей контролепригодности изделий - коэффициентом глубины поиска неисправностей

$$K_{gp} = \frac{F}{R},$$

где  $F$  - число однозначно различных составных частей функционального узла на принятом уровне деления, с точностью до которых определяется место неисправности;  $R$  - общее число составных частей этого узла на принятом уровне деления, с точностью до которых требуется определить место неисправности.

## II. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд состоит из макета и контрольно-измери-

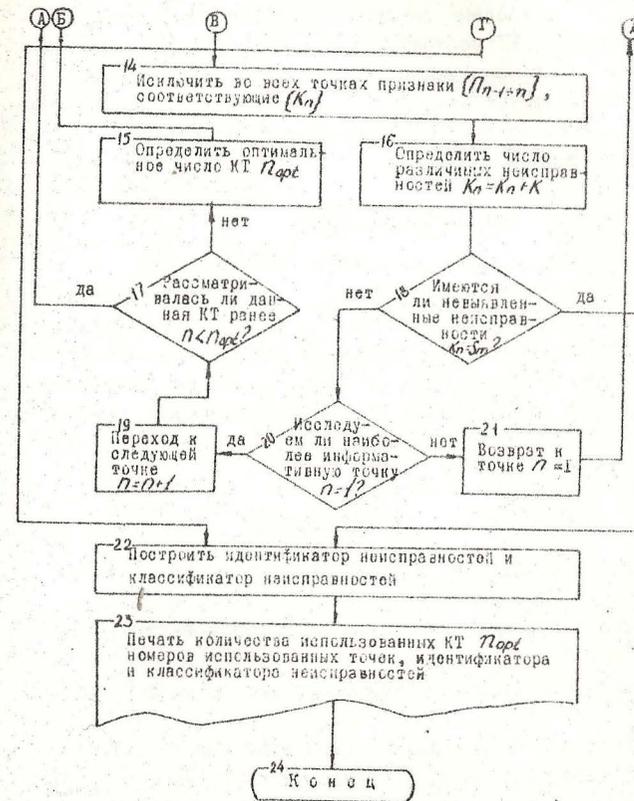
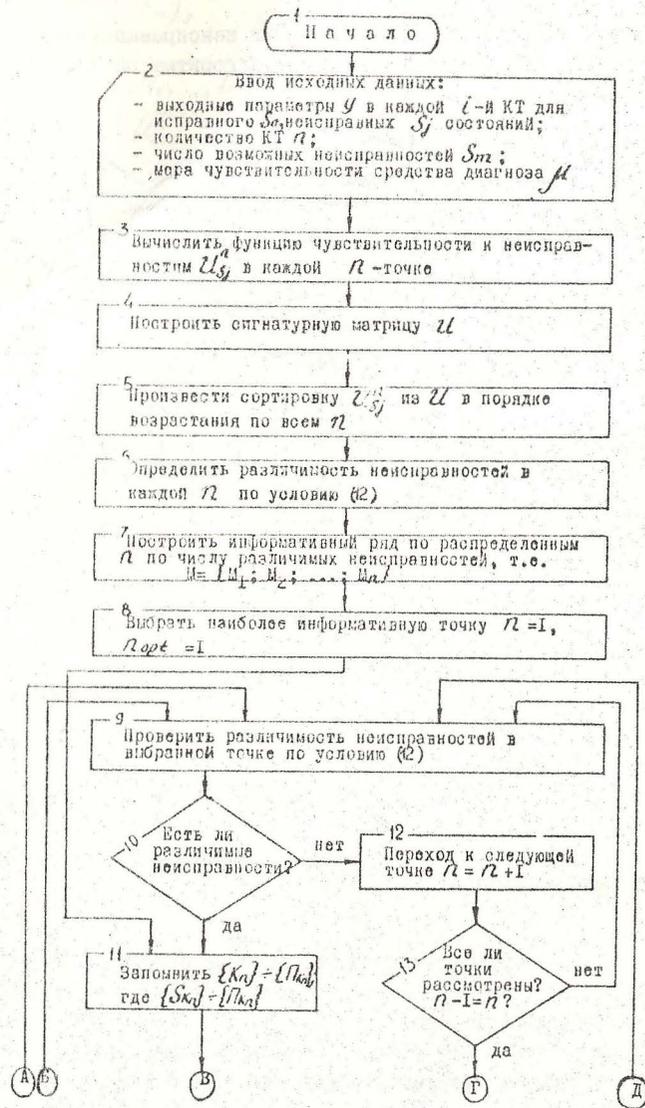


Рис. 8. Алгоритм оптимального выбора количества функциональных узлов ЭА

тельного прибора (осциллограф-мультиметр СИ-112).

