

чения (см. рис. 3); во-вторых, может быть связан с выделением примесных атомов внедрения, эффективно подавляющих процесс порообразования. Из данных РОР [6] следует, что слоистая концентрация углерода возрастает почти в три раза ($25,5 \cdot 10^{16}$ ат/см² — доза 10^{17} ион/см²) по сравнению с исходной ($6,9 \cdot 10^{16}$ ат/см²). Следует отметить, что при облучении пленок Ni нонами Ag⁺ дозами более $5 \cdot 10^{16}$ ион/см² наряду с ГЦК-решеткой никеля наблюдается появление ГПУ-фазы, дифракционные характеристики которой совпадают с соединением Ni₃C. При этом не исключено, что выделения Ni₃C могут формироваться вокруг пор, которые являются стоками для точечных дефектов и примесных атомов. Аналогичная картина образования сегрегаций углерода вокруг пор наблюдалась в работе [7], где отмечено, что выделения такого рода представляют собой не графит, а цементит Fe₃C.

Список литературы

1. Кирсанов В. В., Суворов А. Л., Трушин Ю. В. Процессы радиационного дефектообразования в металлах. М., 1985.
2. Ибрагимов Ш. Ш., Кирсанов В. В., Пятилетов Ю. С. Радиационные повреждения металлов и сплавов. М., 1985.
3. Палатник Л. С., Черемской П. Г., Фукс М. Я. Поры в пленках. М., 1982.
4. Гегузин Я. Е. Микроскопические дефекты в металлах. М., 1962.
5. Любов Б. Я., Соловьев В. А. // ФТТ. 1967. Т. 9. С. 338.
6. Гольцев В. П., Комаров Ф. Ф., Гетц Г., Глазер Э., Ходасевич В. В., Драко В. М., Новоселова Г. А., Углов В. В. // Тез. докл. XIV Всесоюз. совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М., 1984. С. 141.
7. Takahashi H., Takeyama T., Nakahigashi S., Terasawa M. // Journ. Nucl. Mater. 1981. V. 98. P. 227.

Поступила в редакцию 09.02.87.

УДК 681.325.63.35:512.93

Н. Н. ТАРАСЕВИЧ

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ МАЖОРИТАРНОЙ ФУНКЦИИ И МАЖОРИТАРНОГО ЭЛЕМЕНТА

Мажоритарное резервирование, при котором к выходам n параллельно работающих идентичных систем подключается элемент, реализующий мажоритарную функцию (МФ), является эффективным методом повышения надежности систем различного назначения. МФ относится к классу пороговых функций и в общем случае ее выражение имеет вид:

$$F_M(x_1, \dots, x_n) = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^n a_i x_i \geq h, \\ 0, & \sum_{i=1}^n a_i x_i < h, \end{cases} \quad (1)$$

где x_i — i -й аргумент функции (0 или 1 для $i = \overline{1, n}$); a_i — весовой коэффициент i -го аргумента; n — число аргументов; h — порог. Для МФ обычно полагают, что n нечетно, а порог $h = \frac{n+1}{2}$ [1] или, иначе, $F_M = 1$ и $F_M = 0$ на тех наборах, где большинство аргументов равно 1 и 0 соответственно. Для трехканальной мажоритарно резервированной системы с $n=3$, $h=2$ МФ имеет вид (в предположении, что все $a_i=1$):

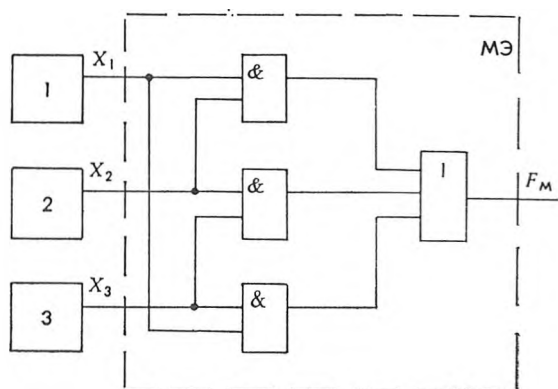
$$F_M(x_1, x_2, x_3) = x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_2 x_3. \quad (2)$$

На рисунке показана мажоритарно резервированная система, содержащая три одинаковых блока (1, 2, 3), выходы из которых подключены к соответствующим входам мажоритарного элемента (МЭ). Из таблицы,

