

## **РАСЧЕТ ВЫХОДА ГОДНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

САПР технологических процессов производства, в том числе сборки и монтажа электронной аппаратуры (ЭА), используют базы данных, содержащие сведения о конструктивных элементах (КЭ) [1] узлов или модулей аппаратуры, о технологических операциях образования соединений компонентов, характеристиках технологического оборудования. Если в атрибуты тезауруса КЭ включить вероятностную оценку получения годных, то САПР ТП обеспечит расчет еще одного параметра ТП — выхода годных функциональных узлов ЭА: микросборок, узлов на печатных платах, модулей аппаратуры более высокого уровня. Получение этого показателя давно является актуальной проблемой. Последняя еще более актуальна для компьютеризированных интегрированных производственных систем, в АСУ которых объединяются сведения об этапах проектирования и производства ЭА.

Выход годных служит важным показателем совершенства технологического процесса и степени его освоения конкретным предприятием. Эта величина и ее составляющие по отдельным операциям являются одной из основных распространенных оценок технологической точности [2] и используется для управления качеством выпускаемой продукции. Порядок учета брака регламентируется соответствующими методиками [3 — 5].

Однако существующие методики не позволяют учитывать связь выхода годных с техническими и организационными мерами по совершенствованию производства, в связи с чем выход годных для трудноуправляемых процессов устанавливается директивно. Это может приводить к недоиспользованию возможностей производства либо ставить производство в затруднительное положение из-за отсутствия технических решений для обеспечения требуемого показателя. Поэтому расчет выхода годных, основанный на доступных каждому производству значениях данного показателя, и прогнозирование его изменений при изменении конструкторско-технологических решений, совершенствовании технологии, материалов и других условий производства представляет существенный интерес.

Принципом, который позволяет учесть влияние разнородных факторов на выход годных, свести их к единому показателю, может служить вероятностная оценка получения КЭ функционального узла,

модуля ЭА. Имея такие оценки для всех КЭ, выход годных для узлов можно найти по формуле

$$y_k = \prod_{l=1}^L y_{kl} \cdot \prod_{m=1}^M y_{km} \cdots \prod_{n=1}^N y_{kn}, \quad (1)$$

где  $l, m, \dots, n$  — КЭ, определяющие выход годных узла, модуля (индекс “ $k$ ” означает “конструктивный”);  $L, M, \dots, N$  — общие количества КЭ типов  $l, m, \dots, n$  соответственно в узлах.

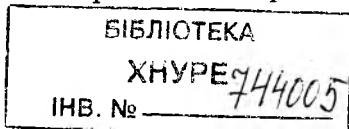
При изготовлении узлов с одинаковыми конструкторско-технологическими решениями (КТР), но разной сложности, т.е. содержащих большее или меньшее количество КЭ разных типов, выход годных различается.

Вероятности получения годных КЭ и выход годных находятся статистической обработкой данных, получаемых на контрольных операциях действующего производства.

При введении новых типов КЭ в модули ЭА для расчета выхода годных необходимо определить  $y_{ki}$  — для новых типов КЭ, а значения  $y_{kl}, \dots, y_{kn}$ , также присутствующих в модулях, взять по данным производства до модернизации.

Вероятности получения годных КЭ могут быть достаточно просто установлены путем изготовления небольших партий специальных тестовых узлов, содержащих необходимые типы КЭ в больших количествах. Требования к тестовым узлам, обеспечивающим достаточную корреляцию с результатами производства реальных объектов, изложены, например, в работах [6 — 8]. Изготовление таких узлов должно производиться по тому же ТП, что и для реальных изделий, и в тождественных условиях. Данные последующих этапов производства должны позволять периодически уточнять значения  $y_{ki}$  в произвольный момент времени. Кроме того, рассчитываемый выход годных не должен резко изменяться из-за случайных отклонений данного показателя для отдельных партий узлов. Значения выхода годных должны быть оптимальными исходя из уровня показателей, достигнутых производством, а снижение потерь должно обеспечиваться конкретными техническими мерами: изменением ТП, оборудования, материала, конструкции узла, организации производства, квалификации рабочих или других условий производства.

