

1.6. ПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГИС

1.6.1. ПЛЕНОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Пленочные резисторы представляют собой один из элементов ГИС и совмещенных схем. Тонкопленочные резисторы изготавливаются напылением резистивной пленки, толстопленочные – вжиганием резистивной пасты. В качестве функциональных частиц используются силициды хрома, никеля, железа. Содержание кремния от 15 до 95 % обеспечивает широкий диапазон удельных сопротивлений. Кроме того, могут использоваться двойные или тройные системы на их основе.

Характеристиками резистивных материалов являются:

- удельное поверхностное сопротивление $R_{сл}$, Ом;
- допустимая удельная мощность рассеивания P_0 , Вт/см²;
- температурный коэффициент сопротивления (ТКС), 1/К;
- коэффициент старения (необратимые изменения за 1000 часов при 85 °С при нагрузке 1 Вт/см²) $\gamma_{ст}$.

Существует 3 варианта формирования пленочных резисторов:

- фотолитографический: напыление сплошной резистивной плёнки, напыление сплошной проводящей пленки, фотолитография по проводящей плёнке, фотолитография по резистивной плёнке;
- трафаретный: напыление резистивных элементов через трафарет, напыление проводящих элементов через трафарет;
- комбинированный: напыление сплошной резистивной плёнки, напыление проводящих элементов через трафарет, фотолитография по резистивной плёнке.

Структура и топология пленочных резисторов для разных данных вариантов приведена на рис. 1.6.1, а основные характеристики – в табл. 1.6.1. Трафаретный вариант является более производительным и дешёвым, фотолитографический заметно превосходит трафаретный по разрешающей способности (a_{min}) и точности ($\Delta_{п}$).

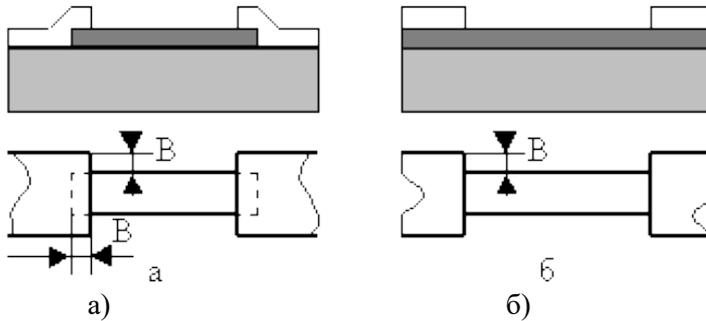


Рис. 1.6.1. Структура и топология пленочных резисторов:
а – трафаретный вариант; б – фотолитографический и трафаретный варианты

Таблица 1.6.1.

Основные характеристики вариантов

Параметр	Фотолитографический вариант	Трафаретный вариант
a_{\min} , мм	0,1	0,3
$\pm\Delta_{II}$, мм	$\pm 0,005$	$\pm 0,02$
B , мм	0,1	0,2
$(l/a)_{\max}$	Не ограничено	10

При проектировании группы интегральных резисторов возникает задача определения рабочих размеров l и a для каждого резистора с таким расчётом, чтобы суммарная площадь, занимаемая резисторами, была минимальна. Исходными данными при этом являются:

- номинальные значения сопротивлений резисторов R_i ;
- мощность рассеивания P_i ;
- предельные допустимые отклонения сопротивления $\pm\gamma_{R_i}$;
- температурный диапазон эксплуатации $t_{\min} \dots t_{\max}$.

Для начала необходимо определить оптимальное значение удельного поверхностного сопротивления $R_{\text{сл}} = R_0$. Искомое значение лежит внутри ряда сопротивлений, выстроенного по возрастающей: $R_1, R_2, R_m, (R_0), R_{m+1}, R_n$. Расчет проводится по формуле:

$$R_0 \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}}$$

В результате все резисторы делятся на 2 группы (рис. 1.6.2), расчет которых будет отличаться.

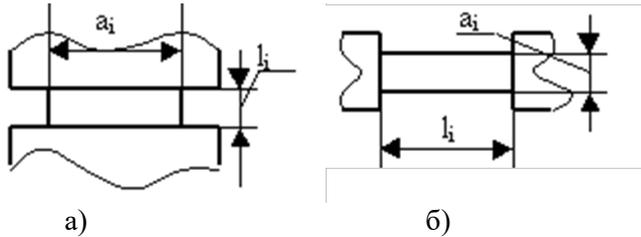


Рис. 1.6.2. Формы резисторов в зависимости от соотношения:
 а – первая группа: $R_i < R_0$; б – вторая группа: $R_i > R_0$

По найденному значению R_0 выбирают марку резистивного сплава так, чтобы R_0 удовлетворяло рекомендованному диапазону значений $R_{сл}$. При наличии двух и более вариантов марок сплавов следует ориентироваться на большее значение P_0 , меньшие значения a и $\gamma_{ст}$. При окончательном выборе марки сплава становятся известными конкретные значения P_0 , a и $\gamma_{ст}$.

