УДК 519.8

В. А. ФРОЛОВ, канд. техн. наук,
Г. В. НАЗАРОВА, канд. техн. наук,
В. Л. ЖЕРДЕВ, Г. А. ЖУРАВЕЛЬ

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Многие задачи обеспечения надежности радиоэлектронных и электронно-вычислительных средств решаются на стадии проектирования путем выбора наиболее рациональной элементной базы. В процессе проектирования решаются две задачи: выбор структуры и выбор элементов структуры, т. е. конкретных модулей и микромодулей. Принятие решений о выборе той или иной элементной базы производится с учетом конструкторско-технологических ограничений. В технической литературе эта задача обычно называется покрытием. Для ее решения могут быть использованы различные методы.

Рассмотрим некоторые пути решения, остановившись более подробно на математическом аппарате теории статистических игр и методике его использования для решения задачи покрытия, т. е. задачи синтеза. Решить поставленную задачу синтеза с применением формальных методов удается для сравнительно несложных устройств, с ограничениями экономического и конструктивно-технологического плана. Трудности, которые возникают при выборе и обосновании элементной базы, в первую очередь связаны с неоднозначностью решений, а также с чрезвычайно высокой размерностью поискового пространства для современной микропроцессорной аппаратуры с учетом согласования элементов по информационным, энергетическим, конструктивным и технологическим признакам.

Предположим, что при функциональном синтезе определено минимально необходимое количество элементарных преобразователей, реализующих заданные функции проектируемого радиоэлектронного устройства. Допустим, что элементарные преобразователи описаны множеством $X=\{x_1, ..., x_n\}$. Если это множество «покрыть» множеством дискретных физических преобразователей $Y=\{y_1, ..., y_n\}$, то, наложив условие бинарности, можно утверждать, что необходимое функционирование будет обеспечено.

В данном случае под условием бинарности понимается такое отношение элементов множеств, при котором каждому элементу множества X соответствует единственный элемент множества Y, следовательно, $Y=AX$, где A — отношение, устанавливающее связь между элементами множеств.

Однако, приведенное решение задачи можно считать первым приближением, так как оно получено без учета возможностей современной элементной базы, а поэтому и без учета качественных показателей. Выбрать элементную базу на условиях бинарности означает возврат к проектированию на дискретных элементах, а следовательно, ухудшение быстродействия, надежности, массогабаритных и других показателей электронных устройств. Очевидно, более целесообразно использование конструктивных модулей, включающих в свой состав сотни и даже тысячи дискретных элементов. Такими модулями являются интегральные схемы ИС и большие интегральные схемы БИС, а также микропроцессорные комплекты МПК БИС. При этом можно получить лучшие решения, но условия бинарности в данном случае не применимы.

Множество элементарных преобразователей функциональной схемы может быть покрыто современными реальными конструктивными модулями, однако такое покрытие сопряжено с избыточностью физических элементов. Это обстоятельство, с одной стороны, позволяет повысить надежность, а с другой — ухудшает некоторые качественные показатели, например, энергопотребление и стоимость. Можно выбрать различные конструктивные модули, удовлетворяющие условиям функционирования, но тогда получим новые совокупности конфликтующих параметров. Вероятно, решение оптимизационной задачи в этих условиях лучше проводить игровыми методами с последующим принятием статистических решений.

Оптимальное решение задачи, соответствующее оптимальной стратегии, должно удовлетворять требованиям к проектированию по критериям, наиболее полно характеризующим объект, и, в частности, его эффективность.

Примем эффективность в качестве определяющего или глобального критерия. Составим игровую матрицу. В строках матрицы запишем возможные варианты выбора элементов X_i, т. е. стратегии, а в столбцах расположим показатели качества K_j (надежность, стоимость, энергопотребление, быстродействие и т. д.). В ячейки матрицы запишем экономическую эффективность $Э_{ij}$ или тот выигрыш, который может быть получен по j-му критерию при выбранной i-стратегии. Представим игровую матрицу в виде табл. 1.

