

Современный подход к оценке надежности изделий электронной техники

Эмануил Лидский, д. т. н.
Ольга Мироненко
Андрей Гусев

a.gusev@tpira.uran.ru
agusev@34bit.sco.ru

В настоящее время возникло новое понимание цели расчетно-экспериментального оценивания надежности изделий электронной техники (ИЭТ). Традиционно ставилась задача прогнозирования вероятности отказа ИЭТ определенного типа. Наряду с этим появилась потребность охарактеризовать с помощью единого числового показателя надежность всей массы ИЭТ, объединяемых только единством применяемой технологии изготовления или имеющих одинаковое эксплуатационное назначение и т. п. Крупные фирмы — производители ИЭТ заинтересованы также в оценке надежности всей своей продукции в целом. Показателем надежности должна быть присвоена, помимо традиционной функции, также косвенная характеристика гарантии производителя на работу ИЭТ в течение установленного срока службы.

Особенности современного подхода рассмотрим на примере микроконтроллеров и других микросхем, изготовленных по современным технологиям [1, 2].

Чтобы обеспечить соответствие входных данных цели анализа, производится группирование продукции по принятому признаку. Так, ADI группирует весь выпуск в 9 групп, ATMEL — в 11 (по применяемой технологии). Результаты испытаний могут изучаться самостоятельно в пределах каждой группы, при объединении отдельных групп по какому-либо другому признаку или, наконец, совместно, как продукция фирмы. Столь высокая гибкость использования результатов достигается не только за счет независимости выборок, поставленных на испытания в группах, но также применением универсальных, хорошо изученных аддитивных моделей. Предполагается:

1. Экспоненциальное распределение числа отказов за время испытаний.

2. Представление результата испытаний в форме χ^2 .

На языке теории групп можно сказать, что на множестве результатов испытаний выделяется с помощью оператора χ^2 ряд подмножеств. Элементы ряда образуют аддитивную группу. Выделение любого частичного объединения или хотя бы одного из элементов ряда дает аддитивную же подгруппу. Использование теории групп может оказаться перспективным в развитии данного подхода при обработке результатов испытаний.

Продemonстрируем построение величины χ^2 и особенности ее применения при оценке надежности любой подгруппы изделий. Назовем p — вероятность появления отказа, $q = 1 - p$. Тогда при испытании N образцов

$$\chi^2 = \frac{(x - Np)^2}{Np} + \frac{(y - Nq)^2}{Nq}, \quad (1)$$

где x — число отказов, $y = N - x$.

Так как практически всегда $q \gg p$, можно переписать (1) в виде

$$\chi^2 = \frac{(x - Np)^2}{Np}. \quad (2)$$

Известно [3], что тогда распределение числа отказов x подчинено закону Пуассона

$$P_x = \frac{(Np)^x}{x!} e^{-Np}. \quad (3)$$

Из (2, 3) следует выполнение первого предположения о моделях, если выполняется второе.

Два равенства $x + y = N$

$$\text{и} \quad \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{x=0}^N P_x(N) = 1$$

с учетом $N \gg 1$ определяют минимальное число степеней свободы, равное 2.

При испытаниях две степени свободы отвечают 0 наблюдавшимся отказов, так как предполагалось $q \approx 1$. В этом случае распределение величины $u = \chi^2/2$ будет экспоненциальным. Если в процессе испытаний был зарегистрирован отказ, то это означает, что число степеней свободы становится больше двух. Каждый отказ эквивалентен по крайней мере одному новому условию связи (речь идет о факте, считающемся непреложным). Следуя предложению ATMEL, будем считать, что каждый отказ генерирует дополнительно две степени свободы. Тогда не могут возникать дробные степени в распределении χ^2 . Общее число степеней свободы $m = 2n + 2$. По мере роста числа отказов n кривая плотности χ^2_{2n+2} сдвигается вправо по оси u (рис. 1). Соответственно, меняются квантили распределения и возрастает вероятность отказа (в имеющихся данных приняты 60 % и 90 % уровни значимости).

