

# Раздаточный материал к практическим занятиям по расчету пленочных резисторов и конденсаторов.

## Справочные данные

### Основные параметры материалов тонкопленочных резисторов

Резистивный материал	$\rho_{KB}, \frac{\text{Ом}}{\text{КВ}}$	$P_0, \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$	$\alpha_R \times 10^{-4}, \frac{1}{\text{°C}}$	ТУ на резистивный материал	Материал контактных площадок и проводников
Сплав РС-5402	100	2	0.5	ЕТО.021.048.ТУ	Au, Cu, Al
Хром ЭРХ	500	2	2.0	4МТУ5-30-70	Au, Cu, Al
Сплав РС-1734	500	2	10.0	ГОСТ2205-76	Au, Cu, Al
Сплав РС-3710	2000	2	2.0	ГОСТ2205-76	Au, Cu, Al
Сплав РС-3001	3000	2	1.0	ГОСТ2205-76	Au, Cu, Al
Кермет К50-С	10000	2	-5...+3	ЕТО.021.048.ТУ	Au, Al

### Основные параметры диэлектрических материалов тонкопленочных конденсаторов

Наименование материала диэлектрика	$C_0 \times 10^3, \frac{\text{пФ}}{\text{см}^2}$	$U_p,$	$E \times 10^6, \frac{\text{В}}{\text{см}}$	$\varepsilon$	$\alpha_c \times 10^{-4}, \frac{1}{\text{°C}}$	ТУ на материал
Моноокись кремния	5	60	2-3	5-6	2	БКО.028.004 ТУ
	10	30				
Моноокись германия	5	10	1.0	11-12	3	ЕТО.021.014 ТУ
	10	7				
	15	5				
Боросиликатное стекло	2.5	24	3-4	4	0.36	ЕТО.035.015 ТУ
	5	15				
	10	10				
Стекло электровакуумное С41-1	15	12.6	3-4	5.2	1.5-1.8	НПО.027.600
	20	10-12.6				
	30	6.3-10				
	40	6.3				

## Расчет пленочных резисторов с коэффициентом формы $1 \leq K \leq 10$ .

Исходные данные: номинал сопротивления ( $R$ ) и рассеиваемая мощность ( $P$ ).

1. Сопротивление резистора прямоугольной формы:

$$R = \rho_{KB} \cdot K + 2 \cdot R_K$$

2. Коэффициент формы резистора  $K$ :

$$K = \frac{l}{b}$$

3. Переходное сопротивление областей контактов резистивной и проводниковой пленок:

$$R_K = (0.01 \div 0.02) \cdot R$$

4. Погрешность коэффициента формы:

$$\gamma_K = \sqrt{\gamma_R^2 + \gamma_t^2 + \gamma_{R_k}^2 + \gamma_{CT}^2 + \gamma_{KB}^2}$$

5. Производственная погрешность  $\gamma_R$ :

$$\begin{aligned} \gamma_R &= 0.10 \div 0.15 && \text{для масочного метода.} \\ \gamma_R &= 0.05 \div 0.10 && \text{для фотолитографии.} \end{aligned}$$

6. Температурная погрешность  $\gamma_t$ :

$$\gamma_t = \alpha_R \cdot (t_{max} - 20^0 C)$$

7. Погрешность за счет старения пленки  $\gamma_{ст}$ :

$$\gamma_{ст} = \frac{(0.01 \div 0.03)\tau}{1500},$$

$\tau$  — время наработки на отказ (8000 ÷ 15000) ч.

8. Погрешность переходных сопротивлений контактов  $\gamma_{R_K}$ :

$$\gamma_{R_K} = (0.01 \div 0.02)$$

9. Погрешность воспроизведения резистивной пленки  $\gamma_{КВ}$ :

$$\gamma_{КВ} = (0.01 \div 0.03)$$

10. Технологически реализуемая ширина резистора  $b_{min}^T$ :

$$\begin{aligned} b_{min}^T &= 200\text{мкм} && \text{для масочного метода.} \\ b_{min}^T &= 100\text{мкм} && \text{для фотолитографии.} \end{aligned}$$

11. Ширина резистора, определяемая точностью изготовления  $b_{min}$ :

$$\begin{aligned} b_{min} &= b + \Delta b \\ \Delta b &= \Delta l \geq 10\text{мкм} && \text{для масочного метода.} \\ \Delta b &= \Delta l \geq 5\text{мкм} && \text{для фотолитографии.} \end{aligned}$$

12. Ширина резистора при которой обеспечивается заданная мощность  $b_{min}^P$ :

$$b_{min}^P = \sqrt{\frac{P}{K \cdot P_0}},$$

где  $P_0$  — удельная мощность рассеивания резистивной пленки.

13. Выбор ширины резистора  $b$ :

$$b = \max\{b_{min}^T, b_{min}, b_{min}^P\},$$

округлить  $b$  с учетом масштаба топологии  $\Delta$ .

