

Дискретная настройка многономинальных резистивных микрочипов

Борис Бавыкин, Иван Воробьёв, Владимир Бугров
(г. Нижний Новгород)

В статье рассматривается возможность шунтовой настройки многономинальных резистивных микрочипов методами нелинейного булева программирования. Приводится структурно-функциональное описание тонкоплёночных многономинальных микрочипов меандрового типа, рассматриваются их основные функциональные показатели, а также обобщённая эквивалентная схема замещения, составленная на базе конформного отображения топологии проводников. Приведён пример дискретной настройки многономинального резистивного микрочипа по заданному ряду номиналов.

ВВЕДЕНИЕ

Резистивные микрочипы широко используются в радиоэлектронике для измерения и калиброванного ослабления мощности радиосигналов, взаимной развязки трактов, измерения направленности и в качестве согласованных нагрузок. В настоящее время ЧИП-резисторы, как правило, выполняются на базе тонких поглощающих плёнок, наносимых на диэлектрическую подложку [1–3].

Основными конструктивными элементами микрочипа являются подложка, резистивный слой и контакты к нему (см. рис. 1). Наиболее часто используется поликоровая подложка, имеющая малые диэлектрические потери, высокую механическую прочность, достаточную теплопроводность и высокий класс чистоты поверхности. Резистивный материал, применяемый в качестве резистивной плёнки, должен обладать соответствующим удельным сопротивлением, высокой стабильностью, хорошей адгезией с подложкой, способностью к образованию однородной структуры. Для получения прецизионных свойств резисторов в настоящее время наиболее часто используют керметные резистивные материалы на основе силицидов хрома с диэлектриком, позволяю-

щие получать плёнки с широким диапазоном удельных сопротивлений.

Относительная производственная погрешность сопротивления тонкоплёночного резистора определяется выражением:

$$\Delta R/R = \Delta \rho/\rho + \Delta l/l + \Delta b/b, \quad (1)$$

где $\Delta \rho/\rho$, $\Delta l/l$, $\Delta b/b$ – относительные погрешности воспроизведения удельного поверхностного сопротивления, длины и ширины резистивного проводника, а $\Delta \rho$, Δl , Δb – абсолютные погрешности воспроизведения этих параметров.

Погрешности сопротивления резистора (1) напрямую определяются погрешностью воспроизведения удельного поверхностного сопротивления и размеров плёнки. Именно они задают технологические ограничения и допуски на параметры микрочипа и определяют необходимость подстройки сопротивления резистора под заданный номинал. Топология, приведённая на рисунке 1, позволяет реализовать лишь один требуемый номинал, используя при этом весьма затратную лазерную коррекцию [2, 4] производственной погрешности сопротивления. Для реализации заданного номенклатурного ряда сопротивлений потребуется большое количество фотошаблонов, что экономически весьма невыгодно.

Существенное уменьшение числа фотошаблонов может быть обеспечено при использовании многономинальных тонкоплёночных топологий, имеющих элементы дискретной настройки сопротивления резистора под различные номиналы. Это позволяет при помощи одного фотошаблона увеличивать сопротивление метал-

лизированной заготовки в десятки раз путём последовательного размыкания настроечных перемычек, что даёт весьма ощутимый экономический эффект.

При использовании многономинальных топологий с перемычками основной проблемой является методология определения статуса корректирующих перемычек, обеспечивающих реализацию заданного номинала сопротивления резистора с необходимой точностью. Так как статус каждой i -й перемычки шаблона может иметь только два состояния, то естественно его оценивать соответствующей булевой переменной bx_i , принимающей значение 1, если перемычка замкнута, и значение 0 – если перемычка разомкнута. Поэтому наиболее эффективно задачу определения статуса корректирующих перемычек решать методами дискретного математического программирования [5–7].

Математическое программирование – это инвариантная и эффективная методология проектирования, общая идея которой состоит в привязке решения проектной задачи к чёткому инвариантному математическому признаку – экстремуму функции качества проектируемого устройства (целевой функции) $F(X)$, где X – вектор искомых параметров устройства. Для любой проектной задачи такую функцию всегда можно сформировать исходя из заданных требований. Имея такую функцию, решение проектной задачи сводят к процедуре минимизации $F(X)$, т.е. отысканию координат глобального экстремума, что обычно делается поисковыми методами [7]. При решении задачи дискретной настройки многономинальных топологий резистивных микрочипов с шунтовыми перемычками целевая функция записывается относительно вектора булевых переменных $BX (bx_1, bx_2, \dots, bx_N)$ (N – число перемычек), определяющих статус корректирующих перемычек фотошаблона при его шунтовой настройке на заданный номинал сопротивления.

