

Университет ИТМО  
Факультет программной инженерии и компьютерной техники

**Домашняя работа №1**  
**«Проектирование гибридной интегральной схемы»**  
по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования»

Выполнил:  
Студент группы Р3331  
Нодири Хисравхон

Преподаватель:  
Поляков Владимир Иванович

г. Санкт-Петербург

2025 г.

## Содержание

Содержание.....	2
1 Введение.....	3
2 Вариант лабораторной работы.....	3
3 Расчет тонкопленочных резисторов.....	4
3.1 Определение критерия оптимальности.....	4
3.2 Выбор материала резистивной пленки.....	4
3.3 Определение коэффициента формы $k_f$ .....	5
3.4 Определение ширины $b$ для резисторов с $k_f < 10$ .....	5
3.5 Определение длины $l$ для резисторов с $k_f < 10$ .....	6
4 Расчет тонкопленочных конденсаторов.....	7
4.1 Определение материала.....	7
4.2 Определение активной площади конденсаторов.....	7
4.3 Определение конструкции конденсаторов.....	8
5 Итоговая схема.....	9
5.1 Итоговые параметры элементов.....	9
5.2 Параметры располагаемых элементов в масштабе.....	9
5.3 Топология гис ограничителя.....	10

# 1 Введение

Целью работы является проектирование тонкопленочной гибридной интегральной схемы ограничителя.

## 2 Вариант лабораторной работы

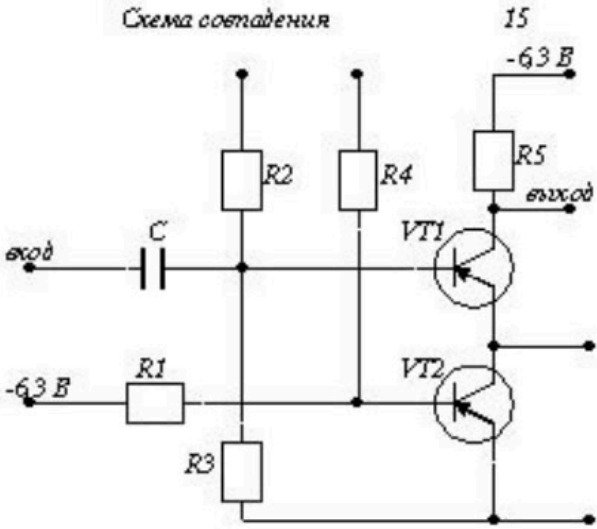
Схема совпадения				
				
R, C	Варианты			
	1	2	3	4
R1	250 Ом ±10% 0,01 Вт	520 Ом ±10% 0,01 Вт	450 Ом ±10% 0,01 Вт	500 Ом ±20% 0,01 Вт
R2	650 Ом ±10% 0,02 Вт	800 Ом ±10% 0,01 Вт	750 Ом ±10% 0,01 Вт	700 Ом ±10% 0,01 Вт
R3	3,5 кОм ±10% 0,003 Вт	7 кОм ±10% 0,005 Вт	7,5 кОм ±10% 0,01 Вт	6,3 кОм ±10% 0,005 Вт
R4	6,5 кОм ±10% 0,01 Вт	4,3 кОм ±10% 0,01 Вт	6,1 кОм ±20% 0,01 Вт	5 кОм ±20% 0,01 Вт
R5	3,1 кОм ±10% 0,01 Вт	4,3 кОм ±20% 0,005 Вт	3,9 кОм ±10% 0,005 Вт	3 кОм ±10% 0,005 Вт
C	6600 пФ	6300 пФ	6500 пФ	6400 пФ

Рис.1: Принципиальная схема совпадения по варианту 15-2

Дано:

$R1 = 0.52 \text{ кОм}; \Delta R1 = 10\%; W1 = 0.01 \text{ Вт}$

$R2 = 0.8 \text{ кОм}; \Delta R2 = 10\%; W2 = 0.01 \text{ Вт}$

$R3 = 7 \text{ кОм}; \Delta R3 = 10\%; W3 = 0.005 \text{ Вт}$

$R4 = 4.3 \text{ кОм}; \Delta R4 = 10\%; W4 = 0.01 \text{ Вт}$

$R5 = 4.3 \text{ кОм}; \Delta R4 = 20\%; W4 = 0.005 \text{ Вт}$

$C1 = 6300 \text{ нФ};$

### 3 Расчет тонкопленочных резисторов

#### 3.1 Определение критерия оптимальности

$$p_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{i=1}^n R_i^{-1}}} = 2115.407 \approx 2100 \text{ Ом/}\square$$

Для упрощения вычислений в качестве  $p_{\square}$  выбирают округленное значение  $p_{\text{опт}}$ , следовательно получили удельное поверхностное сопротивление резистивной плёнки  $p_{\square} = 2100 \text{ Ом/}\square$

#### 3.2 Выбор материала резистивной пленки

Наименование материала	$p_{\square}$ , Ом/	Диапазон значений сопротивления, Ом	Удельная мощность рассеяния $W_0$ , Вт/см <sup>2</sup>
<b>Сплав РС - 3001</b>	800 - <u>3000</u>	50 - 30000	2

Заметка: Выбрал этот сплав, т.к. полученное  $p_{\square}$  отлично входит в назначенный диапазон материала Сплав РС-3001.

### 3.3 Определение коэффициента формы $k_\phi$

$$k_{\phi 1} = \frac{R_1}{p_\square} = \frac{0.52 \cdot 10^3}{2100} \approx 0.248; \Rightarrow \text{прямоугольная форма } (l < b)$$

$$k_{\phi 2} = \frac{R_2}{p_\square} = \frac{0.8 \cdot 10^3}{2100} \approx 0.381; \Rightarrow \text{прямоугольная форма } (l < b)$$

$$k_{\phi 3} = \frac{R_3}{p_\square} = \frac{7 \cdot 10^3}{2100} \approx 3.333; \Rightarrow \text{прямоугольная форма } (l > b)$$

$$k_{\phi 4} = \frac{R_4}{p_\square} = \frac{4.3 \cdot 10^3}{2100} \approx 2.048; \Rightarrow \text{прямоугольная форма } (l > b)$$

$$k_{\phi 4} = \frac{R_4}{p_\square} = \frac{4.3 \cdot 10^3}{2100} \approx 2.048; \Rightarrow \text{прямоугольная форма } (l > b)$$

Если  $1 < k_\phi \leq 10$ , то резистор рекомендуется выполнять прямоугольной формы, длина  $l$  которого больше ширины  $b$ . При  $0,1 \leq k_\phi < l$  - то же, но  $l < b$ ; если  $10 \leq k_\phi \leq 50$ , то резистору придают форму меандра.

### 3.4 Определение ширины $b$ для резисторов с $k_\phi < 10$

Расчётное значение ширины каждого резистора  $b$  должно удовлетворять условию:  $b \geq \max[b_{\text{точн}}, b_w]$

, где  $b_{\text{точн}}$  определяется заданной точностью изготовления:

$$b_{\text{точн}} = \begin{cases} 0.2 \text{ мм при } \delta R = \pm 20\% \\ 0.3 \text{ мм при } \delta R = \pm 10\% \end{cases}, \text{ а } b_w = \sqrt{\frac{p_\square \cdot w}{R \cdot w_0}}$$

$$b_1 = \underline{1.5 \text{ мм}} \geq \max[bw_1 = 1.421 \text{ мм}; b_{\text{точн}} = 0.3 \text{ мм}]$$

$$b_2 = \underline{1.2 \text{ мм}} \geq \max[bw_2 = 1.146 \text{ мм}; b_{\text{точн}} = 0.3 \text{ мм}]$$

$$b_3 = \underline{0.3 \text{ мм}} \geq \max[bw_2 = 0.274 \text{ мм}; b_{\text{точн}} = 0.3 \text{ мм}]$$

$$b_4 = \underline{0.5 \text{ мм}} \geq \max[bw_1 = 0.494 \text{ мм}; b_{\text{точн}} = 0.3 \text{ мм}]$$

$$b_5 = \underline{0.4 \text{ мм}} \geq \max[bw_1 = 0.349 \text{ мм}; b_{\text{точн}} = 0.2 \text{ мм}]$$