Таблица 1

Стратегии	K_1	...	K_j	...	K_n
X_1	$Э_{11}$	...	$Э_{1j}$	...	$Э_{1n}$
...	...	...	...	...	...
X_i	$Э_{i1}$	...	$Э_{ij}$	...	$Э_{in}$
X_m	$Э_{m1}$	...	$Э_{mj}$	...	$Р_{mn}$
	$Э_{i1макс}$	...	$Э_{ijмакс}$	...	$Э_{inмакс}$

Основные трудности, которые возникают при составлении игровой матрицы, связаны с определением эффективности принятого решения по каждой из стратегий, т. е. с определением $Э_{ij}$. Покажем некоторые возможности определения $Э_{ij}$ для приближенных расчетов.

1. Показатель эффективности по критерию надежности оценим отношением $Э_{ij}(P)=P_{ij}/C_i$, где C_i — стоимость модулей, используемых при i-й стратегии; P_{ij} — вероятность безотказной работы совокупности модулей, необходимых для реализации изделий по i-й стратегии.

2. Показатель эффективности по быстродействию можно ориентировочно определить, используя отношение $Э_{ij}(t)=1/C_it_i$, где t_i — паспортные данные о времени выполнения типовой вычислительной операции элементной базой, выбранной по i-й стратегии.

3. Показатель эффективности по критерию минимального энергопотребления может определяться по формуле $Э_{ij}(W)=1/W_iC_э$, где W_i — потребляемая энергия всеми модулями, применяемыми по i-й стратегии; $C_э$ — коэффициент стоимости единицы энергии.

4. Показатель эффективности по количеству внешних связей модулей, применяемых в i-й стратегии, который косвенно характеризует трудоемкость $Э_{ij}(N_i)=1/N_i$, где N_i — общее число внешних связей у всех модулей, применяемых в i-й стратегии.

Отметим, что одни показатели качества максимизируются (надежность, мощность и т. д.), а другие минимизируются (стоимость, габариты, масса и т. д.). Поэтому желательно составить отдельные матрицы максимизируемых и минимизируемых пока-

Таблица 2

Стратегии	K_1	...	K_j	...	K_{n-1}	K_n
X_1	a_{11}	...	a_{1j}	...	$a_{1,n-1}$	a_{1n}
...	...	...	...	...	...	...
X_m	a_{m1}	...	a_{mj}	...	$a_{m,n-1}$	a_{mn}

зателей. Пусть будет n максимизируемых и f минимизируемых показателей.

Произведем нормирование пространства поиска (элементов матриц). Нормирование можно произвести для максимизируемых показателей путем деления $Э_{ij}$ на максимальное значение $Э_{ij\,макс}$ так, например, для первого столбца $a_{i1} = Э_{i1}/Э_{ij\,макс}$ для минимизируемых показателей $b_{i1} = Э_{ij\,мин}/Э_{i1}$.

Составим нормированную матрицу для максимизируемых показателей в виде табл. 2. Аналогичную матрицу составим для минимизируемых показателей качества. Показатели качества не являются «равноправными», поэтому после нормирования матриц необходимо произвести их «взвешивание», т. е. придать вес каждому из показателей качества, используя, например, экспертный метод. При этом домножают каждый элемент матрицы максимизируемых показателей (параметров). (табл. 2) на соответствующие весовые коэффициенты. В результате получим взвешенную игровую матрицу $[a_{ij}]$ (табл. 3).

Таблица 3

Стратегии	K_1	...	K_j	...	K_n	Суммарный выигрыш
X_1	a^*_{11}	...	a^*_{1j}	...	a^*_{1n}	$A_1 = \sum\limits_{j=1} a^*_{1j}$
...	...	...	...	...	...	...
X_m	a^*_{m1}	...	a^*_{mj}	...	a^*_{mn}	$A_m = \sum\limits_{j=1}^{n} a^*_{mj}$

