

УДК 621.372.62

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДА ГОДНЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ С ПООПЕРАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОНТРОЛЕМ

К.т.н. М.В. Мищенко, Запорожский национальный технический университет

*Представленная в статье методика дает возможность еще на этапе подготовки оценить экономическую целесообразность производства устройств на микрополосковых линиях. При этом могут быть учтены все этапы технологического процесса производства микрополосковых линий.*

*Методика, яка представлена в статті, дає можливість ще на етапі підготовки оцінити економічну доцільність виготовлення пристроїв на мікросмушкових лініях. При цьому можуть бути враховані всі етапи технологічного процесу виготовлення мікросмушкових ліній.*

*The presented technique makes it possible at the preparation stage to evaluate the economic feasibility of the production of microstrip devices. It can be taken into account all the technological stages of microstrip lines manufacturing.*

**Ключевые слова:** микрополосковое устройство, технологический процесс, выход годных.

## Введение

В связи с особенностями распространения электромагнитных волн в устройствах на микрополосковых линиях (МПЛ), выходные параметры таких устройств чувствительны к изменениям геометрических размеров линий. Однако, из-за несовершенства технологии производства, создать МПЛ номинальных размеров невозможно. Поэтому, на этапе подготовки производства, стоит вопрос определения экономической целесообразности изготовления того или иного устройства на МПЛ с определенными характеристиками при наличии определенной технологии производства (ТП). А при налаживании производства, стоит вопрос выбора оптимального технологического оборудования.

## Методика определения выхода годных микрополосковых устройств при их производстве с помощью определенной технологии

Представленная ниже методика применима при условии, что допусковые отклонения геометрических размеров МПЛ, обусловленные этапами технологического процесса, имеют нормальный или равномерный законы распределения [1]. Это условие не противоречит информации, представленной в [2], в которой указано, что на практике в большинстве ТП радиоэлектронных устройств отклонения измеряются по нормальному закону распределения.

Алгоритм методики можно описать следующими шагами:

1. С помощью интервального метода [3] рассчитываются допусковые отклонения на геометрические параметры микрополосковых устройств

$\delta_i$ , которые обеспечивают отклонение выходной функции в пределах  $\delta_a$ . В данном случае  $i = 1..m$ , где  $m$  – количество параметров.

2. Вводятся весовые коэффициенты  $P_i'$  с целью получения одинаковых допусковых отклонений в пределах нижних границ  $-\delta_i'$  и одинаковых допусковых отклонений в пределах верхних границ  $+\delta_i'$ .

3. Определяются граничные отклонения  $dx_j$ , которые обусловлены этапами выбранного технологического процесса изготовления устройств на МПЛ ( $j=1,2..n$ , где  $n$  – количество технологических операций, которые влияют на формирование геометрии МПЛ).

4. Поскольку процесс формирования топологии МПЛ насчитывает более десятка технологических операций [2], то далее можно использовать теорему Ляпунова [1], [4]. Суть этой теоремы состоит в том, что закон распределения суммы независимых случайных величин  $dx_j$  приближается к нормальному закону распределения при неограниченном увеличении  $n$ , если выполняются условия [1]:

– все величины имеют конечные математические ожидания  $M(dx_j)$  и дисперсии  $D[dx_j]$ ;

– каждая из величин по значению резко не отличается от других.

Количество  $n$  может быть меньше 10, если все величины имеют нормальный закон распределения или равномерный [1].

Вероятность того, что  $\bar{dx}$  лежит в интервале  $[-\delta_i'; +\delta_i']$ , можно рассчитать по формуле:

$$P1 = P\{-\delta_i' < \bar{dx} < +\delta_i'\} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi D[\bar{dx}]}} \int_{-\delta_i'}^{+\delta_i'} e^{-\frac{(dx - M(\bar{dx}))^2}{2D[\bar{dx}]}} ddx, \quad (1)$$

$$\text{где } \bar{dx} = \frac{dx_1 + dx_2 + \dots + dx_n}{n}.$$

5. Если учитывать операцию финишного контроля, на которой с вероятностью  $\beta$  будет выявлен брак и исключен из партии, то выход годных будет рассчитываться по формуле:

$$P2 = \frac{P1}{1 - (1 - P1) \cdot \beta}. \quad (2)$$

В общем случае для ТП изготовления МПЛ учет межоперационного контроля можно провести таким образом. Определяется выход годных каждый раз после определенного количества операций  $n' < n$ , и проводится

контроль, вследствие чего определяются  $P1_n$  и  $P2_n$ , по формулам (1) и (2), соответственно. При этом результирующее значение выхода годных:

$$P3 = \prod_{n=1}^n P2_n \quad (3)$$

Наличие контрольных операций влияет на производственные затраты таким образом [6]:

$$C = \sum(\alpha \cdot k_j + c_j) + \sum(\alpha \cdot k_{j+1} + c_{j+1}) \cdot (1 - \beta_j) + \dots \quad (4)$$

где  $\alpha = 1$  – наличие контрольной операции;

$\alpha = 0$  – отсутствие контрольной операции;

$k$  – стоимость контрольной операции;

$c_j$  – стоимость  $j$ -ой операции.

