

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

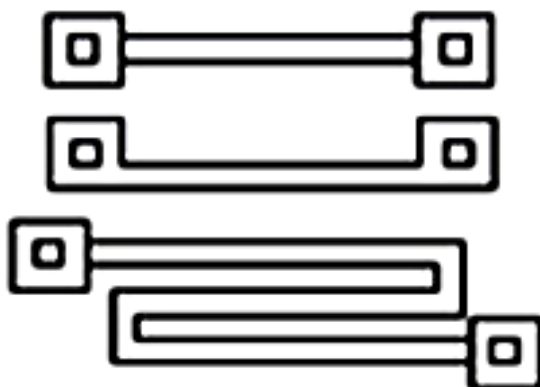
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

РАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению курсовой работы
«Расчет тонкопленочных резисторов»
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*



Воронеж 2024

УДК 621.316.8.001.24(07)
ББК 31.264.7я7

Составитель

канд. физ.-мат. наук А. С. Бадаев

Радиоматериалы и радиокомпоненты: методические указания к выполнению курсовой работы «Расчет тонкопленочных резисторов» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А. С. Бадаев. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2024. – 17 с.

Данные методические указания представляют собой рекомендации к выполнению курсовой работы по дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты». Рассматриваются вопросы получения тонкопленочных резистивных слоёв методом магнетронного распыления, изучаются основные параметры резистивных материалов, приводится порядок расчёта тонкопленочных резисторов, и формулируются задания для выполнения курсовой работы «Расчёт тонкопленочных резисторов». Тематика курсовой работы соответствует рабочей программе дисциплины «Радиоматериалы и радиокомпоненты».

Методические указания предназначены для студентов 4 курса, специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле РМиРК_КР.pdf.

Ил. 1. Табл. 3. Библиогр.: 2 назв.

УДК 621.316.8.001.24(07)
ББК 31.264.7я7

Рецензент – А. В. Останков, д-р техн. наук, профессор
кафедры радиотехники ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Цель работы

Курсовая работа ориентирована на самостоятельную работу студентов с целью:

- закрепления и расширения знаний по данной дисциплине;
- умение использовать физические эффекты и явления в твёрдых телах для создания элементной базы микроэлектронной аппаратуры;
- получения навыков применения теоретического материала для расчёта заданных параметров тонкоплёночных резисторов;
- развития умения поиска и использования научно-технической литературы;
- получения навыков использования ЭВМ для вычислений требуемых параметров тонкоплёночных резисторов в расчётной части работы.

2. ЗАДАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание № 1

Изучить физические методы получения тонких плёнок. В работу занести схему магнетронного распыления и конструкции магнетронных распылительных систем.

2.1.1. Методические указания по выполнению первого задания

Для выполнения задания необходимо ознакомиться с материалом [1], с. 256-273 обратив особое внимание на получение тонкоплёночных резистивных слоёв методом магнетронного распыления.

2.2. Задание № 2

Ознакомиться с материалами, используемыми для получения резистивных плёнок и их свойствами. В работу занести основные параметры материалов для получения тонкоплёночных резисторов.

2.2.1. Методические указания по выполнению второго задания

Для выполнения задания необходимо изучить материал [1], с. 120-129; [2], с. 30-36, 39-44.

В производстве интегральных схем требуются резисторы разных номиналов, и удельное поверхностное сопротивление тонких плёнок должно иметь большой диапазон $10\text{-}10^5 \text{ Ом/м}^2$.

В качестве резистивных материалов тонкоплёночных резисторов используют металлы, сплавы с высоким электрическим сопротивлением и специальные резистивные материалы – керметы, которые состоят из металла и диэлек-

трика (например, Cr, SiO). Наиболее широко применяются металлические плёнки хрома, тантала, вольфрама, молибдена, нихрома.

Резисторы из чистых металлов имеют основное преимущество – постоянство состава и однородность структуры, определяющие повышенную стабильность их электрических параметров. Тугоплавкие металлы: хром, тантал, рений, вольфрам, молибден образуют стабильные плёнки. Широко применяются нихромовые сплавы (80% Ni+20% Cr; 75% Ni+20% Cr + 2.5% Al+2.5% Cu). Состав плёнки влияет на её свойства. ТКР нихромовых плёнок зависит от толщины, но имеется довольно широкая область значений ТКР, близких к нулю.

