

Министерство образования и науки Российской Федерации
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА (КУДР)

Н.И.Кузбных

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОВОЛОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине “Перспективная элементная база РЭС” для студентов заочного факультета специальности 210201 Проектирование и технология радиоэлектронных средств

2013

СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ	3
2 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ	3
3 РАСЧЕТ ПРОВОЛОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ.....	4
3.1 Методика расчета резистивного элемента проволочного резистора постоянного сопротивления.....	4
3.2 Расчет резистивного элемента проволочного резистора переменного сопротивления.....	6
4 РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗИСТОРА.....	7
4.1 Расчет технологической погрешности.....	7
4.2. Расчет температурной погрешности.....	8
4.3. Полная погрешность.....	8
5 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЕЗИСТОРА.....	9
6 ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	9
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	9
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОВОЛОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ....	10

1 ВВЕДЕНИЕ

Резисторы - это электрорадиоэлементы, предназначенные для создания в электрических цепях активного сопротивления. В радиоэлектронных цепях они используются в качестве делителей напряжения, элементов нагрузки, элементов связи и т.д. Проволочные резисторы наиболее широко применяются как элементы нагрузки, а также в качестве регулировочных и подстроечных элементов.

В данных методических указаниях на основе рекомендаций [1,2] предложена методика проектирования проволочных резисторов постоянного и переменного сопротивления, даны рекомендации по выполнению расчетов и оформлению контрольной работы и приведены варианты заданий (приложение). Методические указания рекомендованы студентам заочного факультета при выполнении контрольной работы.

2 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Прежде, чем приступить непосредственно к проектированию (расчету) резистора, необходимо провести анализ технического задания (ТЗ). В результате анализа исходных данных задания согласно рекомендациям [1-3] уточняются условия эксплуатации, проводится обоснование и выбор возможных конструктивных решений, выбираются основные и конструкционные материалы, выбирается способ защиты резистивного элемента от влаги и т.д.

Так как в ТЗ указывается лишь степень жесткости на условия эксплуатации, то необходимо по ГОСТ 16962.1-79 определить: пределы изменения температуры среды, допустимые изменения давления, предельно допустимую относительную влажность воздуха.

Исходя из задания выбрать и обосновать:

- конструкцию резистора;
- конкретные материалы (указать марку и ГОСТ или ТУ) каркаса, резистивного элемента (проволоки), выводов, скользящего контакта, токосъемной пружины (для резистора переменного сопротивления) и др. элементы конструкции резистора;
- тип намотки резистивного элемента (однослойная сплошная или шаговая, многослойная рядовая или в "навал", бифилярная и т.д.);
- способ защиты резистивного элемента от влаги (пропитка, обволакивание, капсулирование и т.д.).

Материалы каркаса и проволоки выбираются, прежде всего, исходя из заданных величин номинального сопротивления, рассеиваемой мощности и допустимых отклонений сопротивления от номинального.

Конструкция каркаса и тип намотки резистивного элемента выбираются в соответствии с назначением резистора и величинами номинального сопротивления и рассеиваемой мощности. Если проектируется резистор переменного сопротивления или регулируемый (со средним выводом), то тип на-

мотки может быть только в один слой. Для резисторов постоянного сопротивления с большим номинальным сопротивлением и относительно малой рассеиваемой мощностью рекомендуется использовать многослойную намотку рядовую или в "навал".

3 РАСЧЕТ ПРОВОЛОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

3.1 Методика расчета резистивного элемента проволочного резистора постоянного сопротивления

3.1.1 Исходя из заданных условий эксплуатации (минимальной и максимальной температуры среды – $t_{C.min}$ и $t_{C.max}$ и минимального давления воздуха – H_{min}) и допустимого отклонения сопротивления δR задаются допустимой температурой перегрева провода резистора Δt относительно $t_{C.max}$.

Для оценки величины Δt рекомендуется ориентировочно определить технологическую погрешность для выбранных провода и технологии изготовления резистора, найти допустимую погрешность от температурной нестабильности

$$\delta R_t = \delta R - \delta R_{ТЕХ} \quad (3.1)$$

и найти Δt из формулы

$$\delta R_t \geq \alpha_0 \cdot (t_{max} + \Delta t - 20), \quad (3.2)$$

где α_0 – температурный коэффициент изменения удельного сопротивления проволоки. Находится из справочных данных.