### 3.5 Определение длины $l$ для резисторов с $k_\phi < 10$

Расчётное значение  $l = \frac{R}{r_p} \cdot b = k_\phi \cdot b$

За длину резистора принимают ближайшее к  $l$  расчётное значение, кратное шагу координатной сетки  $H$ , выбранному как 0.1 мм. При округлении  $l$  рекомендуется оценить погрешность, вызванную округлением и если  $\Delta R' > \Delta R$ , то увеличить ширину резистора и пересчитать  $l$

$$\Delta R' = \frac{|R - R'|}{R} \cdot 100\%,$$

$l_1 = 0.4$  мм;  $R'_1 = 560.0$  Ом;  $\Delta R' = 8.0\% < \Delta R = 10\%$  ✓

$l_2 = 0.5$  мм;  $R'_2 = 875.0$  Ом;  $\Delta R' = 9.0\% < \Delta R = 20\%$  ✓

$l_3 = 1.0$  мм;  $R'_3 = 7000.0$  Ом;  $\Delta R' = 0.0\% < \Delta R = 20\%$  ✓

$l_4 = 1.0$  мм;  $R'_4 = 4200.0$  Ом;  $\Delta R' = 2.0\% < \Delta R = 10\%$  ✓

$l_5 = 0.8$  мм;  $R'_4 = 4200.0$  Ом;  $\Delta R' = 2.0\% < \Delta R = 10\%$  ✓

Как видим, для всех резисторов значения  $\Delta R' < \Delta R$ . Это показывает, что расчётные значения тонкопленочных резисторов соответствуют заданным техническим требованиям, в пределах допустимой погрешности (10%).

## 4 Расчет тонкопленочных конденсаторов

### 4.1 Определение материала

Для повышения точности и надежности конденсаторов необходимо выбирать наиболее простую форму обкладок. Суммарная площадь, занимаемая конденсатором на микроплате, не должна превышать  $2 \text{ см}^2$ , минимальная площадь  $S_{\min}$  конденсатора равна  $0.5 \cdot 0.5 \text{ мм}^2$ .

Расчет пленочных конденсаторов сводится таким образом к определению их активной площади. Эта площадь рассчитывается по формуле.

$$S = \frac{C}{C_0} (\text{см}^2).$$

Следовательно, прикинем удельную ёмкость конденсаторов:

$$C_{01}^* = \frac{C_1}{S_{\min}} = \frac{6300 \text{ пФ}}{0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.01 \text{ см}^2} = 2520 \cdot 10^3 \text{ пФ/см}^2$$

Кроме материалов, приведенных в этой таблице, для изготовления тонкопленочных конденсаторов могут применяться окислы тантала, двуокись титана, титанат бария и др. Эти материалы имеют большее значение диэлектрической проницаемости, чем окись кремния  $SiO$  или окись германия  $GeO$  и на их основе можно изготавливать конденсаторы большой емкости. Однако, из-за больших диэлектрических потерь добротность таких конденсаторов низка, в связи с чем их можно применять только в низкочастотных цепях и цепях постоянного тока. Все большее применение для изготовления

При выборе материала у меня возникли трудности, так как верхний порог удельной ёмкости пятиоксида тантала достигает лишь  $200 \cdot 10^3$ , т.е. Отличается более чем в 12 раз от той величины,

которую мы прикинули для конденсатора. Я изучил вопрос, выбрав двуокиси титана, титанаты бария, и другие элементы, однако сделал вывод, что добротность результирующих конденсаторов будет низка, следовательно, я возьму материал пятиокись тантала, и сделаю на нём конденсатор.

