

# ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Ж. Илльефалви-Витез

Кафедра Электронной Технологии Будапештского Технического Университета

(Поступило: 20 марта 1972 г.)

Представлено А. Амбрози

## 1. Введение

В последние годы и в Венгрии развернулось производство интегральных схем на изолирующем основании. Посредством тонкопленочной техники составляются схемы большой точности, стабильности и пониженной удельной мощности. Воспользуясь толстопленочной техникой производятся резисторы высоких номиналов и больших мощностей.

В состав выработанных у нас тонкопленочных интегральных схем входят резисторы и конденсаторы, в виде сетей затухания и ответвления, аттенюаторов, и т. д.

Создание этих схем, а также дискретных резисторов тонкопленочной техникой, в большой степени ускоряется и облегчается, если для топологического конструирования резисторных элементов используем электронную вычислительную машину.

Программа планирования топологии тонкопленочных резисторов разработана на алгоритмическом языке «Алгол», приспособленном к вычислительной машине типа «Раздан III». В вычислительную машину надо вводить основные параметры конструирования, как например, геометрические размеры, квадратное удельное сопротивление, минимум ширины и расстояния линий и достигаемые номиналы. Машина вычисляет параметры, оптимизированные по диссипации и расположению по поверхности, и печатает координаты углов меандра, при помощи которых можно нарисовать чертеж резистора на координатографе, или в другом режиме сама вычислительная машина рисует топологию.

Резистивные элементы высокой точности (например, с допуском  $\pm 0,1\%$ ), из-за технологических неопределенностей, можно удовлетворять только с юстировкой. Для юстировки в резистивный меандр помещаем т. н. члены для коррекции (коротким замыканием). Перерезанием этих членов коррекции нарушим короткое замыкание, и в результате омический номинал увеличивается. Приращения омического номинала, полученные постепенным перерезанием, относятся друг к другу приблизительно как порядок степеней целого числа двойки. Все члены коррекции, исключая член, приводящий к наименьшему понижению сопротивления, обеспечивают возможность по-

ступенчатого перерезания, и так можно ступенчато увеличивать омический номинал. Конечно, есть возможность и для плавной юстировки посредством члена коррекции, обеспечивающего меньшее увеличение сопротивления и так можно получить любой номинал. Сложный расчет расположения этих членов коррекции происходит также на ЭВМ. В результате нужные координаты выпечатаются или выдаются в форме перфорированной ленты.

Программу ЭВМ можно использовать для конструирования резистивных элементов интегральных схем, а также топологии дискретных тонкопленочных резисторов. Для конструирования дискретных тонкопленочных резисторов есть возможность для одновременного создания ряда меандров. Омические области членов ряда немного переплетаются. В омическую область одного члена входят многие омические значения стандартных рядов, например, ряд E 60 и E 120, которые так можно создать меандром одной и такой же формы. Планирование на ЭВМ обеспечит, чтобы стандартные значения данной области сопротивления создались минимальными по числу разными меандрами.

## 2. Конструкция топологии тонкопленочных резисторов

### 2.1. Внешняя геометрия резистивных элементов

Конструкция резистивных элементов, проектируемых на электронной вычислительной машине оформляется так, чтобы элементы могли применяться как в тонкопленочных схемах, так и в виде дискретных резисторов.

Резистивные элементы имеют геометрическую форму прямоугольника с размерами  $A_a \times A_b$  (рис. 1). Это упрощение необходимо для облегчения конструирования. Иногда оно не оказывается выгодным при применении резистивного элемента для интегральной схемы, и поэтому использованная площадь не оптимальная. Вообще от оптимальной немного различающаяся

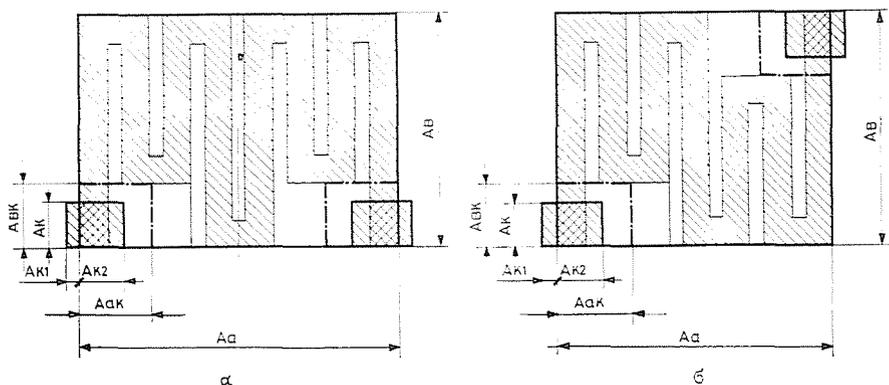


Рис. 1. Внешняя геометрическая форма резистивных элементов

полезная площадь, из-за данных размеров схем, допустима. А в тех случаях, когда нужно максимальное использование полезной площади, тогда топология схемы, конструированная прямоугольными резистивными элементами, облегчает конструированию оптимальной топологии.

