

## МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕЧНЯ ЭРИ

### Введение

Существенной особенностью радиоэлектронных средств (РЭС) является то, что значительная часть выполнения требований к жизненному циклу РЭС обуславливается выбором элементной базы, тогда основной задачей мониторинга процесса проектирования РЭС может стать проверка оптимизации выбора электрорадиоизделий (ЭРИ) по критерию затрат на их приобретение при условии выполнения требований к безотказности. Очевидно, сопряженная задача составляет выбор, обеспечивающий максимальный ресурс при минимальных затратах.

В процессе проектирования решается задача оптимизации распределения требований к значениям показателей безотказности ЭРИ с целью создания РЭС с заданным уровнем безотказности при минимальном расходовании средств на изготовление.

### Постановка задачи

Данная задача относится к задачам синтеза, которые заключаются в выборе структуры и параметров электрических схем и конструкций, при которых обеспечивается выполнение заданных требований к РЭС.

Конкретное выражение, описывающее функцию себестоимости ЭРИ, аргументом которой, является уровень безотказности, определяется исходя из планируемого уровня технологии производства, видов материалов, типа ЭРИ, квалификации обслуживающего персонала и других факторов, влияющих на связь "надежность-стоимость".

Существуют эффективные методы определения интенсивности отказов и вероятности безотказной работы РЭС по показателям безотказности ЭРИ. Расчет вероятности безотказной работы проводится по схемам расчета надежности, разнообразие которых обусловлено различными методами резервирования, диагностики и запланированного технического обслуживания РЭС.

Сопряженная задача состоит в минимизации значения интенсивности отказов РЭС путем задания требований к базовым значениям интенсивности отказов ЭРИ так, чтобы расходы средств  $C^{общ}$  на проектирование, разработку и производство в совокупности, не превосходили располагаемых  $C^{расп}$ .

Предприятия, специализирующиеся на изготовлении ЭРИ, большое внимание уделяют дифференциации надежности изготавливаемой продукции по уровням. Тогда однотипные ЭРИ, предназначенные для выполнения одних и тех же функций, могут иметь различные уровни надежности. ЭРИ этих четырех уровней надежности имеют абсолютно одни и те же значения электрических параметров. Различие составляет уровень их надежности и стоимости.

В случае прямой постановки задачи имеем набор параметров  $\mu_q$ ,  $q = \overline{1, Q}$ , значения которых необходимо оптимизировать, сводя к минимуму функцию себестоимости изготовления РЭС  $C^{изз} = \varphi(\mu_q, q = \overline{1, Q}) \Rightarrow \min$  при обеспечении заданного значения интенсивности отказов системы в целом  $\lambda_{mp}^c$  или  $\lambda_{mp}^c(t)$ .

Все типы ЭРИ, изготавливаемые специализированными предприятиями, имеют определенное значение базовой интенсивности отказов, в соответствии с одним из четырех условных уровней надежности, и определенное значение себестоимости.

Множество допустимых решений прямой оптимизационной задачи для СПФ задается системой

$$\begin{cases} \sum_{q=1}^Q \left( \lambda_q^{\mu_q} \cdot \sum_{j=1}^m (\psi_q(K_{эл}^q(j)) \cdot \xi_j) \right) \leq \lambda_{mp}^c, \\ \mu_q \in \{1, 2, 3, 4\}, \quad q = \overline{1, Q}. \end{cases} \quad (1)$$

Критерий оптимальности данной оптимизационной задачи состоит в минимизации себестоимости изготовления РЭС

$$C^{изг} = \varphi^c(\mu_q, \quad q = \overline{1, Q}) \Rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $\varphi^c(\mu_q, \quad q = \overline{1, Q})$  – многомерная функция себестоимости изготовления РЭС, аргументами которой являются значения номеров условного уровня надежности  $\mu_q$  ЭРИ.

Или с учетом затрат только на ЭРИ

$$C^{изг} = \sum_{q=1}^Q C_q^{\mu_q} \Rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $C_q^{\mu_q}$  – стоимость  $q$ -го ЭРИ, имеющего условный уровень надежности  $\mu_q$ .