Макет представляет собой законченный функциональный узел ЭА, структурная схема которого с указанием вида возможных неисправностей и КТ, приведена на лицевой панели. Измерительный прибор подключается к КТ исследуемого узла и выходным клеммам макета. Задание неисправностей осуществляется переключением тумблеров "Неисправность" на лицевой панели макета в положение "I". Уровень и форма исследуемого параметра определяется по показаниям измерительного прибора.

### III. Вычисление на ЭВМ

Для реализации алгоритма оптимизации количества КТ (см. рис. 8) применяется ЭВМ "Электроника-60" и ДВК. В приложении приведена программа выбора и оптимизации количества контрольных точек функциональных узлов ЭА. Программа реализована в диалоговом режиме с выводом результатов на экран дисплея и на печатающее устройство; позволяет определить оптимальное количество контрольных точек, их место в ЭА, построить классификатор и идентификатор неисправностей.

### IV. Порядок выполнения работы

1. Изучить инструкцию по эксплуатации контрольно-измерительного прибора и ЭВМ.
2. Подготовить лабораторный стенд к работе и включить питание.
3. Установить все тумблеры "Неисправность" макета в положение "0".
4. Измерить контрольно-измерительным прибором (режим - мультиметр) уровни сигналов в каждой КТ исследуемого узла и результаты измерений занести в табл. 3.

Таблица 3

Таблица истинности

Контролируемый сигнал	Номер контрольной точки функционального узла ЭА										
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II

5. Задать неисправность в исследуемом узле ЭА. Для этого тумблер "Неисправность I" макета перевести в положение "I".
6. Измерить уровни сигналов в каждой КТ узла и результаты измерений занести в табл. 4.

Таблица 4

Таблица неисправности

Номер КТ: Функционального узла ЭА	Номер неисправности										
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II

Признаки неисправности

7. Устранить введенную неисправность, переведя тумблер "Неисправность I" макета в положение "0".
8. Последовательно задавать возможные неисправности выключением соответствующих тумблеров "Неисправность" и выполнять процесс контроля и диагностирования аналогично п. 5-7.
9. Приступить к анализу результатов контроля и диагностирования на ЭВМ, введя исходные данные из табл. 3 и 4.
10. Определить оптимальное количество КТ для заданной меры чувствительности (задается преподавателем).
11. Определить достигнутую глубину диагностирования.
12. Исследовать влияние чувствительности средств диагностирования на количество КТ и предельную глубину диагностирования  $k$ .
13. На основе полученных результатов построить графики  $k_{(m)}$  и  $k_{(n)}$ . Число различных неисправностей  $J$  определяется ЭВМ при реализации алгоритма оптимизации КТ.
14. Найти возможные неисправности функционального узла ЭА, используя полученную совокупность КТ (повторить п. 10 для выбранных КТ).
15. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.
16. Выключить питание лабораторного стенда.
17. Оформить отчет по лабораторной работе.

### V. Содержание отчета

1. Задачи, решаемые техническим диагностированием, этапы обеспечения контролепригодности ЭА.

2. Структурная схема алгоритма оптимизации КТ.
3. Функциональная схема исследуемого узла с указанием мест неисправностей и расположения КТ; таблицы истинности (ТИ) и неистинностей (ТИ).
4. Распечатка результатов оптимизации на ЭВМ.
5. Результаты исследований влияния чувствительности средств диагноза на количество различных неисправностей и предельную глубину диагностирования, графики  $\gamma(\mu)$  и  $\delta(\mu)$ .
6. Контрольные точки на электрической схеме исследуемого функционального узла для средств диагноза с различной мерой чувствительности.
7. Анализ результатов и выводы по проведенному исследованию.