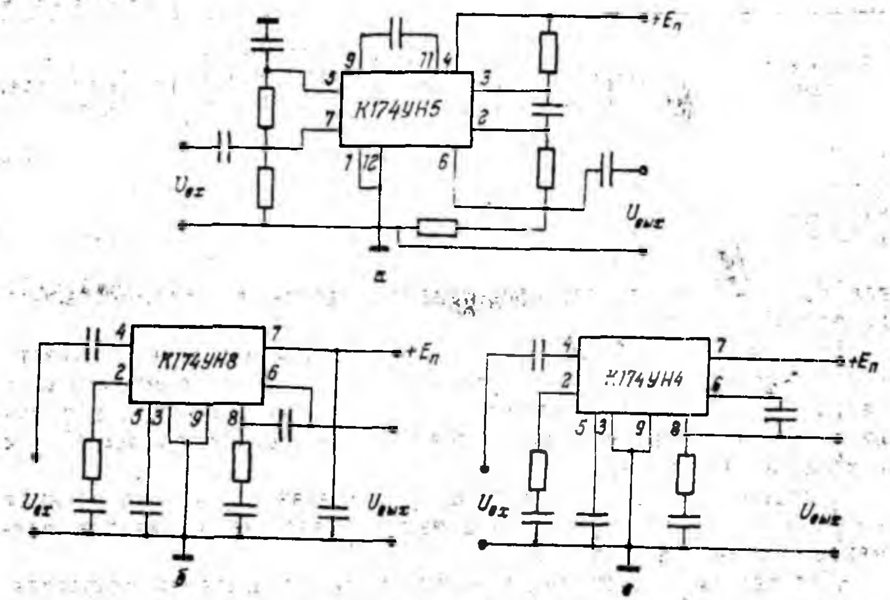
Аналогично домножают на соответствующие весовые коэффициенты элементы игровой матрицы минимизируемых показателей качества $[b_{ij}]$. Получим игровую матрицу (взвешенную) минимизируемых параметров. В эту же таблицу внесем свертку параметров в виде суммы, характеризующую суммарный выигрыш по стратегиям. Для определения оптимальной стратегии необходимо подсчитать суммарные выигрыши по каждой из стратегий для обеих матриц, а затем произвести свертку по каждой из соответствующих стратегий максимизируемых и минимизируемых параметров в виде частного. В числитель помещаются максимизируемые параметры, а в знаменатель — минимизируемые параметры

$$Э(X_i) = \max_i \left[\sum_{j=1}^{n} a^*_{ij} / \sum_{j=1}^{f} b^*_{ij} \right], \quad i = 1, \dots, m.$$

Оптимальной будет та стратегия, которая дает максимальное значение выигрыша.

Рассмотрим пример. При этом пойдем на некоторые упрощения, полагая, что показатели качества заданы не интервальными оценками с известной доверительной вероятностью, а средними значениями.

Пусть требуется выбрать лучший вариант усилителя мощности звукового канала. Усилитель должен иметь выходную мощность не менее 1 Вт и полосу пропускания от 30 до 20 000 Гц. Усилитель должен быть создан на базе аналоговых интегральных микросхем.



Из справочника выбираем микросхемы К174УН4, К174УН5 и К174УН8. На базе каждой из микросхем разрабатываем или выбираем из справочной литературы принципиальные электрические схемы. Имеет три варианта схем: (А), (Б), (В) (рисунок).

Определяем параметры оптимизации. Пусть этими параметрами будут: стоимость деталей C, коэффициент гармоник $K_Г$, потребляемый ток $I_П$, надежность $P(t)$, выходная мощность $N_В$.

Находим показатели эффективности:

по стоимости

$$Э_{Сi}=\sum_{k=1}^{f} C_{ki}\,.$$

где f — число входящих в схему элементов; C_{ki} — стоимость k-го элемента i-й стратегии, по потребляемому току: $Э_{Тi}=1/I_{Пi}\times$ $\times Э_{Сi}$, где $I_{Пi}$ — потребляемый i-й микросхемой ток (справочник);

по коэффициенту гармоник: $Э_{Гi}=1/K_{Гi}\cdot Э_{Сi}$, где $K_Г$ — коэффициент гармоник (справочник); по выходной мощности: $Э_{Ni}=$ $=N_{вых\,i}/Э_{Сi}$, где $N_{вых\,i}$ — выходная мощность (справочник); по надежности: $Э_{Pi}=P_i(t)/Э_{Сi}$, где $P_i(t)$ — вероятность безотказной работы элементов схемы, подсчитанная по справочным данным об интенсивностях отказов по формуле

$$P_i(t) = \prod_{k=1}^{f} P_{ki}(t),$$

Таблица 4

Тип микросхемы	Потребляемый ток, $I_{\Pi i}$, мА	Выходная мощность Вт, при $R_Н = 4$Ом,	Коэффициент гармоник, $K_Г$ %	Интенсивность отказов, λ_i, ч$^{-1}$
К174УН4	10	1	1	$1 \cdot 10^{-7}$
К174УН5	30	2	1	$1 \cdot 10^{-7}$
К174УН8	15	2	2	$1 \cdot 10^{-7}$

где $P_{ki}(t)$ — вероятность безотказной работы k-х элементов i-го варианта решения.

