

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЧАСТИЧНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В АППАРАТУРЕ

Ю. П. Ермолаев
(Казань)

Интенсивное развитие микроэлектроники создало все необходимые предпосылки к широкому внедрению ее в аппаратуру различного назначения, в особенности в вычислительную. Однако в настоящее время существуют устройства и узлы аппаратуры, которые не могут быть реализованы методами микроэлектроники. В частности, к ним относятся источники питания, целый комплекс вспомогательных механических и электрических узлов, пульты управления и многое другое. В условиях, когда микроэлектроника применима лишь в части аппаратуры, конструктор должен обязательно оценить эффективность замены обычных узлов и блоков на микроэлектронные на фоне устройств, остающихся в обычном исполнении.

В литературе [1] высказаны некоторые общие положения по эффективности внедрения микроэлектроники, но количественная оценка этого фактора отсутствует.

В настоящей работе делается попытка оценить эффективность частичного применения микроэлектроники в аппаратуре. В качестве основных критериев приняты: надежность, габариты или вес и стоимость аппаратуры.

В целях удобства расчетов, как будет видно дальше, все характеристики следует выбирать с одной и той же направленно-

стью влияния на эффективность системы. Например, уменьшение веса, также как и уменьшение стоимости, повышают эффективность системы, в то время как уменьшение надежности ее снижает. Поэтому надежность удобнее выражать не через вероятность безотказной работы, а через вероятность отказа, снижение которой также повышает эффективность.

Надежность системы

Степень изменения надежности системы в соответствии с рекомендациями, предложенными в [2], а также по приведенным выше соображениям, обозначим через

$$S_Q = \frac{Q}{Q_0} \quad , \quad (1)$$

где: Q_0 - вероятность отказа системы в обычном исполнении;
 Q - вероятность отказа системы с частичным применением микроэлектроники.

Считая, что надежности обычной и микроэлектронной частей системы не зависят друг от друга, отношение (1) можно выразить так:

$$S_Q = \frac{1 - (1 - Q_c)(1 - Q_v)}{1 - (1 - Q_c)(1 - Q_{v0})} \quad , \quad (2)$$

где Q_c , Q_{v0} и Q_v - вероятности отказа соответственно обычной непереводимой, обычной переводимой и переведенной на микроэлектронику частей системы.

Обозначим отношение между вероятностями отказа непереводимой и переводимой частями системы в обычном исполнении через m_Q а между вероятностями отказа переводимой части в микроэлектронном и обычном исполнении через k_Q

$$m_Q = \frac{Q_c}{Q_{v0}} \quad ; \quad k_Q = \frac{Q_v}{Q_{v0}} \quad . \quad (3)$$

Первое отношение обычно известно конструктору, второе же зависит от выбора микроэлектронного варианта оформления этой части системы, т.е. находится в распоряжении конструктора. После соответствующих преобразований степень изменения надежности всей системы (2) примет вид:

$$S_Q = \frac{m_Q + (1 - Q_c)k_Q}{m_Q + (1 - Q_c)} \quad . \quad (4)$$

Для оценки влияния изменения вероятностей отказа при переводе части системы в микроэлектронное исполнение на изменение вероятности отказа всей системы возьмем частную производную от выражения (4) по k_Q

$$\frac{\partial S_Q}{\partial k_Q} = \frac{1 - Q_c}{1 - Q_c + m_Q} \quad (5)$$

Это выражение может быть обозначено через некоторый коэффициент влияния перевода микроэлектронной части системы по параметру - надежности - g_Q . Как видно из (5), этот коэффициент влияния не зависит от выбора варианта микроэлектронного оформления, а определяется полностью исходными данными системы, т.е. принципиальной возможностью микроэлектронного исполнения части заданной системы.

