

В. Д. ДМИТРИЕВ
Ю. П. ЕРМОЛАЕВ, В. В. ХОЛОПОВ
(Казань)

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПЛЕНОЧНЫХ RC -ЦЕПЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Рассматриваются преимущества пленочных RC -цепей с распределенными параметрами с точки зрения точности воспроизведения их характеристик в процессе производства. Приводятся конструктивные и технологические решения, обеспечивающие повышенную точность.

Одним из ценных преимуществ пленочной микроэлектроники является возможность замены комплекса отдельных элементов схемы эквивалентными цепями с распределенными параметрами. В первую очередь это относится к пленочным RC -цепям. Эти устройства, достаточно подробно описанные в литературе и применяемые в реальной аппаратуре, представляют собой трехслойную структуру, состоящую из последовательно наносимых проводящей, диэлектрической и резистивной пленок [1, 2].

Одно из основных достоинств подобных RC -цепей заключается в значительном сокращении занимаемой площади подложки по сравнению с RC -цепями, выполненными из отдельных сопротивлений и емкостей. Это обеспечивается как благодаря перекрытию пленок, так и в некоторых случаях за счет уменьшения номиналов сопротивления и емкости, составляющих цепь.

В настоящей статье рассматривается другая, сравнительно слабо изученная характеристика RC -цепей, а именно воспроизводимость их основных параметров в процессе производства. Данная характеристика имеет особенно существенное значение в измерительной аппаратуре, выполняемой на микропленках.

Простой анализ, приведенный ниже, выявляет значительные резервы получения более точных распределенных RC -цепей по сравнению с RC -цепями из дискретных пленочных элементов. Отдельно изготавливаемые сопротивление R и емкость C рассчитываются для случая прямоугольного контура по известным формулам:

$$R = R_{\square} \frac{L}{B}; \quad C = C_{yx} L' B',$$

где R_{\square} — сопротивление квадрата резистивной пленки, равное отношению ее удельного сопротивления ρ к толщине $\Delta\rho$;

L и B — размеры резистивной пленки в направлении протекания тока и перпендикулярно к нему;

$C_{уд}$ — удельная емкость единицы площади перекрытия пленок, определяемая отношением диэлектрической проницаемости диэлектрической пленки ϵ к ее толщине Δ_d ;

L' и B' — размеры площади перекрытия обкладок конденсатора.

Точность RC -цепи, состоящей из дискретных пленочных элементов, определяется допуском на произведение значений сопротивления и емкости, откуда устанавливаются более узкие допуски на сопротивление и емкость. Затем по этим данным подсчитываются еще более узкие допуски на все конструктивные параметры, определяющие разброс сопротивления и емкости. В результате возникает необходимость устанавливать крайне жесткие допуски на разброс размеров окон в трафаретах, точность базировки трафаретов, режим напыления резистивных и диэлектрических пленок. И тем не менее ввиду большого количества факторов, влияющих на качество изготовления RC -цепей из дискретных элементов, точность произведения RC оказывается невысокой.

Активный контроль сопротивлений в процессе напыления и термообработки может обеспечить достаточно высокую их точность, но контроль емкости возможен лишь после напыления второй обкладки, т. е. когда емкость уже получена и изменить ее параметры почти невозможно. Существующие косвенные методы контроля диэлектрических пленок в процессе напыления сравнительно сложны и мало удобны при серийном производстве. Поэтому наиболее точные RC -цепи часто приходится подгонять до заданных номиналов механическим, электроискровым или другими малопроизводительными способами.

Однако, учитывая, что для RC -цепей необходимо выдержать точность только произведения, можно рекомендовать довольно простой, но эффективный технологический прием, позволяющий повысить точность их изготовления. В этом случае вначале производится изготовление емкости и измеряется ее фактическая величина. Затем на основе заданного произведения RC пересчитывается величина R . Напыление сопротивления сопровождается активным контролем процесса.

Совершенно иная картина наблюдается в пленочной RC -цепи с распределенными параметрами, идеализированная структура и эквивалентная схема которой для одного из простых случаев приведены на рис. 1. Значения сопротивления и емкости подсчитываются по приведенным выше формулам, но для рассматриваемой структуры значения L и L' , а также B и B' соответственно будут совпадать. Следовательно, величина RC примет вид

$$RC = R_{\square} C_{уд} L^2. \quad (1)$$

Ширина резистивной пленки и нижней обкладки емкости не окажет никакого влияния на параметры RC -цепи. Однако это будет иметь место лишь в случае полного совпадения ширины сопротивления и нижней обкладки емкости.

Для того, чтобы полностью устранить влияние неизбежного разброса ширины щели в трафаретах для резистивных и проводящих пленок, а также их взаимного смещения при базировке относительно под-

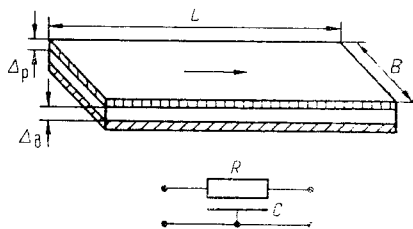


Рис. 1.