3.1.2 По графику зависимости $\Delta t = f(S_0)$ [1, с.83, рисунок 2.14] или [2, с.94, рисунок 2.8] определяется удельная площадь рассеяния мощности резистора S_0 .

3.1.3 Рассчитывается необходимая площадь рассеяния (площадь охлаждения) резистора по формуле

$$S = P_H \cdot S_0 / K, \quad (3.3)$$

где K – коэффициент, учитывающий пониженное давление воздуха

$$K = 0,5 \cdot \left(1 + \sqrt{H_{max} / H_{НОР}}\right), \quad (3.4)$$

где $H_{НОР}$ – нормальное давление воздуха (101 кПа).

3.1.4 Определяется диаметр провода без изоляции d .

Для однослойной намотки можно воспользоваться выражениями для определения длины провода L из условий обеспечения заданного сопротивления R_H и необходимой площади охлаждения S

$$L = \pi \cdot d^2 \cdot R_H / (4 \cdot \rho), \quad (3.5)$$

$$L = S / (K_y \cdot d). \quad (3.6)$$

Отсюда следует

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot S}{\pi \cdot K_y \cdot R_H}}, \quad (3.76)$$

где K_Y – коэффициент укладки (неплотности намотки). На первом этапе принимается $K_Y = 1,25$, а затем уточняется в зависимости от величины d по таблице 3.1.

Для многослойной намотки

$$L = \pi \cdot d^2 \cdot R_H / (4 \cdot \rho) = S \cdot n_{СЛ} / (K_Y \cdot d), \quad (3.8)$$

а диаметр провода, соответственно, будет равен

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot S \cdot n_{СЛ}}{\pi \cdot K_Y \cdot R_H}}, \quad (3.9)$$

где $n_{СЛ}$ – количество слоев резистивного элемента. На начальном этапе $n_{СЛ}$ задается, а затем уточняется. Если выводы делаются с двух сторон, то $n_{СЛ}$ должно быть равно нечетному числу.

3.1.5 Выбирается из [1, с.622, таблица П-5] стандартный диаметр провода d и уточняется коэффициент неплотности намотки $K_Y = f(d)$ по таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Зависимость коэффициента неплотности намотки от диаметра провода (без изоляции)

$d, \text{ мм}$	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.70...1.00
K_Y	1.30	1.24	1.17	1.13	1.11	1.09	1.08

3.1.6. Уточняется площадь охлаждения резистора: при однослойной намотке

$$S = \pi \cdot K_Y \cdot d^3 \cdot R_H / (4 \cdot \rho); \quad (3.10)$$

при многослойной намотке

$$S = \pi \cdot K_Y \cdot d^3 \cdot R_H / (4 \cdot \rho \cdot n_{СЛ}). \quad (3.11)$$

3.1.7. Рассчитывается длина провода по формуле (3.5).

3.1.8. Определяются размеры каркаса – диаметр D и длина намотки l .

Для цилиндрического каркаса и однослойной намотки задаются диаметром D и рассчитывают длину намотки l по формуле

$$l = S / (\pi D), \quad (3.12)$$

либо задаются соотношением $l/D \geq (1,5...3)$ [3] и рассчитывают диаметр и длину намотки

$$D = \sqrt{\frac{S}{\pi \cdot (l/D)}}, \quad l = D \cdot (l/D). \quad (3.13)$$

Для цилиндрического каркаса и многослойной намотки задаются внутренним диаметром намотки (каркаса) $D_{ВН}$ и рассчитывают наружный диаметр намотки $D_{НАР}$ и длину намотки l

$$D_{НАР} = D_{ВН} + 2 \cdot n_{СЛ} \cdot d_{ИЗ}, \quad l = S / (\pi \cdot D_{НАР}), \quad (3.14)$$

где $d_{ИЗ} = d + \Delta_{ИЗ}$ – диаметр провода с изоляцией определяется в соответствии с типом выбранной изоляции ($\Delta_{ИЗ}$) по [1, с.622, таблица П-6] и величиной диаметра провода d .

Для плоского каркаса и однослойной намотки задаются толщиной δ и шириной b каркаса и рассчитывают длину намотки

$$l \geq S / 2(\delta + b). \quad (3.15)$$

3.2 Расчет резистивного элемента проволочного резистора переменного сопротивления

Методика расчета резистивного элемента проволочного резистора переменного сопротивления та же, что и для резистора постоянного сопротивления. К особенностям расчета следует отнести некоторые ограничения, обусловленные его конструкцией.