#### VI. Контрольные вопросы

1. Какое изде в ЭА считается контролепригодным? Каковы этапы обеспечения контролепригодности?
2. В чем состоит цель выбора и оптимизации количества КТ функциональных узлов ЭА? Каковы основные этапы оптимизации?
3. Что такое глубина диагностирования и как она определяется?
4. Как практически использовать выбранные КТ при автоматизированном диагностировании различных изделий ЭА?

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов Л.П., Смирнов А.Н. Проектирование технических систем диагностирования. - Л.: Энергоатомиздат, 1982. - 211 с.
2. Кудрицкий В.Д., Синица М.А., Чинаев П.И. Автоматизация контроля РЭА. - М.: Сов.радио, 1977. - 256 с.
3. Львович Я.Е., Фролов В.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА. - М.: Радио и связь, 1986. - 192 с.
4. Мозгалецкий А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика. - М.: Высшая школа, 1975. - 207 с.
5. Сборник задач и упражнений по технологии РЭА /Под ред. Е.М. Парфенова. - М.: Высшая школа, 1982. - 255 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

```

5 PRINT "          ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ"
10 PRINT "          ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ"
20 PRINT
30 PRINT "    ВВЕДИТЕ ФУНКЦИЮ ВЫХОДНОГО ПАРАМЕТРА, НАЧИНАЯ"
40 PRINT "СО СТРОКИ 5000 С ПОМОЩЬЮ ОПЕРАТОРА LET<5000 LET F=>"
45 PRINT "С ВЫРАЖЕНИЕМ С ПЕРЕМЕННЫМИ R<1>, C<1>, L<1>, H<1>, B<1>,"
50 PRINT "ГДЕ I-ПРОИЗВОЛЬНОЕ НАТУРАЛЬНОЕ ЧИСЛО ОТ 1 ДО 10"
70 PRINT "ЗАТЕМ ДАТЕ ДИРЕКТИВУ GOTO 100"
80 STOP
110 PRINT "          ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ"
180 DIM R<10>, C<10>, L<10>, H<10>, B<10>, Z<5, 10>, D<10>
190 DIM Q<5, 10>, Q1<5, 10>, N<5>
195 PRINT "    ИДИТЕ, МАШИНА ДУМАЕТ!"
195 GOSUB 3000
200 PRINT "    ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО ИССЛЕДУЕМЫХ : "
205 FOR O=1 TO 5
210 GOSUB 7000
220 INPUT N<O>
230 NEXT O
240 FOR O=1 TO 5
250 PRINT "    ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЯ: "
255 GOSUB 7000
257 PRINT
260 FOR I=1 TO N<O>
270 PRINT "    I, "
280 INPUT Q<O, I>
290 NEXT I
300 NEXT O
310 PRINT "    ПОВТОРИТЬ ВВОД<ДА-1, НЕТ-0>:"
320 INPUT T9
330 IF T9=1 THEN 200
340 DATA .05, .1, .25, .5, 1, 2, 5, 10, 20, 30
350 FOR I=1 TO 10: READ D<I>: NEXT I
360 FOR N=1 TO 10
370 GOSUB 4910
380 NEXT N
385 GOSUB 5000
390 LET K=F
395 PRINT "MAT. ОЖИДАНИЕ ВЫХ. ПАРАМЕТРА : "F
400 FOR J=1 TO 5
410 FOR I=1 TO N<J>
420 LET X=Q<J, I>
425 PRINT X
430 LET Q<J, I>=Q<J, I>*1.01
435 LET N=N+1
440 GOSUB 4910
445 GOSUB 5000
450 LET Z<J, I>=100*(F/K-1)
460 LET Q<J, I>=X
465 GOSUB 4910
470 NEXT I
480 NEXT J
500 GOSUB 800
510 GOTO 840
800 PRINT "          СТАНДАРТНЫЙ РЯД ДОПУСКОВ НА ЭРЭ: "
810 PRINT "  1.  0.05%  4.  0.5%  7.  5%  10.  30%"
820 PRINT "  2.  0.1%   5.  1%   8.  10%"
830 PRINT "  3.  0.25%  6.  2%   9.  20%"
835 PRINT " "

