

Кроме этого, проводились эксперименты для схемы, содержащей более 60000 узлов. Результаты приведены в сводной таблице (табл. 1).

Таблица 1

$N_{\text{полн.}}$	$N_{\text{ред}}$	$T_{\text{ред, мин}}$	Погрешность максималь- ная, %	$T_{\text{моделирования, редуцирован. модели, с}}$	$T_{\text{моделиров, полной модели, мин}}$
60001	6	>60 мин	4%	4с	> 1000
60001	16	>60 мин	0.04%	9с	> 1000
60001	57	>60 мин	0.003%	30с	> 1000

Особенности алгоритма.

Одним из самых главных достоинств алгоритма TICER является то, что в результате получается реализуемая схема (realizable network). Также алгоритм целесообразно применять для редукции больших RC-схем (межсоединений), уменьшая их размер на несколько порядков.

Результаты:

1. Разработан алгоритм редуцирования линейных цепей высокого порядка.
2. Показана высокая вычислительная эффективность разработанного алгоритма.
3. Отношение вычислительных затрат при моделировании во временной области полной и редуцированной моделей составляет более 2000 раз.

Список литературы

1. *Odabasioglu and M. Celik, "PRIMA: Passive Reduced-Order Interconnect Macromodeling Algorithm". IEEE Trans Computer-Aided Design, vol.17, 1999, pp. 645-654.*
2. *Peter Feldmann and Roland W. Freund, "Efficient Linear Circuit Analysis by Padre Approximation via the Lanczos Process". IEEE Trans. Computer-Aided Design, vol 14, 1993, pp. 137-158.*
3. *Bernard N. Sheehan, TICER: Realizable Reduction of Extracted RC Circuits, Proceedings of the 1999 IEEE/ACM international conference on Computer-aided design, pp.200-203, November 07-11, 1999, San Jose, California, United States.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОМОДЕЛЕЙ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ПРИ РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ РЭА

Д. В. Лазарев, В. В. Жаднов, А. А. Пименов (научные руководители)
 Московский государственный институт электроники и математики
 109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., 1-3/12, стр. 8
 Федеральное государственное унитарное предприятие
 Научно-исследовательский институт импульсной техники
 115304, Москва, ул. Луганская, 9
 E-mail: asonika-k@mail.ru

Трудоёмкость расчёта надёжности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) напрямую зависит от числа ее составных частей (СЧ) и, в конечном счете, определяется общим числом электрорадиоизделий (ЭРИ). Если принять во внимание, что число ЭРИ в оригинальных СЧ может достигать десятков и сотен тысяч штук, то становится очевидным актуальность проблемы снижения трудоёмкости расчётов надёжности.

Для СЧ, схема расчета надежности (СРН) которой представляет собой последовательное соединение ЭРИ, интенсивность отказов рассчитывается по известной формуле (1):

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^{l_j} \lambda_{ji}, \quad (1)$$

l_j – количество ЭРИ в СЧ j -го типоразмера; λ_{ji} – эксплуатационная интенсивность отказов i -го ЭРИ.

Это значение в дальнейшем используется при расчетах надежности изделия для всех СЧ j -того типоразмера. Таким образом, (1) можно рассматривать как макро модель СЧ. Отметим, что для стандартных и унифицированных СЧ значения λ_j приводятся в нормативно-технической документации (НТД). Однако эти значения представляют собой либо верхнюю оценку интенсивности отказов, либо получены для конкретных условий применения СЧ (режимов работы ЭРИ и уровней ВВФ). Другими словами, применяемые в настоящее время макро модели надежности СЧ не позволяют оценить значения характеристик надежности при изменении условий применения СЧ, т. е.:

$$\lambda_j = \text{const}. \quad (2)$$

Очевидно, что применение модели (2) может привести к существенной погрешности расчетов надежности РЭА, величина которой будет тем больше, чем сильнее отличаются условия применения данной СЧ от условий, которые были приняты при расчете характеристик надежности ЭРИ в полной модели (1).

Значительное повышение точности и существенное снижение объема вычислительных затрат может быть достигнуто за счет применения макро моделей надежности СЧ, которые, в отличие от (2), должны позволять учитывать зависимости характеристик надежности от ВВФ, температуры окружающей среды и коэффициента нагрузки.