Изменение вероятности отказа всей системы связано с изменением вероятности отказа переводимой ее части выражением

$$\Delta S_Q = g_Q \Delta k_Q \quad (6)$$

На основании выражения (6) получается зависимость степени изменения вероятности отказа всей системы в виде

$$S_Q = 1 + g_Q(k_Q - 1) \quad (7)$$

Следовательно, на основании полученного по формуле (5) коэффициента влияния и выбираемого конструктором варианта микроэлектронного оформления, определяется степень изменения вероятности отказа всей системы. В микроэлектронном исполнении вероятность отказа принципиально уменьшается ($k_Q < 1$), но учитывая в некоторых случаях недостаточно апробированную конкретную конструкцию и технологию, значение k_Q может быть и больше единицы, что приведет и к соответствующему изменению величины S_Q .

Анализируя формулу (5) и предполагая, что вероятность отказа неперевоаемой части системы в большинстве случаев не превышает 0,01, можно вместо (5) принять простое выражение

$$g_Q \approx \frac{1}{1 + m_Q} \quad (8)$$

В этом случае даже при больших значениях m_Q (до 100) погрешность, вносимая в значение S_Q , не превышает 1,02%. Таким образом, для практических целей вполне допустим расчет

коэффициента влияния ε_Q по выражению (8). Формулу (5) следует применять лишь при $Q_c \geq (0,05 + 0,1)$. На рис. I приведена приемлемая для практики зависимость коэффициента влияния ε_Q как функции $m_Q \cdot q_1$.

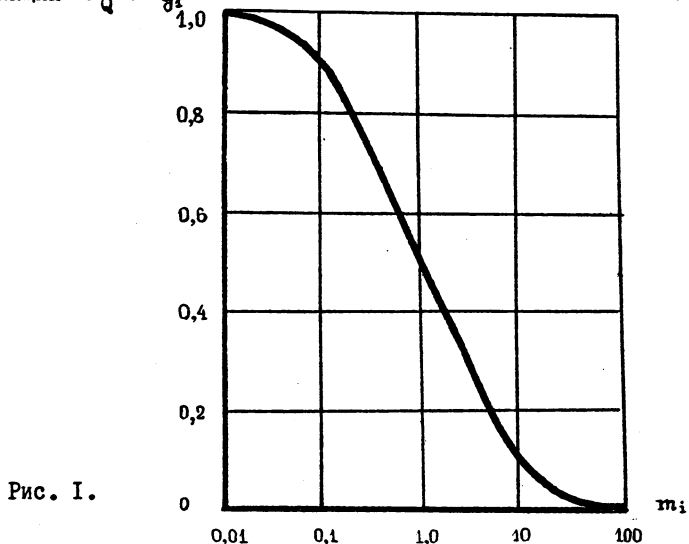


Рис. I.

На рис.2 построено в соответствии с формулой (7) семейство кривых β_1 в зависимости от ε_1 при различных значениях k_1 , как положительных, так и отрицательных.

Как следует из приведенных на рис. 2 зависимостей, степень изменения вероятности отказа системы исключительно сильно определяется коэффициентом влияния.

Объем, вес и стоимость

Объем и вес обычно достаточно тесно связаны и при определении эффективности обычно можно ограничиться одним из этих параметров.

Используя для объемов обозначения, аналогичные принятым в (1) и (2), можно получить выражение:

$$S_V = \frac{V}{V_0} = \frac{V_c + V_V}{V_c + V_{V0}}.$$

Или, если принимать $m_V = \frac{V_c}{V_{V0}}$ и $k_V = \frac{V_V}{V_{V0}}$, то :

$$S_V = \frac{m_V + k_V}{m_V + 1} . \quad (9)$$

Для определения коэффициента влияния изменения объема переводимой части системы на весь объем системы аналогично возьмем частную производную S_V по k_V :

$$g_V = \frac{\partial S_V}{\partial k_V} = \frac{1}{1 + m_V} . \quad (10)$$

Нетрудно отметить полную аналогию полученного выражения (10) с упрощенным уравнением (8), т.е. для определения g_V можно воспользоваться тем же графиком на рис. 1.

