

Министерство образования Российской Федерации

Владивостокский государственный университет  
экономики и сервиса

---

Д.Л. ГОРОШКО  
Г.А. ГУДАКОВ

# РАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ

Учебно-практическое пособие

Владивосток  
Издательство ВГУЭС  
2003

ББК 32.85

Г70

Рецензенты: Ю.А. Левашов, зав. каф.  
электроники;  
В.Н. Гряник, канд. техн. наук,  
доцент каф. электроники

Горошко Д.Л., Гудаков Г.А.  
Г 70 РАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ:  
Учебно-практическое пособие. – Владивосток: Изд-во  
ВГУЭС, 2003. – 32 с.

Содержит указания по выполнению лабораторных работ, иллюстрирующие основные темы соответствующего лекционного курса. В каждой работе приведены краткие теоретические сведения, подробные инструкции для выполнения задания, требования к оформлению отчета и контрольные вопросы.

Для студентов специальности 201500 «Бытовая радиоэлектронная аппаратура» и 201700 «Средства радиоэлектронной борьбы».

ББК 32.85

© Издательство Владивостокского  
государственного университета  
экономики и сервиса, 2003

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРИСТОРА

### *Цель работы*

Ознакомление с основными положениями теории варисторов и практическое измерение вольт-амперной характеристики варистора.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

#### Основные сведения о варисторах

Варистор – это полупроводниковый прибор (резистор), сопротивление которого зависит от приложенного напряжения.

Варисторы изготовляют методом керамической технологии, т.е. путем высокотемпературного обжига смеси из карбида кремния и глины.

Нелинейность вольт-амперной характеристики варистора (рис. 1.1) обусловлена явлениями на точечных контактах между кристаллами карбида кремния. При малых напряжениях может происходить туннелирование электронов сквозь тонкие потенциальные барьеры на поверхности кристаллов. При больших напряжениях и соответственно больших токах, проходящих через него, плотность тока в точечных контактах оказывается очень большой.

Все напряжение, приложенное к варистору, падает на точечных контактах. Поэтому удельная мощность (мощность в единице объема), выделяющаяся в точечных контактах, достигает таких значений, которые нельзя не учитывать. Разогрев контактов приводит к уменьшению их сопротивления и к нелинейности ВАХ. Из-за малости активных областей их разогрев практически не приводит к повышению температуры всего варистора.

Кроме того, малые объемы активных областей обеспечивают малую инерционность тепловых процессов и, следовательно, малую инерционность ВАХ варистора ( $10^{-6}$  –  $10^{-8}$  с).

Температурная зависимость проводимости полупроводников

$$\gamma = \gamma_{\infty} \cdot \exp\left(\frac{-B}{T}\right). \quad (1.1)$$

Сопротивление растекания двух контактирующих кристаллов

$$R_{кон} \cong \frac{2}{\Pi \cdot d \cdot \gamma} = \frac{2}{\Pi \cdot d \cdot \gamma_{\infty}} \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right), \quad (1.2)$$

а статическое сопротивление

$$R = \frac{\epsilon}{a} \cdot R_{\text{кон}} = \frac{2 \cdot \epsilon}{a \cdot \Pi \cdot d \cdot \gamma_{\infty}} \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right). \quad (1.3)$$

Используя уравнение теплового баланса для активных областей

$$U^2/R = J^2 \cdot R = H \cdot (T - T_0), \quad (1.4)$$

получим уравнение ВАХ варисторов в параметрической форме

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot H \cdot \epsilon \cdot (T - T_0)}{a \cdot \Pi \cdot d \cdot \gamma_{\infty}} \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right)} \quad (1.5)$$

или

$$J = \sqrt{\frac{a \cdot \Pi \cdot d \cdot H \cdot \gamma_{\infty} \cdot (T - T_0)}{2 \cdot \epsilon} \cdot \exp\left(-\frac{B}{T}\right)}. \quad (1.6)$$

Хотя эти уравнения и неудобны для расчета, однако они позволяют установить связь между параметрами варисторов.

### Характеристики варистора

Коэффициент нелинейности варистора – это отношение статического  $R$  и динамического  $r$  сопротивлений при заданном напряжении на варисторе

$$\beta = \frac{R}{r} = \frac{U}{J} \cdot \frac{dJ}{dU}. \quad (1.7)$$

Из уравнений (1.5 и 1.6) найдем

$$r = \frac{dU}{dJ} = \frac{dU}{dT} \cdot \frac{dT}{dJ} = \frac{2 \cdot \epsilon}{a \cdot d \cdot \Pi \cdot \gamma_{\infty}} \cdot \left( \frac{T^2 - B \cdot T + B \cdot T_0}{T^2 + B \cdot T - B \cdot T_0} \right) \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right), \quad (1.8)$$

где  $a, \epsilon, d, H, \gamma_{\infty}$  – параметры точечного контакта;  $B$  – коэффициент температурной зависимости сопротивления для карбида кремния.

Из уравнений 1.7 и 1.8 получим:

$$\beta = \frac{R}{r} = \frac{T^2 - B \cdot T + B \cdot T_0}{T^2 + B \cdot T - B \cdot T_0} \quad (1.9)$$

или

$$\beta_{\text{max}} = \frac{4 \cdot T_0 + B}{4 \cdot T_0 - B} \quad (1.10)$$

Из 1.10 следует, что у варистора коэффициент нелинейности и дифференциальное сопротивление будут отрицательными.

На рис. 1.1 показаны расчетные зависимости коэффициента нелинейности от напряжения для варисторов с различными значениями коэффициента температурной зависимости поверхностных слоев кристаллов.