Выделяем из выбранной группы минимизируемые и максимизируемые параметры оптимизации. В группу максимизируемых параметров выделим надежность и выходную мощность, а к минимизируемым параметрам отнесем стоимость, потребляемый ток и коэффициент гармоник.

Составим справочную таблицу об основных характеристиках микросхем серии К174, выбранных в качестве вариантов элементной базы (табл. 4).

Произведем необходимые вычисления показателей эффективности и составим игровую матрицу (табл. 5).

Таблица 5

Вариант решения (стратегия	Минимизируемые параметры			Максимизируемые параметры	
	$Э_С$	$Э_T$	$Э_Г$	$Э_P$	$Э_N$
(А), 1	1,1	0,030	0,909	0,907	1,818
(Б), 2	1,08	0,062	0,277	0,924	1,851
(В), 3	1,07	0,099	0,934	0,933	0,934
	1,07	0,030	0,277	0,933	1,851

Составим нормированную матрицу (табл. 6), используя формулы

$$Э_{ijН} = Э_{ij\min}/Э_{ij};\ Э_{ijН} = Э_{ij}\ /Э_{ij\max}\ .$$

Учтем весовые коэффициенты для оптимизируемых параметров и составим матрицу (табл. 7) с учетом этих коэффициентов.

Допустим, что одним из методов, изложенных ранее, выбраны весовые коэффициенты по параметрам: для стоимости $C_С=0{,}2$, для тока потребления $C_Т=0{,}2$, для коэффициента гармоник $C_Г = 0{,}2$, для надежности $C_P=0{,}2$, для мощности $C_N=0{,}15$,

Таблица 6

Вариант решения (стратегия)	Минимизируемые параметры			Максимизируемые параметры	
	$Э_{СН}$	$Э_{ТН}$	$Э_{ГН}$	$Э_{РН}$	$Э_{NН}$
(А)	0,972	1,0	0,304	0,972	0,982
(Б)	0,990	0,468	1,0	0,990	1,0
(В)	1,0	0,303	0,296	1,0	0,504

Таблица 7

Вариант решения (стратегии)	Минимизируемые параметры			Свертка в виде суммы	Максимизируемые параметры		Свертка в виде суммы
	$Э^{\bullet}_{СН}$	$Э^{\bullet}_{ТН}$	$Э^{\bullet}_{ГН}$		$Э^{\bullet}_{РН}$	$Э^{\bullet}_{NН}$	
(А)	0,194	0,200	0,061	0,455	0,243	0,147	0,390
(Б)	0,198	0,094	0,200	0,492	0,247	0,150	0,397
(В)	0,200	0,064	0,059	0,319	0,250	0,075	0,325

В эту же таблицу (табл. 7) внесем результаты свертки критериев по строкам в виде суммы. Вычислим свертки критериев в виде частного от деления сверток максимизируемых параметров на соответствующие свертки минимизируемых параметров. В результате получим: $Э_А=0{,}857$; $Э_Б=0{,}806$; $Э_В=1{,}018$.

Выберем из полученных значений максимальный выигрыш. Он соответствует стратегии (В). Следовательно, она является лучшей или наиболее предпочтительной для задачи с принятыми ограничениями и условиями.

Список литературы: 1. *Фролов В. А., Коренева Г. В., Руденко А. П.* О принятии решений при выборе элементной базы вычислительных устройств// Конструирование специализированной электронно-вычислительной аппаратуры. Рязань, 1984. С. 16—19. 2. *Фролов В. А., Голенко А. В., Коренева Г. В.* Принятие решений в задачах с конфликтующими параметрами//Математическое и программное обеспечение задач оптимизации технических систем. К., 1987. С. 82—85. 3. *Фролов В. А.* Математические модели и методы оптимального конструирования ЭВА и РЭА. Х., 1985. 130 с.

Поступила в редколлегию 06.03.89