Применяя также аналогичные с предыдущей характеристикой рассуждения, получим

$$S_V = 1 + g_V(k_V - 1) . \quad (11)$$

Для подсчета (11) можно использовать график на рис. 2, причем g_V будет всегда меньше единицы.

Оценка эффективности применения микроэлектроники по экономическим соображениям производится таким же образом, как и по объемно-весовым характеристикам.

$$S_C = \frac{C}{C_0} = \frac{C_C + C_V}{C_C + C_{V0}} ; \quad m_C = \frac{C_C}{C_{V0}} ; \quad k_C = \frac{C_V}{C_{V0}} \quad (12)$$

$$g_C = \frac{\partial S_C}{\partial k_C} = \frac{1}{1 + m_C} ;$$

$$S_C = 1 + g_C(k_C - 1) . \quad (13)$$

Для подсчета коэффициента влияния изменения стоимости (12) и степени изменения стоимости всей системы (13) также удобно воспользоваться зависимостями на рис. 1 и 2. При больших партиях изготавливаемых объектов k_C очевидно, будет меньше единицы, в случае же мелкосерийного или опытного производства вполне вероятно, что затраты окажутся больше для микроэлектронного варианта, т.е. $k_C > 1$.

Как следует из приведенных графиков на рис. 1 и 2 даже при средних соотношениях обычной и микроэлектронной частей системы (например, при $m_V = 1$, $g_V = 0,5$) сокращение габаритов, достаточно эффективное при малых k_V , практически не отражается на объеме всей системы при использовании особо миниатюрных методов микроэлектроники. С другой стороны, такое силь-

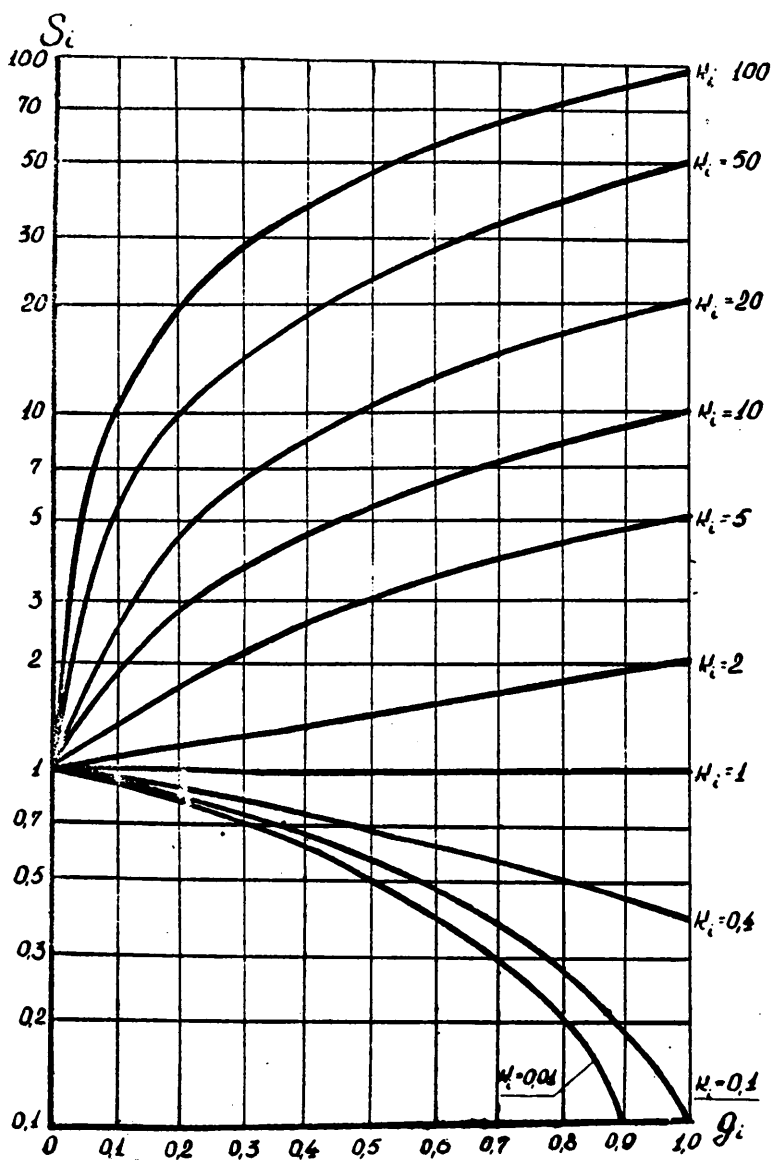


Рис. 2.