которая является таблицей истинности мажоритарной функции (2), и выражения (2) видим, что МФ является самодвойственной, т. е.

$$F_M(x_1, x_2, x_3) = \bar{F}_M(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3). \quad (3)$$

При формулировании определений МФ и МЭ большинство авторов отдают предпочтение именно этому свойству. Так, в [2] мажоритарный элемент определяется как схема, в которой состояние выходного сигнала соответствует состоянию большинства входных сигналов. В [1] дается следующее определение МЭ: «мажоритарным элементом называется логический элемент, сигнал на выходе которого принимает значение, совпадающее со значением сигнала на большинстве входа».



Мажоритарно резервированная система:
1, 2, 3 — резервируемые блоки; МЭ — мажоритарный элемент

Основой указанных определений, как, впрочем, и определений любых других логических элементов, является понятие сигнал. При этом полагают, что сигналом будут и один логический уровень (например, напряжения), и другой, условно обозначаемые 1 и 0, или любой из двух уровней, но при этом считают, что сигнал может иметь два значения: 1 или 0, т. е. сигнал на входах и выходе логического элемента есть всегда, так как в двузначной логике других уровней нет.

При таком подходе из класса мажоритарных исключаются элементы с четным числом входов, поскольку на некоторых наборах аргументов для этих элементов имеет место равенство нулей и единиц. Однако в [3] и некоторых других работах МФ определяется и для четного числа аргументов. Такой подход справедлив, поскольку системы, работающие по критериям, например, «3 из 4», «4 из 6», также соответствуют принципу большинства (мажоритарному принципу), сформулированному Дж. фон Нейманом [4]. С учетом этого принципа и требования наибольшей эффективности в части исправления ошибок в системе, содержащей четное число каналов (четное число аргументов функции) n , порог голосования должен устанавливаться равным $h =$

x_1	x_2	x_3	F_M
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$= \frac{n}{2} + 1$. Отметим, что систему, работающую по критерию «3 из 4», можно рассматривать как систему «3 из 5», у которой один канал отключен (неисправен).

Приведенные аргументы можно считать достаточно весовыми для распространения принципа большинства и на элементы с четным числом входов. Однако определение МЭ тогда придется давать, не используя свойство самодвойственности, так как пороговые функции от четного числа аргументов им не обладают.

Теорема. Свойством самодвойственности обладает только такая пороговая функция $F_{\Pi}(x_1, \dots, x_n)$, у которой число аргументов n нечетно, а порог $h = \frac{n+1}{2}$ (доказательство см. в приложении).

Из теоремы следует, что из всего класса пороговых функций свойством самодвойственности обладает только МФ, определенная для нечетных n .

Основным свойством мажоритарного элемента, как и любого другого, является то, что он обрабатывает сигналы в соответствии с заданной функцией. В отличие от других элементов МЭ обрабатывает сигналы в соответствии с принципом большинства. Для определения МЭ через сигнал необходимо провести строгий анализ данного понятия, что выходит далеко за рамки настоящей статьи, поэтому воспользуемся лишь экспликацией понятия сигнал.

При технической реализации логических функций пользуются соглашением или положительной, или отрицательной логики. Однако в отличие от общепринятого в первом случае сигналом необходимо считать высокий уровень напряжения (для потенциальной логики), а во втором — низкий. Соответственно низкий уровень в первом случае и высокий во втором необходимо рассматривать как отсутствие сигналов, т. е. сигнальным является только один уровень. Предположим, что логический элемент построен в строгом соответствии с соглашением положительной логики и его входы никуда не подключены. Тогда при подаче питания на всех входах и на выходе должен быть низкий уровень. После подключения к источникам информации на входы элемента поступают сигналы. Это значит, что под воздействием физических процессов, происходящих в источниках, на входах элемента могут появляться высокие уровни напряжения (сигналы). В противном случае входы остаются в исходном состоянии (сигналы отсутствуют). Для математического описания того или иного элемента, устройства нет необходимости говорить о соглашениях (обозначения 0 и 1 условны), но при технической реализации без такого разделения не обойтись, поскольку, проектируя некоторое логическое устройство, всегда необходимо делать выбор: один из уровней должен соответствовать исходному состоянию, а другой — наличию сигнала. Заметим, что в известных логических системах, находящихся в исходном состоянии, на входах и выходах элементов можно наблюдать оба уровня. Это связано с тем, что при построении систем использовались инверторы, с помощью которых осуществляется переход от одного соглашения к другому и таким образом удается сократить аппаратные затраты. Однако извне в систему вся информация поступает в виде физических воздействий, превышающих некоторый порог. Поэтому сигналом необходимо считать только один логический уровень из двух возможных и именно тот, который превышает порог. Для многозначной логики сигнальными являются все уровни, кроме одного.