Проводящие площади — также в форме прямоугольника с размерами  $(A_{к1} + A_{к2}) \times A_{к}$ , — предназначены для осуществления выводов резистора, размещаются вдоль двух противоположных сторон прямоугольной площади резистора. Контактные площади размещены симметрично к оси или центру симметрии прямоугольника (рис. 1а и 1б). Изображение в двух видах облегчает применение в схемах. Проводящие плёнки — сохраняя свою прежнюю

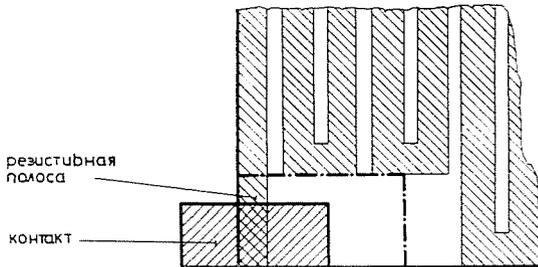


Рис. 2. Присоединение вывода и резистивного элемента

прямоугольную форму — могут протянуться в любой мере вне основного прямоугольника (расстояние  $A_{к1}$ ), осуществляя соединение между резистором и остальными элементами схемы. Имея в виду неточность совмещения проводящей и резистивной площадей, контактные площади размещены в прямоугольных площадях запаса (размеры  $A_{ак} \times A_{вк}$ ). В запасную область прямоугольника проникается только резистивная полоса, обеспечивающая соединения резистивного слоя с контактом (рис. 2).

Для однозначного определения внешней геометрической формы следовательно нужно назначать семь размеров. Заданием величины восьмой переменной необходимо решить и об осуществлении резистивного элемента в симметричной или центрально симметричной форме. Помимо тривиальных условий (например:  $A_{к2} \leq A_{ак} \leq A_{к2}'/2$  и т. д.) размеры надо задать при соблюдении следующих требований:

$$A_{в} - A_{вк} > 3A_{к2} \quad (1)$$

$$A_{а} > 4A_{к2} + 3S_{мин} \quad (2)$$

Оба условия предполагают ту позже обсуждаемую предпосылку, что максимально допускаемая величина ширины полосы ( $D$ ) может быть равным  $A_{к2}$ . Согласно этому, соблюдение условия, заданного неравенством (1), обеспечивает возможность повернуть полосу сопротивления внутри расстоя-

ния  $A_B - A_{BK}$ , а условие (2) обеспечивает возможность размещения на расстоянии  $A_a$  по крайней мере четыре полосы поряд. Эти два условия вместе обеспечивают размещение меандра с минимальным числом поворотов.

## 2.2. Технологические аспекты

Конструкция резистивных элементов должна соответствовать технологическим параметрам и геометрическим неточностям, вызванным технологией. Резистивные элементы в одной схеме целесообразно изготовить из плёнки с определенным квадратным сопротивлением, которое определяется имеющейся в распоряжении технологией. Квадратное сопротивление ( $R_n$ ) необходимо задать для проектирования внешним заданием данных. Технология определяет минимально осуществляемую величину расстояния между полосами ( $S$ ) и ширины полосы ( $D$ ) ( $S_{\min}$  и  $D_{\min}$ ), неопределенность размещения контуров полос ( $T_v$ ), неопределенность совмещения проводящей плёнки с формой резистора ( $T_k$ ) и разброс квадратного сопротивления около номинального значения ( $T_R$ ). Эти данные тоже нужно заранее задавать для проектирования.

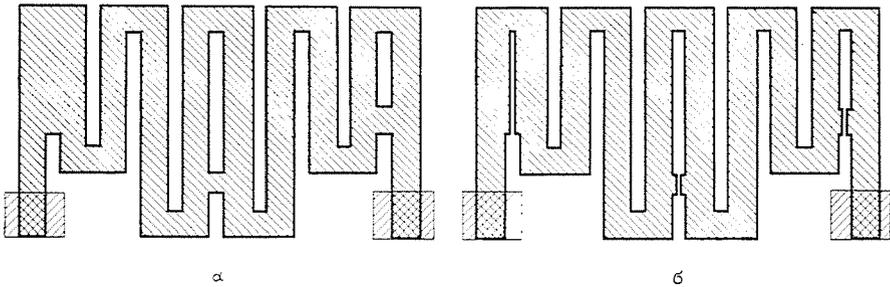


Рис. 3. Коррекционные элементы до и после нарезки

Из-за вызванных технологией неточностей осуществление заданного резистора ( $R$ ) возможно только определенным разбросом. Если необходимый допуск резистора меньше осуществляемого разброса, тогда необходимо применить юстировку для обеспечения требуемой величины сопротивления. Наш метод проектирования сам по себе предполагает необходимость резистивных элементов с малыми допусками величины, осуществляемых только путём юстировки, поэтому резистивные элементы проектируются в конструкции, обеспечивающей возможность юстировки. Конструкция позволяет, чтобы юстировку можно было провести любой из технологий для резки пленок искровой обработки [1], изнашивания алмазной иглой [2], лазерного [3] или электронного пучка [4].

Для юстирования резистора, внутри площади резистивного элемента размещаются коррекционные секторы, короткозамыкающие отдельные области меандра (рис. 3а).

Из-за короткого замыкания коррекционные секторы вызывают уменьшение сопротивления, поэтому если ещё ни один из коррекционных секторов не перерезан, тогда можно измерить осуществляемое резистивным элементом минимальное сопротивление  $R_{\text{мин}}$  между выводами (рис. 4). Это минимальное сопротивление, из-за технологических неточностей ( $T_v$ ,  $T_k$ ,  $T_R$ ), конечно, имеет разброс около номинальной величины, получается нижний предел минимального сопротивления ( $R_{\text{мин а}}$ ), а если они вызывают повышение величины, получается верхний предел величины ( $R_{\text{мин в}}$ ).

Путём перерезки всех коррекционных секторов (рис. 3б) получается максимальное сопротивление ( $R_{\text{макс}}$ ). Это из-за технологических разбросов тоже не является точной величиной, а размещается между пределами  $R_{\text{макс а}}$  и  $R_{\text{макс в}}$ .

