

УДК 621.3

Л.А. Торгонский

К выбору размеров резисторов с подгонкой сопротивления

Показана возможность оптимизации выбора поверхностного сопротивления резистивной плёнки по критерию минимума площади резистивной полосы при заданных максимальных значениях производственных допусков на параметры материалов резистора и размеры топологических фигур.

Ключевые слова: резистор, плёнка, сопротивление, подгонка, размеры, расчёт, площадь, минимизация.

Резисторы с подгонкой сопротивления могут исполняться с дискретной и «плавной» подгонкой. Распространена плавная подгонка сопротивления резисторов технологическим вырезом, изменяющим коэффициент формы в плёночном резистивном слое [1]. С применением избирательной имплантации компенсирующих примесей подобные конструкции могут быть распространены на резисторы в полупроводниковых слоях. Потенциально такая подгонка обеспечивает точность подгонки до долей процента и меньшие достижимые размеры в сравнении с иными исполнениями. Минимизация габаритов подгоняемых резисторов остаётся актуальной задачей в проектировании высокоточных резистивных матриц цифроаналоговых преобразователей. Вследствие сложности расчётных моделей зависимости сопротивления от формы и размеров выреза в практике выбора размеров подгоняемых резисторов до настоящего времени применяется эмпирический подбор размеров с сопутствующими неопределённостями.

В представленном материале показана возможность оптимального выбора размеров конструкции подгоняемых резисторов по критерию минимума занимаемой площади для топологической конфигурации резистора, изображенной на рис. 1. С целью преодоления трудностей аналитических представлений трансцендентное выражение для расчёта сопротивления резистора со ступенчатым изменением ширины резистивной полосы, приведенное в работе [2], было аппроксимировано полиномом степени аргумента $S = B/B_m$.

Учет по методу максимума производственных отклонений определяющих параметров и аппроксимацией полиномом зависимости сопротивления от параметра S получена совокупность расчётных выражений (1)–(5):

$$R = R_{\min} + R_{\square\min} \left[L_b \left((S-1) \left(S/B_m + 0,388S + 0,112S^2 \right) \right) \right]; \quad (1)$$

$$R_{\min} = R \left(1 - 2\delta R_p \right); \quad 1 \leq S = B/B_m \leq 3; \quad R_{\square\min} = R_{\square} \left(1 - \delta R_{\square} \right); \quad (2)$$

$$\delta R_p = \delta R_{\square} + (\Delta B/S \square B_m) \left(1 + R_{\square}/R \right) + 3 \cdot (R_{\square}/R)^{0,5} / (R \square S \square B_m); \quad (3)$$

$$2 \square R \square \delta R_p \leq R_{\square\min} \left[L_b \left((S-1) \left(S/B_m + 0,388S + 0,112S^2 \right) \right) \right]; \quad (4)$$

$$\{ [R \left(1 - 2\delta R_p \right) / R_{\square}] - 4/3 \} \square S \square B_m > L_b \geq L_0, \quad (5)$$

где δR_p – одностороннее производственное отклонение сопротивления резистора до подгонки.

В выражениях (1)–(5) полагаются известными номинал сопротивления резистора R [Ом], допустимая мощность рассеяния резистора P [Вт], удельная мощность рассеяния резистивной плёнки P_0 [Вт/см²], удельное переходное сопротивление контактной пары резистора R_0 [Ом·см²], номинал и относительная технологическая погрешность поверхностного сопротивления R_{\square} [Ом], δR_{\square} , абсолютная погрешность исполнения линейных разме-

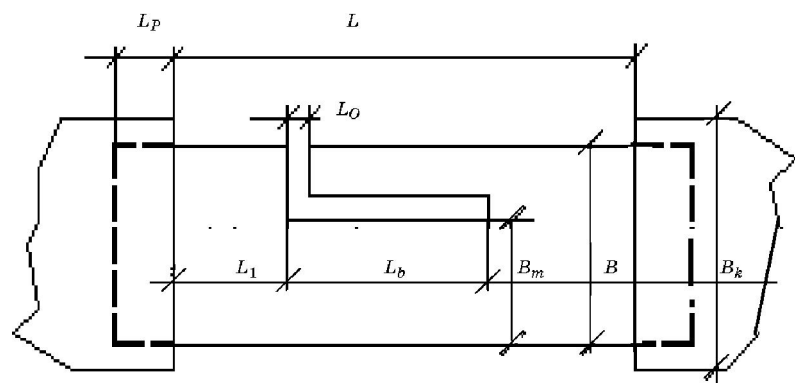


Рис. 1. Топология резистора

ров конструкции резистора ΔB [см]. В приведенных соотношениях учтены рекомендации работы [2] по размещению выреза на расстоянии L_1 не менее $(2B/3)$ от контактных площадок для исключения влияния изменения плотности тока в контактах на сопротивление резистора. Определению подлежат линейные размеры конструкции резистора B , B_m , L , L_b , L_p .