На основе керметов получают высокоомные резисторы. Наиболее широко применяется кермет, в состав, которого входят хром и монооксид кремния (50 - 90% Cr + 50 - 10% SiO). В зависимости от содержания хрома можно получить резистивные плёнки с $\rho_s = 10^2 - 10^4 \text{ Ом/м}^2$, обладающие высокой стабильностью. Однако свойства керметных плёнок в сильной степени зависят от технологических факторов, резисторы имеют худшую воспроизводимость номиналов и большой ТКР по сравнению с металлическими плёнками.

В настоящее время промышленностью освоена большая группа металлооксидных сплавов системы Cr – Si, легированных добавками железа, никеля, кобальта, вольфрама (РС – 3001, РС – 3710, РС – 5604 и др.). При сравнительно малом ТКР и высокой стабильности воспроизводимости удельных поверхностных сопротивлений диапазон номиналов сплавов РС достаточно широк: 0,05 – 50 кОм/м².

В табл. 1 приведены основные параметры некоторых резистивных материалов.

Таблица 1

Параметры основных материалов тонкоплёночных резисторов

Материал	Диапазон ρ_s , Ом/м ²	Диапазон номинальных значений сопротивлений, Ом	ТКР при T = (-60 ÷ 125)°C	Допустимая удельная мощность рассеяния P_0 , Вт/см ²
Хром	10-500	50-10 ⁴	10 ⁻⁴	1
Тантал	10-300	10 ² - 10 ⁴	-2·10 ⁻⁴	3
Нихром	(1-10)·10 ⁴	10-5·10 ⁴	10 ⁻⁴	2
РС – 3001	10 ³	10 ³ -10 ⁵	-2·10 ⁻⁵	2
МЛТ –3М	5·10 ²	10 - 5·10 ⁴	-2·10 ⁻⁴	2
Кермет	3·10 ³	10 ³ – 10 ⁴	3·10 ⁻⁴	2
Кермет	5·10 ³	10 ³ -10 ⁵	-4·10 ⁻⁴	2

2.3. Задание № 3

Изучить конструкцию и основные параметры тонкоплёночных резисторов.

2.3.1. Методические указания к выполнению третьего задания

На рис. 1 показана конструкция и наиболее распространенные конфигурации тонкоплёночных резисторов.

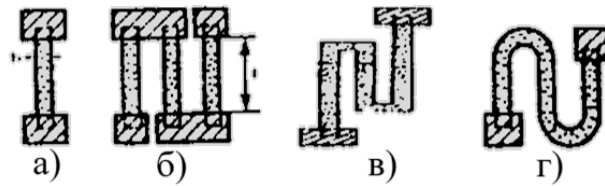


Рис. 1. Конфигурации тонкоплёночных резисторов: а – полоска; б – составной из полосок; в – меандр; г - змейка

Плёночные резисторы должны обладать заданным номиналом сопротивления, высокой стабильностью сопротивления во времени, интервале температур, малыми значениями паразитных параметров, требуемой мощностью рассеивания и минимальной площадью.

Значение сопротивления плёночного резистора

$$R = \rho_v \frac{1}{b \cdot d} + 2R_k = \rho_s \frac{1}{b} + 2R_k = \rho_s K_\phi + 2R_k, \quad (1)$$

где ρ_v – удельное объемное сопротивление; l , b , d , – соответственно длина, ширина, толщина резистора; ρ_s – удельное поверхностное сопротивление; K_ϕ – коэффициент формы; R_k – сопротивление областей контактов.

Для резисторов обычно $R_k \ll \rho_s$, поэтому $R = \rho_s \cdot K_\phi$.

Нужно заметить, что сопротивление квадрата не зависит от размеров квадрата. Размеры контактной области должны быть такими, чтобы резистивная и проводящая плёнки перекрывались и обеспечивалось $R_k < 10 \text{ Ом}$.