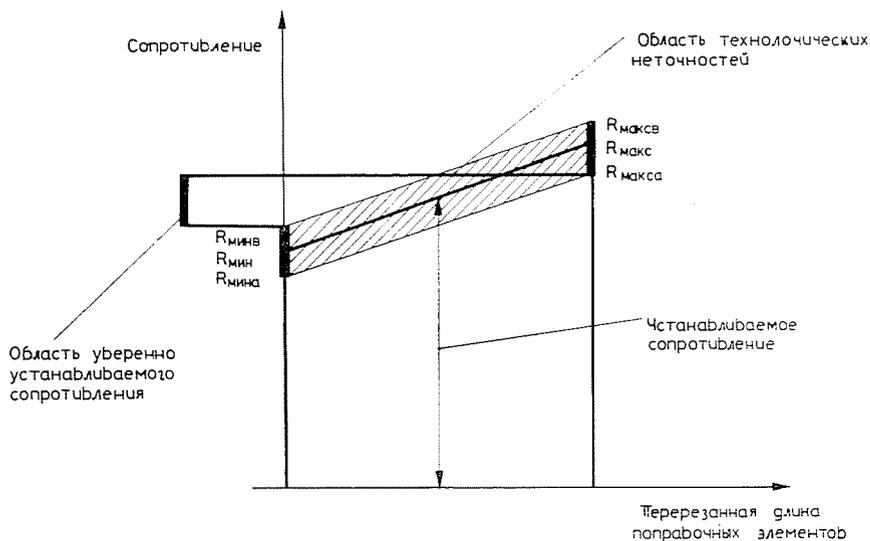


Рис. 4. Действие коррекционных элементов на омический номинал

Если правильно выбираем длину резистивных линий, исключенных коррекционными членами (смотри глава 2.4.), тогда перерезанием не всех коррекционных членов принципиально возможно достигать все номиналы между минимальным и максимальным значениями сопротивления, осуществленными технологией. Нужный номинал дается перерезанием последнего коррекционного элемента. Допуск юстированного сопротивления таким образом определяется точностью осуществляемой технологии юстировки.

### 2.3. Оформление топологии

Юстируемые величины данного резистивного элемента, с учетом технологических неточностей, надежно получаются между  $R_{\text{мин в}}$  и  $R_{\text{макс а}}$ . В интег-

ральных схемах, где является целью юстировка определенного сопротивления, необходимо проектировать элемент так, чтобы соблюдалось соотношение:

$$R_{\text{мин в}} = R_{\text{макс а}} = R \quad (3)$$

$R$  — в зависимости  $Z$  означает желаемое сопротивление.

При проектировании дискретных тонкопленочных резисторов целесообразно осуществлять не только определенную величину, а целую область сопротивления от  $R_1$  до  $R_2$  при помощи одной геометрической формы. Эта осуществляемая область:

$$\Delta R = R_1 - R_2 \quad (4)$$

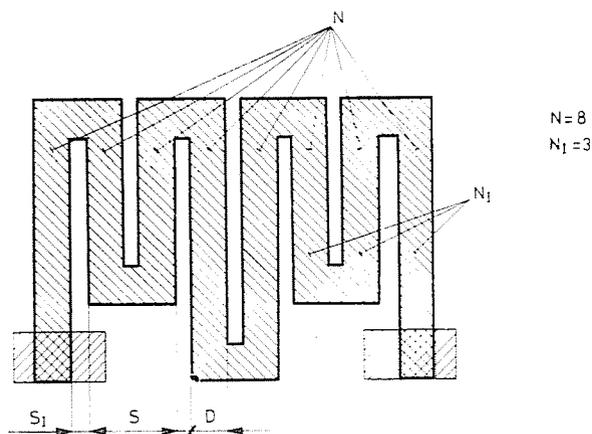


Рис. 5. Данные для определения формы резистивного элемента

В этом случае расчет необходимо провести при соблюдении следующих соотношений:

$$R_{\text{макс а}} = R_1 \quad (5)$$

$$R_{\text{мин в}} = R_2 \quad (6)$$

Имея в виду технологические неточности, из значений  $R_{\text{макс а}}$  и  $R_{\text{мин в}}$  можно определить максимальную и минимальную номинальные величины ( $R_{\text{макс}}$  и  $R_{\text{мин}}$ ). Надо осуществить резистивный элемент без коррекционных секторов так, чтобы получилось сопротивление, равное  $R_{\text{макс}}$ .

Под оформлением резистора подразумевается вычисление пяти данных, однозначно характеризующих топологию без поправочных элементов (рис. 5). Эти данные следующие:

$D$  = ширина резистивной полосы. Она, в соответствии с необходимой топологией, может принимать любое значение между  $A_{\text{к2}}$  и  $D_{\text{мин}}$  — по шагам

$D_e$ . Выбрать  $D_e$  целесообразно так, чтобы его величина была примерно на один порядок меньше, чем неопределенность размещения контуров полос. Величина  $D$ , в одном резистивном элементе, является постоянной.

$S$  = расстояние между резистивными полосами. Его величина всегда превышает  $S_{\min}$ , и меняется в зависимости от  $D_e$ . Внутри резистивного элемента все расстояния полос имеют значение  $S$ , за исключением расстояний первых и последних двух полос.

$S_1$  = расстояние первых и последних двух полос.  $D$  и  $S$  не могут принимать любое значение, а — как уже отметили — меняют свое значение по шагам  $D_e$ . Поэтому и также для того, чтобы две крайние полосы прижимались к обоим краям прямоугольника,  $S_1$  вообще должна отличаться от  $S$ .  $S_1$  может принимать любую величину, превышающую  $S$ .

