

ПОДСИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭА
В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Трудоемкость расчета одного из важнейших показателей надежности ЭА — вероятности безотказной работы по постепенным отказам — может быть значительно снижена при использовании "Автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры" (АСОНИКА), разрабатываемой на кафедре "Радиотехнические устройства и системы" МИЭМ. В системе АСОНИКА имеется "Подсистема прогнозирования надежности и качества", в которой реализован метод расчета параметрической надежности. Исходной информацией для расчетов являются условия эксплуатации, допуски на выходные характеристики, заданные в техническом задании; статистическая информация о параметрах электро-радиоэлементов и их зависимостях от возмущающих факторов, приведенная в нормативно-технической и справочной литературе; функции чувствительности, режимы работы (величины температур, механических нагрузок, токов и напряжений и т.д.), получаемые в результате предварительных электрических, тепловых и механических расчетов схем и конструкций ЭА с помощью соответствующих проблемных подсистем САПР.

Расчетный метод, используемый в подсистеме, основан на вероятностном моделировании случайных процессов изменения отклонений входных характеристик при воздействии возмущающих факторов. Для описания случайного процесса изменения параметров элемента используются случайные функции, которые при моделировании на ЭВМ задаются в виде дискретного случайного вектора вида:

$$\left(\Delta_{q_{1i}}^{\varphi_{1e}}, \Delta_{q_{1i}}^{\varphi_{2e}}, \dots, \Delta_{q_{1i}}^{\varphi_{ke}}, \Delta_{q_{2i}}^{\varphi_{1e}}, \Delta_{q_{2i}}^{\varphi_{2e}}, \dots, \Delta_{q_{2i}}^{\varphi_{ke}}, \dots, \Delta_{q_{pi}}^{\varphi_{1e}}, \Delta_{q_{pi}}^{\varphi_{2e}}, \dots, \Delta_{q_{pi}}^{\varphi_{ke}} \right), \quad (I)$$

где P_i — количество параметров i -го элемента;
 K_{le} — количество значений l -го возмущающего фактора;
 $\Delta_{q_{pi}}^{\varphi_{ke}}$ — абсолютное отклонение p -го параметра i -го элемента при k -том значении l -го возмущающего фактора φ_l .

Связь между отклонениями выходных характеристик и параметров элементов можно получить, используя уравнение погрешностей:

$$\Delta_{y_j}^{\varphi_{ke}} = \sum_{i=1}^R A_{ij} \Delta_{q_{pi}}^{\varphi_{ke}}, \quad (2)$$

где A_{ij} — абсолютная функция чувствительности;
 $R = \sum_{i=1}^I P_i$ — суммарное количество параметров;
 I — количество элементов.

Числовые характеристики совместного закона распределения отклонений выходных характеристик рассчитываются на основе первых двух моментов совместного закона распределения координат вектора (2) путем применения к уравнению (2) правила вычисления моментов:

$$m(\Delta_{q_l}^{\varphi_{kl}}) = \sum_{r=1}^R A_{q_r}^{y_l} m(\Delta_{q_r}^{\varphi_{kr}}), \quad (3)$$

$$\mu_2(\Delta_{y_f}^{\varphi_{nl}}, \Delta_{y_e}^{\varphi_{ml}}) = \sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^R A_{q_r}^{y_f} A_{q_d}^{y_e} \mu_2(\Delta_{q_r}^{\varphi_{nr}}, \Delta_{q_d}^{\varphi_{mr}}), \quad (4)$$

где $m(\Delta_{y_j}^{\varphi_{kl}})$, $m(\Delta_{q_r}^{\varphi_{kr}})$ - математическое ожидание отклонения j -й характеристики в r -го параметра соответственно;
 $\mu_2(\Delta_{y_f}^{\varphi_{nl}}, \Delta_{y_e}^{\varphi_{ml}})$, $\mu_2(\Delta_{q_r}^{\varphi_{nr}}, \Delta_{q_d}^{\varphi_{mr}})$ - вторые смешанные моменты.

Для расчета вероятности безотказной работы необходимо получить реализации многомерного случайного вектора:

$$(\Delta_{y_1}^{\varphi_{1l}}, \Delta_{y_1}^{\varphi_{2l}}, \dots, \Delta_{y_1}^{\varphi_{kl}}, \Delta_{y_2}^{\varphi_{1l}}, \Delta_{y_2}^{\varphi_{2l}}, \dots, \Delta_{y_2}^{\varphi_{kl}}, \dots, \Delta_{y_j}^{\varphi_{kl}}, \dots, \Delta_{y_j}^{\varphi_{ke}}), \quad (5)$$

где j - количество выходных характеристик.

Для упрощения расчетных соотношений обозначим:

$$Z_n = \Delta_{y_j}^{\varphi_{kl}}, \quad m_n = m(\Delta_{y_j}^{\varphi_{kl}}), \quad R_{ij} = \mu_2(\Delta_{y_l}^{\varphi_{kl}}, \Delta_{y_e}^{\varphi_{de}}), \quad l = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, N},$$

где $N = j \cdot K_l$ - полная размерность вектора.