В данной статье рассматриваются вопросы моделирования низкочастотных многономинальных резистив-

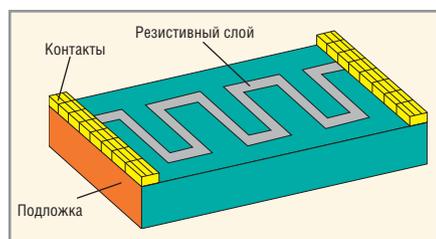


Рис. 1. Тонкоплёночный резистивный микрочип

ных микрочипов, а также возможность определения статуса их корректирующих перемычек методами нелинейно-гобулевого программирования (НБП).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗИСТИВНОГО МИКРОЧИПА

Структурно-функциональный подход, лежащий в основе моделирования и настройки многономиального резистивного микрочипа, является реализацией системного подхода, излагаемого в теории познания [8, 9]. Согласно структурно-функциональному подходу, резистивный микрочип может быть охарактеризован с двух принципиальных сторон. Внутреннее его состояние описывается на двух иерархических уровнях – структурном и параметрическом. Что касается структуры построения микрочипа S , определяемой числом проводников микрочипа и их взаимосвязью, то в настоящее время наиболее часто используется топология токнесущих проводников типа «меандр», пример которой приведён на рисунке 1. С помощью топологии меандрового типа могут легко быть реализованы резисторы весьма больших номиналов. Параметрический уровень X при этом определяет геометрические размеры отдельных проводников микрочипа заданной топологии построения.

Внешнюю, функциональную сторону резистивного микрочипа характеризует вектор его текущих функциональных показателей или характеристик $Y(y_1, y_2, \dots, y_m)$ (m – количество характеристик) с указанием их требуемых значений. Текущее функционирование связано с внутренним состоянием математической модели резистивного микрочипа: $Y = MM(S, X)$.

На рисунке 2 приведено схематическое изображение многономиальных топологий микрочипов меандрового и решётчатого типа, которые содержат базовые контактные площадки и резистивные проводники двух типов:

- основные проводники в форме меандра, разрыв которых приводит к прекращению функционирования устройства, ток перестанет протекать через резистор;
- шунтовые проводники (перемычки), разрыв которых не прекращает протекания тока, а приводит лишь к изменению (перестройке) сопротивления резистора под заданный номинал в заданном поле допуска. При этом перемычки для снижения затрат часто выполняются из того

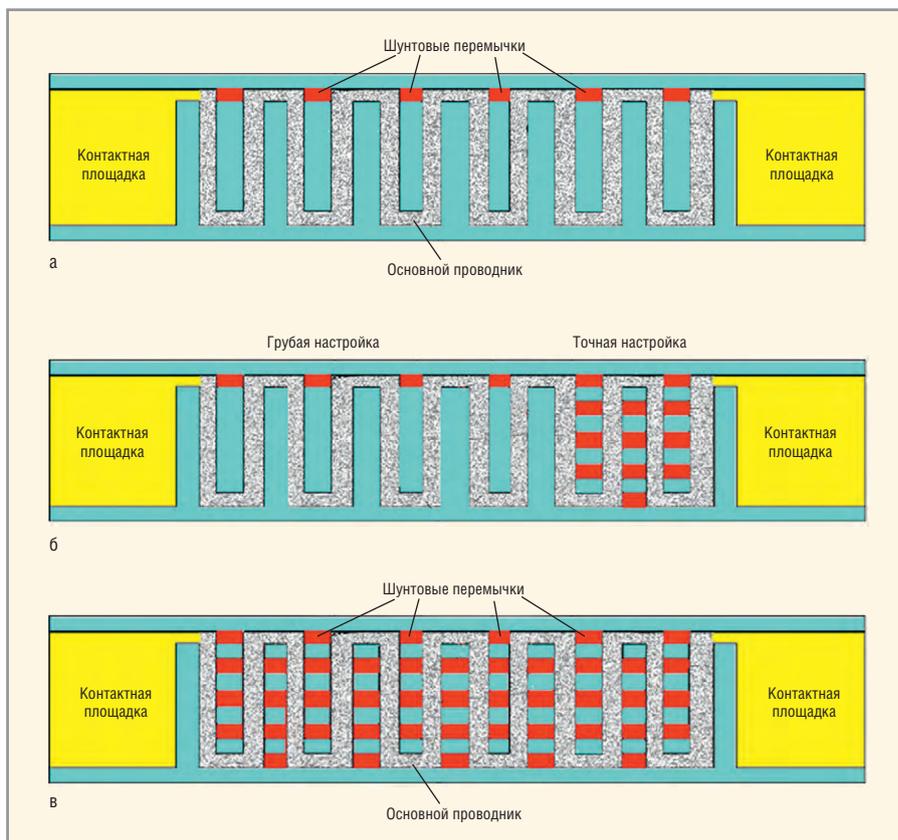


Рис. 2. Многономиальные топологии микрочипов: а – простой меандр; б – меандр с зоной грубой и точной настройки; в – решётчатая топология микрочипа

же материала, что и основной токнесущий проводник, хотя возможна их реализация тонкоплёночными проводниками с другими удельными сопротивлениями и размерами.