$N$  = число полос меандра. В случае показанной на рис. 1а симметричной конструкции,  $N$  может быть только четным целым числом, а в центральном-симметричном размещении, показанном на рис. 1б, оно может быть нечетным целым числом.

$N_1$  = число более коротких полос, расположенных над прямоугольником запаса.  $N_1$  — всегда нечетное целое число.

Зная характеризующие внешнюю геометрию данные и определяющих топологию пять данных, остальные параметры — так и эффективную длину меандра — можно рассчитать. (Под эффективной длиной ( $L$ ) подразумевается средняя длина протекания тока. Ее величина определяется методом приближения.) Целью проектирования является оформление такой топологии, для которой соблюдается соотношение:

$$R_{\max} = R_n \cdot \frac{L}{D} \quad (7)$$

#### 2.4. Размещение элементов для коррекции сопротивления

После проектирования топологии без поправочных элементов соответственно величине  $R_{\max}$ , необходимо разместить поправочные элементы, уменьшающие величину сопротивления на  $R_{\min}$ . Для этого нужно иметь в виду следующие аспекты:

1. Поправочные элементы — при их перерезке по какому-то правилу — должны позволять установление принципиально любой величины между значениями  $R_{\min}$  и  $R_{\max}$ .

2. Необходимо, чтобы нужную величину сопротивления можно было установить как возможно меньшей длиной нарезки. Короткая длина нарезки дает экономические и качественные выгоды.

3. Короткозамкнутые поправочными элементами полосы сопротивления должны быть на подходящем месте с точки зрения диссипации.

4. Нельзя позволять, чтобы технологические неточности вызывали погрешности. Неточностью с точки зрения размещения поправочных элементов подразумевается неточность величины, вызванная разбросами сопротивления на квадрат и размещения контуров внутри резистивного элемента.

Если в резистор вставится короткозамыкающий поправочный элемент (рис. 6), это вызовет эффективное сокращение длины величиной  $L_i$ . (Здесь слово «эффективное» указывает на то, что в  $L_i$  имели в виду и влияние полосы сопротивления, замкнутой параллельно поправочным элементом.)  $L_i$  является номинальной величиной, его действительная величина — из-за технологических неточностей, описанных в 4-ой точке зрения — находится между пределами  $L_{ia}$  и  $L_{if}$ . На основе предыдущих, правила размещения поправочных элементов следующие:

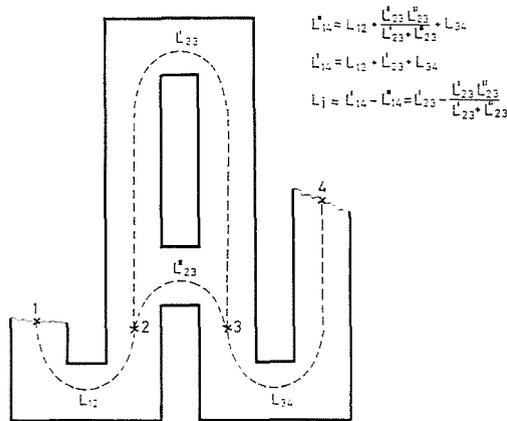


Рис. 6. Действие укорочения одного резистивного элемента

1. Замыкающие резистивные элементы располагаем таким образом, чтобы сопротивления исключенных линий приблизительно следовали по такому геометрическому ряду, где частное равняется двум. В уменьшающемся порядке резистивных увеличений поправочных элементов значение последнего элемента должно примерно совпадать с предыдущим элементом и этим последним элементом надо дать возможность для плавной юстировки номинала (рис. 7). Можем представить, что при таком расположении коррекционных элементов — несмотря на разброс около номинального значения — тогда между нулем и удвоенным значением сопротивления наибольшего коррекционного элемента возможно достигать любой номинал.

2. Отрицательное влияние разброса сопротивлений коррекционных элементов можем исключить, немного отклонившись от геометрического ряда, указанного в 1-ом правиле. Омические значения коррекционных элементов

выбираем так, чтобы исходя из меньшего значения, максимальное из-за разброса значение каждого коррекционного элемента равнялось минимальному из-за разброса значению следующего элемента (рис. 8). Математически это правило следующее:

$$L_{ia} = L_{(i-1)f} / 2 \quad i = 1 \dots (n-1) \quad (8)$$

$$L_{na} = L_{(n-1)f} \quad (9)$$

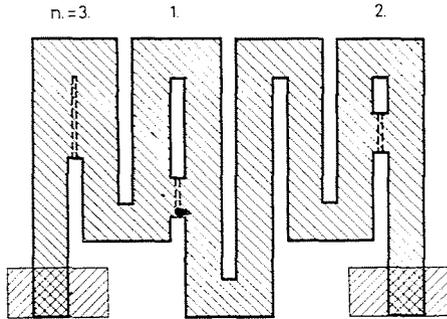


Рис. 7. Оформление коррекционных элементов: *n*-ый элемент дает возможность для плавной юстировки сопротивления