Температурный коэффициент сопротивления (TKR) определяется, в основном, нестабильностью удельного поверхностного сопротивления.

$$TKR = \left(\frac{\Delta R}{R} \right)_T = \alpha_s \cdot \Delta T. \quad (2)$$

Коэффициент старения резистора ($K_{ст}$) определяет временную нестабильность ρ_s и, следовательно, сопротивления

$$K_{cm} = \frac{\Delta \rho_s}{\rho_s} \Delta t, \quad (3)$$

где Δt – промежуток времени старения.

Нагрузочная способность плёночных резисторов определяется удельной мощностью рассеивания P_0 . Значение удельной мощности ограничивается максимальной рабочей температурой резистивной плёнки. Для тонкоплёночных резисторов $P = (1-3) \text{ Вт/см}^2$.

При масочном методе изготовления резисторов расстояние между соседними полосками должно быть не менее 300 мкм, при фотолитографическом методе – 100 мкм, при электронно-лучевом – 10 мкм. Длина резистивных плёнок не должна превышать расстояние «а» более чем в 40 раз. Точность изготовления резисторов типа «меандр», «змейка» не превышает 20 %. Для получения большей точности рекомендуется применять топологии, показанные на рис.3.б, или выполнять резистор методом фотолитографии. Точность изготовления линейных размеров плёнок и расстояния между ними Δl , Δb , Δa , обычно порядка 10 мкм.

Конструктивный расчёт тонкоплёночных резисторов заключается в определении формы, геометрических размеров и минимальной площади резистора на подложке. При этом необходимо, чтобы обеспечивалось рассеяние заданной мощности и точность α_r в условиях существующих технологических возможностей.

Исходные данные для расчёта: номинал резистора R_i , допуск на номинал α_r (%), мощность рассеивания P_c , рабочий интервал температур $T_{\max} - T_{\min}$.

2.4. Задание № 4

Изучить методику расчёта тонкоплёночных резисторов.

2.4.1. Методические указания к выполнению четвёртого задания

Порядок расчёта:

1. Определяется оптимальное сопротивление квадрата резистивной плёнки

$$\rho_{s,onn} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \right)^{1/2}, \quad (4)$$

где n - число резисторов; R_i - номинал i -го резистора.

По табл.1 параметров резистивных материалов выбирается резистивный материал с ρ_s , ближайшим по значению к расчётному $\rho_{s,onn}$, соответственно определяются ТКР и P_0 выбранного резистивного материала.

2. Проводится проверка правильности выбранного материала с точки зрения точности изготовления резисторов.

Полная относительная погрешность изготовления резисторов α_R состоит из суммы погрешностей

$$\alpha_R = \frac{\Delta R}{R} = \alpha_\phi + \alpha_s + \alpha_T + \alpha_{CT} + \alpha_K, \quad (5)$$

где α_ϕ , α_s , α_T , α_{CT} , α_K , - соответственно погрешности, обусловленные коэффициентом формы, разбросом величины ρ_s , диапазоном рабочей температуры, старением плёнки, разбросом переходных сопротивлений контактов.

Погрешность α_ϕ зависит от разброса геометрических размеров длины l и ширины b резистора:

$$\alpha_\phi = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta b}{b}. \quad (6)$$

Погрешность воспроизведения удельного поверхностного сопротивления α_s зависит от способа получения и материала резистора. В условиях серийного производства $\alpha_s < 5 \%$.

Температурная погрешность α_T зависит от ТКР материала:

$$\alpha_T = a_T (T_{\max} - T_{\min}), \quad (7)$$

где a_T – температурный коэффициент сопротивления.

Погрешность $\alpha_{ст}$ обусловлена медленным изменением структуры плёнки при хранении и эксплуатации. Обычно для ГИС $\alpha_{ст} < 3 \%$.

Погрешность переходных сопротивлений контактов α_k зависит от материала, размеров контактной площади, материала резистивной плёнки. Обычно для ГИС $\alpha_k < 2 \%$.