Конструктивной основой модулей нулевого, первого и второго уровней служат коммутационные платы: печатные, МКП-1, 2, 3 и др. Основными КЭ таких плат являются: проводники разных слоев и сечений, “окна” для межслойных переходов проводников, участки изоляции между перекрещивающимися проводниками разных слоев, рези-



сторы из паст разных  $\rho_s$ , луженые контактные площадки (КП), паяные (сварные) соединения с различными материалами пар соединяемых элементов. В качестве примеров можно назвать: золотопалладиевый проводник диаметром 30 мкм, серебропалладиевую КП или внешний вывод из ковара и серебропалладиевую КП, платы и рамки герметизации, сварной шов рамки и крышки корпуса микросборки. Наборы (типы) КЭ уточняются по видам брака, характерным для производства конкретных изделий.

КЭ могут иметь различные геометрические характеристики (площадь, длину, диаметр и др.). Поэтому для характеристики их дефектов удобно использовать удельную плотность дефектов [9] элементов  $i$ -го типа, связанную с количеством дефектов соотношением

$$D_i = \frac{\lambda_i}{NA_i}, \quad (2)$$

где  $\lambda_i$  — количество дефектов  $i$ -го типа КЭ на партии коммутационных плат;  $N$  — количество плат в партии;  $A_i$  — геометрическая характеристика КЭ (площадь для изоляции, длина для проводников, сварных или паяных швов, количество паяных (сварных) соединений на плате).

Вероятность присутствия дефектов, обусловленных типом КЭ, на отдельном модуле зависит от геометрической характеристики  $A$ , умноженной на удельную плотность дефектов  $D$ . Так как в ТП дефекты должны быть явлением редким, зависящим от выхода большого числа случайно действующих факторов, выход годных должен подчиняться распределению Пуассона. Могут использоваться и другие типы распределений, в частности удобны из-за наличия у них достаточных статистик [10] экспоненциальные распределения.

В распределении Пуассона

$$y(x, AD) = \frac{(AD)^x e^{-(AD)}}{x!} \quad (3)$$

$y(x, AD)$  истолковывается как вероятность наличия  $x$  дефектов на фиксированном интервале геометрической характеристики  $A$  при удельной плотности дефектов  $D$ . Можно утверждать, что на модуле не будет ни одного дефекта ( $x = 0$ ) данного типа с вероятностью  $y(0, AD) = e^{-AD}$ . Дальнейшее усовершенствование модели описания дефектов КЭ заключается в учете возможных неоднородностей плотности дефектов каждого вида КЭ с помощью различных стандартных распределений  $f(D)$  по площади платы, от края к центру и т. д. [11].

Средний выход годных в этом случае определится выражением

$$y = \int_0^{\infty} e^{-(AD)} f(D) dD. \quad (4)$$

При использовании для описания  $f(D)$  распределений, сопряженных основному, существенно упрощается использование результатов текущего производства изделий, которые содержат интересные КЭ, для уточнения вероятностей получения годных элементов этих типов [10].

Сопряженным распределению Пуассона является  $\gamma$ -распределение [13]

$$f(D) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} D^{\alpha-1} e^{-\frac{D}{\beta}}. \quad (5)$$

Тогда [12]

$$y = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^{\infty} e^{-\left(A+\frac{1}{\beta}\right)D} D^{\alpha-1} dD = (1+A\beta)^{-\alpha}. \quad (6)$$

Здесь

$$\alpha = \left(\frac{\bar{D}}{\sigma}\right)^2; \quad \beta = \frac{\sigma^2}{D}, \quad (7)$$

где  $\bar{D}$  — средняя плотность дефектов;  $\sigma^2$  — дисперсия плотности дефектов.

Параметры  $\alpha$  и  $\beta$  полностью определяют распределение плотности дефектов КЭ каждого типа, а следовательно, и  $y_{kb}$ ,  $y_{kb} \dots$  в данной партии (группе партий, изготовленных за определенный календарный период). Аналогично могут быть вычислены выходы годных при других распределениях дефектов.

Пересчет параметров  $\alpha$  и  $\beta$  по результатам изготовления очередной партии микросборок (результатам производства за определенный календарный период) для сопряженных распределений весьма прост. Если априорная плотность дефектов КЭ конкретного типа из распределения Пуассона характеризуется значением среднего  $D$ , где  $D$  — гамма-распределение с параметрами  $\alpha$  и  $\beta$ ,  $\alpha > 0$ ,  $\beta > 0$ , тогда апостериорное распределение  $D$  при  $X_i = x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) есть гамма-распределение с параметрами [10]

$$\alpha + \sum_{i=1}^n x_i; \beta + n. \quad (8)$$

Аналогичные простые арифметические пересчеты параметров существуют для других пар сопряженных распределений.