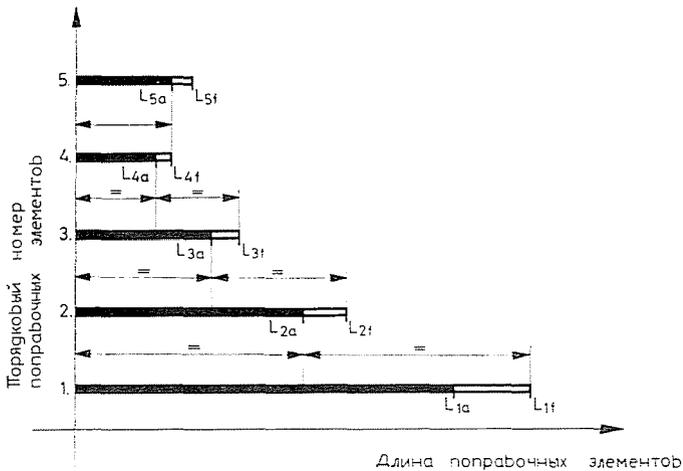


Рис. 8. Определение длины коррекционных элементов

Связь между номинальным значением ( $L_i$ ), максимумом и минимумом ( $L_{if}$  и  $L_{ia}$ ) создается неопределенностью технологии, которая выражается процентным допуском ( $B$ )

$$L_{ia} = L_i \left( 1 - \frac{B}{100} \right) \quad (10)$$

$$L_{if} = L_i \left( 1 + \frac{B}{100} \right) \quad (11)$$

3. Вообще целью является, чтобы одним резистивным элементом охватывать как можно шире область сопротивления. Это ограничивается тем, что площадь короткозамкнутых резистивных линий уменьшает поверхность теплоотдачи, и поэтому действующая резистивная секция перегружается. Вообще 20—40%-ное уменьшение поверхности еще допускается. Это значит, что суммарная длина короткозамкнутых коррекционными элементами участков тоже может составить 20—40%-ов всей длины резистивного элемента. На основе этого, из полной длины резистивного элемента можем определить общую длину коррекционных элементов.

4. По отношению к количеству коррекционных элементов можем сделать следующие выводы: слишком много коррекционных элементов затрудняет операцию юстировки, потому что требуется трудоемкий выбор коррекционного элемента с определенной длиной. С другой стороны, если количество

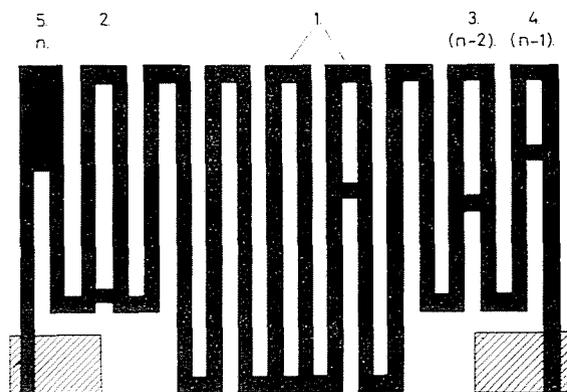


Рис. 9. Расположение коррекционных элементов

коррекционных элементов мало, тогда последний элемент, посредством которого можно плавно юстировать, слишком длинный и длина нарезки тоже большая. Длинный путь нарезки увеличивает возможность ошибок, то есть ведет к ухудшению качества. В практике, в зависимости от длины резистивного элемента, выгоднее всего поместить 1... 5 коррекционных элементов.

5. С точки зрения диссипации целесообразно так расположить коррекционные элементы, чтобы исключенные из теплообразования элементы попали на те площади, где температура максимальная, и так улучшали распределение температуры. (Например самый длинный коррекционный член находится на середине меандра.)

Перерезанием коррекционных элементов, расположенных на основе вышеуказанных правил (рис. 9), юстировку надо провести следующим образом:

Измеряется величина сопротивления, подлежащего юстировке. Эта величина ( $R_r$ ) сравнивается с желаемой величиной сопротивления ( $R$ ). Для установки желаемой величины необходимо относительное увеличение сопротивления в

$$\frac{R - R_r}{R_r}. \quad (12)$$

(Если неожиданная технологическая ошибка не произошла, тогда

$$0 \leq \frac{R - R_r}{R_r} \leq \frac{\sum_{i=1}^n L_{ia}}{L - \sum_{i=1}^n L_i}$$

и установку величины можно провести.) Рассмотрим, что разница

$$\frac{R - R_r}{R_r} - \frac{L_{ij}}{L - \sum_{i=1}^n L_i}, \quad (13)$$

изменяя значение  $i$  в области  $1 \leq i \leq (n-1)$ , при котором  $i$  дает минимальное положительное значение. Выбранный таким образом поправочный элемент перережем. Может быть и такой случай, что при каждом  $i$  получается отрицательное значение. В этом случае контролируемой измерением перерезкой  $n$ -ого поправочного элемента, позволяющего непрерывное изменение величины сопротивления, установку можно провести в одной операции. Если выбранный  $i \neq n$ , тогда вышеописанные операции повторяются. В наиболее невыгодном случае желаемую величину сопротивления можно установить после  $n$ -кратного повторения.

### 3. Программа ЭВМ для проектирования топологии

#### 3.1. Общее описание программы

Для проектирования топологии тонкопленочных резисторов вышеописанной конструкции была разработана программа на ЭВМ. С помощью этой программы можно проектировать геометрию резисторов, рассчитать параметры поправочных элементов, оформлять целую топологию и, наконец, можно выписать координаты характерных точек площади резисторов соответствующего размещения и увеличения, на основе данных внешней геометрии, технологических параметров и требований.

Программа может быть использована и для проектирования ряда резисторов, совместимых в значениях сопротивления.

Программа легко поддается обращению и дает несколько возможностей для вывода данных. Задание дается заполнением листа данных, что позволяет применение программы для лиц, не обладающих знаниями в программировании. Вывод результатов может быть осуществлен тремя методами в зависимости от того, что чертеж резистивных элементов большой точности изготавливается на координатографе ручного или механического управления.

