

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ МОДУЛЯ В СЛОЖНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

В. М. РАЗИН

(Представлена научным семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

В современных сложных радиоэлектронных устройствах повсеместное распространение получил модульный принцип конструктивного оформления радиоаппаратуры. Микроминиатюризация радиоаппаратуры позволяет объединять в одном модуле все большее и большее количество элементов соответствующим расширением функциональных возможностей модуля. Применение микромодульных конструкций и развитие технологии создания твердых интегральных схем позволяют поставить и разрешить задачу создания сложного радиоэлектронного устройства в одном блоке. Такой подход к решению задачи создания малогабаритной радиоаппаратуры является оправданным только в том случае, когда одновременно обеспечивается высокая надежность как отдельных элементов, так и всего устройства в целом. Конструктивное оформление устройства в виде одного цельного блока исключает возможность ремонта путем замены отказавшей детали и в силу этого обстоятельства ремонтпригодность этого устройства может оказаться недостаточно высокой. С другой стороны, замена всего устройства вследствие отказа одного элемента не всегда будет экономически оправдана.

С целью повышения ремонтпригодности радиоаппаратуры и экономичности в отношении эксплуатационных расходов представляется целесообразным сохранить модульный принцип конструирования сложных радиоэлектронных устройств и установить в определенном смысле оптимальные размеры отдельного модуля. Применение модульной конструкции позволяет, как известно, сократить затраты времени на ремонт, так как все ремонтные операции сводятся к замене отказавшего модуля на исправный запасной модуль. Это приводит к повышению ремонтпригодности радиоаппаратуры в случае ее многократного использования и сокращению эксплуатационных расходов за счет экономии на стоимости запасных частей. Выбор оптимальных размеров модуля в смысле повышения ремонтпригодности и снижения эксплуатационных расходов можно произвести в частном случае на основании излагаемых ниже расчетов применительно к сложным логическим или вычислительным цифровым электронным устройствам.

Предположим, что имеется некоторое радиоэлектронное устройство дискретного действия, состоящее из M примерно одинаковых элементов с общим объемом V . Разобьем это устройство на k одинаковых по размерам и количеству деталей модулей, причем модуль будет иметь объем v и число элементов (деталей), равное m .

Очевидно,

$$k = \frac{V}{v} = \frac{M}{m}, \quad (1)$$

где число модулей k может принимать значения

$$1 \leq k \leq M \quad (2)$$

и V и M — для данного устройства величины постоянные. При $k=M$, $m=1$ модулем является каждый отдельный элемент, а при $k=1$ все устройство представляет собой единый модуль. Обозначим символом c_d стоимость одной детали (элемента) и символом λ_d интенсивность отказов одной детали без учета зависимых отказов. В этом случае стоимость общего количества заменяемых модулей в единицу времени составит

$$S_1 = k \lambda_d m (c_d m) = k \lambda_d c_d m^2, \quad (3)$$

где $c_d m$ — стоимость одного модуля;
 $\lambda_d m$ — интенсивность отказов одного модуля без учета зависимых отказов [1];
 $k \lambda_d m$ — интенсивность отказов всех k модулей устройства.
С учетом соотношения (1) перепишем (3) в виде

$$S_1 = \lambda_d c_d \frac{M^2}{k} = \frac{A}{k}, \quad (4)$$

где $A = \lambda_d c_d M^2$ — некоторая константа для данного радиоэлектронного устройства.

При разбивке всего устройства на модули неизбежно появляются междумодульные соединения (связи), которые несколько повышают стоимость всего изделия. Кроме этого, связи между модулями так же, как и основные элементы, могут служить причиной отказов и, следовательно, возникают дополнительные затраты на ремонт этих связей. Связи между элементами внутри модуля будем полагать абсолютно надежными. Введем еще следующие обозначения: $C_{св}$ — стоимость ремонта одной связи, и $\lambda_{св}$ — интенсивность отказов одной связи. Общее количество связей учтем приближенно следующим образом. Предположим, что наше устройство имеет форму куба и разбивается на модули также кубической формы. Предположим далее, что общее количество связей данного модуля со всеми другими будет пропорционально общей наружной поверхности модуля при постоянном значении числа связей $\sigma_{св}$ на единицу поверхности. Последнее предположение в какой-то мере отражает тот факт, что количество связей данного модуля с остальными будет расти не пропорционально количеству деталей модуля (т. е. его объему), а несколько медленнее за счет появления абсолютно надежных связей между элементами внутри модуля. Внешние связи всего устройства с «внешним миром» будем вычитать из общего количества внешних связей модулей, так как эти связи неизменны при любом конструктивном оформлении. Следовательно, общее количество N междумодульных связей, учитываемое в наших расчетах, будет равно