Формирование топологии устройства на МПЛ в общем виде состоит из этапов [4]:

1) Формирование фотошаблона:

– проектирование и преобразование информации в цифровую форму (при необходимости);

– настройка оптического генератора изображения;

– фотообработка (проявление, травление, задубливание и т.п.)

2) Формирование рисунка:

– нанесение резиста;

– сушка;

– экспонирование;

– проявление;

– финишная термообработка;

– травление;

– удаление резиста.

### Пример использования методики

Например, если при изготовлении фильтра нижних частот (ФНЧ), реализованного на одиночном шпилечном резонаторе, рис.1, используется технология, для которой математическое ожидание распределения суммы отклонений, обусловленных этапами ТП,  $M(\bar{x}) = 5$  и дисперсия  $D[\bar{x}] = 1440$ . Тогда по формуле (1) вероятность того, что отклонение геометрических параметров ФНЧ будет, например, в границах  $[-9,73; 6,39]$  мкм будет

$$P\{-9,73 < x < 6,39\} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot 1440}} \cdot \int_{-9,73}^{+6,39} e^{-\frac{(x-5)^2}{2 \cdot 1440}} dx$$

Через стандартную функцию распределения это решение примет вид [1]:

$$P\{-9,73 < \bar{x} < 6,39\} = 0,166$$

Для электронной промышленности этот показатель мал, поскольку выход годных от 0,5 до 0,7 считается низким [2].

Если в ТП будет присутствовать контрольная операция, на которой с вероятностью  $\beta = 0,96$  будет выявлен брак и исключен из партии, то выход годных, соответственно формуле (2), увеличится до

$$P2 = \frac{0,166}{1 - (1 - 0,166) \cdot 0,96} = 0,833$$

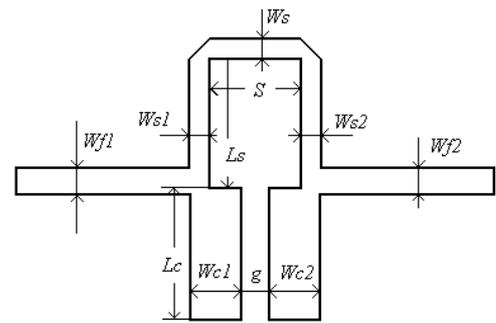


Рис. 1. ФНЧ, реализованный на одиночном шпилечном резонаторе

При этом стоимость ТП, которая условно составляет 1000 грн., при стоимости контрольной операции 200 грн. (условно), увеличится, в соответствии с формулой (4), до

$$C = (200 + 1000) + (1000 + 200) \cdot (1 - 0,96) = 1248 \text{ (грн.)}$$

Из этих данных следует, что изготовление ФНЧ с отклонениями геометрических параметров  $[-9,73; 6,39]$  мкм с помощью ТП, для которого математическое ожидание распределения суммы отклонений, обусловленных этапами ТП,  $M(\bar{x}) = 5$  и дисперсия  $D[\bar{x}] = 1440$ , является экономически целесообразным при условии использования контрольной операции. Поскольку показатель выхода годных в пределах от 0,7 до 0,9 является средним показателем [2].

### Вывод

Представленная методика дает возможность оценить экономическую целесообразность производства того или иного устройства на МПЛ, при условии распределения отклонений технологических операций по нормальному или равномерному закону и дает возможность учитывать большое количество этапов технологического процесса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. [Текст] / Н. Ш. Кремер. – 2-ое изд., – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573 с.
2. Сергеев В. О выходе годных, трудоемкости и сроках изготовления печатных плат / В. Сергеев, А. Ливерко // Технологии в электронной промышленности. – 2010. – № 1. – С. 40 – 44.
3. Шило Г. М. Формування інтервальних моделей для обчислення допусків / Г. М. Шило // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2002. – № 1. – С. 90 – 95.
4. Черняев В. Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров [Текст] / В. Н. Черняев. – М.: Радио и связь, 1987. – 464 с. : ил.
5. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В. Е. Гмурман. – 9-ое изд., М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
- Брюховецкий А. А. Три модели контроля выхода годных изделий для технологического процесса производства РЭА / А. А. Брюховецкий, Г. Г. Сергеев, В. Я. Копп, А. И. Балакин // Оптимизация производственных процессов. – 2005. Т. № 8. – С. 3 – 6.