

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

П. М. ШАТАХЯН, Г. К. АКОНЯН, Г. В. ЗЕПТНАГЯН, Э. З. ДЖАНДЖАНИАН

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ВЫХОДНОМ КОНТРОЛЕ
ЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Существующие методы разработки системы тестов для выходного контроля линейных интегральных схем (ЛИС) в значительной степени основаны на интуитивном подборе контролируемых и задающих (определяющих режим работы схемы) параметров. Такой подход снижает гарантию работоспособности схемы, так как точки с координатами из контролируемых параметров оказываются неравномерно распределенными по области работоспособности схемы, образованной из требований к ним. Исходя из этого, предлагается при разработке системы тестов для выходного контроля ЛИС использовать методы планирования эксперимента.

ЛИС характеризуются качественными показателями, которые должны удовлетворять определенным требованиям. К ним относятся входное сопротивление, полная мощность на выходе, коэффициенты передачи сигнала, потребляемая мощность, шумы и т. д. Они функционально зависят от конструктивных и технологических параметров ЛИС и вследствие их разброса распределены по определенным статистическим законам. Это приводит к тому, что не все схемы будут удовлетворять требованиям, предъявляемым к их качественным показателям, и необходимо предусмотреть систему тестов для их выходного контроля.

Система тестов должна с высокой степенью гарантии определять годность ЛИС, быть минимальной и просто реализуемой при контроле.

Исходя из технического задания на ЛИС, формируются две группы параметров: а) минимальное количество параметров (факторов эксперимента), задающих режим работы ЛИС—тестовых параметров— $\bar{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$, б) минимальное количество параметров, характеризующих работу ЛИС—тестовых показателей— $\bar{Y} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$.

Признаком годности схемы является попадание точки с координатами из тестовых показателей в область работоспособности, ограниченную требованиями к ним $\bar{Y}^*$ и $\bar{Y}''$, то есть

$$\bar{Y}^* \leq \bar{Y} \leq \bar{Y}''.$$

Здесь $\bar{Y}^*$ и $\bar{Y}''$ —пределы допустимых изменений тестовых показателей.

Количество параметров обеих групп должно быть минимальным, что достигается тем, что в каждую из них отбираются только такие параметры, которые без учета влияния ЛИС функционально не связаны друг с другом. Например, к первой группе можно отнести температуру окружающей среды, частоту выходного сигнала, коэффициенты шумов и нелинейных искажений, входные и выходные сопротивления и т. д. Используя значения тестовых параметров в пределах X' и X'' , приведенных в техническом задании ($X' < X < X''$), можно испытывать ЛИС в различных режимах работы.

С этой целью определяется информационная матрица планирования эксперимента [1], исходя из следующих соображений.

Для увеличения гарантии работоспособности схемы при выходном контроле необходимо применять ротатабельные планы, что приводит к уменьшению влияния погрешностей самих измерений, а также к равномерному «размазыванию» тестовых показателей в области работоспособности. Такими свойствами обладают D -оптимальные непрерывные планы, но так как выходной контроль осуществляется в отдельных точках и, следовательно, является дискретным процессом, то необходимо выбрать дискретные планы, близкие по свойствам к D -оптимальным; наиболее подходящими в этом смысле являются планы на гиперкубе [2].

Из экспериментальных исследований известно, что зависимость между тестовыми показателями и тестовыми параметрами, задающими режим работы ЛИС, достаточно точно описываются регрессионными уравнениями второго порядка. Поэтому в качестве информационной матрицы целесообразно выбрать один из планов второго порядка на гиперкубе, наиболее близкий по свойствам к D -оптимальному, в то же время требующий меньшего количества опытов с целью удешевления выходного контроля. Каждый тестовый показатель Y связывается с тестовыми параметрами X_m уравнением регрессии второго порядка:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i X_i + \sum_{i,j=1}^m \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^m \beta_{ii} X_i^2,$$

где $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$ — коэффициенты регрессии; X_i, X_j — тестовые параметры; $i, j = 1, 2, 3, \dots, m$.

Введя фиктивную переменную $X_0 = 1$ и видоизменяя уравнение регрессии, получим:

$$Y = \beta_0 f_0(x) + \beta_1 f_1(x) + \dots + \beta_m f_m(x) = \beta f(x),$$

где

$$f_0(x) = X_0; f_1(x) = X_1; \dots; f_m(x) = X_m;$$

$$f_{m+1}(x) = X_1^2; f_{m+2}(x) = X_2^2; \dots; f_{m+m}(x) = X_m^2;$$

$$f_{m+m+1}(x) = X_1 X_2; \dots; f_{m+m+d}(x) = X_{m-1} X_m; m' = C_{m+d}^d - 1;$$

d — порядок уравнения регрессии.

Каждый план характеризуется величиной определителя $M(\xi)$ информационной матрицы. Кроме того, весьма важной характеристикой плана для выходного контроля является средняя по гиперкубу дисперсия предсказанных значений тестовых показателей, приведенная к одному наблюдению, с помощью которой определяется погрешность плана в любой точке гиперкуба, а в нашем случае — погрешность в определении годности схемы в любом допустимом режиме работы после проведения выходного контроля [3]:

$$d_{cp} = \frac{\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \dots \int_{-1}^1 f'(x) [M(\xi)]^{-1} \bar{f}(x) dx_1 dx_2 \dots dx_m}{2^m}$$

Здесь $\bar{f}(x)$ — экспериментально полученные выборочные величины, являющиеся оценками теоретических значений $f(x)$; $M(\xi) = Z^* \cdot Z$ — информационная матрица, где

$$Z = \begin{bmatrix} X_0 X_1 & X_1 X_1 & X_2 X_1 & \dots & X_m X_1 \\ X_0 X_2 & X_1 X_2 & X_2 X_2 & \dots & X_m X_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_0 X_n & X_1 X_n & X_2 X_n & \dots & X_m X_n \end{bmatrix};$$

Z^* — транспонированная матрица Z .