Обычно подстроечные резисторы выполняются либо реостатного, либо цилиндрического типа, а регулировочные выполняются преимущественно цилиндрического типа. Соответственно, резистивный элемент будет иметь либо цилиндрическую, либо кольцевую конструкцию. Намотка резистивных элементов резисторов переменного сопротивления осуществляется только в один слой – сплошная или шаговая. Кольцевой резистивный элемент обычно выполняется на гибком ленточном каркасе, а затем сворачивается в кольцо и закрепляется на керамическом каркасе (основании).

Длина ленточного резистивного элемента будет определяться диаметром резистора и допустимым углом поворота, а ширина, соответственно, номинальным сопротивлением и законом изменения сопротивления от угла поворота. В случае нелинейного закона изменения сопротивления ширина ленточного каркаса будет изменяться по длине в соответствии заданному закону. В частном случае для кусочно-линейного закона каркас будет иметь ступенчатую форму. Расчет резистивного элемента в таком случае ведется для каждого линейного участка в отдельности.

4 РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗИСТОРА

4.1 Расчет технологической погрешности

4.1.1 Полный технологической разброс величины сопротивления резистора складывается из следующих основных составляющих:

$$\delta R_{ТЕХ} = \delta R_{\Pi} + \delta R_{H} + \delta R_{C} + \delta R_{Д}, \quad (4.1)$$

где δR_{Π} – погрешность от разброса сопротивления погонного метра провода;

δR_{H} – погрешность, обусловленная механическими напряжениями провода, создаваемыми при намотке резистора (растяжение, изгиб);

δR_{C} – погрешность, обусловленная разбросом параметров каркаса;

$\delta R_{Д}$ – погрешность, обусловленная отклонением длины провода.

Наибольшую величину в технологическую погрешность вносят первые две составляющих.

4.1.2 Погрешность сопротивления погонного метра провода δR_{Π} складывается из погрешностей, обусловленных изменением диаметра провода d и удельного сопротивления материала провода ρ

$$\delta R_{\Pi} = 2 \cdot \delta d + \delta \rho. \quad (4.2)$$

Значения δd и $\delta \rho$ берутся из справочных данных для выбранного провода [1, 4]. Обычно в стандартах и ТУ (в справочниках) приводится полная погрешность δR_{Π} , например, для нихромов приведены в [4, с.270, таблица 12.38].

4.1.3 Погрешность, обусловленная механическими напряжениями провода, рассчитывается по формуле

$$\delta R_{H} = (1 + 2\mu) \cdot \sigma / E + \delta \rho, \quad (4.2)$$

где μ – коэффициент Пуассона;

σ – удельное натяжение провода при намотке, $кг/мм^2$;

E – модуль упругости (Юнга), $кг/мм^2$.

Все приведенные в формуле (4.2) величины справочные. Так, например, для нихрома $E \approx 27104 кг/мм^2$; $\mu = 0,25...0,4$; $\sigma_{ПРЕД} \approx 70 кг/мм^2$. В области упругих деформаций величина $\delta \rho$ относительно мала и ею можно пренебречь. Тогда $\delta R_{H} \approx 0,6 \%$.

4.1.4 Погрешность, обусловленная разбросом параметров каркаса может быть рассчитана по следующим формулам:

для цилиндрического резистора

$$\delta R_{C} = \Delta D_{K} / (D_{K} + d); \quad (4.3)$$

для плоского резистора

$$\delta R_{C} = (\Delta b + \Delta \delta) / (b + \delta + 2d), \quad (4.4)$$

где ΔD_{K} – допуск на изготовление диаметра каркаса;

D_{K} и d – диаметры каркаса и провода;

b и δ – ширина и толщина плоского каркаса.

