

ОЦЕНКА РИСКА НЕДОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ПРОВОДЯЩИХ СЛОЕВ МНОГОСЛОЙНОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

К. т. н. Д. О. Усикян¹, к. т. н. Д. М. Алексанян², Л. А. Степанян³

¹Национальный политехнический университет Армении,

²Военный авиационный университет им. маршала А. Ханферянца,

³Американский университет Армении

Армения, г. Ереван

dhusikyan@seua.am, levon_stepanyan@edu.aua.am

Предложен метод определения количества проводящих слоев монтажного поля многослойной печатной платы (МПП), который обеспечивает минимальный риск установки недостаточного количества проводящих слоев. Метод основан на вероятностной модели проводящих слоев и элементов МПП. Разработан пакет программ “Синтез” для машинных решений с помощью прикладной программы Wolfram-Mathematica и алгоритмического языка C++, позволяющий выполнять иконки и графики для расчета характеристик МПП.

Ключевые слова: многослойная печатная плата, проводящий слой, монтажное поле, количество элементов.

Как известно, на раннем этапе проектирования МПП одной из важнейших задач является определение количества проводящих слоев (ПС). Увеличение количества ПС МПП в большей мере обусловлено повышением степени интеграции элементной базы и определенным образом выражается общим ростом числа ПС. При этом возможности варьирования площади поля трассировки МПП ограничены с конструктивной и технологической точек зрения, а ПС, при помощи которых осуществляется межэлементная связь, требуют еще больших площадей. Проектирование МПП — трудоемкий процесс, в котором количество ПС является одним из ограничений, поскольку вместе их увеличением резко возрастает процент брака.

Целью настоящей работы является оценка риска установки недостаточного количества ПС монтажного поля МПП с помощью вероятностного моделирования.

Как показали результаты анализа [1], одним из основных факторов, который влияет на бесперебойную межэлементную электрическую связь проводных соединений, является количество ПС МПП γ . Трудность состоит в том, что среднее число $\bar{\gamma}(N)$ ПС, необходимое для N_1 количества элементов, — случайная величина. Это означает, что для площадок разных МПП с одним и тем же числом элементов требуется различное количество ПС. Следовательно, в том случае когда необходимое для количества элементов N_1 число ПС γ больше, чем имеющееся их число γ_1 , реализуются не все существующие на МПП связи электрических проводных соединений. Таким образом, вероятность достаточности количества ПС МПП можно определить как вероятность того, что требуемое количество ПС для N_1 элементов будет не больше, чем γ_1 [3]:

$$P_\gamma = P[\gamma(N_1) \leq \gamma_1] = P(N_{cp} = N_1), \quad (1)$$

где N_{cp} — среднее количество элементов МПП.

Выражая эту вероятность через плотность распределения количества ПС, требуемых для числа элементов N_1 , будем иметь [2]

$$P_\gamma = P[\gamma(N_1) \leq \gamma_1] = \int_0^{\gamma_1} f(\gamma, N_1) d\gamma = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{\gamma_1} \exp\left(-(\gamma - \bar{\gamma})^2 / (2\sigma)\right) d\gamma, \quad (2)$$

где $f(\gamma, N_1)$ — уравнение плотности распределения [2].

Введем понятие “риск недостаточного количества” ПС МПП — вероятность того, что требующееся для числа элементов N_1 количество ПС будет больше, чем существующее количество ПС:

$$R = P[\gamma(N_1) > \gamma_1] = 1 - P_\gamma. \quad (3)$$

Из (2) и (3) видно, что чем больше количество ПС γ_1 , тем меньше риск их недостаточного количества и, следовательно, больше вероятность более полного использования проводных длин межэлементных электрических соединений. Чтобы обеспечить надежную электрическую межэлементную связь проводных соединений МПП, необходимо риск недостаточного количества ПС свести к нулю.

Согласно вероятностной модели зависимости количества ПС монтажного поля МПП γ от числа элементов N_1 , функция $\gamma(N_1)$ подчиняется нормальному закону распределения вероятностей. Это означает, что согласно (2) и (3), для любого конечного значения γ_1 имеем $P_\gamma < 1$, $R > 0$.

С другой стороны, для любого нормального распределения случайных величин X , математическое ожидание которого $-\bar{\gamma}_x$ и стандартное отклонение $-\sigma_x$, с точностью до десятой доли процента верны следующие выражения [2]:

$$\begin{cases} P(x < \bar{\gamma}_x + 2\sigma_x) = 0,98, \\ P(x < \bar{\gamma}_x + 3\sigma_x) \approx 1, \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} \gamma_1(R = 0,02) = \bar{\gamma}(N_1) + 2\sigma_\gamma(N_1), \\ \gamma_1(R = 0) = \bar{\gamma}(N_1) + 3\sigma_\gamma(N_1), \end{cases} \quad (4)$$

где $\bar{\gamma}(N_1), \sigma_\gamma(N_1)$ — соответственно, среднее значение и стандартное отклонение требующихся ПС для числа элементов N_1 . Как следует из (4):

$$\gamma_1(R = 0) = \bar{\gamma}(N_1) + 3\sigma_\gamma(N_1). \quad (5)$$

В этом случае обеспечивается нулевой риск установки недостаточного количества ПС и, следовательно, наилучший коэффициент заполнения МПП. Дальнейшее увеличение количества ПС не имеет смысла, поскольку вероятность превышения количества ПС МПП числа $[\bar{\gamma}(N_1) + 3\sigma_\gamma(N_1)]$ практически нулевая.

Отметим также, что без видимых потерь можно уменьшить количество ПС на величину стандартного отклонения. При этом, согласно (4), вероятность реализации электрических соединений для количества элементов N_1 составит 0,98, а риск недостаточного количества ПС — всего 0,02. Следовательно, можно рекомендовать следующий принцип выбора количества ПС МПП:

$$\gamma_1 = \bar{\gamma}(N_1) + (2...3)\sigma_\gamma(N_1).$$

Таким образом, риск установления недостаточного количества ПС можно оценить с вероятностью того, что для МПП с количеством элементов N требуемое количество проводящих слоев γ больше, чем существует на имеющейся (действующей) МПП. Параллельно с ростом ПС этот риск снижается, а при уменьшении количества ПС — повышается.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Aleksanyan D.M., Husikyan D.H. The Estimation of the Surface of a Printed Board // Proceedings of the conference “Computer Science and Information Technologies (CSIT-2017)”.— Armenia, Yerevan.— 2017.— P.141–143.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.— М.: Наука, 1962.

D. H. Husikyan, D. M. Aleksanyan, L. A. Stepanyan

Estimating the risk for the insufficient number of the conductive layers on the assembly field of the multilayer printed board

The authors present a method for determining the number of conductive layers on a multilayer PCB which minimizes the risk of mounting an insufficient number of conduction layers. The method is based on a probabilistic model of conductive layers and elements of the PCB. A “Synthesis” software package for machine solutions is developed using the “Wolfram-Mathematica” application and C++ algorithmic language. The package makes it possible to construct groups of icons and graphs for calculation of PCB characteristics.

Keywords: multilayer board, conductive layer, mounting field, number of elements.