В топологии простого регулярного меандра на рисунке 2а шунтовые перемычки расположены по одной координате вдоль верхней кромки меандра, а в решётчатой топологии (см. рис. 2в) перемычки расположены по двум координатам, когда основной проводник имеет шунты по всей глубине меандра.

Топология меандра, отображённая на рисунке 2б, имеет отдельные зоны грубой и точной настройки. Точную настройку обеспечивают шунтовые перемычки, расположенные по всей глубине меандра, разрыв которых вызывает весьма малое изменение сопротивления резистора, обеспечивая тем самым плавную настройку сопротивления под заданный номинал в заданном поле допуска.

Таким образом, меандровые топологии многономиальных резистивных микрочипов характеризуют следующие функциональные показатели:

- кривая перестройки – зависимость полного электрического сопротивления $R(i)$, где i – шаг перестройки;

- коэффициент перекрытия при шунтовой перестройке:

$$K_n = \frac{R_{\max}}{R_{\min}}, \quad (2)$$

где R_{\max} – максимальное сопротивление (сопротивление резистора при всех разомкнутых перемычках), а R_{\min} – минимальное сопротивление (база) – сопротивление при всех замкнутых перемычках;

- нелинейность кривой шунтовой перестройки определяет отклонение кривой шунтовой перестройки от линейного закона R_L :

$$\Delta L = \max_i \left(\frac{R(i) - R_L}{R_L} \right); \quad (3)$$

- процент приращения сопротивления на i -м шаге перестройки:

$$PR(i) = \left| \frac{R(i+1) - R(i)}{R(i)} \right|, \%; \quad (4)$$

- мощность рассеяния в j -ом проводнике:

$$P_j = r_j \times i_j^2, \quad (5)$$

где r_j – эквивалентное сопротивление проводника, а i_j – ток в проводнике.

На рисунке 3а в качестве примера приведена кривая шунтовой пере-

стройки для структуры простого регулярного меандра. Как видно, в данной структуре шаг приращения сопротивления при вскрытии любой перемычки постоянен, что не позволяет произвести настройку сопротивления микрочипа под заданный номинал без весьма затратной процедуры лазерной коррекции (юстировки), обеспечивающей плавное увеличение сопротивления вплоть до его попадания в поле допуска заданного номинала (см. рис. 2а). В структурах с зонами точной настройки (см. рис. 2б) и решётчатых структурах (см. рис. 2в) процент приращения сопротивления при шунтовой настройке может быть очень малым (см. рис. 3б), что полностью исключает необходимость применения этапа лазерной юстировки при настройке многономинального микрочипа.

При моделировании многономинальных резистивных микрочипов меандрового типа на первом этапе необходимо иметь их обобщённую

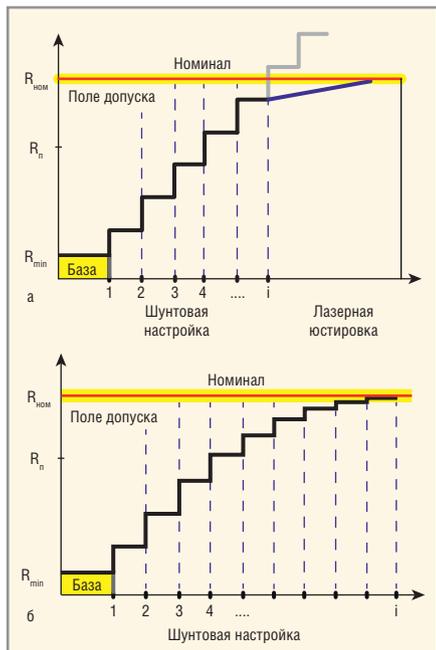


Рис. 3. Кривая настройки: а – простой регулярный меандр; б – решётчатая структура
Примечания: $R_{ном}$ – номинальное сопротивление; $R_{мин}$ – базовое сопротивление