Дальше проводится определение критических размеров резисторов с учетом мощности рассеивания. Для резисторов первой группы:

$$l_i = \sqrt{\frac{P_i R_i}{P_0 R_0}},$$

для резисторов второй группы:

$$a_i = \sqrt{\frac{P_i R_0}{P_0 R_i}}.$$

Кроме того, проводится корректировка размеров с учетом заданной точности. Для первой группы:

$$l_i = \frac{\Delta_a \frac{R_i}{R_0} + \Delta_l}{\gamma_{техн} - \gamma_{R0}},$$

для второй группы:

$$a_i = \frac{\Delta_l \frac{R_0}{R_i} + \Delta_a}{\gamma_{\text{техн}} - \gamma_{R0}},$$

где Δ_l и Δ_a — абсолютные предельные погрешности длины и ширины (берутся из сравнительной таблицы вариантов технологии); γ_{R0} составляет 2% для трафаретного варианта и 1% для фотолитографического.

Для приближения выводов высокоомного резистора друг к другу и сокращения длины связей в микросхеме конструктор может отступить от прямолинейной конфигурации резистора и спроектировать элемент в форме меандра, введя в него два или более изгибов под прямым углом (рис. 1.6.3). При любой конфигурации резистора входной и выходной токи должны быть ориентированы в одну сторону. В противном случае предусмотренные уширения выводов не будут выполнять своих функций и погрешность совмещения проводящего и резистивного слоёв вызовут дополнительную погрешность сопротивления.

Участок изгиба имеет пониженное сопротивление в сравнении с линейным участком той же длины (по средней линии), что требует корректировки длины резистора в сторону её увеличения. Так Г-образный участок, включающий три квадрата вместо $3R_{\text{сд}}$ имеет сопротивление $2,55R_{\text{сд}}$, а П-образный, включающий пять квадратов, вместо $5R_{\text{сд}}$ имеет сопротивление $4R_{\text{сд}}$. Это явление объясняется тем, что плотность тока на изгибах оказывается более высокой у внутреннего контура резистора, в результате чего электрическая длина резистора (по средней плотности тока) уменьшается.

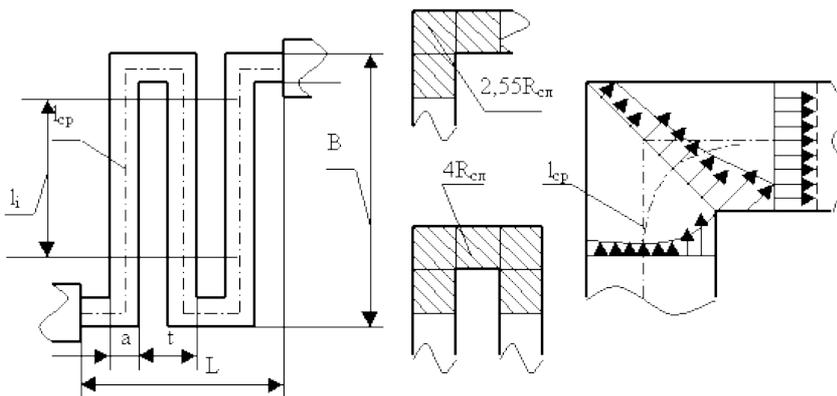


Рис. 1.6.3. Проектирование резистора в форме меандра

После получения резистора может оказаться, что его сопротивление отличается от заданного. Чтобы иметь возможность скорректировать

сопротивление, существует специальная конструкция резисторов – подгоняемые резисторы (рис. 1.6.4).