```

```

837 RETURN
840 PRINT "ЗАДАЙТЕ ЕДИНЫЙ НАЧАЛЬНЫЙ ДОПУСК НА ВСЕ ПАРАМЕТРЫ"
850 PRINT " < УКАЖИТЕ НОМЕР В СПИСКЕ >"
860 INPUT Q1
870 FOR J=1 TO 5
880 FOR I=1 TO N(I)
890 LET Q1(J, I)=Q(Q1)/100
900 NEXT I
910 NEXT J
920 GOSUB 7100
945 PRINT " МЕНЯТЬ ДОПУСК (ЛА-1, МЕТ-0)"
950 INPUT V9
970 IF V9=1 THEN GOTO 500
975 GOSUB 990
980 PRINT " ИЗМЕНЯЕМ ДОПУСК НА ОТДЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ "
990 PRINT "      УКАЖИТЕ ЧЕРЕЗ ЗАПЯТУЮ : "
1000 PRINT "      1) ТИП ПАРАМЕТРА (R-1, C-2, L-3, H-4, B-5)"
1010 PRINT "      2) ЕГО НОМЕР"
1020 PRINT "      3) ДОПУСК (НОМЕР В СПИСКЕ)"
1030 INPUT A, B, C
1040 LET Q1(A, B)=D(Q1)/100
1050 GOSUB 7100
1060 PRINT " ИЗМЕНИТЬ ДОПУСК НА:"
1065 LET J=B:L I=A:GOSUB 2000
1070 INPUT V9
1080 IF V9=0 THEN GOTO 1110
1085 PRINT ""
1090 PRINT " УКАЖИТЕ НОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ (НОМЕР В СПИСКЕ)"
1100 INPUT Q1
1105 LET Q1(A, B)=D(Q1)/100
1107 GOSUB 7100
1108 GOTO 1060
1110 PRINT " ПЕРЕЙТИ К ДРУГОМУ ПАРАМЕТРУ "
1120 INPUT V9
1130 IF V9=0 THEN GOTO 1140
1135 GOSUB 800
1136 GOSUB 990
1140 PRINT "      РАСЧЕТ ОКОНЧЕН."
1150 FOR I=1 TO 5
1160 FOR J=1 TO N(I)
1170 GOSUB 2000
1180 PRINT " - " Z(I, J)
1190 NEXT J
1200 NEXT I
1500 STOP
2000 IF I=1 THEN PRINT " R("
2010 IF I=2 THEN PRINT " C("
2020 IF I=3 THEN PRINT " L("
2030 IF I=4 THEN PRINT " H("
2040 IF I=5 THEN PRINT " B("
2050 PRINT J, " ) "
2060 RETURN
3000 FOR J=1 TO 5
3010 FOR I=1 TO 10
3020 LET Z(J, I)=0
3030 LET Q(J, I)=0
3040 LET Q1(J, I)=0
3050 NEXT I
3060 NEXT J

```

```

3070 RETURN
4905 RETURN
4910 LET R(N)=Q(1, N)
4920 LET C(N)=Q(2, N)
4930 LET L(N)=Q(3, N)
4940 LET H(N)=Q(4, N)
4950 LET B(N)=Q(5, N)
4960 RETURN
5000 LET F=R(1)*R(3)*C(1)
6000 RETURN
7000 IF O=1 THEN PRINT " СОПРОТИВЛЕНИЙ РЕЗИСТОРОВ "
7010 IF O=2 THEN PRINT " ЕМКОСТЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ "
7020 IF O=3 THEN PRINT " ИНДУКТИВНОСТЕЙ "
7030 IF O=4 THEN PRINT " H-ПАРАМЕТРОВ "
7040 IF O=5 THEN PRINT " БЕТА-ПАРАМЕТРОВ "
7050 RETURN
7100 LET K1=0
7105 FOR J=1 TO 5
7110 FOR I=1 TO N(J)
7120 LET K1=K1+Q1(J, I)*Z(J, I)*Z(J, I)
7130 NEXT I
7140 NEXT J
7150 LET K1=SQR(K1)
7155 PRINT "      ПЕРЕБОС ЗНАЧЕНИЙ Вых. ПАРАМЕТРА =":K1
7160 RETURN