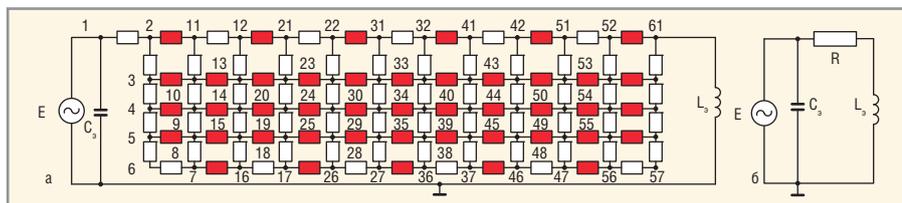


Рис. 4. Обобщённая эквивалентная схема замещения микрочипа: а – с подробной топологией; б – в общем виде
Примечания: E – источник ЭДС; C_s – эквивалентная шунтирующая ёмкость; L_s – эквивалентная полная индуктивность микрочипа; R – активное сопротивление микрочипа

эквивалентную схему. В приближении сосредоточенной стационарной модели на низких частотах каждый j-й резистивный проводник микрочипа может быть представлен эквивалентным ему по конформному отображению [1, 2, 4] резистивным двухполюсником r_j , электрическое сопротивление которого равно сопротивлению реального проводника микрочипа. Тогда совокупность всех таких эквивалентных сопротивлений и формирует эквивалентную схему замещения резистивного микрочипа заданной топологии. На рисунке 4 приведена обобщённая эквивалентная схема замещения резистивного многономинального микрочипа в стационарном RLC-приближении (эквивалентные сопротивления шунтовых перемычек выделены цветом).

С помощью данной эквивалентной схемы можно моделировать как решётчатые топологии резистивных микрочипов, так и самые разнообразные топологии меандрового типа. На низких частотах реактивности проводников (индуктивности проводников и межвитковые ёмкости) можно не учитывать, т.к. их вклад в модуль полного импеданса крайне незначителен, особенно учитывая очень малые габариты всех типов микрочипов. При более высоких частотах необходим учёт эквивалентных реактивностей L_s и C_s микрочипа. Так, полная индуктивность микрочипа представляется следующей формулой по [1]:

$$L_s = \frac{3 \times \mu_0 \times l_1}{2\pi} \left\{ \ln \left[\frac{(2 \times l_1)^{1/3} (\omega_1 + \omega_s)^{2/3}}{\omega_1} \right] + \frac{7}{6} \right\}, \quad (6)$$

где l_1 – длина каждого звена резистора, ω_1 – ширина резистивной линии, ω_s – ширина промежутка между линиями, μ_0 – магнитная постоянная.

Полная шунтирующая ёмкость равна:

$$C_s \approx \frac{\epsilon_0 \times \epsilon_r \times \omega_p \times d_s}{l_p}, \quad (7)$$

где ϵ_0 – диэлектрическая постоянная, ϵ_r – диэлектрическая проницаемость материала подложки, d_s – толщина подложки, ω_p – ширина резистивной линии, l_p – расстояние между линиями.

Задача компьютерного анализа резистивного микрочипа по его обобщённой эквивалентной схеме состоит в определении токов во всех её ветвях (проводниках). Компьютерной программой дискретной настройки данная эквивалентная схема трактуется как линейная стационарная цепь с численным расчётом полного сопротивления микрочипа в заданном частотном диапазоне методом узловых потенциалов [10]. Числами на рисунке 4а обозначены номера независимых узлов эквивалентной схемы микрочипа. Для ввода выбранной структуры в программу используется встроенный топологический редактор, позволяющий сформировать файл исходных данных с указанием числа варьируемых параметров (шунтовых перемычек), их начальных значений и границ изменения, а также возможного дублирования параметров в случае необходимости. Зная входной ток, полное сопротивление микрочипа, как двухполюсника (см. рис. 4б), рассчитывается так:

$$\hat{Z} = \frac{\hat{E}}{\hat{I}} = R + jX, \quad (8)$$

где R – активное сопротивление, X – реактивное сопротивление, j – мнимая единица, \hat{E} и \hat{I} – комплексные амплитуды напряжения и тока.

Для построения кривой шунтовой перестройки $R(i)$ программно реализуется цикл шунтовой перестройки с заданным законом вскрытия перемычек. Точно так же производится расчёт характеристики процентного приращения сопротивления $PR(i)$ для заданного цикла перестройки.

На рисунке 5 приводится пример исследования частотной зависимости модуля полного сопротивления для меандрового микрочипа P1–8. Как видно, реактивности проводников начинают влиять на модуль полного сопротивления только в мегагерцовом диапазоне, а на низких частотах (до 100 кГц) их вклад в модуль полного сопротивления можно не учитывать. Зная токи в проводниках и их сопротивление, легко рассчитать мощность рассеяния в j-м проводнике. По мощности рассеяния может быть оценена температура каждого проводника, т.е. может быть осуществлён кон-