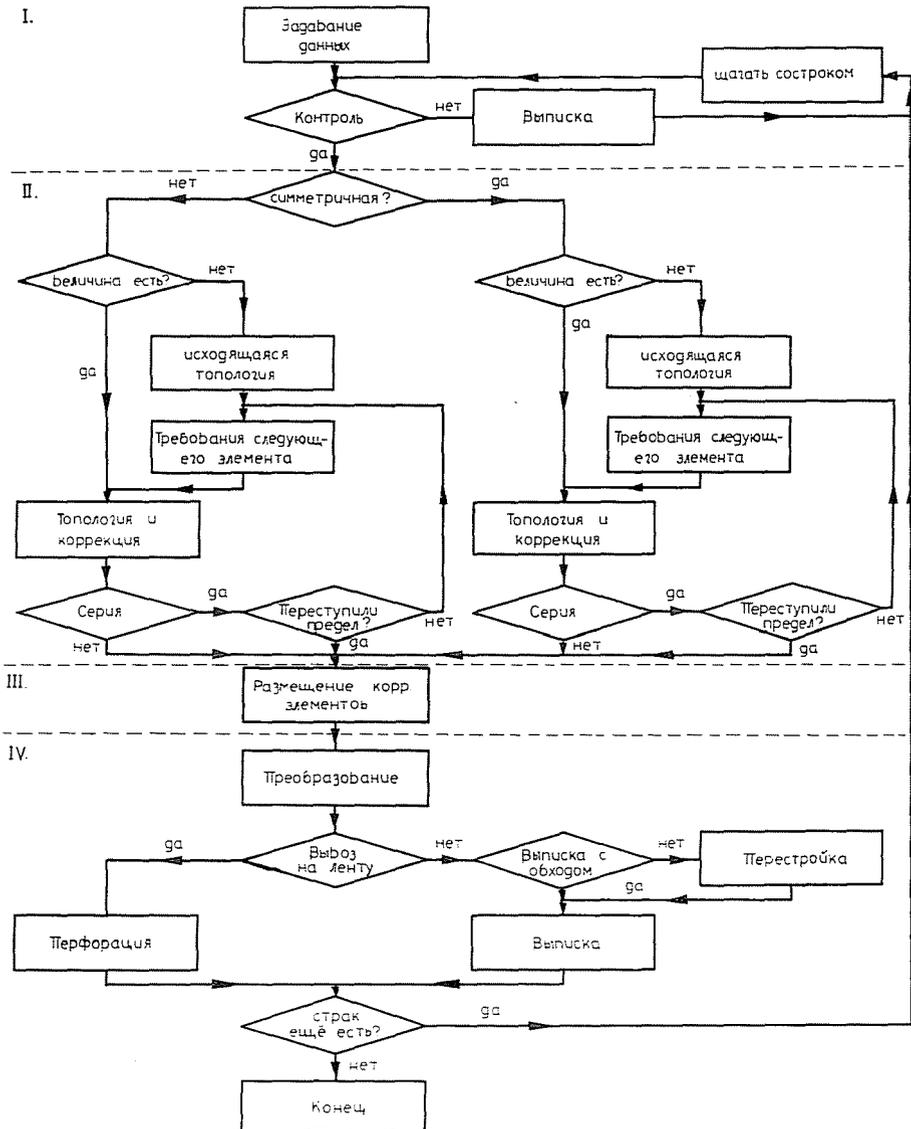


Рис. 10. Упрощенное построение программы на ЭВМ, проектирующей топологию резистора

На рис. 10 показано упрощенное построение программы. Из рисунка видно, что можно отличить четыре главных части программы. Часть I предназначена для ввода и оценки данных, часть II для оформления топологии и проектирования поправочных элементов, часть III для размещения поправочных элементов и наконец часть IV, для подготовки вывода и самого вывода результатов из ЭВМ.

### 3.2. Задавание и контроль данных

Необходимые для программы данные можно задавать выполнением таблиц, показанных на рис. 11. В первой таблице задаются технологические данные, тождественные для всех проектирований, совершаемых при помощи этой программы. Объяснением данных подробнее занимались в разделе конструкции.

Технологические данные

$R_n = [\Omega/\square]$	$D_{\text{мин}} = [\mu\text{м}]$	$S_{\text{мин}} = [\mu\text{м}]$	$T_r = [\mu\text{м}]$	$T_k = [\mu\text{м}]$	$T_R = \pm [\%]$	$D_e = [\mu\text{м}]$
--------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------	-----------------------	------------------	-----------------------

Таблица данных и требований

порядковый номер	внешняя геометрия									серия					преобразование				вывод		проект. зависит от		
	порядковый номер	$A_n$ [μм]	$A_D$ [μм]	$A_{nk}$ [μм]	$A_{k2}$ [μм]	$A_k$ [μм]	$A_{E1}$ [μм]	$A_{E2}$ [μм]	симметричная-ли	да-нет	верхний предел [Ω]	нижний предел [Ω]	макс. номер элем.	макс. ΔR/R <sub>мин</sub>	величина диск. рез. [Ω]	перемещение x [мм]	перемещение y [мм]	перевертка	увеличение	на лету		выписка с обходом	выписка в х.и.у.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1																							
2																							
3																							
...																							

Рис. 11. Входные таблицы данных

Во вторую таблицу следует вписать данные для внешней геометрии и предписания вывода, а также требования. Таблица может содержать всего 99 строк, это означает, что одновременно можно проектировать 99 различных резистивных элементов или ряд резисторов. Число элементов одного ряда может быть максимально 100, но число проектируемых в одном пробеге программы элементов не может превысить 1000.