На этапе предварительного выбора за минимальный размер B_m принимается больший, из определяемых по формуле (6) при $R_{\square}/R \approx 0,5$ для учёта мощности рассеяния или, по формуле (7), учёта допустимой погрешности на шаге подгонки:

$$B_{mp} \geq [P \square (1 + \delta R_{\square}) \cdot R_{\square} / (P_o \square R)]^{0,5}; \quad (6)$$

$$B_{md} \geq d_p / 2 \square \delta R_3, \quad (7)$$

где $d_p = L_o$ – диаметр «испаряемого пятна материала» (минимальная ширина выреза); δR_3 – одностороннее допустимое отклонение сопротивления резистора.

Совместное преобразование выражений (1), (3) с учётом обозначений (2), (4), (5) относительно коэффициента формы резистивной полосы $A = (R/R_{\square})$ позволяет с погрешностью не более 10% получить условие выбора коэффициента A в следующем виде:

$$A \geq (0,71 \square S + 0,044 \square S^2 - 0,67 + 2,5 \square \delta B_m) / D, \quad (8)$$

где

$$D = \{S - \delta B_m - 3 \cdot [R_o \square P_o / (R \square P)]^{0,5}\} / (1 + \delta R_{\square}) - 1 / (1 - \delta R_{\square}), \quad (9)$$

$$\delta B_m = \Delta B / B_m.$$

Зависимость $A(S)$ при

$$S = S_{gp} = (1 + \delta R_{\square}) / (1 - \delta R_{\square}) + \delta B_m + 3 \cdot [R_o \square P_o / (R \square P)]^{0,5} \quad (10)$$

имеет точку разрыва ($A \rightarrow \infty$), что указывает на область несовместности условий подгонки при $S \leq S_{gp}$. При $S > S_{gp}$ зависимость $A(S)$ имеет слабо выраженный минимум. С учётом зависимости $A(S)$ габаритная площадь S_G резистивной полосы представляется выражением

$$S_G = A(S) \square S^2 \square B_m^2 \quad (11)$$

и имеет выраженный минимум при $S_{opt} \geq (S_{gp} + 1,5)$. Этот факт позволяет формулировать критерий и методику оптимизации выбора размеров подгоняемого резистора по минимуму площади резистивной полосы. Для известных значений производственных отклонений $\delta B_m = \Delta B / B_m$, δR_{\square} и номинальных значений параметров R_o , P_o , R , P определяются S_{gp} , S_{opt} и, с учётом значения B_m , размеры резистора. По условию (8) определяется значение $A(S)$ и через известный номинал сопротивления – соответствующее сопротивление квадрата резистивного слоя. Если в качестве первого приближения размера B_m принято B_{mp} при $A \approx 2$, то с учётом вычисленного значения A следует итерационно скорректировать значение B_m . Если определяющим для выбора значения B_m является размер B_{md} , то корректировка не требуется.

Общая длина резистивной полосы определяется по формуле

$$L = A(S_{opt}) \square S_{opt} \square B_m. \quad (12)$$

Перекрытие резистивной полосы металлизацией по длине резистора L_p определяется по формуле

$$L_p \approx 1,5 \cdot (R_o / R_{\square})^{0,5} + 2 \cdot (\Delta B + \Delta C), \quad (13)$$

а ширина контактной площадки B_k с перекрытием резистивной полосы – по формуле

$$B_k \geq S \cdot B_m + 4 \cdot (\Delta B + \Delta C). \quad (14)$$

В формулах (13), (14) ΔC есть погрешность совмещения резистивного слоя с контактной металлизацией.

Числовые оценки значений коэффициента формы A и занимаемой резистором площади показывают, что при $[\delta B_m + 3(R_o \square P_o / R \square P)^{0,5}] \approx 0,1$ и $\delta R_{\square} \approx 0,2$ $S_{gp} = 1,6$. Повышение отношения S от значения 2,5 до 4 увеличивает площадь резистора без учёта размеров контактов в 1,9 раза. Коэффициент формы резистора A снижается от 2,1 до 1,6.

Увеличение отклонений сопровождается увеличением S_{gp} и смещением значения S_{opt} в сторону более высоких значений.

Проведенный анализ позволяет рационализировать выбор и расчёт формы и размеров резисторов с подгонкой номинала рассматриваемой конструкции по критерию минимума занимаемой площади и исключить их эмпирический подбор.

Литература

1. Торгонский Л.А. Проектирование интегральных микросхем и микропроцессоров: учеб. пособие: В 2 разд. Разд. 2. – Томск: Том. межвуз. центр дистанционного обучения, 2007. – 228 с.

2. Гимпельсон В.Д. Тонкоплёночные микросхемы для приборостроения и вычислительной техники / В.Д. Гимпельсон, Ю.А. Радионов. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.

Торгонский Леонид Александрович

Канд. техн. наук, доцент кафедры КИБЭВС ТУСУРа

Тел.: 41-34-26,

Эл. почта: tla@kibevs.tusur.ru

L.A. Torgonsky

To choice of resistors size with the resistance adjusting

A possibility to optimize the choice of sheet resistance of a resistive film is shown. The optimization uses a criterion of resistive strip square minimum for the given maximum values of industrial tolerances on a resistor material parameters and sizes of topological figures.

Key words: resistor, film, resistance, adjustment, sizes, calculation, area, minimization.