С учетом изложенного вычисляется интенсивность отказов (Failure Rate)

$$FR = \frac{\chi^2_{1-\alpha^{(m)}}}{2NHA_t}, \quad (4)$$

где N — число изделий, поставленных на испытание; H — число часов при испытании под нагрузкой; A_t — коэффициент ускорения. Произведение $NHA_t = EDH$ (Equivalent Device Hours).

Выражение (4) свидетельствует о высокой гибкости показателя FR .

Функции $\chi^2_{1-\alpha^{(m)}}$ аддитивны. Нормировка с помощью EDH не влияет на аддитивность. Поэтому допустимо проводить испытания по подгруппам с последующим суммированием получаемых FR .

За основной показатель надежности принимается произведение $FIT = FR \times 10^9$.

(Failure in Time) число отказов за время. Множитель 10^9 подобран так, чтобы в расчете для всей продукции фирмы FIT был целым в пределах от 0 до 9.

Вторым основным показателем считается $MTTF = 10^9/FIT$ (Mean Time to Failure) средняя наработка до отказа.

Оба показателя, сохранив традиционные наименования, имеют вместе с тем несколько иной смысл, отвечающий требованиям, отмеченным в начале статьи.

Рассмотрим изложенное на примере, заимствованном из материалов корпорации ADI.

Из генеральной совокупности выпуска ADI взята выборка объема (Overall Sample Size) 57981

$$EDH = 6372926872$$

Число отказов (Quantity Fails) 23

$$m = 2n + 2 = 68$$

$$\alpha = 60 \%$$

Контрольный расчет

$$\chi^2_{1-\alpha^{(m)}} = 64,64;$$

$$u = \chi^2/2 = 32,32.$$

$FR = 5,18 \times 10^{-9}$ 1/ч (ADI принимает для своей продукции $FIT = 6$).

Это определило значение множителя 10^9 как константы при сравнении результатов испытаний в подгруппах. Наименьшая информация была получена при испытаниях в одной из подгрупп технологии CMOS. Объем выборки — 267 образцов,

$$EDH = 32103000.$$

$$FIT = 29; FR = 29 \times 10^{-9} \text{ 1/ч.}$$

Однако рост FIT и FR не говорит о том, что данный микроконтроллер действительно менее надежен, чем другие изделия ADI. Просто ввиду недостатка информации фирма не может ручаться за тот уровень надежности, который свойственен продукции в целом.

Здесь важно отметить, что FIT может служить мерой малости выборки. Последнее часто приходится иметь в виду при планировании испытаний.

Заключение

Новые показатели надежности ИЭТ сохранили старые наименования (FR , $MTTF$) — интенсивность отказов, средняя наработка до отказа — но смысл их стал иным. Основой является показатель FIT , что придает всему комплексу оценок надежности сравнительный характер.

Публикуемые показатели (FIT , $MTTF$) могут служить традиционными оценками надежности только при условии, что они полу-

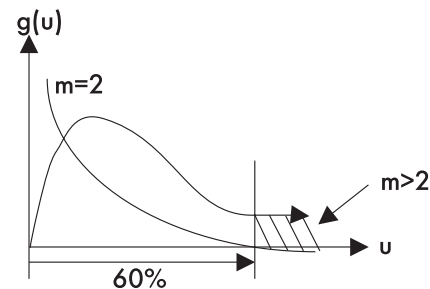


Рис. 1

чены по результатам испытаний при большом EDH — порядка 109. В противном случае большое значение FIT свидетельствует не о физической ненадежности ИЭТ, а о малой располагаемой информации.

Показатель FIT может служить мерой малости информации, полученной при испытаниях. Интересные подтверждающие данные приведены в [4].

Литература

1. www.analog.com; Corporate Information, ADI Quality Systems, MTTF and FIT Rate Calculations.
2. www.atmel.com; Reliability Monitor Report, ATMEL PROPRIETARY, High Temperature Operating Life.
3. Б. Л. Ван дер Варден, Математическая статистика — М: ИЛ, 1960.
4. Silicon Bipolar Transistors, Reliability Data, HBFR — 405, HBFR — 420, HBFR — 450, Life Test.