В результате решения данной оптимизационной задачи определяются оптимальные значения параметров оптимизации  $\mu_q^*$ ,  $q = \overline{1, Q}$ , при которых достигается минимум себестоимости изготовления РЭС и обеспечивается требуемый уровень ее безотказности.

Критерий оптимизации сопряженной задачи оптимального выбора ЭРИ состоит в минимизации интенсивности отказов РЭС

$$\lambda_M^c = \sum_{q=1}^Q \left( \lambda_q^{\mu_q} \cdot \sum_{j=1}^m (\psi_q(K_{эл}^q(j)) \cdot \xi_j) \right) \Rightarrow \min, \quad (4)$$

а система ограничений имеет следующий вид

$$\begin{cases} C_{расп}^{общ} \geq C^{проект} + C^{орг} + C^* + N \cdot \left( \sum_{q=1}^Q C_q^{\mu_q} + \Delta^c \right), \\ \mu_q \in \{1, 2, 3, 4\}, \quad q = \overline{1, Q}. \end{cases} \quad (5)$$

Решением сопряженной задачи оптимального выбора ЭРИ по уровню безотказности являются такие значения параметров оптимизации  $\mu_q^{*don}$ ,  $q = \overline{1, Q}$  из множества допустимых решений заданного системой (5), при которых достигается минимальное значение интенсивности отказов РЭС (4).

Учитывая, что в указанной постановке оптимизационных задач используются методы комбинаторики, предусматривающие перебор и анализ вариантов, количество которых определяется размерностью задачи, использование этих методов в условиях большого перечня элементов РЭС может оказаться нереальным, так для  $\mu$  уровней надежности имеет место  $\mu^Q$  вариантов.

Так как уменьшение интенсивности отказов при увеличении затрат является объективной закономерностью, выбирая ЭРИ, в том числе из каталогов и справочников, можно использовать методы интерполяции и аппроксимации зависимостей между стоимостью и интенсивности отказов ЭРИ с помощью выпуклых функций  $\lambda_q(C_q)$ , определенных на выпуклых множествах  $\{C_q\}$ , ограниченных предельными значениями  $\min C_q$  и  $\max C_q$ .

Можно предложить метод, значительно сокращающий время оптимизации. Очевидно, интерполяционный линейный функционал  $\lambda(C) = \sum_1^Q (-a_q C_q + b_q)$  образует опорную ги-

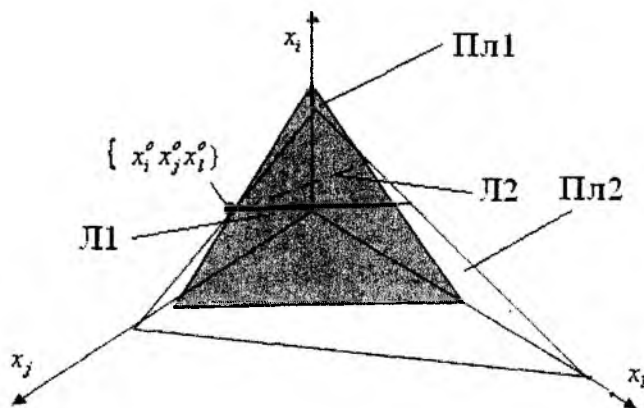
перплоскость  $\sum_1^Q (-a_q C_q + b_q) = \lambda_{mp}$  к тетраэдральному множеству  $\{C_q\}$ . Эта гиперплоскость проходит через множество вершин и определяет дополнительные условия к ограничениям  $\min C_q \geq C_q \leq \max C_q$ . Преобразования  $x_q = C_q - \min C_q$ ,  $\max x_q = \max C_q - \min C_q$  дают возможность выполнить декомпозицию поиска на отдельные задачи в виде линейного программирования в подпространствах  $R^3$ . На рис. 1 приведена иллюстрация выбора, здесь приведено изображение подпространства  $R^3$ , входящего в пространство  $R^Q$ , для координатных осей этого подпространства выполняется условие  $a_i \geq a_j \geq a_l$ , которое определяет правило индексации в перечне элементов. Просматривается правило выбора: оптимальная точка  $x_i^0$  должна быть крайней точкой на множестве положительных значений  $x_i$ . При рассмотрении тройки  $\{x_i, x_j, x_l\}$  плоскость  $C_{ijl} = x_i + x_j + x_l$ , проходящая через вершину  $\{x_i^0, x_j^0, x_l^0\}$  тетраэдрального множества допустимых решений, соответствует оптимальному значению координат, так как из  $(a_i - a_j)x_i + a_j C = \Pi - a_j \sum_{l \in Q} x_l - \sum_{k \in Q} a_k x_k$  следует