Допустимая погрешность коэффициента формы

$$\alpha_\phi = \alpha_R - \alpha_s - \alpha_T - \alpha_{ст} - \alpha_k. \quad (8)$$

Если значение $\alpha_{\phi\max}$ отрицательно, то это означает, что изготовление резистора заданной точности из выбранного материала невозможно. В этом случае надо выбрать материал с меньшим ТКР, либо использовать подгонку резисторов.

3. Определяют топологию резисторов по значению K_ϕ .

$$K_\phi = \frac{R}{\rho_s}. \quad (9)$$

При $1 < K_\phi < 10$ рекомендуется прямоугольная форма резисторов. При $K_\phi > 10$ – резистор сложной формы, при $0,1 < K_\phi < 10$ – резистор прямоугольной формы, у которого длина меньше ширины.

Если в одной схеме содержатся высокоомные и низкоомные резисторы, можно использовать два резистивных материала.

4. Резистор прямоугольной формы. Сначала определяют ширину резистора. Расчётное значение ширины должно быть не менее наибольшего значения одной из трёх величин:

$$b_{расч} > \max(b_{техн}; b_{точн}; b_p), \quad (10)$$

где $b_{\text{техн}}$, $b_{\text{точн}}$, b_p - минимальная ширина, определяемая соответственно возможностью технологического процесса, точностью изготовления, заданной мощностью рассеивания:

$$b_{\text{точ}} > \frac{\Delta b + \frac{\Delta l}{K_\phi}}{\alpha_{\phi \max}}. \quad (11)$$

Минимальная ширина резистора, при которой обеспечивается заданная мощность

$$b_p = \left(\frac{P}{P_0 \cdot K_\phi} \right)^{1/2}. \quad (12)$$

Затем определяется длина резистора:

$$l_{\text{расч}} = b \cdot K_\phi. \quad (13)$$

Затем выбирается полная длина резистора с учётом перекрытия контактных площадок

$$l_{\text{полн}} = d + 2c \quad (14)$$

где c – размер перекрытия.

Площадь резистора:

$$S = l_{\text{полн}} \cdot b. \quad (15)$$

Если $K_\phi < 1$, сначала определяют длину, затем ширину резистора:

$$l_{\text{расч}} > \max(l_{\text{техн}}; l_{\text{точн}}; l_p); \quad (16)$$

$$l_{\text{точн}} > \frac{\Delta l + \frac{\Delta b}{K_\phi}}{\alpha_{\phi, \max}}; \quad (17)$$

$$l_p = \left(\frac{P \cdot K_\phi}{P_0} \right)^{1/2}; \quad (18)$$

$$b_{\text{расч}} = \frac{l}{K_\phi}. \quad (19)$$

Для проверки расчёта находят действительную удельную мощность и погрешность резистора. Резистор спроектирован правильно, если:

1. Действительная мощность рассеяния $P_{0, \text{дейст}}$ не превышает допустимую $P_{0, \text{доп}}$:

$$P_0 = \frac{P}{S} < P_{0, \text{доп}}. \quad (20)$$

2. Действительная погрешность формы $K_{\Phi \text{ дейст}}$ не превышает допустимого значения $\alpha_{\Phi, \text{доп}}$:

$$\alpha_{\Phi} = \frac{\Delta l}{l_{\text{полн}}} + \frac{\Delta}{b} < \alpha_{\Phi, \text{доп}}. \quad (21)$$

3. Суммарная погрешность сопротивления не превышает допуска

$$\alpha_R = \alpha_{\Phi} + \alpha_S + \alpha_T + \alpha_{CT} + \alpha_K < \alpha_{R, \text{доп}}. \quad (22)$$

Если $K_{\Phi} > 10$, необходимо выбирать сложную форму резистора (см. рис. 1). При конструировании резистора в виде отдельных полосок, соединенных проводящими перемычками, сумма длин резистивных полосок должна быть равна длине, определяемой по формуле $l = b \cdot K_{\Phi}$.

Расчёт меандра проводится после определения ширины b в такой последовательности.

Определяется длина средней линии меандра $l_{\text{ср}} = b \cdot K_{\Phi}$, задается расстояние между полосками a (обычно $a = b$) с учётом технологических ограничений.