Моделирование реализаций вектора (5), распределенного по нормальному закону - математическим ожиданиям и корреляционной матрицей, рассчитанными в соответствии с формулами (3) и (4), проводится методом, основанном на каноническом разложении его корреляционной матрицы. В соответствии с принятыми обозначениями расчет реализаций проводится по формулам:

$$\begin{aligned} Z_1 &= C_{11} X_1 + m_1, \\ Z_2 &= C_{12} X_1 + C_{22} X_2 + m_2, \\ &\dots \\ Z_n &= C_{1N} X_1 + C_{2N} X_2 + \dots + C_{nN} X_N, \end{aligned} \quad (7)$$

где X_1, X_2, \dots, X_N - независимые случайные числа, каждое из которых распределено по нормальному закону с $m(X_n) = 0$ и $D(X_n) = 1$;

C_{ij} - элементы матрицы канонического разложения, причем:

$$C_{ij} = \begin{cases} \sqrt{B_{ij}} & \text{при } i = j, \\ B_{ij}/C_{ii} & \text{при } j > i, \end{cases} \quad (8)$$

где $B_{ij} = D_{ij} - \sum_{z=1}^{i-1} C_{zi} C_{zj}$ для $i = 1, N, j = 1, N$ и $C_{0j} = 0$.

Суммарные предельные отклонения выходной характеристики в S -й реализации определяются на основе линейного соотношения вида:

$$\Delta_{yjs}^B = \sum_{\ell=1}^L \max_{k_{\ell}=1, K_{\ell}} (\Delta_{yjs}^{pk_{\ell}}), \quad \Delta_{yjs}^H = \sum_{\ell=1}^L \min_{k_{\ell}=1, K_{\ell}} (\Delta_{yjs}^{pk_{\ell}}), \quad (9)$$

где L - количество учитываемых возмущающих факторов.

Оценка достижения необходимого числа испытаний S проводится на основе заданной абсолютной погрешности ε и достоверности α . Задавая S^* в процессе моделирования вычисляют частоту появления параметрического отказа:

$$P^* = S_{отк} / S^*, \quad (10)$$

где $S_{отк}$ - количество отказов, условием появления которых является:

$$\begin{cases} \Delta_{yjs}^B > \Delta_{yjs}^{B_{зад}} \\ \Delta_{yjs}^H < \Delta_{yjs}^{H_{зад}} \end{cases}, \quad (11)$$

где $\Delta_{yjs}^B, \Delta_{yjs}^H$ - заданные максимально допустимые отклонения характеристик.

После этого вычисляют

$$f(s) = \left(\frac{t_{\alpha}}{\varepsilon}\right)^2 \cdot P^* \cdot (1 - P^*), \quad (12)$$

где $t_{\alpha} = \Phi^{-1}(\alpha)$; Φ^{-1} - обратная функция Лапласа.

При невыполнении условия $S^* \geq f(s)$ увеличивают S^* и проводят дополнительные испытания.

Таким образом, для расчета числовых характеристик совместного закона распределения отклонений выходных характеристик ЭРА используется метод моментов, а для расчета непосредственно вероятности безотказной работы - метод статистических испытаний. Реализованный метод позволяет провести исследование параметрической надежности ЭРА, имеющей сложную иерархическую структуру, во всем диапазоне изменения внешних возмущающих факторов с учетом их локальных значений на каждом электрорадиоэлементе. В результате расчетов на ЭВМ пользователем может быть получена следующая информация:

- вероятность безотказной работы по постепенным отказам;
- гистограмма распределения отказов по временным интервалам;
- составившие вероятности безотказной работы по каждой вы-

ходной характеристике;

- наилучшее, с точки зрения параметрической надежности, сочетание значений возмущающих факторов;

- составляющие первых двух моментов совместного закона распределения координат дискретного случайного вектора по каждому электрорадиоэлементу для всех выходных характеристик и возмущающих факторов.

Эта информация позволяет провести всесторонний анализ причин низкой надежности, выявлять те возмущающие факторы и элементы, которые вносят наибольший вклад в суммарную ненадежность аппаратуры, и дать конкретные рекомендации по изменению схемы, конструкции и элементной базы, направленные на обеспечение требований по надежности.

Разработанный входной язык подсистемы, использование Справочного файла Базы данных САПР АСОНИКА для хранения входной статистической информации, обеспечивающее простоту и удобство задания входной информации, что в сочетании с наглядностью представления получаемых результатов позволяет эксплуатировать подсистему пользователям, не имеющим специальных знаний в области программирования и работы на ЭВМ.

В. И. БАЧУРИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРА С ИНЪЕКЦИОННЫМ ПИТАНИЕМ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ НОВЫХ ТИПОВ СХЕМ

В настоящее время надежным элементом микроэлектроники, на базе которого реализованы практически СМЭС в нашей стране и за рубежом, является транзистор с инжекционным питанием (ТИП). Повышенная надежность цифровых СМЭС на основе ТИП сочетается с их высокими конструктивно-топологическими и электрическими характеристиками. К сожалению, аналоговые СМЭС на основе ТИП еще не выпускаются. Для расчета, оценки стабильности и надежности новых типов аналоговых СМЭС необходимы различные зависимости малосигнальных параметров ТИП в области микросреды (МЭС), в частности, от рабочего тока коллектора.