Размерность плана определяется исходя из количества тестовых параметров, характеризующих контролируемый режим работы схемы. Для каждого тестового параметра берутся граничные и средние значения $(-1, 0, +1)$, что соответствует границам эксплуатационных параметров, указанных в техническом задании, и их среднему арифметическому значению, т. е. $\bar{X}'$, $(\bar{X}' + \bar{X}'')/2$, $\bar{X}''$ соответственно. Например, для плана с размерностью $m=4$ (количество тестовых параметров) можно рекомендовать план $Na-Ko_{30}$, приведенный в табл. 1. Соот-

Таблица 1

№	X_1	X_2	X_3	X_4	№	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	-1	-1	-1	10	0	1	-1	1
2	-1	1	-1	-1	11	-1	0	-1	-1
3	-1	-1	1	-1	12	1	0	1	1
4	1	1	1	-1	13	-1	1	-1	0
5	1	-1	-1	1	14	-1	0	1	1
6	-1	1	-1	1	15	0	1	1	-1
7	-1	-1	1	1	16	1	-1	1	0
8	1	1	1	1	17	1	-1	0	1
9	0	0	0	0	18	0	1	1	-1

Таблица 2

Порядковый номер испытания	Измеряем. тестовый показатель	Размерность	№ выхода из ЛИС	Режим испытания				Границы области измеп.	
				X_1	X_2	X_3	X_4	мин.	макс.
1	Y_1			1	1	1	1	Y_1'	Y_1''
2	Y_1			-1	1	-1	-1	Y_1'	Y_1''
...	...			...	...	...	...	...	...
18	Y_2			0	-1	1	-1	Y_2'	Y_2''
19	Y_2			1	-1	-1	-1	Y_2'	Y_2''
20	Y_2			-1	1	-1	-1	Y_2'	Y_2''
...	...			...	...	...	...	...	...
36	Y_3			0	-1	1	-1	Y_3'	Y_3''
...	...			...	...	...	...	...	...
$18(n-1)+1$	Y_n			1	-1	-1	-1	Y_n'	Y_n''
$18(n-1)+2$	Y_n			-1	1	-1	-1	Y_n'	Y_n''
...	...			...	...	...	...	...	...
18n	Y_n			0	-1	1	-1	Y_n'	Y_n''

соответствующая ему система тестов приведена в табл. 2. Этот план имеет следующие характеристики: количество опытов $N=18$; $|M(\xi)|=0.1 \cdot 10^{-4}$; $d_{cp}=20.8$; $d_{max}=138$; $d_{min}=6.5$. Он по своим данным несколько уступает другим планам, но имеет небольшое количество измерений.

Выводы

1. При составлении системы тестов для выходного контроля ЛИС предлагается применять планы второго порядка на гиперкубе, близкие по свойствам к D -оптимальным.
2. Применение указанных планов сокращает количество измерений при выходном контроле и увеличивает гарантию работоспособности ЛИС в устройстве соответственно техническому заданию.
3. Такой подход при составлении системы тестов позволяет стандартизировать техническое задание на ЛИС.

Պ. Բ. ՀԱՏԱԿԱՆ, Պ. Կ. ՀԱՆՈՔՅԱՆ, Պ. Վ. ԶԵՏԻՆԱԿՅԱՆ, Է. Ջ. ԶԱԽԱՐԱՅԱՆ

ԷԷՍՊԵՐԻՄԵՆՏԻ ՊԼԱՆԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԿՐԱՌՈՒՄԸ ԿԵԱՅԻՆ
ԻՆՏԵՐԱԼԱՅԻՆ, ՈՒՆԻՎԵՐՍԻՏԵՏԻ ԵՎԻԼՅԻՆ, ՍՏՈԻԿՄԱՆ, ԺԱՅԱՆԱԿ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում քննարկվում է էքսպերիմենտի պլանավորման մեթոդների կիրառման հնարավորությունը գծային ինտեգրալային սխեմաների ելքային ստույգման համար առևտրի սխեմաներում կազմելու ժամանակ: Էքսպերիմենտի ինֆորմացիոն մատրիցայի ձևավորման ժամանակ առաջարկվում է սպառազոր-
ձել համեմատելուն համար 11-օպտիմալային մոտիկ երկրորդ կարգի պլան-
ներ հայերիստանարդի վրա, որոնք թույլ են տալիս կրճատել ելքային ստույգ-
ման շրջանների ժամանակը և միևնույն ժամանակ բարձրացնել գծային
ինտեգրալային սխեմաների աշխատունակության երաշխիքը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Нализов В. В., Черкова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. Изд. «Наука», 1965.
2. Новые идеи в планировании эксперимента, под ред. В. В. Нализова. Изд. «Наука», 1969.
3. Галикова Т. И., Макашина Н. Г., Нализов В. В., Веселая Г. И. «Заводская лаборатория», 43, № 7, 1967.