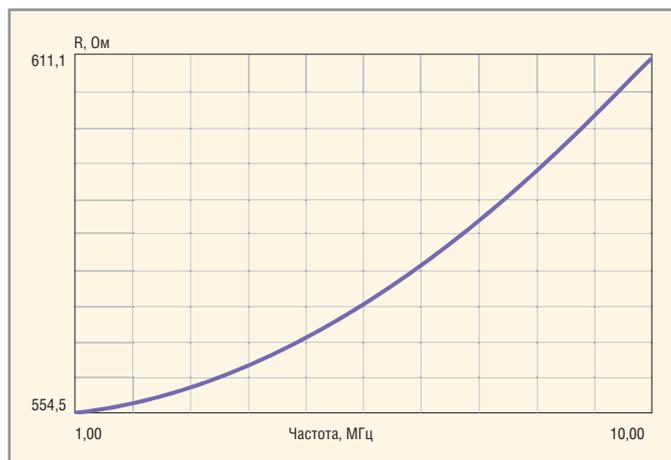


Рис. 5. Частотный анализ полного сопротивления микрочипа

троль температурного режима всего микрочипа.

ШУНТОВАЯ НАСТРОЙКА МИКРОЧИПА

При определении статуса шунтовых переключателей поисковыми методами нелинейного булева программирования целевым функционалом является квадратичное отклонение модуля текущего сопротивления микрочипа от требуемого номинала:

$$F(BX) = [R^{BX} - R_H]^2, \quad (9)$$

где R^{BX} – текущее сопротивление микрочипа при данном состоянии булевых переменных, R_H – требуемое номинальное сопротивление.

Относительно данной вещественной целевой функции экстремальная задача НБП может быть записана так:

$$\begin{cases} \dot{F}(BX) = \min F(BX) = \min [R^{BX} - R_H]^2 \\ BX \in B^N \quad BX = \{0,1\} \\ R^{BX} < R_H \end{cases}, \quad (11)$$

где $BX(bx_1, bx_2, \dots, bx_N)$ – вектор состояния шунтовых переключателей, B^N – множество булевых переменных, N – число переключателей (порядок микрочипа).

Таким образом, экстремальная задача (10) записана относительно многомерного булева пространства состояний шунтовых переключателей B^N размерностью N . Функциональное ограничение (11) реализует технологическое условие нахождения сопротивления микрочипа в нижней области поля допуска для заданного номинала (см. рис. 3б). Вектор BX , минимизирующий скалярную целевую функцию $F(BX)$ на множестве булевых переменных B^N , является эффективным решением задачи НБП (10) и определяет статус пере-

чек многономинального микрочипа, обеспечивающий требуемое значение сопротивления R_H .

Поскольку порядок N многономинального микрочипа является размерностью пространства булевых переменных B^N , то возможное число его состояний (по значению сопротивления) при перестройке будет равно 2^N . Для простого регулярного меандра (см. рис. 2а) большинство из этих состояний вырождено – одни и те же значения сопротивления могут достигаться вскрытием различных переключателей, так как приращение сопротивления при вскрытии любой переключательки в данной структуре одинаково.

В качестве примера проведём шунтовую настройку методом НБП микрочипа, топология которого отображена на рисунке 2б. Настройку проводим по номиналам ряда Е96 с допустимой погрешностью в 1% от номинального значения сопротивления [11]. Эквивалентная схема для данной топологии микрочипа (см. рис. 6) содержит 16 шунтовых переключателей (номера переключателей – булевых переменных – указаны цифрами) в зонах грубой и точной настройки.

Таким образом, данным микрочипом можно реализовать 2^{16} состояний – значений полного сопротивления. Некоторые из этих состояний, очевидно, являются вырожденными. Предположим, что для заданного удельного поверхностного сопротивления резистивной плёнки и размеров проводников по конформному отображению проводников (см. рис. 2б) все эквивалентные сопротивления r_i в схеме замещения данного шаблона микрочипа (см. рис. 6) определены и находятся в интервале от 1,822 до 22,473 Ом. Тогда методом узловых потенциалов определя-