Определяется максимум меандра $t = a + b$. Затем определяется оптимальное число звеньев меандра $n_{\text{опт}}$ (минимальная площадь при $L = B$):

$$n_{\text{опт}} = \left(\frac{l_{\text{ср}}}{t} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (23)$$

При $L = B$ и $a = b$

$$n_{\text{опт}} = \left(\frac{K_{\Phi}}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

Длина меандра

$$L = n(a + b), \quad (25)$$

Ширина меандра

$$B = \frac{l_{cp} - a \cdot n}{n}, \quad (26)$$

где n – число звеньев, округленное до целого числа.

2.5. Задание № 5

Провести расчёт тонкоплёночных резисторов, используя исходные данные для расчёта: номинал резистора R_i (Ом), число резисторов n , допуск на номинал α_R (%), мощность рассеивания P_c (Вт).

Возможные варианты исходных данных для выполнения курсовой работы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты исходных данных для расчёта тонкоплёночных резисторов

№ варианта	R_i , Ом	n	α_R , %	P_c , Вт
1	10^3	1	10	0,5
2	10	1	10	1
3	12	1	12	2
4	$6,8 \cdot 10^3$	1	15	0,125
5	$470 \cdot 10^3$	1	10	0,5
6	10^5	1	10	1
7	$2,2 \cdot 10^3$	1	15	0,125
8	150	1	10	2
9	100	1	12	2
10	$680 \cdot 10^3$	1	10	0,5
11	$3,3 \cdot 10^3$	1	10	1
12	$47 \cdot 10^3$	1	15	0,125
13	10^5	1	15	0,125
14	200	1	10	2
15	$15 \cdot 10^3$	1	10	0,5
16	470	1	12	2
17	10^6	1	10	0,5
18	330	1	12	0,5
19	$220 \cdot 10^3$	1	10	0,125
20	10^4	1	15	1

3. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЁМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа оформляется на листах белой бумаги формата А4 (210x297мм) одним из следующих способов:

Рукописным с одной стороны листа с высотой букв не менее 3,5 мм, на странице 29 – 30 строк;

Машинописным – через 1,5 интервала на одной стороне листа.

С применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (допускается на нестандартных листах), (шрифт 14 через 1,5 интервала).

Оформление курсовой работы должно быть выполнено в соответствии с требованиями, регламентированными стандартами, ЕСКД к текстовым документам.

Титульный лист оформляется в соответствии с Приложением. Ниже проводится последовательность расположения обязательного текстового материала курсовой работы и объем:

1. Титульный лист.
2. Замечания руководителя.
3. Техническое задание на курсовую работу.
4. Введение.
5. Анализ задания на курсовую работу.
6. Физико-технологические основы метода получения резистивных плёнок, свойства резистивных материалов, конструкция и основные параметры плёночных резисторов.
7. Расчётная часть.
 - а) Вывод основных соотношений.
 - б) Проведение численных расчётов.
 - в) Алгоритм решения задачи на ЭВМ.
 - г) Анализ результатов расчёта.
8. Заключение.
9. Литература.

Указанной последовательности изложения текстового материала соответствует минимальный перечень вопросов, которые должны быть освещены в курсовой работе. При рассмотрении вопросов, выходящих за рамки данного перечня, должны быть введены дополнительные разделы или подразделы (например, экспериментальная проверка полученных результатов).

Объём курсовой работы (без приложений должен составлять 17-20 с. – в зависимости от способа оформления работы).

4. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Выполнение курсовой работы рекомендуется организовать по следующему плану:

1. Изучить и проанализировать задание на курсовую работу.
2. Завести рабочую тетрадь.
3. В научно–технической библиотеке по тематическому каталогу подобрать книги и журналы по утверждённой теме курсовой работы. Для облегчения поиска литературы, соответствующей теме курсовой работы, следует использовать подборку ключевых слов. Согласовать с руководителем список литературы, имеющей основное значение для выполнения курсовой работы (2-3 источника).
4. Изучить и законспектировать наиболее важные разделы основной литературы в рабочей тетради.