ное сокращение объема переводимой части системы обычно требует и больших затрат, а сравнительно большое увеличение стоимости микроэлектронной части системы (при тех же, к примеру, значениях $\varepsilon_c = 0,5$) вызовет и заметное увеличение стоимости всей системы.

Следовательно, не всегда надо увлекаться наибольшим возможным сокращением объема части системы, и необходимо производить предварительную оценку целесообразности применения такого варианта.

Комплексная характеристика эффективности применения микроэлектроники

В большинстве случаев повышение эффективности системы по одним параметрам сопровождается снижением ее по другим параметрам.

С целью оценки эффективности применения микроэлектроники с учетом различных параметров предлагается использовать коэффициенты веса или относительной значимости одного параметра относительно другого. Такая методика, например, используется в [3]. При определении весовых коэффициентов сначала устанавливается основной параметр, имеющий первостепенное значение для данного типа аппаратуры и коэффициент веса этого параметра принимается равным единице. Весовые коэффициенты остальных параметров Ψ_i выбираются меньше единицы в зависимости от их значимости относительно основного параметра.

Если при некотором идеализированном случае считать, что значимость всех параметров одинакова, т.е. все $\Psi_i = 1$, а применение микроэлектроники вызывает противоположное воздействие на эффективность разных параметров (степень изменения характеристик S_i будет и больше и меньше единицы), то, очевидно, можно использовать неравенство

$$\prod_{i=1}^k S_i \leq 1. \quad (14)$$

В неравенстве (14) направленность действия всех параметров на эффективность системы должна быть одинакова. В нашем случае, когда уменьшение всех параметров повышает эффективность, если произведение S_i будет меньше единицы, то применение микроэлектроники в данной системе целесообразно, и, нао-

борот, при произведении S_i большем единицы применять микроэлектронику не следует.

Для реальной оценки при перемножении степеней изменения различных параметров необходимо их предварительно скорректировать с помощью весовых коэффициентов. С этой целью значения S_i в неравенстве (I4) следует заменить на приведенные значения степеней изменения параметров — $S_{\text{пр}i}$. Последние в случае, если $S_i > 1$ получаются из условия корректировки весовым коэффициентом только той части S_i , которая превышает 1, т.е.

$$S_{\text{пр}i} = (S_i - 1) \Psi_i + 1 \quad \text{при} \quad S_i > 1. \quad (\text{I5})$$

При значениях $S < 1$ корректировка весовым коэффициентом производится только разностью между единицей и S_i , следовательно,

$$S_{\text{пр}i} = 1 - (1 - S_i) \Psi_i \quad \text{при} \quad S_i < 1. \quad (\text{I6})$$

В обоих случаях, считая, что $\Psi_i \leq 1$, $S_{\text{пр}i}$ будет принимать значение, более близкое к единице, чем S_i . В пределе, когда значимость какого-либо параметра бесконечно мала, $\Psi_i \rightarrow 0$, $S_{\text{пр}i} \rightarrow 1$, т.е. этот параметр не будет оказывать влияния на эффективность системы.