С точки зрения первой части программы и 24-ая колонка может содержать существенные информации. Это заполняется тогда, если нет необходимости в расчете резистивного элемента, соответствующего строке, поскольку на основе некоторой предыдущей строки расчет был сделан удачно. Для показа применения посмотрим несложное задание: предположим, что данный элемент сопротивления в одной схеме можно разместить и в двух геометрических расположениях, но эти два решения не одинаковы с точки зрения диссипации, а одно из них гораздо выгоднее. Однако мы не уверены в том, что элемент сопротивления можно осуществить в лучшей геометрии (например получилась бы слишком узкая полоса), а осуществимость худшей геометрии очевидно. В этом случае поступаем так, что предусмотрим проектирование обеих геометрий, но худшее решение получает больший порядковый номер, и его вычисление обусловлено результатом лучшего решения (в 24-ой колонке запишем номер лучшего решения). В этом случае машина проводит проектирование худшей геометрии только тогда, если лучшее решение не осуществимо. Этим методом можно организовать и условные цепи проектирования.

В 1-ой части программы контроль данных и осуществимости играют значительную роль. Целью контроля данных является селекция очевидно плохо составленных рядов данных. После этого программа с помощью приближенных зависимостей, которые быстро можно рассчитать, рассмотрит, что задачу можно ли решить с большой вероятностью. Точный расчет наверняка неразрешимых заданий даже не начинается программой, таким образом можно экономить значительное машинное время.

### *3.3. Части программы для проектирования топологии*

После исследования осуществимости следует само проектирование. На этой стадии программа разветвляется на две части в зависимости от того, что проектируются резистивные элементы симметричной (рис. 1а) или центрально-симметричной (рис. 1б) формы. Построения двух ветвей программы полностью тождественны, но соотношения для расчета различны.

В дальнейшем ход проектирования определяется тем, проектируется ли дискретный резистор и первый элемент ряда или один из внутренних членов ряда. В первом случае нужный номинал надо задать снаружи, а во втором случае омическое значение задается на основе минимального значения предыдущего элемента, т. е. изнутри.

Если осуществляется дискретный элемент, то оформлением топологии и расчетом коррекционных элементов проектирование окончено, и переходим к размещению коррекционных элементов.

Если проектируется серия резисторов — тогда перед размещением правочных элементов сначала оформляется топология всех элементов. Рас-

смотрим топологию, не превысит ли технологические или геометрические ограничения, и если нет, тогда на основе данных определяем требование на следующий элемент. Условием этого является то, чтобы верхний предел ( $R'_{\text{мин в}}$ ) минимальной величины сопротивления определенного элемента и нижний предел ( $R''_{\text{макс а}}$ ) максимальной величины следующего элемента были равны (или переплетались):

$$R'_{\text{мин в}} \leq R''_{\text{макс а}} \quad (14)$$

После этого проектируем топологию следующего элемента, это опять рассмотрим, и цикл продолжается до того, пока не превысим какой-нибудь ограничивающий фактор.

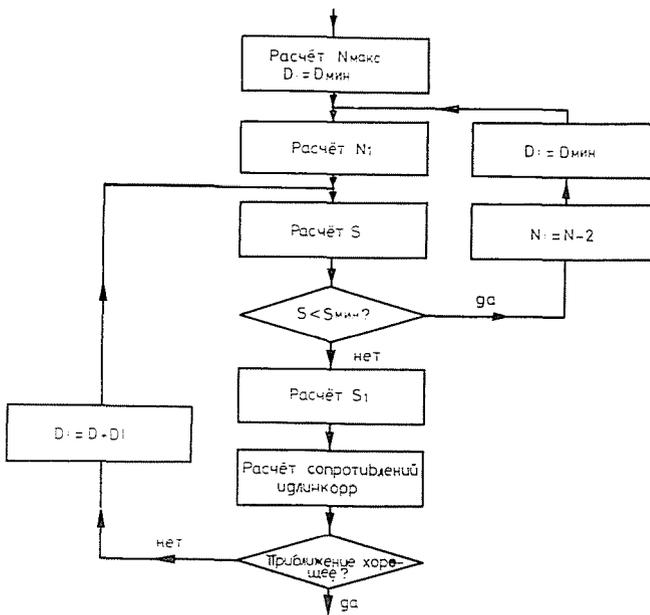


Рис. 12. Алгоритм программной части для проектирования топологии

Если верхний предел не задан, тогда проектирование проводится аналогично вышеописанному, такой разницей, что первая исходящая топология соответствует не одной данной величине, а возможностям геометрического осуществления (это определяется максимальным числом полос, размещаемым на длине  $A_d$  с  $D_{\text{мин}}$  и  $S_{\text{мин}}$ ).

После проектирования серии топологий (в случае расчета всего лишь одного элемента серия содержит в себе только один член) следует размещение рассчитанных поправочных элементов.

Из II и III частей программы следует рассмотреть более тщательно часть проектирования топологии. Рис. 12 показывает упрощенную блок-

диаграмму этой части. Проектирование исходит всегда из геометрически осуществляемого максимального числа полос ( $N_{\text{макс}}$ ). Исходящая величина  $D$  всегда равна  $D_{\text{мин}}$ . После этого следует определение величин  $N_1$ ,  $S$  и  $S_1$  по очереди. При этом топология дана, можно посмотреть, что осуществляют ли желаемые величины сопротивления. Если нет, тогда — так как  $N$  максимальный и  $D$  минимальный — с увеличением значения  $D$  можно изменить величину в сторону уменьшения.  $D$  можно повышать только за счет  $S$ , т. е. всегда необходимо контролировать, что  $S$  не уменьшилось ли ниже  $S_{\text{мин}}$ . Если  $S < S_{\text{мин}}$ , дальнейшее уменьшение величины возможно продолжать переходом на меньшее количество полос. В случае нового числа полос опять же начинаем от  $D_{\text{мин}}$ , таким образом  $S$  естественно больше чем  $S_{\text{мин}}$ , то есть нет препятствий для постепенного увеличения  $D$ . С помощью так оформляемых двух циклов, связанных друг с другом, можно приблизить желаемую величину сопротивления в зависящей от значения  $D_e$  точностью.