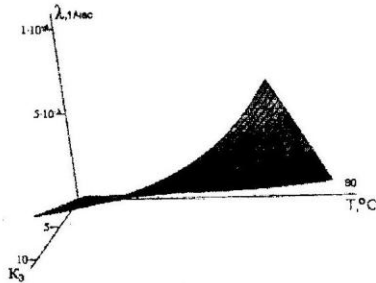


Рис. 1. Интерполированная зависимость интенсивности отказов электронного модуля от температуры окружающей среды и от коэффициента эксплуатации при фиксированном значении коэффициента электрической нагрузки

Функция для расчета λ_j (модель интенсивности отказов) может быть получена методом упрощения структуры полной математической модели (1) и представлена в следующем виде [2]:

$$\lambda_j = \lambda_{j0} \cdot f_j(K_s, K_p), \quad (3)$$

где λ_{j0} – базовая интенсивность отказов СЧ j -того типоразмера (при нормальных условиях (НУ) и номинальной нагрузке); f_j – некоторая аналитическая зависимость; $K_s = \{k_{s1}, k_{s2}, \dots, k_{sj}\}$ – вектор значений коэффициента эксплуатации СЧ j -го типоразмера (учитывающий жесткость условий эксплуатации); $K_p = \{K_n, T_j\}$ – матрица значений коэффициента режима применения СЧ j -того типоразмера; T_j – температура среды, окружаю-

шей СЧ, при которой получены рабочие температуры ЭРИ, приведенные в картах рабочих режимов (КРР); K_n – коэффициент нагрузки.

Надежностная макро модель СЧ (модель эксплуатационной интенсивности отказов) представляет собой дискретную трехмерную функцию, заданную ее значениями. Однако, в этом случае в базе данных придется хранить относительно большое число параметров макро модели (порядка двух тысяч) [6].

После некоторых преобразований, позволяющих представить функцию для расчета λ_j как функцию одного аргумента (температуры) с некоторым набором коэффициентов, получим:

$$\lambda_j = \lambda_{j0} \cdot k_{zj} \cdot r_j \cdot f_j\{b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jM}, T\}, \quad (4)$$

где r_j – значение коэффициента, определенное для j -той координаты вектора K_n ; f_j – аппроксимирующая функция, вид которой определен для j -той координаты вектора K_n ; $b_{j,m}$ – m -тый коэффициент, определенный для j -той координаты вектора K_n ; T – температура среды, окружающей СЧ.

Для поиска вида функции f_j были использованы несколько способов аппроксимации. Наилучшие результаты, с точки зрения точности аппроксимации, были получены в результате сплайн-интерполяции. Однако, с точки зрения числа коэффициентов (M) функций (что в данном случае является критерием выбора вида функции, а точность аппроксимации – лишь ограничением), лучшей оказалась нелинейная аппроксимация экспоненциальной регрессией.

Таким образом, применение аппроксимации $f_j(T)$ позволяет существенно снизить объем численных значений, хранящихся в БД. Как следует из (4), точность макро модели определяется шагом дискретизации коэффициента нагрузки и погрешностью аппроксимирующей функции. Однако очевидно, что применение таких макро моделей в расчетах надежности РЭА в итоге дает значительно меньшую погрешность (см. рис. 1), чем в случае, когда используется общепринятое допущение о том, что для СЧ одного типоразмера $\lambda_j \approx const$ (не зависит ни от условий применения, ни от нагрузки).

Список литературы

1. Надежность ЭРИ: Справочник. // С. Ф. Прытков, В. М. Горбачева, А. А. Борисов и др. / Науч. рук. С. Ф. Прытков – М.: 22 ЦНИИ МО РФ, 2002. – 574 с.
2. Автоматизация проектных исследований надежности радиоэлектронной аппаратуры: Научное издание // Жаднов В. В., Кофанов Ю. Н., Малютин Н. В. и др. – М.: Изд-во Радио и связь. 2003. – 156 с.

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

С. Н. Полесский, В. В. Жаднов (научный руководитель)
 Московский государственный институт электроники и математики
 (Технический университет)
 109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., д. 1-3/12, стр. 8
 E-mail: serg@asonika-k.ru

Интерес к оцениванию надежности программных средств (ПС) возник одновременно с появлением самих программ. Он был вызван естественным стремлением получить традиционную вероятностную оценку надежности технического устройства (ЭВМ), работа которого в основном и предназначалась для функционирования ПС.

Для обеспечения надежности ПС предложено множество подходов, включая организационные методы разработки, различные технологии и технологические программные средства, что требует, очевидно, привлечения значительных ресурсов. Однако отсутствие