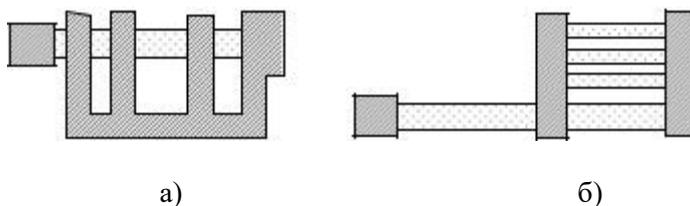


Рис. 1.6.4. Подгоняемые резисторы: а – путем добавления секций перерезанием перемычек; б – уменьшением числа параллельно подключенных резистивных дорожек

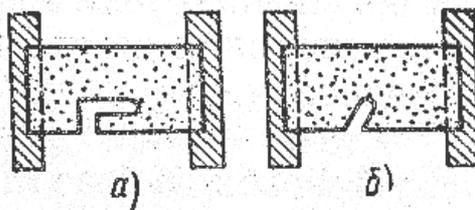


Рис. 1.6.5. Лазерная подгонка сопротивления резисторов: а – с участками грубой и точной подгонки; б – с подгонкой под углом

Перерезание перемычек приводит или к увеличению сопротивления (рис. 1.6.4 а), или к уменьшению сопротивления (рис. 1.6.4 б). Кроме того, возможна лазерная подгонка параметров резисторов (рис. 1.6.5).

1.6.2. ПЛЕНОЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Наиболее часто используемые конструкции пленочных конденсаторов приведены на рис. 1.6.6. В качестве обкладок используются металлические проводники. Чаще всего используются плоские конденсаторы, в которых диэлектрик помещается между верхней и нижней обкладкой, причем верхняя обкладка полностью вписывается в нижнюю (рис. 1.6.6 а). Такая конструкция позволяет создавать конденсаторы повышенной емкости (от сотни до нескольких тысяч пФ); кроме того, точность совмещения в ней никак не сказывается на емкости. Если же не нужна большая емкость, можно использовать конструкцию, изображенную на рис. 1.6.6 б.

При активной площади менее 5 мм^2 начинает сказываться краевой эффект, который тем сильнее влияет на емкость конденсатора, чем меньше площадь. Если расчетная площадь менее 1 мм^2 , конденсатор лучше выполнять в виде двух последовательно включенных конденсаторов (рис. 1.6.6 в).

В высокочастотных микросхемах используют гребенчатые конденсаторы (рис. 1.6.6 г), в которых роль обкладок выполняют 2 проводника, выполненных в виде гребенки. В ней используется составной диэлектрик: подложка-воздух или подложка-диэлектрическое покрытие.

В качестве материала диэлектрика может использоваться моноокись или двуокись кремния, моноокись германия, окись алюминия, окись тантала, а также алюмосиликатное, боросиликатное или иттрий-борийное стекла.

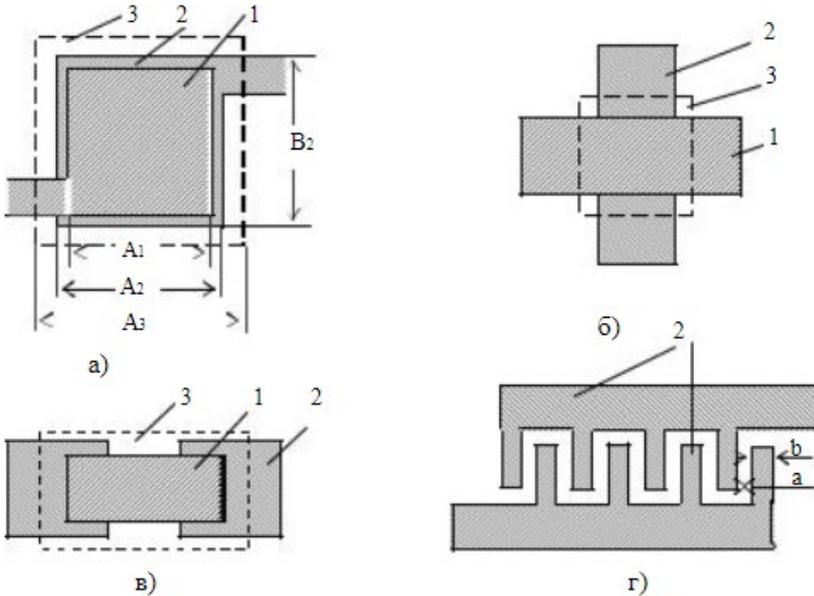


Рис. 1.6.6. Конструкции пленочных конденсаторов:

а, б, в – плоский с тонкопленочным диэлектриком; г – гребенчатый конденсатор
1 - верхняя обкладка; 2 – нижняя обкладка; 3 – диэлектрик

Емкость пленочного конденсатора определяется по формуле:

$$c = \frac{0,885 \varepsilon_r S}{d} = c_0 S,$$

где S – площадь взаимного перекрытия обкладок, см^2 ; ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость материала диэлектрика; d – толщина диэлектрика, см; c_0 – удельная емкость, $\text{пФ}/\text{см}^2$.