=> Пятиокись тантала:  $C_0 = 200 \cdot 10^3 \text{ Пф/см}^2$

Наименование материала	Материал обкладок	Удельная емкость $C_0$ , пФ/см <sup>2</sup>	Рабочее напряжение, В	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ на частоте $f = 1 \text{ кГц}$
Пятиокись тантала	Тантал ТВЧ	$(60-200) \cdot 10^3$	15 - 10	23

## 4.2 Определение активной площади конденсаторов

$$S_1 = \frac{C_1}{C_0} = 3.15 \text{ мм}^2$$

## 4.3 Определение конструкции конденсаторов

Исходя из рассчитанных площадей,  $0.1 \leq S_1, S_2 \leq 1 \text{ мм}^2$

Следовательно, выбирается конструкция с последовательным соединением конденсаторов:

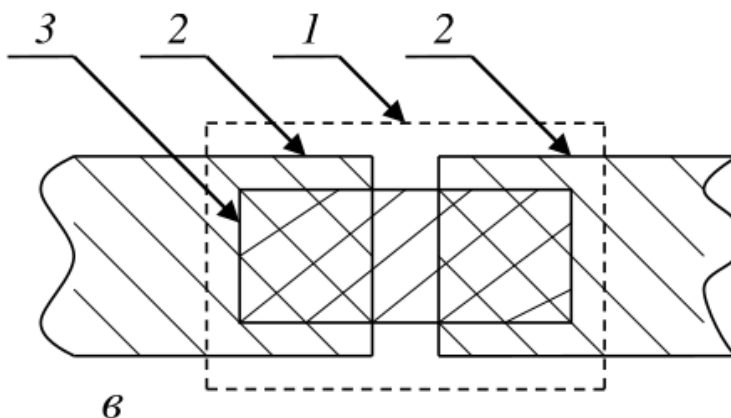


Рис.2: Выбранная конструкция конденсаторов

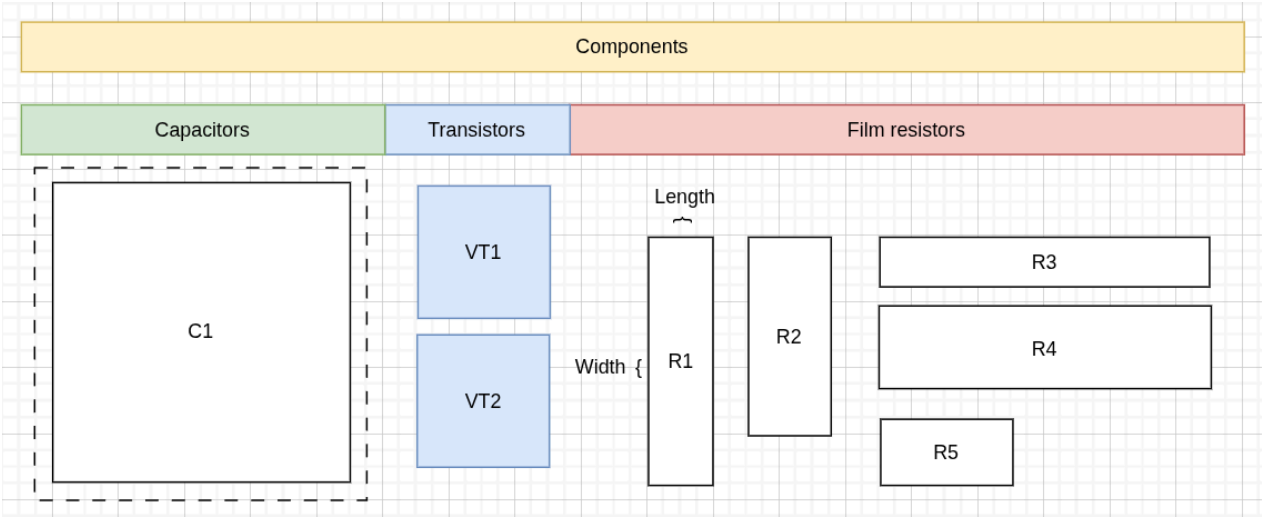


# 5 Итоговая схема

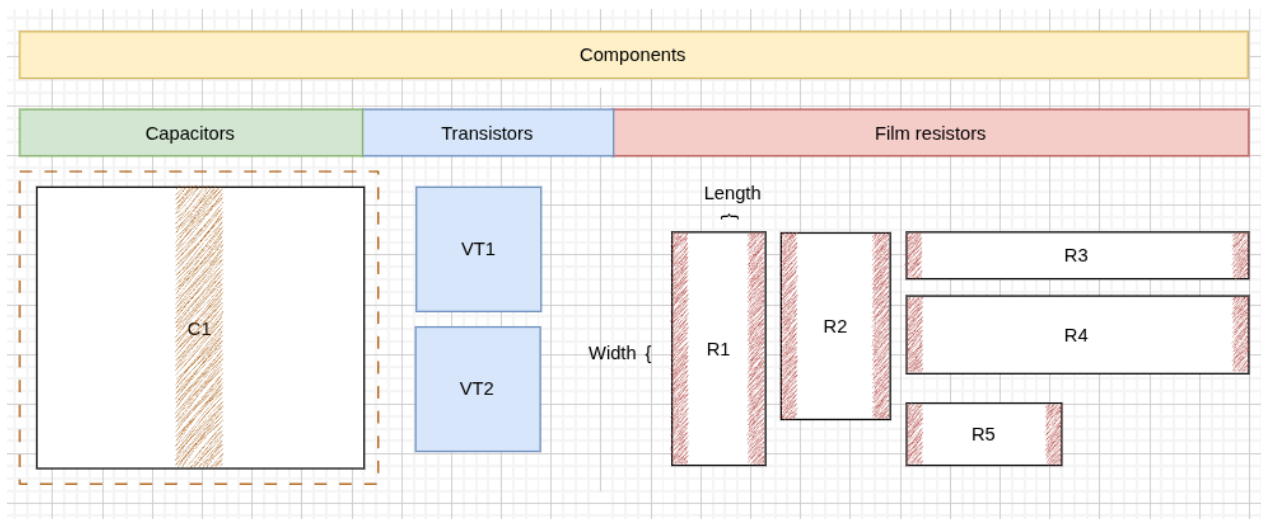
## 5.1 Итоговые параметры элементов

	Длина элемента, мм	Ширина элемента, мм	Материал
R1	0.4	1.5	Сплав РС - 3001
R2	0.5	1.2	
R3	1	0.3	
R4	1	0.5	
R5	0.8	0.4	
C1	1.77	1.77	Обкладки - Тантал ТВЧ Диэлектрик - Пятиокись тантала