5. Составить литературный обзор по теме курсовой работы, критически рассмотрев научно-практические достижения и недоработки по рассматриваемому вопросу. В конце литературного обзора формулируется цель данной курсовой работы.
6. Изложить теоретическую часть вопроса, уделив основное внимание физико-химическим аспектам технологического процесса: привести аналитические выражения для расчёта, требуемого параметра.
7. Разработать алгоритм решения задачи на ЭВМ, составить программу и провести расчёт.
8. Проанализировать полученные результаты, при необходимости скорректировать программу и провести повторный расчёт на ЭВМ.
9. Сделать выводы из полученных результатов.
10. Оформить курсовую работу.

Для курсовых работ, предусматривающих проведение экспериментальных исследований, в плане должно быть предусмотрено:

- описание экспериментальной установки, расчётные соотношения для определения требуемого параметра, точность его определения;
- представление экспериментальных результатов в виде графиков и таблиц.

Результаты каждого этапа работы в обязательном порядке согласовываются с руководителем курсовой работы.

Согласно учебному графику на выполнение курсовой работы отводится 12 – 14 недель. Календарный план выполнения курсовой работы приведён в табл. 3.

Таблица 3

Календарный план выполнения курсовой работы

Наименование этапов выполнения курсовой работы	Срок выполнения (недели)	Процент выполнения
Изучение задания, подбор литературы	2	15
Анализ задания, подготовка литературного обзора.	4	30
Теоретическое рассмотрение физических основ проблемы	7	60
Проведение расчётов основных характеристик тонкоплёночных резисторов	10	80
Анализ полученных результатов	12	90
Оформление курсовой работы	14	100

В процессе выполнения курсовой работы студент обязан регулярно, не менее одного раза в неделю, консультироваться с руководителем.

Защита курсовой работы проводится на 14 – 15 неделе семестра. При этом не менее, чем за 5 дней до назначенного срока защиты курсовая работа представляется руководителю на проверку. При наличии ошибок работа возвра-

щается с перечислением ошибок и замечаний для исправления или переработки, после чего производится повторная проверка работы.

В процессе защиты студент делает 10 минутный доклад о кратком содержании работы и отвечает на поставленные вопросы. При оценке курсовой работы принимается во внимание творческий подход к данной проблеме; полнота знаний по выбранной теме исчерпывающие ответы на заданные вопросы; качество оформления проекта.

Повторная защита курсовой работы с целью повышения положительной оценки допускается только при высоком качестве выполнения курсовой работы и только по направлению деканата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефимов И.Е. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надёжность: учеб. пособие/ И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь, Ю. И. Горбунов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 464с.
2. Чернышев А.В. Радиоматериалы. Ч. II: Проводниковые, полупроводниковые и магнитные материалы: учеб. пособие/ А.В. Чернышёв, А.С. Бадаев. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. – 235с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИМЕР ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

КУРСОВАЯ РАБОТА
по дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты»
по теме «Расчёт тонкоплёночных резисторов»

Работу выполнил
студент группы _____

Фамилия, инициалы _____

(подпись)

Руководитель

Учёная степень и звание

Фамилия, инициалы _____

(подпись)

Воронеж 20__

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.....	3
1.1. Цель работы.....	3
2. ЗАДАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ.....	3
2.1. Задание № 1.....	3
2.1.1. Методические указания по выполнению первого задания.....	3
2.2. Задание № 2.....	3
2.2.1. Методические указания по выполнению второго задания.....	3
2.3. Задание № 3.....	4
2.3.1. Методические указания к выполнению третьего задания.....	5
2.4. Задание № 4.....	6
2.4.1. Методические указания к выполнению четвёртого задания.....	6
2.5. Задание № 5.....	10
3. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЁМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	10
4. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ	11
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	14
ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРИМЕР ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА.....	15

РАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению курсовой работы
«Расчет тонкопленочных резисторов»
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Составитель

Бадаев Андрей Станиславович

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 29.05.2024.

Уч.-изд. л. 0,8.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет» 394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84