Определение. Мажоритарный элемент — это логический элемент, сигнал на выходе которого появляется при наличии сигналов на большинстве входов.

Прежде чем дать определение МФ, сделаем следующее замечание. Когда говорят о логическом элементе, имеют в виду физический объект с n входами и одним выходом, обрабатывающий сигналы, и считают, что сигнал на выходе появляется при наличии на входах той комбинации сигналов, которая соответствует реализуемой им функции. Когда же логическую функцию рассматривают как математический объект, полагают, что она принимает то или иное значение в зависимости от значений аргументов. Сопоставляя понятия сигнал и аргумент, необходимо отметить, что аргумент всегда есть и принимает одно из двух значений: 0 или 1 (в булевой алгебре), а сигнал либо есть, либо его нет.

Определение. Мажоритарная функция — это пороговая логическая функ-

ция n аргументов вида (1), для которой при n четном $h = \frac{n}{2} + 1$, а при n нечетном $h = \frac{n+1}{2}$.

Свойство же самодвойственности МФ от нечетного числа аргументов не является основным и позволяет говорить лишь об инвариантности мажоритарного элемента с нечетным числом входов. Это значит, что один и тот же МЭ без изменения его схемы можно использовать в системах, построенных в соответствии с соглашением как положительной, так и отрицательной логики. Или, что то же самое, мажоритарный элемент инвариантен относительно типа сигнала: и для сигналов «логическая 1», и для сигналов «логический 0» один и тот же МЭ реализует мажоритарную функцию. Не составляет труда убедиться в том, что любое устройство, реализующее самодвойственную логическую функцию, инвариантно относительно логических соглашений.

Используя принятый в настоящей статье подход, можно установить, что среди 16 булевых функций двух аргументов $f_0(x_1, x_2), \dots, f_{15}(x_1, x_2)$ логическими, т. е. соответствующими законам мышления, являются $f_1(x_1, x_2), \dots, f_7(x_1, x_2)$ (номера функций являются десятичными эквивалентами их двоичных представлений). Функции $f_8(x_1, x_2), \dots, f_{14}(x_1, x_2)$ — это те же функции $f_7(x_1, x_2), \dots, f_1(x_1, x_2)$ соответственно, но выраженные в соглашении отрицательной логики и приведенные к соглашению положительной логики. Константы $f_0(x_1, x_2), f_{15}(x_1, x_2)$ соответствуют использованному ранее понятию «исходное состояние».

Приложение

Доказательство теоремы.

Функция называется самодвойственной, если на каждой паре противоположных наборов аргументов вида $[x_1], \dots, [x_n]$ и $[\bar{x}_1], \dots, [\bar{x}_n]$ она принимает противоположные значения [5], т. е.

$$F_{\Pi}(x_1, \dots, x_n) = \bar{F}_{\Pi}(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n). \quad (4)$$

Число возможных наборов из n аргументов булевой функции равно 2^n . Суммарное число аргументов во всех наборах — $n \cdot 2^n$.

Из определения самодвойственной функции следует:

а) число наборов, на которых $F_{\Pi} = 1$, равно числу наборов, на которых $F_{\Pi} = 0$, т. е.

$$N_{F_{\Pi}=1} = N_{F_{\Pi}=0} = \frac{2^n}{2} = 2^{n-1}; \quad (5)$$

б) сумма аргументов всех наборов, где $F_{\Pi} = 1$, равна сумме аргументов всех наборов, где $F_{\Pi} = 0$;

$$N_{F_{\Pi}=1}^1 + N_{F_{\Pi}=1}^0 = N_{F_{\Pi}=0}^0 + N_{F_{\Pi}=0}^1. \quad (6)$$