Преобразуя выражения (I5) и (I6), можно получить общее уравнение для $S_{\text{пр}i}$ справедливое для обоих случаев

$$S_{\text{пр}i} = 1 + S_i \Psi_i - \Psi_i. \quad (\text{I7})$$

Таким образом, в реальных случаях оценка целесообразности применения микроэлектроники может быть осуществлена при помощи неравенства

$$\prod_{i=1}^k (1 + S_i \Psi_i - \Psi_i) \leq 1. \quad (\text{I8})$$

Условия целесообразности применения микроэлектроники те же, что и при неравенстве (I4). Условие (I8) распространяется на любое число параметров, в частности, оно будет справедливо и при учете только трех параметров, рассмотренных выше. Таким образом, используя выражения (7), (II) и (I3), получаем

$$\prod_{i=1}^{k=3} [1 - S_i \Psi_i (k - 1)] < 1. \quad (\text{I9})$$

Если неравенство (I9) выдерживается, то применение микроэлек-

троники в части системы с точки зрения, по крайней мере, надежности, объема и стоимости, целесообразно.

В качестве иллюстрации рассмотрим пример расчета. Задано некоторое электронное устройство с объемными характеристиками $V_c = 200 \text{ см}^3$ и $V_{vo} = 300 \text{ см}^3$. Вероятность отказа за определенный срок у обоих частей выражается $Q_c = 0,005$ и $Q_{vo} = 0,01$, а стоимость изготовления соответствует $C_c = 50 \text{ руб.}$ и $C_{vo} = 200 \text{ руб.}$ Применение микроэлектроники в переводимой части системы должно изменить все характеристики этой части системы: $V_v = 30 \text{ см}^3$, $Q_v = 0,007$, $C_v = 500 \text{ руб.}$ Вероятность отказа и объем будут повышать эффективность, а по стоимости производства будет проигрыш, т.е. результирующее изменение эффективности неясно.

По уравнениям (8), (10) и (12) или по графику на рис. 1 определяются коэффициенты влияния обычной части системы:

$g_Q = 0,666$; $g_V = 0,602$; $g_C = 0,8$. Затем по уравнениям (7), (11) и (13) или по графику рис. 2 подсчитываются степени изменения всех трех характеристик: $S_Q = 0,8$; $S_V = 0,458$; $S_C = 2,2$.

Для окончательного определения изменения эффективности необходимо знать коэффициенты веса характеристик. Если аппаратура специального назначения, то основным параметром обычно принимается надежность ($\Psi_Q = 1$), далее следует объем или вес ($\Psi_V = 0,5$), а затраты на изготовление небольшой серии не имеют существенного значения ($\Psi_C = 0,2$).

Тогда на основании уравнения (17) подсчитываются все приведенные характеристики обоих вариантов конструкции: $S_{прQ} = 0,8$; $S_{прV} = 0,729$; $S_{прC} = 1,24$.

Наконец, сравнение по неравенству (18) дает

$$\prod_{i=1}^{k=3} S_{прi} = 0,72 < 1.$$

Следовательно, эффективность варианта с частичным применением микроэлектроники будет выше, чем при обычном исполнении примерно на 28%. Расчет можно выполнить и непосредственно по формуле (19) более быстрым путем, но для анализа вариантов удобнее представлять поэтапное изменение характеристик.

При оценке конкретного объекта для аппаратуры определенного назначения у конструктора могут быть самые разнообразные решения по выбору объема переводимой на микроэлектронику час-

ти системы, степени ее миниатюризации, по применяемому технологическому оборудованию, размеру партии объектов и по другим исходным данным. Это обстоятельство ставит перед конструктором большое число различных вариантов. Пользуясь предлагаемой методикой оценки эффективности того или иного варианта, конструктор сможет быстро просчитать наиболее целесообразные варианты и выбрать оптимальное решение.

Л и т е р а т у р а

1. Дж. Джоунс. Некоторые вопросы применения интегральных схем в промышленной аппаратуре. *J. Electronic Design*, 1965 г., том-13, II, № 4. Перевод П-33728, изд. НИИЭИР, г. Москва.
2. А.Д. Епифанов. Надежность автоматических систем. Изд. Машиностроение, М., 1964.
3. Д.З. Бризендайн. Методы компоновки схем на тонких пленках. *И. Электроника*, № 29, 1962 г., перев. с англ. изд. "Мир".