ложки, достаточно сделать нижнюю обкладку емкости шире сопротивления на величину этих погрешностей.

Более того, как видно из выражения (1), даже при значительных произвольных колебаниях ширины резистивной пленки $B(x)$ в пределах проводящей обкладки B_0 (рис. 2, а) отклонений параметров RC -цепи

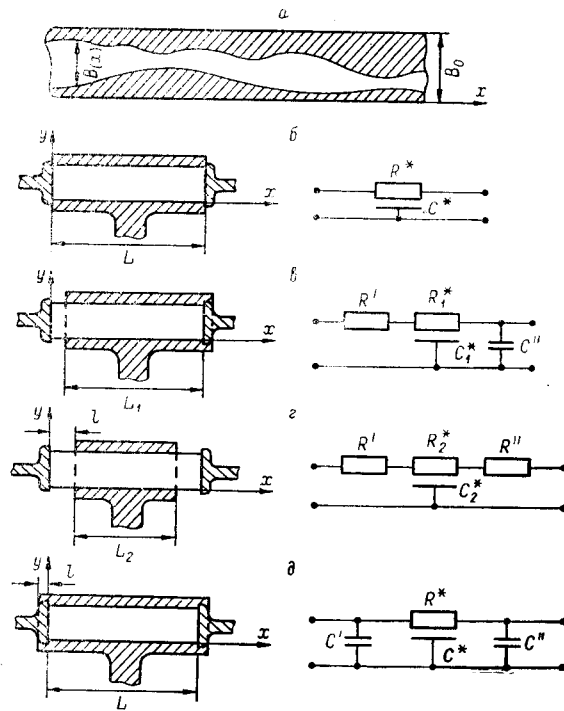


Рис. 2.

при неизменной длине участка наблюдаться не будет. Физически это объясняется автоматическим уменьшением погонной емкости при каком-либо увеличении погонного сопротивления в результате уменьшения $B(x)$ и наоборот. Следовательно, в конструкции RC -цепи, представленной на рис. 2, б, смещение трафаретов для обкладки и контактов в направлении оси y влияния на точность RC -цепи не окажет. На рис. 2, б—д штриховка в одном направлении — пленочные пленка, образующая нижнюю обкладку емкости, штриховка в другом направлении — пленочные контактные площадки сопротивления, а пробельные участки — резистивная пленка; диэлектрическая пленка, контур которой не влияет на точность RC -цепи, условно не показана. Требования к точности трафаретов для резистивных пленок, столь жесткие для отдельных сопротивлений, могут быть существенно снижены.

Смещение же трафаретов для обкладки и контактов в направлении оси x будет оказывать влияние на параметры RC -цепи. Это влияние выразится в том, что при смещении их в какую-либо сторону значение R^*C^* уменьшится в соответствии с выражением

$$\frac{(R^*C^*)_{\max} - (R^*C^*)_{\min}}{(R^*C^*)_{\max}} = 2 \frac{l}{L} - \frac{l^2}{L^2}, \quad (2)$$

где l — погрешность базировки по оси x .

Если $L \gg l$, то вторым членом выражения (2) можно пренебречь. При таком смещении с одной стороны появится дополнительно сопротивление R' , а с другой — емкость C'' , которые можно считать сосредоточенными. Эквивалентная схема такой RC -цепи приведена на рис. 2, в.

Для сохранения значения R^*C^* в топологии пленочной цепи можно предусмотреть сокращение длины обкладки емкости на величину погрешности базировки трафаретов (см. рис. 2, г). В этом случае при смещении трафаретов по оси x будут изменяться значения только сосредоточенных сопротивлений R' и R'' , причем их сумма останется неизменной. Другим способом сохранения значения R^*C^* постоянным является

увеличение длины обкладки емкости относительно расстояния между контактами на величину погрешности базировки трафаретов (см. рис. 2, *д*). При этом будут изменяться дополнительные емкости, в сумме оставаясь постоянными.

В целях повышения точности функции передачи можно воспользоваться независимостью параметров RC -цепи от ширины резистивной пленки. Один из возможных вариантов RC -цепи (см. рис. 2, *г*) может быть выполнен с резким расширением боковых резистивных зон. В этом случае смещение обкладки по оси x не вызывает изменения произведения R^*C^* ; соответствующее же этому смещению изменение сопротивлений R' и R'' окажется значительно меньше, чем в конструкции рис. 2, *г*, за счет их большей ширины.

В принципе, модифицируя конструкцию, приведенную на рис. 2, *д*, в целях уменьшения боковых емкостей можно сузить резистивную пленку и контактные участки на концах сопротивления. Это также повысит точность RC -цепи. Однако подобный прием увеличивает удельную мощность рассеивания в суженных участках сопротивления и может привести к снижению надежности RC -цепи.