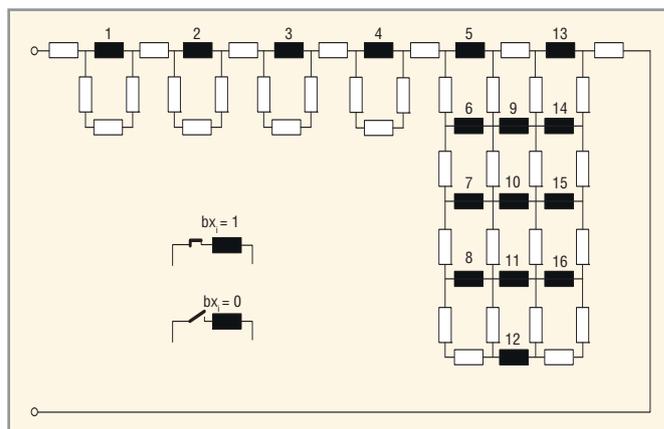


Рис. 6. Эквивалентная схема замещения микрочипа

Примечание: bx_i – булева переменная состояния i -ой переключательки

ем сопротивление данного микрочипа при всех замкнутых переключателях $R_{min} = 23,9$ Ом и при всех разомкнутых переключателях $R_{max} = 289,4$ Ом. Поэтому коэффициент перекрытия по сопротивлению данного многономинального микрочипа равен $K_H = 12,1$. В интервале данного перекрытия находятся 103 номинала сопротивления ряда Е96 (погрешность 1%): {24,3; 24,9; 25,5; 26,1; 26,7; 27,4; 28,0; 28,7; 29,4; 30,1; 30,9; 31,6; 32,4; 33,2; 34,0; 34,8; 35,7; 36,5; 37,4; 38,3; 39,2; 40,2; 41,2; 42,2; 43,2; 44,2; 45,3; 46,4; 47,5; 48,7; 49,9; 51,1; 52,3; 53,6; 54,9; 56,2; 57,6; 59,0; 60,4; 61,9; 63,4; 64,9; 66,5; 68,1; 69,8; 71,5; 73,2; 75,0; 76,8; 78,7; 80,6; 82,5; 84,5; 86,6; 88,7; 90,9; 93,1; 95,3; 97,6; 98,8; 100; 102; 105; 107; 111; 114; 117; 120; 123; 126; 129; 132; 135; 138; 142; 145; 150; 154; 158; 162; 165; 169; 174; 178; 182; 187; 191; 196; 200; 205; 210; 215; 221; 226; 232; 237; 243; 249; 255; 261; 267; 274; 280; 287}.

С помощью компьютерной программы шунтовой настройки попробуем реализовать последовательно все эти номиналы данным шаблоном микрочипа. На рисунке 7 приведён пример шунтовой настройки микрочипа на номинал сопротивления $R_H = 25,5$ Ом. В начальной точке поиска в булевом пространстве (см. рис. 7а) все шунтовые переключатели открыты, текущее сопротивление микрочипа равно R_{max} , а погрешность достижения требуемого значения очень велика. В промежуточной точке после четырёх шагов поиска (см. рис. 7б) текущее сопротивление равно 24 Ом, а погрешность реализации требуемого номинала составляет 5,8%, т.е. находится вне заданного поля допуска. Полная настройка микрочипа под требуемый номинал 25,5 Ом в заданном поле допуска 1% потребовала всего 13 шагов поиска (см. рис. 7в) при полном выполнении технологи-

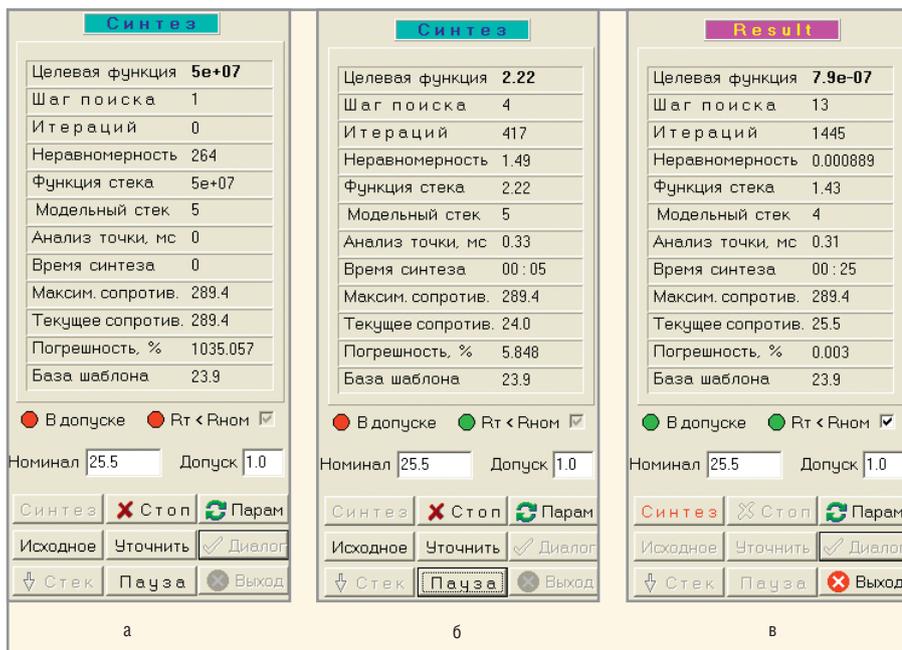


Рис. 7. Шунтовая настройка микрочипа на номинал сопротивления $R_n = 25,5 \text{ Ом}$: а – в начальной фазе; б – в промежуточной фазе; в – в конечной фазе

ческого условия (11). Время решения задачи на стандартном персональном компьютере при этом не превышало одной минуты.