## 5.2 Параметры располагаемых элементов в масштабе

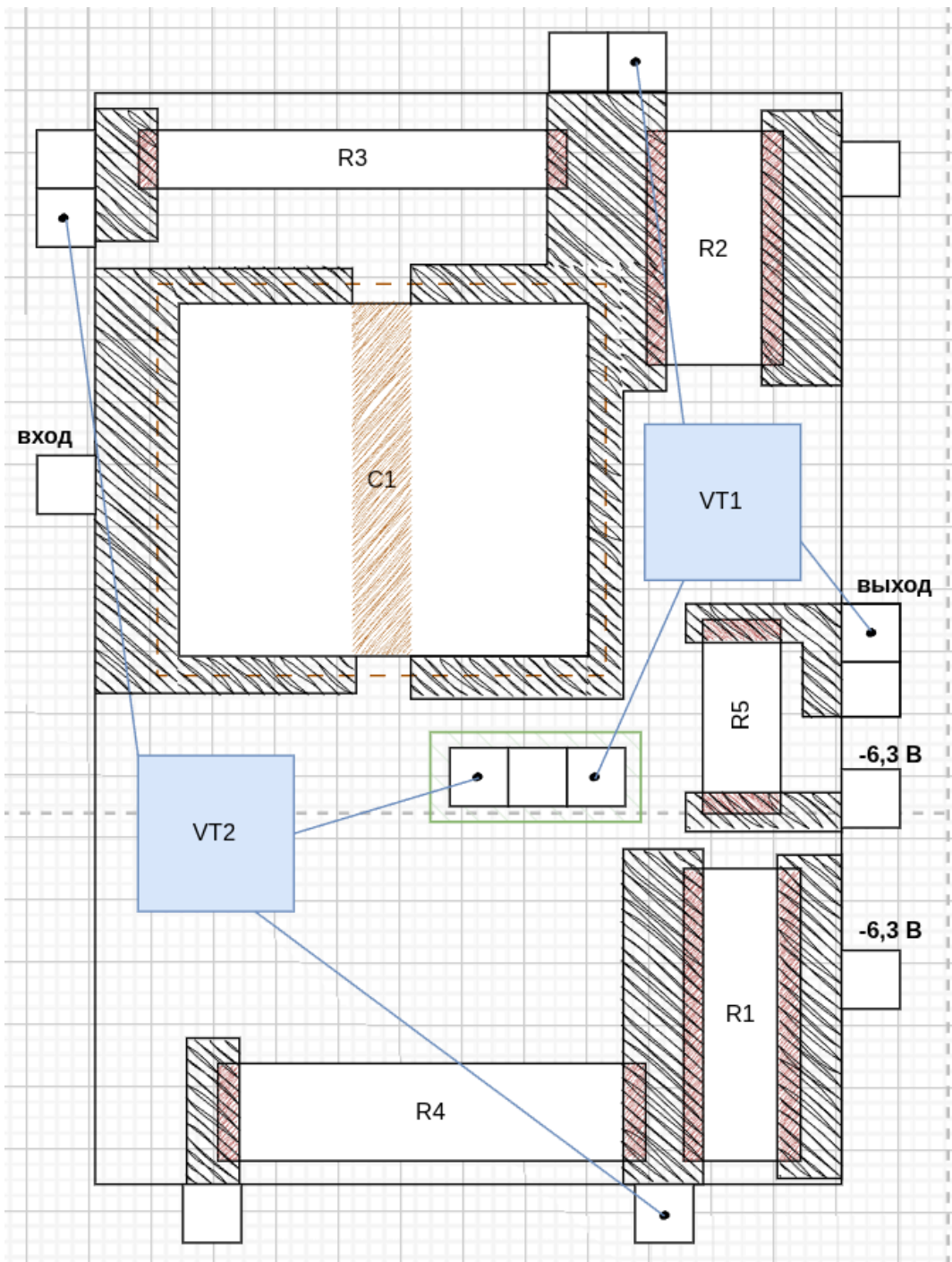


\* Шаг координатной сетки, т.е. масштаб: H = 0.1 мм



\* Растянутые компоненты для корректного перекрытия

### 5.3 Топология гис ограничителя



\* Компоненты размещены на подложке 56x38. Делал по принципу максимально полезно используемого места, при этом сохраняя все нужные отступы, избегая пересечения проводов навесных элементов и емкостных (конденсатор C1). Также сделал посреди платы контактные площадки, обозначив зелёным штрихом. Решение с целью компактности - удобно так соединить транзисторы, ничего не мешает технически это реализовать, и доп. контактная площадка для вывода также имеется.