```

```

10IMX<100>, G<40, 1>, P1<3, 40>
5PRINT "ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ"
7LETN1=1:LETN=39
10GOSUB600
12LETI1=40
15PRINT "ВВЕДИТЕ N": INPUTN
20LETN1=INT(N/10)*10
23IFN1=0GOTO55
25FORA=1TOA15TEF10
30GOSUB550
35PRINT "ВВЕДИТЕ X<\"J1\">---X<\"J0\">"
40INPUTX<J1>, X<J2>, X<J3>, X<J4>, X<J5>, X<J6>, X<J7>, X<J8>, X<J9>, X<J0>
45NEXTA
50IFN1=NGOTO110
55FORA=M1+1TON
60PRINT "ВВЕДИТЕ X<\"0\">": INPUTX<0>
65NEXTA
110LETM=0
115FORI=1TON
120LETM=M+X<I>
125NEXTI
130LETM=M/N
135LETS=0
140FORI=1TON
145LETS=S+(X<I>-M)*(X<I>-M)
150NEXTI
155LETS=SQR(S/(N-1))
180GOSUB600
185PRINT "M="M, "SIGMA="S
190LETM0=M
195LETS0=S
200LETM1=M0-4*S
205LETM2=M0+4*S
210LETM3=(M2-M1)/40
215GOSUB1500
220FORI=0TO11:LETPI<0, I>=G<I, 1>:NEXTI
225GOSUB2500
230FORK1=1TO2
235GOSUB600
240PRINT "ВВЕДИТЕ M\"K1\" И SIGMA\"K1\": INPUTM0, S0
245GOSUB1500
250FORI=0TO11:LETPI<K1, I>=G<I, 1>*PI<0, I>:LETGI<I, 1>=PI<K1, I>:NEXTI
255GOSUB2500
260NEXTK1
265LETH0=0
270LETH1=0
275LETH2=0
280LETH3=0
285FORJ=0TO11
290LETH0=H0+M3*PI<0, I>
295LETH2=H2+M3*(PI<1, I>+PI<2, I>)
300NEXTJ
305GOSUB600
310PRINT "ВВЕДИТЕ НИЖНИЙ И ВЕРХНИЙ ПРЕДЕЛЫ ДОПУСКА": INPUTA0, B0
315LETM4=M1
320FORJ=0TO11
325IFM4<A0GOTO345
330IFM4>B0GOTO345

```

```

335LETH1=H1+M3*PI<0, I>
340LETH3=H3+M3*(PI<1, I>+PI<2, I>)
345LETH4=M4+M3
350NEXTI
355LETD=H1+H2-M3
360LETD1=H1/H0
365LETD0=(H2-H3)/H2
370PRINT "D="D
375PRINT "D<\"D0\">="D0
380PRINT "D<\"D1\">="D1
420PRINT "БУДЕТЕ ЛИ РАСЧИТЫВАТЬ С ДРУГИМИ СИГМА И M?"
425INPUTQ
430IFQ=0GOTO450
435IFQ=1GOTO230
440GOTO420
450STOP
550LETJ1=A:LETJ2=A+1:LETJ3=A+2:LETJ4=A+3:LETJ5=A+4
555LETJ6=A+5:LETJ7=A+6:LETJ8=A+7:LETJ9=A+8:LETJ0=A+9
560RETURN
600FORI=0TO20
605PRINT ""
610NEXTI
615RETURN
1500LETM4=M1+M3/2
1505FORJ=0TO40
1515LETG<J, 1>=EXP(-(M4-M0)*(M4-M0)/2/50/50)/50/SQR(251)
1520LETM4=M4+M3
1525NEXTJ
1530RETURN
2500LETG0=1E100
2505FORI=0TOH:LETG<I, 0>=0:NEXTI
2510LETG1=-1E100
2520FORI=0TOH
2530FORJ=0TON1
2540FORK=J+1TON1
2550IFG<I, J><G<I, K>THEN2590
2560LETG3=0<I, J>
2570LETG<I, J>=G<I, K>
2580LETG<I, K>=0
2590NEXTK
2600NEXTJ
2610IFG<I, 0>>0GOTO2630
2620LETG0=G<I, 0>
2630IFG<I, N1><=0GOTO2650
2640LETG1=G<I, N1>
2650NEXTI
2660LETG2=(G1-G0)/70
2665GOSUB600
2670FORI=0TOH
2680LETP=0
2690LETP0=0
2700FORJ=0TON1
2710LETG<I, J>=G<I, J>-G0/42+.5
2720LETP=INT(G<I, J>)-P0-J
2730LETP0=P0+P
2740GOSUB32800
2750NEXTJ
2760PRINT
2770NEXTI