$$C = \frac{(a_j - a_i)}{a_j} x_i + \frac{\Pi}{a_j} - a_j \sum_{l \in Q, l \neq i, j} (1 - \frac{a_l}{a_j}) x_l. \quad (6)$$

Условие  $a_i \geq a_j \geq a_l$ , из которого согласно (6) следует  $\frac{dC}{dx_i} \leq 0$ , определяет направление убывания для  $C$ , когда  $C(x) \geq (1, C_{\min})$ . подтверждает предложенное правило индексации элементов.

В приведенных выражениях связи между переменными определяются соотношениями

$$\Pi = \sum_{q \in Q} a_q \min c_q - \lambda_{mp}, \quad q = \text{Arg} \min_{q \in Q} a_q, \quad x_i^0 = \frac{1}{a_i} (\Pi - \sum_{q \in Q} a_q x_q^0).$$



Л1 – линия пересечения плоскостей  $x_i = \max x_i$  и Пл2; Л2 – линия пересечения плоскостей Пл1 и Пл2;

Пл1 – плоскость  $C_{ijl} = x_i + x_j + x_l$ ; Пл2 – плоскость  $\sum_{k=i,j,l} a_k x_k = \Pi$

Рис. 1

На рис. 2 предложен алгоритм оптимизации перечня.

Для отображения информации об оптимальности выбора можно предложить раскрашивание ячеек таблиц, отражающих зависимость между стоимостью и интенсивностью отказов разного уровня надежности ЭРИ, данные можно найти в коммерческих информационных источниках, характеризующих возможности различных поставщиков. Эти данные можно разбить на группы и отобразить в виде таблиц. Пример фрагмента такой информации приведен в таблице. Здесь более темные ячейки соответствуют оптимальному варианту, менее темные – реализованному варианту.

В таблице в строке 1 в столбцах 6 и 7 выделен оптимальный вариант выбора первого из перечня элемента, в столбцах 8 и 9 - фактический выбор. Аналогичная раскраска и соответствующие варианты выбора отображены в остальных строках таблицы. Демонстрируемые в таблице мониторинга перечня элементов РЭС выбор, проведенный с учетом оптимизации, и реальный уровень в достаточной степени отображают качество проектирования в части решения основной задачи противопоставления альтернатив и принятия решений при выборе ЭРИ.