Пересчет параметров распределения по формуле (8) позволяет учесть влияние результата текущего производства на вычисление плотности дефектов КЭ рассматриваемого типа и, следовательно, на выход годных.

Если величины  $\lambda, D_i$  в выражении (2) определены для нового ТП, оборудования, материала, конструкции, то расчеты по приведенной методике позволят оценить влияние этих изменений на выход годных узлов ЭА.

Точность и объективность расчетов могут быть повышены увеличением объема статистических данных производства, а также дальнейшей детализацией КЭ с помощью составных композиционных распределений плотности [11], групп оборудования, квалификации операторов, изготавливающих ЭА.

Таким образом, предлагаемая методика имеет следующие преимущества:

1. Позволяет планировать выход годных изделий, исходя из уровня, достигнутого производством, путем использования конкретных организационно-технических мероприятий, с учетом сложности конструкции узлов.

2. Дает возможность оценивать эффективность новых ТП, материалов, оборудования, оснастки для повышения точности и стабильности ТП.

3. Может уточняться путем добавления новых КЭ по зафиксированным в производстве видам брака.

4. Обеспечивает пересчет плотности дефектов каждого вида по результатам изготовления узлов ЭА за произвольный отрезок времени простыми арифметическими действиями.

5. Может совершенствоваться путем учета неравномерности распределений дефектов с помощью составных распределений плотности дефектов.

6. Ориентируется на АСУ ГПС соответствующих видов производства и обеспечивает в этом случае автоматизацию получения исходных данных ( $D_i$ ).

7. Пригодна для различных видов производства ЭА, в частности тонко- и толстопленочных микросборок, печатных плат, узлов на печатных платах, полупроводниковых приборов, а также для сборки и монтажа узлов и блоков ЭА.

**Список литературы:** 1. *Автоматизация проектирования и производства микросборок и электронных модулей* / Н.П. Меткин, М.С. Лапин, Б.Н. Дендобренко, Н.А. Доморацкий. М.: Радио и связь, 1986. 280 с. 2. *Глушкин О.П., Обичкин Ю.Г., Блохин В.Г.* Статистические методы в технологии производства радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1977. 260 с. 3. *ОСТ 92-1714—91.* Микросборки толсто пленочные. Методика учета и планирования выхода годных. Введ. 01.01.93. 4. *ОСТ 92-1713—91.* Микросборки толсто пленочные. Организация учета и порядок планирования технологических потерь в процессе производства. Введ. 01.01.93. 5. *ОСТ 92-4642—85.* Платы печатные. Методика планирования выхода годных и учет технологических потерь в процессе производства. Введ. 01.01.87. 6. *Бароун Р.К., Майерс Дж. В.* Использование контрольных структур в производстве многослойных ИС // *Электрон.* 1968. Т. 41, № 15. С. 67 – 69. 7. *Захаров В.П.* Применение тестовых микросхем для оптимизации конструкции и технологии ГИС повышенного уровня интеграции // *Электрон. техника. Сер. "Комплекс. микроминиатюризация радиоэлектрон. устройств и систем"*. 1975. Вып. 1. С. 92 – 97. 8. *Коробов А.И., Репин В.А., Седунов Б.И.* Тестовые микросхемы для оценки качества и надежности гибридных БИС // *Электрон. пром-сть.* 1974. № 7. С. 36 – 40. 9. *Stapper C.H.* Defect density distribution for LSJ yield calculations // *IEEE J. Solid – state circuits.* 1973. Vol. ED-20, P. 143 – 149. 10. *De Groot M.* Оптимальные статистические решения: Пер. с англ. М.: Мир, 1974. 491 с. 11. *Warner A.M.* Applying a composite model to the yield problem // *IEEE J. Solid – state circuits.* 1974. Vol. SC-9, P. 116 – 123. 12. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления: В 3 т. М.: Физматгиз, 1962. Т. 1. 607 с.; Т. 2. 800 с. 13. *Крамер Г.* Математические методы статистики: Пер. с англ. М.: Мир, 1975. 648 с.

*Поступила в редколлегию 20.03.97*