Учитывая (4), (5), (6), можно видеть, что $N_{F_{\Pi}=1}^1 = N_{F_{\Pi}=0}^0$, $N_{F_{\Pi}=1}^0 = N_{F_{\Pi}=0}^1$. Найдем $N_{F_{\Pi}=1}^0$ и $N_{F_{\Pi}=0}^1$:

$$N_{F_{\Pi}=1}^0 = \sum_{k=0}^{n-h} \frac{n!}{k!(n-k)!}; \quad N_{F_{\Pi}=0}^1 = \sum_{k=0}^{h-1} \frac{n!}{k!(n-k)!}. \quad (7)-(8)$$

Сравнивая (7) и (8), видим, что для самодвойственной пороговой функции должно выполняться $(n-h) = (h-1)$, откуда

$$h = \frac{n+1}{2}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что при четном n величина порога h — дробное число, что недопустимо. Таким образом, число аргументов самодвойственной пороговой функции всегда нечетно, а значение порога определяется из (9). Теорема доказана.

Список литературы

1. Пакулов Н. И., Уханов В. Ф., Чернышов П. Н. Мажоритарный принцип построения надежных узлов и устройств ЦВМ. М., 1974.
2. Международная классификация изобретений (четвертая редакция). М. кл.⁴ НОЗК 19/23. М., 1985.
3. Боголюбов И. Н., Овсневич Б. Л., Розенблюм Л. Я. // Сети передачи информации и их автоматизация. М., 1965. С. 80.
4. Фон Нейман Дж. // Автоматы. М., 1956. С. 68.
5. Лысиков Б. Г. Арифметические и логические основы цифровых автоматов. Минск, 1980.

Поступила в редакцию 23.06.86.

УДК 621.382.049.77.019.3

В. М. БОРЗДОВ

О ПОСТРОЕНИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

В данной статье в рамках физико-статистического подхода к оценке параметрической надежности высоконадежных изделий электронной техники [1, 2] рассматривается вопрос о возможности построения оптимального доверительного интервала для среднего времени их безотказной работы. Предполагается, что в силу высокой надежности этих изделий отсутствуют какие-либо данные о статистике отказов в нормальных условиях их эксплуатации, но известна физико-математическая модель процесса деградации, а плотность распределения времени до первого отказа $f(t, \mu_\epsilon, \sigma_\epsilon)$ подчиняется логарифмически нормальному распределению

$$f(t, \mu_\epsilon, \sigma_\epsilon) = \frac{1}{t} \varphi_{\mu_\epsilon, \sigma_\epsilon^2}(\ln t), \quad (1)$$

где μ_ϵ и σ_ϵ — параметры плотности нормального распределения $\varphi_{\mu_\epsilon, \sigma_\epsilon^2}$, в общем случае зависящие от величины нагрузки ϵ . Выбор распределения (1) обусловлен тем, что в теории и практике надежности оно чаще других используется для описания статистики отказов полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Будем решать следующую задачу. Пусть в результате проведения натурных ускоренных испытаний в форсированном режиме ϵ (в условиях повышенной температуры, электрической нагрузки, влажности и т. д.) и моделирования процесса деградации изделий на ЭВМ получены две неоднородные относительно друг друга выборки объемом N_1 и N_0 . Положим также, что методом максимума правдоподобия найдены соответствующие точечные оценки логарифма среднего времени безотказной работы $\hat{\mu}_\epsilon^{(N_1)}$ и $\hat{\mu}_\epsilon^{(N_0)}$, причем оценка $\hat{\mu}_\epsilon^{(N_1)}$ найдена по группированным наблюдениям, так как в результате натурального эксперимента индивидуальные времена отказов неизвестны, а оценка $\hat{\mu}_\epsilon^{(N_0)}$ — по рассчитанным на ЭВМ индивидуальным временам отказов.

Обозначим значения среднего времени безотказной работы, соответствующие первой и второй выборкам, через $t_\epsilon^{(0_1)}$ и $t_\epsilon^{(0)}$. При этом будем считать, что $t_\epsilon^{(0_1)}$ — истинное значение, а величина смещения $l = t_\epsilon^{(0)} - t_\epsilon^{(0_1)}$ ограничена и лежит в пределах $-c_1 \leq l \leq c_2$, где c_1 и c_2 — заданные априори положительные числа. В этих условиях статистическим моделированием на ЭВМ требуется найти наилучшую в некотором смысле интервальную оценку среднего времени безотказной работы изделия в нормальных условиях его эксплуатации.