$$N = \sigma_{св} (k \delta \sqrt[3]{v^2} - 6 \sqrt[3]{V^2}), \quad (5)$$

где $6 \sqrt[3]{v^2}$ — величина поверхности одного модуля;
 $6 \sqrt[3]{V^2}$ — величина наружной поверхности всего устройства.

Стоимость S_2 общего количества ремонтируемых связей в единицу времени с учетом вышеприведенных обозначений и соотношения (1) составит

$$S_2 = \lambda_{св} c_{св} N = B (\sqrt[3]{k} - 1), \quad (6)$$

где $B = 6 \lambda_{св} c_{св} \sigma_{св} \sqrt[3]{V^2}$ — некоторая константа радиоэлектронного устройства.

Результирующая стоимость S в единицу времени, обусловленная заменой модулей и связей между модулями при выполнении ремонта всего устройства, будет, очевидно, равна

$$S = S_1 + S_2, \quad (7)$$

или

$$S = f(k) = \frac{A}{k} + B (\sqrt[3]{k} - 1). \quad (8)$$

Полученное соотношение (8) может быть исследовано известными методами на минимум и таким образом может быть определен оптимальный размер модуля, исходя из условий уменьшения части стоимости эксплуатационных расходов, связанных с заменой модулей и ремонтом связей.

На графиках рис. 1 приведен пример функции $f(k)$ при некотором соотношении констант A и B , имеющий явно выраженный минимум.

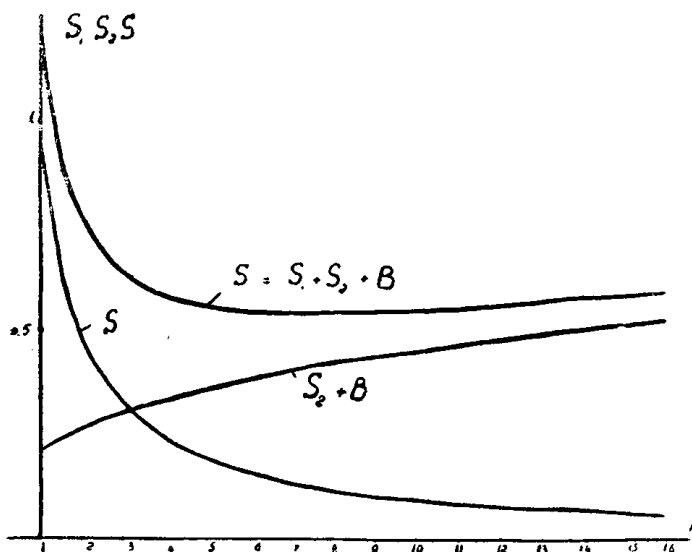


Рис. 1. Зависимость стоимости замены модулей и ее составляющих от количества модулей.

Из этого примера также видно, что для данного радиоэлектронного устройства целесообразно разбиение всего объема на число модулей порядка 8. Таким образом, приведенный выше расчет подтверждает то положение, что при определении размеров модулей следует учитывать стоимости как самих модулей, так и связей между ними, с учетом интенсивностей отказов тех и других.

При решении этих вопросов в конкретных случаях применительно к вполне определенным устройствам разбивка на модули должна производиться с учетом ряда дополнительных соображений с помощью электронных цифровых вычислительных машин, способных учесть все

конкретные взаимосвязи между модулями в различных вариантах и выбрать оптимальный вариант с учетом вышеприведенных соображений.

Следует отметить, что, по-видимому, рост стоимости модуля будет зависеть от объема модуля несколько быстрее, чем в первой степени, как предполагалось выше. Это касается и роста стоимости связей в функции их числа. Конкретные зависимости определяются технологией производства и должны соответствующим образом учитываться.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Луцкий. Расчет надежности и эффективности радиоэлектронной аппаратуры. Издательство АН УССР, 1963.