### 3.4. Возможности для вывода результатов

После полного оформления топологии, рисунок сопротивления в соответствии с заданными в 17... 20 колонках таблицы данными величинами можно переместить горизонтально и вертикально, по 90°-ам можно перевернуть и увеличить. Так дается возможность для того, чтобы вести элемент в схеме в соответствующее положение, и изготовить чертеж в необходимом увеличении. Полученные таким образом данные разделяются на две группы. Под одной частью результатов подразумеваются параметры, однозначно определяющие топологию ( $N$ ,  $D$ ,  $S$ ,  $S_1$ ,  $N_1$  и размеры поправочных элементов), также величины сопротивления, рассчитываемые из них. Другая часть облегчит черчение задаванием координат, характерных данных чертежа. Первая часть результатов дается всегда строкопечатной машиной с приложенными текстами для объяснения. Если желаемая топология по какой-то причине неосуществима, текст для объяснения всегда дает сведения, касающиеся причин этого.

Сообщение координат характерных угловых точек — в соответствии с заданными в 21... 23-х колонках желаними — может иметь три вида. Если чертеж изготавливается на координатографе с перфолентным управлением, тогда машиной перфорируется такая лента, которая содержит координаты характерных точек в порядке обхода рисунка. Два других способа выписания облегчают черчение на координатографе ручного управления. Один из них в соответствии с порядком обхода выписывает координаты характерных точек фигуры, а другой одновременно выписывает координаты характерных точек фигуры линий, имеющих одинаковые координаты  $x$  и  $y$ . В конечном счете применяемый координатограф и форма фигуры решает о том, какой из трех способов вывода целесообразно выбрать.

#### 4. Возможности дальнейшего усовершенствования программы

Программа в своей настоящей форме вполне применима для расчета индивидуальных серий тонкопленочных резисторов и резистивных элементов схемы. Особым преимуществом является то, что проектированная программой конструкция дает возможность для установки величины, осуществляемой разными технологиями. Простота ввода и многосторонность вывода результирует обширную применяемость.

Помимо преимуществ, следует принимать недостатком программы, что она пригодна только для расчета резисторов с весьма простой внешней геометрической формой. Это особенно невыгодно в случае проектирования

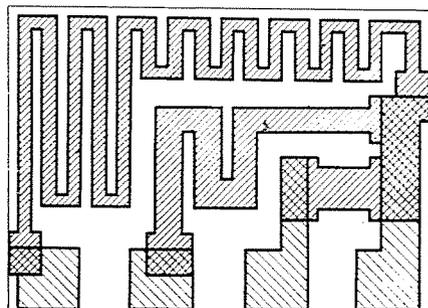


Рис. 13. Резисторы в схеме с неправильной внешней геометрией

резисторов схемы потому, что в схемах часто целесообразно осуществлять резисторы не в форме прямоугольных площадей (см. рис. 13). Наша деятельность в области усовершенствования программы направлена в первую очередь на такие решения осуществления. На ходу этой работы нам хотелось бы разработать и относительно свободную систему размещения выводов.

Окончательной целью нашей деятельности является машинное решение проектирования всей топологии тонкопленочных схем. Для этого — кроме уже разработанной и подвергнутой дальнейшему усовершенствованию частичной программы, проектирующей сопротивление — мы планируем разработку частичных программ, проектирующих элементы конденсатора и индуктивные элементы, выбирающих гибридные элементы, и проектирующих снабжение проводями. Эти частичные программы создали бы программную систему и провели бы полное проектирование топологии схемы.

#### Резюме

Больше всего распространено создание тонкопленочных интегральных схем для пассивных элементов. Предъявляются строгие требования к схемам, а именно, в отношении стабильности и точности. Этим требованиям могут удовлетворять только схемы хорошей конструкции, изготовленные с соблюдением технологической дисциплины. Топологическое планирование схем проводится с помощью ЭВМ. Обработанная нами программа для ЭВМ

типа «Раздан III» осуществляется для тонкопленочных резисторов, имеющих прямоугольную геометрическую форму. Эта программа, кроме требуемых параметров и технологических зависимостей, учитывает и действие технологических неопределенностей. ЭВМ выдает результаты в такой форме, чтобы этим сигналом можно было управлять координатографом либо ручным, либо механическим управлением с помощью перфорированной ленты.

Кроме планирования резисторов для интегральных схем, программа используется и для топологического конструирования дискретных тонкопленочных резисторов.

### Литература

1. EDWARD KEONJIAN: Mikroelektronika. Műszaki Könyvkiadó, 1968, Budapest
2. ARCHER, S. K.: Trimming of nickel-chromium film resistors. Thin Solid Films 4 413—422 (1969)
3. STONE, G. B.: Designing an Industrial System. Laser Focus 6 43—47 (1970)
4. ARDENNE, M.; HEISIG, U.; PANZER, S.; JESSAT, K.; BAHR, G. and DÖHLER, H.: Continuous electron beam processing plant for plane thin-film resistors. Microelectronics and Reliability 5 255—263 (1966)

Zsolt ILLYEFALVI-VITÉZ, Будапешт, XI. Мюэдетем ркп 9 Венгрия