4.1.5. Погрешность, обусловленная отклонением длины провода, определяется как отношение сопротивления провода длиной полвитка к полному сопротивлению резистора или отношение длины половины витка к полной длине провода

$$\delta R_D = \Delta L / L, \quad (4.5)$$

где ΔL – длина провода половины витка, определяется:

для цилиндрического резистора с однослойной намоткой

$$\Delta L = \pi \cdot D / 2; \quad (4.6)$$

для цилиндрического резистора с многослойной намоткой

$$\Delta L = \pi \cdot D_{HAP} / 2; \quad (4.7)$$

для плоского резистора

$$\Delta L = b + \delta. \quad (4.8)$$

4.2. Расчет температурной погрешности

Погрешность, обусловленная температурной нестабильностью сопротивления резистора, может быть определена по формуле

$$\delta R_t = \alpha_R \cdot (t_{max} + \Delta t - 20), \quad (4.9)$$

где α_R – температурный коэффициент изменения сопротивления резистора. Определяется как сумма коэффициентов температурной нестабильности удельного сопротивления провода α_p , диаметра каркаса α_D и диаметра провода α_d

$$\alpha_R = \Delta R / (R_H \cdot \Delta t) \approx \alpha_p + \alpha_D + \alpha_d. \quad (4.10)$$

В большинстве случаев коэффициент температурной нестабильности удельного сопротивления провода значительно больше коэффициентов температурной нестабильности диаметра каркаса и диаметра провода. Поэтому в данном случае ими можно пренебречь. Тогда

$$\alpha_R \approx \alpha_p. \quad (4.11)$$

4.3. Полная погрешность

Полная погрешность сопротивления резистора, обусловленная технологическим разбросом параметров и температурной нестабильностью будет равна

$$\delta R = \delta R_{TEX} + \delta R_t. \quad (4.11)$$

Общая погрешность не должна превышать величину допустимой погрешности, указанной в задании. Если она превышает допустимую величину, то необходимо выбрать другой более стабильный резистивный материал, уменьшить температуру перегрева, повысить точность изготовления каркаса или принять другие меры. Если все же не удастся добиться необходимой точности резистора конструктивными мерами, то необходимо предусмотреть юстировку – подгонку сопротивления в процессе изготовления, но эта технологическая операция существенно увеличит стоимость резистора.

5 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЕЗИСТОРА

В задании предусматривается разработка сборочного чертежа резистора, к которому обязательно должна быть представлена спецификация.

Сборочный чертеж должен быть выполнен на ватмане или на миллиметровой бумаге в соответствии ГОСТ 2.109-68 и должен содержать 2-3 проекции с необходимыми разрезами и сечениями, раскрывающими сборочный состав, технические требования и желательные технические характеристики. На чертеже должны быть указаны позиции, габаритные и установочные размеры и др. необходимые сведения.

Спецификация является основным конструкторским документом и должна быть выполнена в соответствии ГОСТ 2.108-68. В ней должны быть представлены разделы: документация, сборочные единицы, детали, материалы и по необходимости другие разделы. Позиции должны проставляться по нарастающей.

Позиции в сборочном чертеже и в спецификации должны соответствовать. Поэтому сначала составляется спецификация, а затем номера позиций элементов конструкции проставляются на чертеже. Шрифт позиций на чертеже должен быть больше шрифта размерных цепей хотя бы на один размер.

6 ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа должна содержать расчетную часть и конструкторскую документацию. Расчетная часть должна быть выполнена в соответствие ОС ТУСУР [5] и должна содержать: задание, разделы 1-4, заключение (раздел 5) и список литературы. Допускается выполнение расчетной части в ученической тетради без оформления основной надписи. Выполнение сборочного чертежа допускается на обычной бумаге формата А4 или А3.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры.- М.: Энергия, 1977.- 656 с.

2 Кузбных Н.И., Козлов В.Г. Перспективная элементная база РЭС. Электрорадиоэлементы: Учебное пособие для студентов специальности 210201 – «Проектирование и технология РЭС».- Томск: ТУСУР, 2007.- 263 с.

3 Проволочные резисторы / Под ред. М.Т.Железнова, Л.Г.Ширшева.- М.: Энергия, 1970.- 240 с.

4 Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. – Т.3 – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 728 с. (Раздел 12).

5 ОС ТУСУР 6.1 - 97. Проекты курсовые и дипломные. Общие требования и правила оформления. – Томск: ТУСУР, 1997. – 38 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПРОВОЛОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

1 РЕЗИСТОРЫ ПОСТОЯННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

1.1 Задание

Рассчитать и сконструировать проволочный резистор постоянного сопротивления по данным, приведенным в таблице А.1, при условии, что резистор должен работать в длительном режиме.