Толщина диэлектрика выбирается исходя из условия обеспечения заданного рабочего напряжения U_p :

$$d = \frac{k_3 U_p}{E_{\text{пр}}},$$

где $k_3 = 3 \dots 10$ – коэффициент запаса, $E_{\text{пр}}$ – напряжение пробоя. Для

большинства диэлектрических материалов $E_{пр} = (1 \dots 9)10^6$ В/см.

При необходимости можно использовать в микросхемах подгоняемые конденсаторы (рис. 1.6.7).

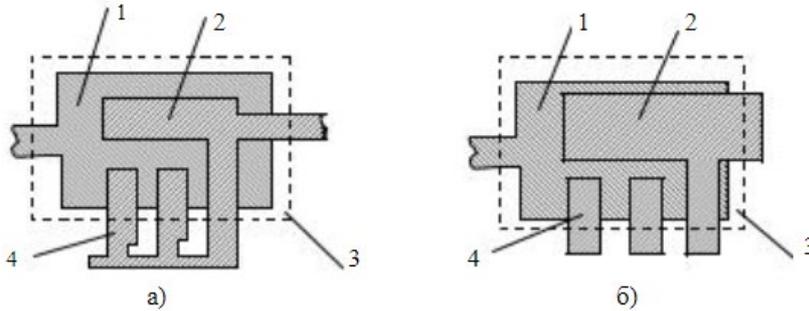


Рис. 1.6.7. Конструкции подгоняемых пленочных конденсаторов: 1 – нижняя обкладка; 2 – верхняя обкладка; 3 – диэлектрик; 4 – подгоняющие секции

1.6.3. ПЛЕНОЧНЫЕ ИНДУКТИВНОСТИ

Пленочные индуктивности выполняют в виде круглых или прямоугольных одновитковых петель или многovitковых спиралей (рис. 1.6.8). Индуктивность подобных пленочных спиралей на низких частотах ограничена значением примерно $2 \dots 3$ мкГн. При одинаковых габаритных размерах и числе витков индуктивность квадратной спирали в 1,27 раза больше индуктивности круглой спирали.

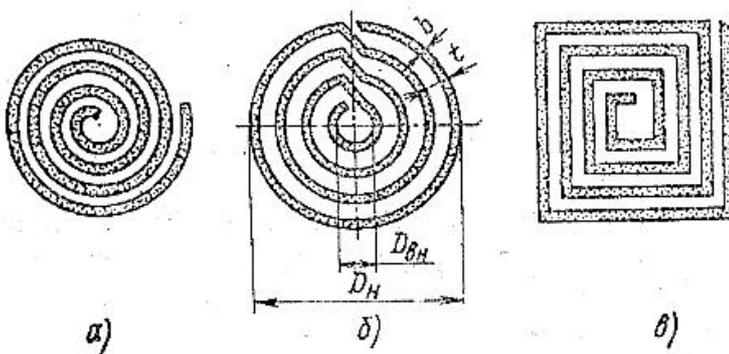


Рис. 1.6.8. Конструкции пленочных индуктивностей:
а, б – круглая форма спирали; в – квадратная форма спирали

Индуктивность круглой спирали определяется по формуле:

$$L = \frac{25D_{\text{cp}}n^2}{1 + \frac{3h}{D_{\text{cp}}}},$$

где $D_{\text{cp}} = 0,5 (D_{\text{н}} + D_{\text{вн}})$ – средний диаметр витка, см², $h = nt + b$ – ширина спирали, см; t – шаг спирали, см; b – ширина проводника, см; n – число витков спирали. Значение L получается в нГн.

В ГИС площадь, занимаемая одной спиралью, обычно не превышает 1 см². Максимальное число витков, которые можно разместить на этой площади, определяется разрешающей способностью технологического процесса создания спирали, в частности значением b_{min} . При $b_{\text{min}} \approx 50$ мкм индуктивность пленочных спиралей составляет примерно 10 мкГн, а добротность при оптимальном соотношении внутреннего и наружного диаметров спирали $D_{\text{ен}}/D_{\text{н}} \approx 0,4$ равна 80—120.

Для изготовления пленочных спиралей применяют материалы с высокой электропроводностью. Толщина спирали зависит от рабочей частоты и зависит от глубины проникновения электромагнитной волны в материал проводника (скин-эффект).

ТЕСТЫ К ЛЕКЦИИ 6

Вопрос 1	Какой из вариантов изготовления пленочных элементов точнее?
Ответы:	
1	Фотолитографический
2	Графаретный
3	У них одинаковая точность
Вопрос 2	
Ответы:	Какой из вариантов изготовления пленочных элементов дешевле?
1	Графаретный
2	Фотолитографический
3	У них одинаковая стоимость