```

```

2700RETURN
2800IFPC0THEN2850
2810FORU=1TOP
2820PRINT" ",
2830NEXTU
2840PRINT" ",
2850RETURN
2855END
3000FORI=0T0500
3001NEXTI
3002LIST

```

```

1PRINT"ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВА КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК"
5DIMU1(11, 11), N1(11, 11), M1(11), M2(11), M3(11), U2(11)
7DIM U3(11, 11), N9(11, 11)
10PRINT"ВВЕДИТЕ РАЗМЕРНОСТЬ МАТРИЦЫ":LET R=1
15PRINT"КОЛИЧЕСТВО КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК=": INPUT I1
20PRINT"КОЛИЧЕСТВО НЕИСПРАВНОСТЕЙ=": INPUT J1
25PRINT"МЕРА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ=": INPUT G
28LET I9=I1
29LET J9=J1
30FORJ=0TOJ1
35 FOR I=1 TO I1
40PRINT"U(" I ", " J ")=": INPUT U1(I, J)
45NEXT I
50NEXT J
55FORI=1TOI1
60FORJ=J1TO4STEP-1
65LETU1(I, J)=(U1(I, J)-U1(I, 0))/U1(I, 0)
70NEXTJ
75NEXTI
80FORJ=-1TOJ1
85FORI=1TOI1
90LETN1(I, J)=J
95NEXTI
100NEXTJ
105GOSUB500
106FORI=1TOI1
107FORJ=1TOJ1
108LETU3(I, J)=U1(I, J):LETN9(I, J)=N1(I, J):NEXTJ
109NEXTI
110FORI=1TOI1
115LETM1(I)=I
120NEXTI
125LETI2=0
130LETN2=I1
135GOSUB750
140IFN=0GOTO270
145LETR=0
150LETI2=I2+1
155LETM2(I2)=N
160GOSUB1000
165LETN2=N2-1
170LETI3=1
175GOTO215
180LETI=I2:LETI2=N2:LETN2=I
185FORI=1TOI1:LETM0=M3(I):LETM3(I)=M1(I):LETM1(I)=M0:NEXTI
190GOSUB750
195LETI=I2:LETI2=N2:LETN2=I
200FORI=1TOI1:LETM0=M3(I):LETM3(I)=M1(I):LETM1(I)=M0:NEXTI
205IFN=0GOTO135
210LETI3=0
215GOSUB1250
220GOSUB1500
225PRINT"В" N, "КОНТРОЛЬНОЙ ТОЧКЕ РАЗЛИЧНЫ НЕИСПРАВНОСТИ"
230FORI=1TOK1:PRINTM2(I):NEXTI
235PRINT
240FORI=1TOK1:PRINTU2(I)+U1(N, 0)+U1(N, 0):NEXTI
245PRINT
250LETJ1=J1-M4
255IFJ1=0GOTO295

