

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ БЛОКАХ

Н.А. Абрамова

(Москва)

В докладе рассматриваются возможности повышения надежности сложных электронных устройств, изготавливаемых в виде монокристаллических интегральных блоков методами группового производства.

При групповом производстве блок, содержащий большое количество одинаковых элементов (расположенных обычно в виде правильной решетки), обрабатывается как единое целое на едином оборудовании, в едином технологическом процессе, причем сложность процесса, а значит, и стоимость изготовления определяется главным образом не количеством элементов, а сложностью одного (базового) элемента.

В связи с тем, что именно групповое производство позволяет достичь минимальной стоимости и максимальной надежности электронной аппаратуры, представляет интерес рассмотреть некоторые его особенности, которые могут повлиять на выбор методов повышения надежности вплоть до изменения принципов построения устройств.

Прежде всего при синтезе устройств возникает необходимость учитывать не только отказы в процессе эксплуатации, но и первоначальные неисправности отдельных элементов структуры, обусловленные несовершенством существующих методов изготовления монокристаллических структур. Установившийся процесс изготовления интегральных блоков можно характеризовать производственным выходом Y , который определяется как отношение математического ожидания количества годных блоков N_2 к общему количеству изготовленных N_0 :

$$Y = \frac{M N_2}{N_0}.$$

Если блок состоит из n_0 одинаковых элементов, то выход равен вероятности того, что все n_0 элементов исправны

$$Y = p(n_{0_2}).$$

Удобно ввести в рассмотрение коэффициент использования элементов блока K_3 , определив его как отношение математического ожидания количества полезно используемых элементов n_n к общему количеству изготовленных n_0 .

$$K = \frac{M n_n}{n_0},$$

или при использовании только полностью годных блоков

$$K_3 = \frac{M N_z n_0}{N_0 n_0} = Y.$$

Низкий выход бездефектных интегральных блоков, а значит, и низкая эффективность использования элементов в настоящее время являются основным препятствием для производства сложных блоков групповым методом.

Очевидно, коэффициент использования можно увеличить, если использовать такие блоки, в которых не все элементы исправны, то есть при проектировании блока вводить в той или иной форме резерв. Получаемый при этом выигрыш зависит от способа введения резерва и кратности резервирования. Наибольший выигрыш получается в том случае, если каждый из элементов можно использовать по отдельности независимо от того, исправны ли остальные элементы блока. При этом коэффициент использования равен отношению математического ожидания числа годных элементов к общему числу элементов в блоке:

$$K_3 = \frac{M n_2}{n_0} = Y,$$

т.е. выходу годных элементов в блоке.

В общем случае

$$Y \leq K_3 \leq Y,$$

причем

$$Y = Y$$

только в том случае, когда вероятность получения годных блоков равна 1.

Поскольку методы резервирования, направленного на увеличение эффективности использования интегральных блоков, могут

иметь много общего с методами, применяемыми против отказов в процессе эксплуатации, целесообразно расширить традиционное толкование понятия надёжности.

Обычно надёжность элемента (или блока) определяется как вероятность того, что в момент времени он работает исправно при условии, что он был исправен при $t = 0$, т.е. рассмотрение ограничивается надёжностью в процессе эксплуатации

$$R_p(t) = P(T > t) \mid R_p(0) = 1,$$

где T - время безотказной работы элемента.

В более общей постановке задачи надёжность следует рассматривать, начиная с момента изготовления, и определять её как безусловную вероятность безотказной работы

$$R(t) = P(T > t).$$

Очевидно,

$$R(t) = P(T > 0) P(T > t) \mid P(T = 0) = 1.$$

Обозначим

$$P(T > 0) = R_0$$

где R_0 - вероятность того, что к началу эксплуатации элемент исправен. Тогда надёжность элемента определяется как

$$R(t) = R_0 \cdot R_p(t)$$

и, если элемент (блок) используется без отбраковки, то

$$R(t) = y \cdot R_p(t).$$

Увеличение надёжности может быть достигнуто двумя путями. Первый из них направлен на увеличение выхода за счёт усовершенствования технологии производства и увеличения технологичности базового элемента (последнее в значительной мере достигается проектировщиками схем).

Второй путь заключается в выборе функции базового элемента и организации элементов в функциональную структуру таким образом, чтобы достичь наибольшей надёжности при наличии отказов (в том числе за счёт введения избыточности наиболее выгодным способом).

Рассмотрим возможности различных методов резервирования при классических способах построения логических схем (путём соединения логических элементов между собой в соответствии с требуемой схемой).

Активное резервирование, т.е. резервирование с обнаружением и заменой неисправных элементов, может проводиться на двух стадиях: изготовления и эксплуатации. Внутриблочное активное резервирование в интегральных блоках практически неосуществимо из-за миниатюрных размеров и жесткой структуры связей между элементами. Активное резервирование в процессе изготовления блоков представляет по сути дела отбраковку элементов блока с последующим соединением исправных элементов в соответствии с требуемой схемой. Ввиду того, что неисправные элементы в каждом блоке размещены случайным образом, для каждого изготавливаемого блока потребовалась бы своя конфигурация соединений (рисунок соединений на плоской пластине).

На современном уровне развития технологии интегральных схем изготовление блоков со специализированной конфигурацией соединений существенно удорожает стоимость производства и практически неприменимо.

Эффективность пассивного резервирования, т.е. всех видов избыточных схем, не требующих специального устройства для обнаружения и отключения неисправных частей, может быть различной в зависимости от метода введения избыточности. Однако на все методы в той или иной мере влияет то обстоятельство, что существует корреляция между отказами элементов блока (как первоначальными, так и в процессе эксплуатации). Корреляция является неотъемлемым свойством группового производства и проявляется тем сильнее, чем короче расстояние между элементами. Поэтому эффективность резервирования на низком уровне может заметно ухудшиться, и, кроме того, может оказаться нецелесообразным применение тех методов резервирования, которые основываются на коррекции ошибок в одном элементе исправными соседними.

Таким образом, осуществление резервирования при групповом производстве может оказаться весьма сложной задачей, несмотря на то, что экономические возможности для введения избыточности очень велики.

Наилучшим в этом смысле решением представляется создание однородных структур, в которых построение требуемой логической или вычислительной схемы осуществляется уже после того, как блок изготовлен, посредством необходимых коммутаций на входах структуры, и, таким образом, изменение функциональной структуры не требует изменения физической структуры. Очевидно,

внутриблочное активное резервирование становится легко осуществимым и сводится к внешним коммутациям в соответствии с распределением отказов по структуре.*^{ж)} Так как однородные структуры, по существу, являются устройствами скользящего резервирования, при котором каждый элемент является резервом для всех остальных, эффективность резервирования и коэффициент использования изготавливаемых блоков могут быть особенно высокими. Поскольку размещение требуемой схемы на структуре может быть произвольным, влияние корреляции между отказами элементов можно в значительной мере исключить. Наконец, однородные структуры допускают применение любых методов пассивного резервирования в схемах, которые реализуются на структуре, причем выбор методов не накладывает ограничений на проектирование самих структур.

ж) Предполагается, что имеются тесты, позволяющие обнаружить неисправность любого элемента внутри структуры.