Аналогичным образом осуществлялась шунтовая настройка данного микрочипа по всей приведённой линейке номиналов ряда E96. В таблице приводятся примеры настройки в разных участках данной линейки номиналов сопротивления микрочипа. Естественно, наиболее сложно реализовать шунтовую настройку в начале и в конце линейки, т.к. в данном случае практически все шунтовые перемычки либо замкнуты, либо разомкнуты, и нечем фактически осуществлять настройку. Для данного микрочипа из

всех возможных 103 значений линейки номиналов в процессе шунтовой настройки методом НБП удалось реализовать 84 номинала сопротивления в допуске 1%. Таким образом, своеобразный коэффициент настройки микрочипа данной топологии по номиналам ряда E96 составлял 81,5%. Естественно, что с увеличением порядка микрочипа, сложности его топологии шунтовая настройка может быть осуществлена в гораздо более широком диапазоне сопротивлений и в меньшем поле допуска. Так, решётчатая многономинальная топология микрочипа (см. рис. 2в) порядка $N = 44$ может обеспечить коэффициент перекрытия по сопротивлению более 20, что позволяет реализо-

Настройка микрочипа по номиналам ряда E96

$R_{ном}, \text{ Ом}$	Номера шунтовых перемычек и их статус															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
24,9	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1
25,2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
25,5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
31,6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
32,4	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
33,2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
34,8	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0
...
48,7	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
49,9	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
51,1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
53,6	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1
...
88,7	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1
90,9	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
95,3	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
98,8	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1
...
200	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
226	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
243	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

вать настройку на заданную линейку номиналов сопротивления с допуском 0,1% и менее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многономинальные тонкоплёночные топологи микрочипов, имеющие элементы дискретной настройки сопротивления под заданный номинал, позволяют полностью исключить из технологического процесса производства резистивного микрочипа этап лазерной юстировки, что обеспечивает существенное снижение себестоимости его изготовления. При этом с помощью одного фотошаблона многономинального микрочипа можно получать увеличение сопротивления металлизированной заготовки в десятки раз путём последовательного размыкания шунтовых перемычек.

Решение основной проблемы определения статуса корректирующих перемычек наиболее целесообразно осуществлять методами нелинейного булева программирования, как задачи минимизации вещественной функции цели в многомерном пространстве булевых переменных, определяющих статус шунтовых перемычек. Для низкочастотных многономинальных микрочипов адекватная математическая модель может быть построена в стационарном RLC-приближении. Погрешности такой модели напрямую определяются производственной погрешностью воспроизведения удельного поверхностного сопротивления и размеров плёнки, а также погрешностью конформного отображения реального проводника микрочипа эквивалентным ему резистивным двухполюсником. С уменьшением этих погрешностей при использовании многономинальных микрочипов сложной топологии и высокого порядка шунтовая настройка методами НБП может быть осуществлена в весьма широком диапазоне сопротивлений и с необходимой точностью. Современные алгоритмы минимизации вещественных функций в многомерном пространстве булевых переменных позволяют решать такую задачу весьма надёжно при выполнении всех внешних требований к работе многономинального резистивного микрочипа.

Многолетний опыт применения методологии НБП для решения задач настройки многономинальных микрочипов показал её высокую надёж-

ность и эффективность. Стоит отметить, что изложенная методология может быть с успехом применена и для настройки многоминальных ёмкостных и индуктивных микрочипов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берри Р., Холл П., Гаррис М. Тонкоплёночные технологии. М. Энергия. 1972.
2. Гурский Л.И., Зеленин В.А., Жебин А.П., Вахрин Г.Л. Структура, топология и свойства плёночных резисторов. Минск. Наука и техника. 1987.
3. Уткин В.Н., Исаков М.А., Ханугин О.Е. Сравнение методов химического и ионного травления при формировании топологии резистивного слоя ЧИП-резисторов. Современные наукоёмкие технологии. 2007. №11.
4. Садков В.Д., Подмогаев В.Е., Моругин С.Л., Перепонов Ф.Д. Математическая модель ЧИП-резистора типа «меандр». Конструирование и исследование радиоэлементов и узлов на основе машинного проектирования. М. Радиотехнический институт АН СССР. 1987.
5. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. М. Наука. 1969.
6. Мишу М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы. М. Наука. 1990.
7. Воинов Б.С., Бугров В.Н., Воинов Б.Б. Информационные технологии и системы: поиск оптимальных, оригинальных и рациональных решений. М. Наука. 2007.
8. Штофф В.А. Введение в методологию научного познания. Ленинград. Издательство Ленинградского государственного университета. 1972.
9. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. М. Машиностроение. 1988.
10. Нереттер В. Расчёт электрических цепей на персональной ЭВМ. М. Энергоатомиздат. 1991.
11. Резисторы. Справочник. Под ред. И.И. Четверткова. М. Энергоиздат. 1981. 