```

```

260 IF I2 < 2 GOTO 1135
265 IF I7 = 1 GOTO 1180
270 IFR = 00010285
275 PRINT "РАЗЛИЧНЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НЕТ"
280 GOTO 1320
285 PRINT "БОЛЬШЕ РАЗЛИЧНЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НЕТ"
290 GOTO 1300
295 PRINT "ВСЕ НЕИСПРАВНОСТИ НАЙДЕНЫ"
300 PRINT "КОЛИЧЕСТВО ИСПОЛЬЗОВАННЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК" : I2
305 PRINT "НОМЕРА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК" :
310 FOR I = 1 TO I2 : PRINT I3 < I > : NEXT I
315 PRINT
320 PRINT "БУДЕТЕ ЛИ ПОВТОРЯТЬ РАСЧЕТ С ДРУГОМ" :
322 PRINT "МЕРУ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ" :
325 PRINT "(0-ЕСЛИ НЕТ, 1-ЕСЛИ ДА)" : INPUT R
330 IFR = 10010350
335 IFR > 0 GOTO 1325
340 STOP : END
350 PRINT "ВВЕДИТЕ НОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ МЕРЫ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ" : INPUT Q
352 GOSUB R1750
355 GOTO 1110
500 FOR K = 1 TO I1
505 FOR J = 2 TO J1
510 LET I = J - 1
515 IF ABS(U1(K, J)) >= ABS(U1(K, I)) GOTO 565
520 LET X = U1(K, J)
525 LET Y = N1(K, J)
530 LET U1(K, I + 1) = U1(K, I)
535 LET N1(K, I + 1) = N1(K, I)
540 LET I = I - 1
545 IF I = 0 GOTO 555
550 IF ABS(X) < ABS(U1(K, I)) GOTO 530
555 LET U1(K, I + 1) = X
560 LET N1(K, I + 1) = Y
565 NEXT J
570 NEXT K
575 RETURN
750 IF N2 < 2 GOTO 0830
755 LET N = 0
760 LET M4 = 0
765 FOR K = 1 TO N2
770 LET J = M1(K)
775 LET K1 = 0
780 IF (ABS(U1(J, 2)) - ABS(U1(J, 1))) >= Q THEN LET K1 = 1
785 FOR I = 2 TO J1 - 1
790 IF (ABS(U1(J, I)) - ABS(U1(J, I - 1))) < Q GOTO 0800
795 IF (ABS(U1(J, I + 1)) - ABS(U1(J, I))) >= Q THEN LET K1 = K1 + 1
800 NEXT I
805 IF (ABS(U1(J, J1)) - ABS(U1(J, J1 - 1))) >= Q THEN LET K1 = K1 + 1
810 IF M4 > K1 GOTO 0825
815 LET M4 = K1
820 LET N = J
822 IF K1 = 0 THEN LET N = 0
825 NEXT K
830 RETURN
1000 LET L = 0
1005 FOR K = 1 TO N2
1010 IF M1(K) = N THEN LET L = 1
1015 LET M1(K - L) = M1(K)

```

```

1020 NEXT K
1025 RETURN
1250 LET K1 = 0
1255 IF (ABS(U1(N, 2)) - ABS(U1(N, 1))) < Q GOTO 1275
1260 LET K1 = 1
1265 LET M2(K1) = N1(N, 1)
1270 LET U2(K1) = U1(N, 1)
1275 FOR I = 2 TO J1 - 1
1280 IF (ABS(U1(N, I + 1)) - ABS(U1(N, I))) < Q GOTO 1305
1285 IF (ABS(U1(N, I)) - ABS(U1(N, I - 1))) < Q GOTO 1305
1290 LET K1 = K1 + 1
1295 LET M2(K1) = N1(N, I)
1300 LET U2(K1) = U1(N, I)
1305 NEXT I
1310 IF (ABS(U1(N, J1)) - ABS(U1(N, J1 - 1))) < Q GOTO 1330
1315 LET K1 = K1 + 1
1320 LET M2(K1) = N1(N, J1)
1325 LET U2(K1) = U1(N, J1)
1330 RETURN
1500 FOR I = 1 TO I1
1505 FOR L = 1 TO K1
1510 LET K = 0
1515 FOR J = 1 TO J1
1520 IF N1(I, J) = M2(L) GOTO 1540
1525 LET N1(I, J - K) = N1(I, J)
1530 LET U1(I, J - K) = U1(I, J)
1535 GOTO 1545
1540 LET K = 1
1545 NEXT J
1550 NEXT L
1555 NEXT I
1560 RETURN
1750 FOR I = 1 TO I9
1755 FOR J = 1 TO J9
1760 LET U1(I, J) = U3(I, J)
1765 LET N1(I, J) = N9(I, J)
1770 NEXT J
1775 NEXT I
1780 LET I1 = 19
1785 LET J1 = J9
1790 RETURN

```

Редактор Ю.Н.Хлебицкий      Корректор Л.И.Малютина

Заказ 694 Объем 3 п.л. (2,75 уч.-изд.л. Тираж 500 экз.  
Бесплатно. Подписано в печать 13.05.88 г. План 1988г., № 62.

Типография МВТУ. 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.