14. Длина резистора  $l$ :

$$l = K \cdot b,$$

округлить  $l$  с учетом масштаба топологии  $\Delta$ .

15. Фактическая нагрузка по мощности  $P_0^\Phi$  и погрешность коэффициента формы  $\gamma_K^\Phi$ :

$$\begin{aligned} S_R &= l \cdot b \\ P_0^\Phi &= \frac{P}{S_R} \\ \gamma_K^\Phi &= \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta b}{b} \end{aligned}$$

16. Проверка условий:

$$P_0^\Phi \leq P_0, \quad \gamma_K^\Phi \leq \gamma_k$$

если условия выполняются — расчет резистора окончен,  
если условия не выполняются нужно увеличить  $b$  или расширить допуск  $\gamma_R$ .

## Расчет пленочных конденсаторов

Исходные данные: номинал емкости  $C$ , рабочее напряжение  $U_P$ , коэффициент формы обкладок конденсатора  $K_C$

1. Минимальная толщина диэлектрика  $d_{min}$ :

$$d_{min} = \frac{U_P K_3}{E_{пр}},$$

$$K_3 = 2 \div 3$$

2. Относительная погрешность изготовления ёмкости  $\gamma_C$ :

$$\gamma_c = \sqrt{\gamma_{c_0}^2 + \gamma_S^2 + \gamma_{ct}^2 + \gamma_{ст}^2}$$

3. Относительная погрешность удельной ёмкости  $\gamma_{c_0}$ :

$$\gamma_{c_0} = 0.03 \div 0.05$$

4. Относительная температурная погрешность конденсатора  $\gamma_{ct}$ :

$$\gamma_{ct} = \alpha_C (t_{max} - 20^{\circ}C)$$

5. Относительная погрешность, обусловленная старением пленок конденсатора  $\gamma_{ст}$ :

$$\gamma_{ст} = \frac{(0.02 \div 0.03)\tau}{1500},$$

$\tau$  — время наработки на отказ ( $8000 \div 15000$ ) ч.

6. Коэффициент формы обкладок конденсатора  $K_C$ :

$$K_C = \frac{a_0}{b_0}$$

7. Относительная погрешность активной площади конденсатора  $\gamma_S$ :

$$\gamma_S = \sqrt{\gamma_C^2 - \gamma_{c_0}^2 - \gamma_{ct}^2 - \gamma_{ст}^2} = \frac{\Delta a_0 (1 + K_C)}{\sqrt{K_C S}},$$

$$\Delta a_0 = \Delta b_0 = 50 \div 100 \text{ мкм}$$

8. Удельная ёмкость, обусловленная электрической прочностью  $C_0^E$ :

$$C_0^E = \frac{0.0885\epsilon}{d}$$

(Значение  $C_0^E$  выбирается из таблицы)

9. Удельная ёмкость, обусловленная точностью изготовления  $C_0^{\Pi}$ :

$$C_0^{\Pi} = C \left( \frac{\gamma_S}{\Delta a_0} \right)^2 \frac{K_C}{1 + K_C^2}$$

10. Минимальное значение удельной ёмкости  $C_0$ :

$$C_0 \leq \min [C_0^E, C_0^{\Pi}]$$

11. Фактическое значение толщины диэлектрика  $d$ :

$$d = \frac{0.0885\epsilon}{C_0}$$

12. Площадь верхней обкладки  $S$ :

$$S = \frac{C}{C_0}$$

13. Размеры верхней обкладки:

$$a_0 = \sqrt{K_C S}, \quad b_0 = \sqrt{\frac{S}{K_C}}$$

14. Размеры нижней обкладки:

$$A = a_0 + 2\Delta a_0 + h_{a0}$$

$$B = b_0 + 2\Delta b_0 + h_{b0}$$

$h_{a0}; h_{b0} = 0.1 \div 0.2$  мм – припуски на совмещение слоев.

15. Размеры диэлектрического слоя:

$$A_{\text{Д}} = A + 2\Delta a_0 + h_{a0}$$

$$B_{\text{Д}} = B + 2\Delta b_0 + h_{b0}$$

16. Площадь, занимаемая конденсатором  $S$ :

$$S = A_{\text{Д}} B_{\text{Д}}$$

17. Фактическое значение погрешности рабочей площади обкладки  $\gamma_S^{\Phi}$ :

$$\gamma_S^{\Phi} = \frac{\Delta a_0}{a_0} + \frac{\Delta b_0}{b_0}$$

Если условие  $\gamma_S^{\Phi} \leq \gamma^S$  не выполняется, необходимо увеличить  $d$  и провести расчеты заново.

18. Фактическое значение напряженности электрического поля  $E^{\Phi}$ :

$$E^{\Phi} = \frac{U_p}{d}$$

Если условие  $E^{\Phi} \leq E_{\text{пр}}$  не выполняется, необходимо увеличить  $d$  и провести расчеты заново.