Новости мира News of the World Новости мира

Автоматизация процессов проектирования РЭУ



Компания Нанософт совместно с лидерами в разработке САПР, компаниями Mentor Graphics и Siemens PLM Software, приглашает принять участие в семинарах в Санкт-Петербурге (23 мая) и Москве (24 мая) «Автоматизация процессов проектирования РЭУ. Концепция единой платформы проектирования ECAD-MCAD-PLM на базе программных решений Mentor Graphics и Siemens PLM Software».

Мир стоит на пороге четвёртой промышленной революции (Индустрия 4.0). Важными составляющими её успеха станут автоматизация физических операций, ускорение процессов проектирования и соответствие современным требованиям.

Технологии проектирования электроники меняются с космической скоростью. Сегодня многие радиоэлектронные устройства (РЭУ) уже включают в себя высокоскоростные интерфейсы HDMI, DDR3, DDR4, USB 3.0, PCI Express. Индустрия 4.0 будет способствовать развитию таких направлений, как Интернет вещей и Киберфизические системы. В свою очередь, это предъявит новые требования к РЭУ и станет новым вызовом для их разработчиков.

Успешно выполнять постоянно усложняющиеся задачи помогут интегрированные между собой профессиональные программные решения.

Семинары интересны тем, что рассмотрят концепцию единой платформы проектирования ECAD-MCAD-PLM на базе программных решений Mentor Graphics и Siemens PLM Software.

Мероприятие будет интересно разработчикам РЭУ и ИТ-директорам, перед которыми стоит задача по автоматизации и управлению жизненным циклом изделия.

В рамках семинара выступят представители Mentor Graphics и Нанософт.

Участие в семинаре бесплатное. Предварительная регистрация обязательна.

www.nanocad.ru

Новые разработки от ИФТТ РАН

Институт физики твёрдого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН) представил на выставке «ЭкспоЭлектроника» свои разработки.

Тонкоплёночные преобразователи ультрафиолетового излучения в видимый свет. В качестве материалов для таких преобразователей использовались в основном люминофоры молибдатов европия, тербия и тулия, преобразующие УФ в красный, зелёный и синий свет, соответственно. Разработанная в ИФТТ РАН технология создания тонкоплёночных систем подсветки и освещения имеет низкую стоимость по основному компоненту и может быть использована при создании различных по своей форме и размерам изделий.

Маломасштабный образец батареи твёрдооксидных топливных элементов планарной конструкции мощностью до 500 Вт для высокоэффективных энергоустановок различного назначения. В ИФТТ РАН разработана батарея твёрдооксидных топливных элементов (ТОТЭ) планарной геометрии электролит-поддерживающей структуры. Мембранно-электродные блоки ТОТЭ изготовлены на базе трёхслойных мембран анионного проводника производства АО «НЭВЗ-Керамикс» (г. Новосибирск). Многослойные электроды с перемен-

ным составом и микроструктурой наносятся дешёвым и технологичным методом трафаретной печати (шелкография). Оптимизированная структура МЭБ позволяет получать высокие электрохимические характеристики (выше 250 мВт/см²), отвечающие мировому уровню развития технологии. Батареи ТОТЭ были испытаны в сертифицированном газо-температурном стенде.

Джозефсоновская магнитная память для сверхпроводниковой электроники. Переход к сверхпроводниковым логическим элементам является одним из перспективных направлений развития высокопроизводительных вычислительных систем. Существующие реализации элементов быстрой одноквантовой логики (БОК, RSFQ) основаны на туннельных джозефсоновских переходах, в которых ниобиевые сверхпроводящие берега соединены через туннельный слой оксида алюминия. Преимуществами таких контактов являются пикосекундные времена переключения между цифровыми состояниями и малое энерговыделение – порядка аттоджоуля на одно переключение. Долгое время развитие RSFQ-логики сдерживалось большим размером логических элементов, необходимым для хранения кванта магнитного потока, необходимостью использования криогенных жидкостей и отсутствием джозефсоновской магнитной памяти, технологически совместимой с Nb-Al-технологией изготовления туннельных контактов. Первые две проблемы к настоящему времени уже решены путём разработки сухих рефрижераторов и джозефсоновских пи-контактов с отрицательным знаком ток-фазового соотношения. Данная разработка призвана решить третью проблему и открыть путь к реализации более практических сверхпроводниковых вычислителей.

www.expoelectronics.ru