Наряду с предлагаемыми конструктивными решениями можно также использовать технологический прием, описанный выше. Для этого на основании допуска на произведение RC предварительно рассчитываются допустимые пределы отклонений произведения $R_{\square}C_{уд}$. Потом на подложку и свидетель производится напыление обкладки емкости и пленки диэлектрика. Допуск на толщину диэлектрика может быть достаточно широким, во всяком случае шире, чем на произведение RC . Затем на свидетель напыляется вторая обкладка, после чего, не нарушая вакуума, производится измерение емкости свидетеля и расчет значения $C_{уд}$. Далее корректируется величина R_{\square} так, чтобы при уже полученном значении $C_{уд}$ обеспечить заданные пределы произведения $R_{\square}C_{уд}$. Активный контроль в процессе напыления резистивной пленки позволит получить точное значение R_{\square} и тем самым обеспечить высокую точность всей RC -цепи.

В целях количественной оценки точности воспроизведения параметров RC -цепей были выполнены расчеты, результаты которых для конструкций рис. 2, *б* и *д* представлены соответственно графиками рис. 3 и 4. При расчетах характеристик схем рис. 2, *б* и *д* ко входу дополнительно подключены последовательное сопротивление, равное $0,1R$, а к выходу сопротивление нагрузки $R_n = 2R = 1000 \text{ ом}$. За основу взята RC -цепь рис. 2, *б* (при $L = 10 \text{ мм}$). Расчеты произведены для максимального практического сдвига трафаретов на 1 мм влево и вправо по оси x . При этом для каждой схемы получена область погрешности между крайними случаями сдвига трафаретов. Кривая 1 на рис. 3 и 4 соответствует точному совмещению трафаретов для конструкций RC -цепей рис. 2. При этом $R' = R''$ для рис. 2, *г*, а $C' = C''$ для рис. 2, *д*.

Из рис. 3 и 4 видно, что при одной и той же величине погрешности базировки трафаретов наибольшие изменения параметров и формы кривой характерны для конструкции RC -цепи, приведенной на рис. 2, *б*. Например, при $\omega RC = 10$ для конструкций рис. 2, *б* и *д* коэффициент передачи сигнала с учетом двух крайних точек сдвига трафаретов составляет соответственно $-16,25_{-10,25}^{-1,15} \text{ дб}$ и $-18,33_{-0,64}^{+0,83} \text{ дб}$. Следует отметить, что для конструкции рис. 2, *в* коэффициент передачи сигнала равен $-16,65_{-1,562}^{+1,74} \text{ дб}$ при $\omega RC = 8$.

Как видно из приведенного материала, применение пленочных RC -цепей с распределенными параметрами позволяет обеспечить высо-

кую точность таких цепей при сравнительно низком качестве трафаретов, невысокой точности базировки и плохой воспроизводимости диэлектрических пленок. Замена дискретных пленочных сопротивлений и

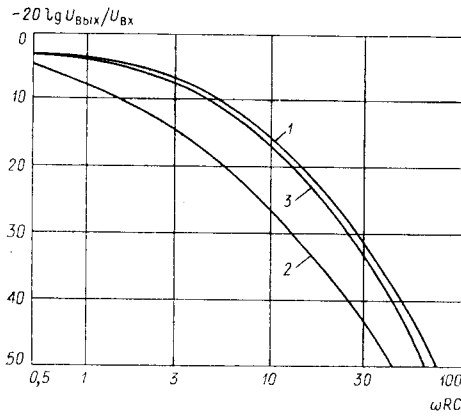


Рис. 3.

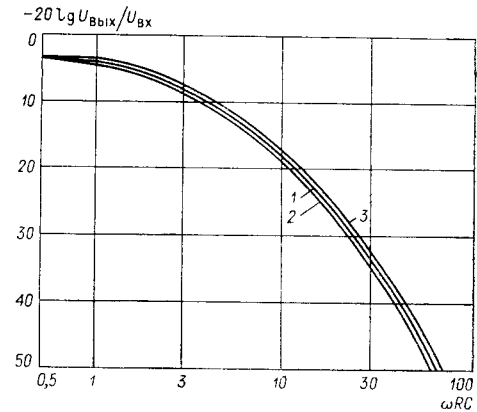


Рис. 4.

емкостей RC -цепями с распределенными параметрами дает возможность серийного и массового выпуска качественной аппаратуры в микропленочном исполнении на обычном оборудовании и при невысокой степени качества трафаретов.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. К. Hager. Network Design of Microcircuits.— Electronics, 1959, v. 32, № 36, p. 36.
2. P. S. Castro. Метод анализа схем, входящих в состав микросхем.— Электротехника, 1961, № 7.

Поступила в редакцию
20 января 1966 г.,
окончательный вариант —
24 февраля 1966 г.