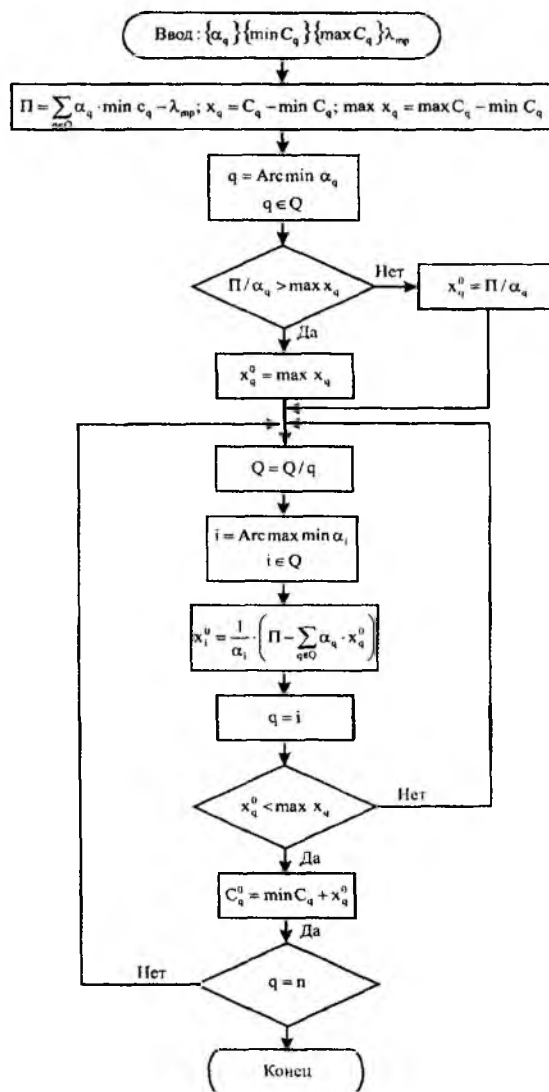


Рис. 2

№ п/п	General		Industrial		Military		Space	
	$C_q^1$ , грн.	$\lambda_{q K,P}^1$ , $10^{-6} 1/ч$	$C_q^2$ , грн.	$\lambda_{q K,P}^2$ , $10^{-6} 1/ч$	$C_q^3$ , грн.	$\lambda_{q K,P}^3$ , $10^{-6} 1/ч$	$C_q^4$ , грн.	$\lambda_{q K,P}^4$ , $10^{-6} 1/ч$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,01	0,00463	0,015	0,00320	0,02	0,00241	0,03	0,001312
2	0,01	0,00641	0,015	0,00325	0,02	0,00254	0,03	0,001375
...								
91	1,54	0,03928	1,93	0,030069	2,89	0,015151	3,75	0,006015
92	0,17	0,03687	0,21	0,025407	0,32	0,013396	0,41	0,005915
93	1,54	0,03928	1,93	0,029361	2,89	0,014520	3,75	0,005504
94	1,54	0,03928	1,93	0,025862	2,89	0,013887	3,75	0,005723
95	1,54	0,03928	1,93	0,025862	2,89	0,013887	3,75	0,005723
...								

### Выводы

Таким образом, можно предложить метод визуализации перечня ЭРИ с помощью раскрашивания таблиц, отображающих и сопоставляющих варианты оптимального, с учетом многорежимности и воздействия нагрузок, и реального выбора ЭРИ. Перечень ЭРИ является одним из основных конструкторских документов РЭС, являющихся предметом мониторинга ЖЦ РЭС. Разработанный метод дает возможность оценить оптимальность выбора ЭРИ по критериям надежности и стоимости.

Для отображения результатов мониторинга можно использовать метод визуализации перечня ЭРИ с помощью раскрашивания таблиц [1, 2], отображающих и сопоставляющих варианты оптимального, с учетом многорежимности и воздействия нагрузок, и реального выбора ЭРИ.

Таким образом, перечень ЭРИ является одним из основных конструкторских документов РЭС и предметом мониторинга ЖЦ РЭС, а разработанный метод дает возможность оценить оптимальность выбора ЭРИ по критериям надежности и стоимости в условиях задачи большой размерности.

**Список литературы:** 1. Стулов, Л.В. Вариант оценки безотказности многорежимных объектов / Л.В. Стулов, С.В. Новиченко // Системи обробки інформації. – 2002. – Вип. 6 (22). – С. 112 – 116. 2. Стулов, Л.В. Расчет интенсивности отказов многорежимных систем, учитывающий изменение их функционирующей структуры и позволяющий производить сравнительный анализ безотказности различных структур многорежимных систем / Л.В. Стулов, С.В. Новиченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2003. – Вип. 4 (4). – С. 124 – 129.

Харьковский национальный  
университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 05.03.2012