Таблица А.1 – Варианты заданий контрольных работ
по резисторам постоянного сопротивления

Но- мер вари- анта	Конструкция каркаса резистора	Материал каркаса	Мощ- ность номи- нальная $P_N, Вт$	Сопро- тивление номи- нальное $R_N, кОм$	Погреш- ность до- пустимая $\delta R_{доп}, \%$	Степень жестко- сти по темп-ре/ давлению
1	цилиндрическая	керамика	10	75	± 10	VIII/VII
2	цилиндрическая	керамика	8	56	± 10	VII/V
3	цилиндрическая	керамика	6	24	± 5	VII/III
4	цилиндрическая	керамика	5	15	± 5	VII/III
5	цилиндрическая	керамика	2	10	± 2	V/III
6	цилиндрическая	керамика	2	7,5	± 2	V/II
7	цилиндрическая	керамика	5	5,1	± 1	V/II
8	цилиндрическая	керамика	1	3,0	± 2	V/II
9	цилиндрическая	керамика	7,5	0,15	± 5	VII/III
10	цилиндрическая	керамика	10	0,20	± 5	VII/III
11	цилиндрическая	керамика	15	0,27	± 10	VIII/V
12	цилиндрическая	керамика	20	0,47	± 10	VII/III
13	плоская	пластмасса	5	10	± 10	VII/III
14	плоская	пластмасса	2	7,5	± 5	VI/II
15	плоская	пластмасса	1	4,7	± 5	V/III
16	плоская	пластмасса	0,5	1,5	± 10	VII/III
17	плоская	слюда	2	2,7	± 5	V/III
18	плоская	слюда	1	1,5	± 2	III/III
19	плоская	слюда	0,5	1,0	± 2	V/II
20	плоская	слюда	0,25	0,5	± 1	III/I

1.2. Порядок выполнения контрольной работы

1.2.1. Провести анализ исходных данных, определить конкретные параметры условий эксплуатации по ГОСТ 16962-79, обосновать и выбрать материалы каркаса, провода и выводов.

1.2.2. Рассчитать диаметр провода, размеры каркаса и габаритные размеры резистора.

1.2.3. Рассчитать погрешности резистора, обусловленные производственным разбросом и эксплуатационными факторами. Суммарное значение погрешности не должно превышать величину, указанную в таблице А.1.

1.2.4. Разработать конструкцию резистора, выполнить сборочный чертеж и спецификацию согласно требованиям ГОСТ 2.109 и ГОСТ 2.108.

2 РЕЗИСТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

2.1 Задание

Рассчитать и сконструировать проволочный резистор переменного сопротивления по данным, приведенным в таблице А.2, при условии, что резистор должен работать в длительном режиме.

Таблица А.2 – Варианты заданий контрольных работ по резисторам переменного сопротивления

Но- мер вари- анта	Сопротив- ление но- минальное $R_N, \text{кОм}$	Мощность номи- нальная $P_N, \text{Вт}$	Закон изменения сопротивления от угла поворота φ							
			φ_0	R_0	φ_1	R_1	φ_2	R_2	φ_3	R_3
21	22	25	0	0	300	22	–	–	–	–
22	33	20	0	0	300	33	–	–	–	–
23	47	15	0	0	300	47	–	–	–	–
24	68	10	0	0	300	68	–	–	–	–
25	15	25	0	0	150	10	300	15	–	–
26	18	18	0	0	150	13	300	18	–	–
27	36	8	0	0	150	27	300	36	–	–
28	27	12	0	0	150	20	300	27	–	–
29	10	25	0	0	100	5	200	8	300	10
30	15	20	0	0	100	7.5	200	12	300	15
31	22	15	0	0	100	11	200	7.5	300	22
32	33	10	0	0	100	16.5	200	26.5	300	33

Условия эксплуатации для всех вариантов – степень жесткости по температуре/давлению Ш/Л.

Допустимая погрешность для всех вариантов – $\delta R_{\text{доп}} = \pm 10\%$.

2.2 Порядок выполнения контрольной работы

2.2.1. Провести анализ исходных данных, определить конкретные параметры условий эксплуатации по ГОСТ 16962-79. Выбрать и обосновать конструкцию резистивного элемента и резистора, материалы каркаса, провода, токосъемника и т.д.

2.2.2. Рассчитать диаметр провода, размеры каркаса, число витков и шаг намотки для каждой секции, определить габаритные размеры резистора.

2.2.3. Рассчитать погрешность резистора, обусловленную производственным разбросом. Она не должно превышать величину, указанную в задании.

2.2.4. Разработать конструкцию резистора, выполнить сборочный чертеж и спецификацию согласно требованиям ГОСТ 2.109 и ГОСТ 2.108.