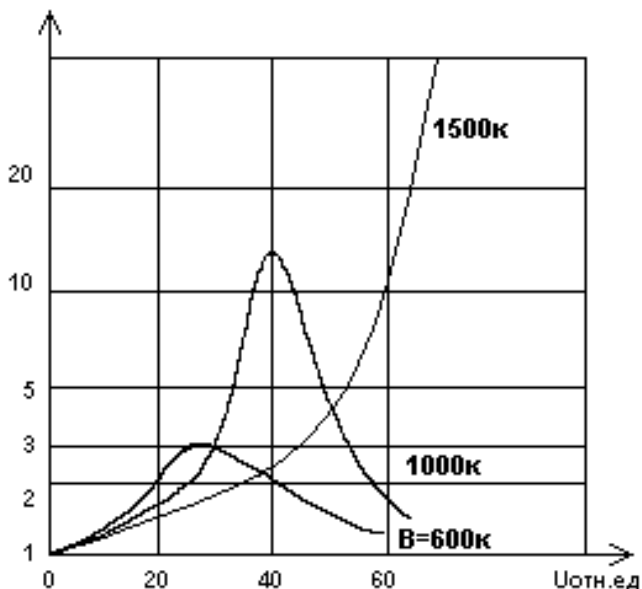


Рис. 1.1. Теоретические зависимости коэффициента  $\beta$  варисторов

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

**ВНИМАНИЕ:** на входе стенда действует *очень высокое напряжение* (до 800 вольт), поэтому *категорически запрещается* включать сетевое питание стенда без разрешения преподавателя!

1. Подключить приборы для измерения силы тока (B7-35) и напряжения (B7-27/A) или другие цифровые приборы по указанию преподавателя.
2. Подключить к стенду варистор.
3. Спросить разрешение преподавателя о включении стенда!
4. Изменяя напряжение от 0 до 600 В на варисторе, снять ВАХ и результаты измерений занести в табл. 1.
5. Выключить стенд. Контролируя напряжение на варисторе, отключить приборы и варистор при достижении напряжения на варисторе не более 5–7 вольт!

Таблица 1.1

U, В	10	20	50	100	200	300	400	500
I, мА								

### Обработка результатов измерений

1. Рассчитать коэффициент нелинейности варистора по формуле

$$\beta = \frac{R}{r} = \frac{U_2 + U_1}{U_2 - U_1} \cdot \frac{J_2 - J_1}{J_2 + J_1} \quad (1.11)$$

для диапазонов напряжения, указанных в табл. 1.2.

Таблица 1.2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
U, В	0-50	50-100	100-200	200-300	300-350	350-400	400-500	0-200	200-400	400-500	0-500
$\beta$											

2. Построить ВАХ варистора по результатам табл. 1.1.

3. Построить зависимость коэффициента нелинейности варистора от напряжения  $\beta = f(U)$  (одну кривую для столбцов 1–7 из табл. 1.2 и вторую кривую для столбцов 8–11).

### Содержание отчета

Отчет должен содержать краткую теорию работы, результаты измерений, результаты обработки измерений, графики зависимостей по данным таблиц 1.1 и 1.2 на миллиметровой бумаге и выводы.

### Контрольные вопросы

1. Какой физический процесс является основным при работе варистора из карбида кремния при средних и больших токах?
2. Что такое коэффициент нелинейности варистора?
3. Какие еще материалы используются для варисторов?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ ЕМКОСТИ ПОСТОЯННЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

### *Цель работы*

Изучение зависимости изменения величины емкости постоянных конденсаторов при изменении температуры и влажности окружающей среды.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Элементы РА подразделяются на электрические, электромеханические и механические. К ним относятся резистор, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы, реле, переключатели и другие, выполняющие определенные функции в электрической схеме. Рассматривая внешние дестабилизирующие факторы, необходимо отметить, что в некоторой степени удастся определить влияние их на количественные показатели (номиналы, резонансная частота, добротность и т.д.) элементов лишь при раздельном воздействии, например, влажности, температур и т.д. До сих пор нет достаточно полных обобщающих данных о суммарном воздействии дестабилизирующих факторов на элемент РА.

Общеизвестно, что все изолирующие материалы при поглощении влаги ухудшают свои электрические характеристики, причем, при определенном количестве дополнительно поглощенной влаги эти характеристики могут стать ниже допустимого значения, что вызывает выход из строя аппаратуры. Из конденсаторов наиболее чувствительны к воздействию влаги бумажные, слюдяные, керамические и стеклянные. Критическая влажность для них 30–50%.

Из-за малых размеров молекул воды (максимальный размер молекулы  $3 \times 10^{-8}$  см) и небольшой вязкости влага проникает во все поры диэлектрика, образуя проводящие и полупроводящие мостики на поверхности, а в некоторых случаях и внутри диэлектрика.

Даже при нормальных условиях (относительная влажность атмосферы 65% и температура 20°C) все тела покрыты тончайшей (0.001–0.01 мкм) непрерывной (гидрофильные поверхности) или прерывистой (гидрофобные поверхности) пленкой воды.

В различных типах конденсаторов с твердыми диэлектриками (при ненадежной влагозащите) резко снижается сопротивление изоляции, возрастают потери, уменьшается напряжение пробоя. Наиболее неустойчивы к влажной атмосфере конденсаторы с воздушным диэлектриком и большими зазорами, если не приняты специальные конструктивные меры по влагозащите.

С целью влагозащиты элементов РЭА используют защитные покрытия, заливку, герметизацию объема и «частичное осушение» некоторыми влагопоглощающими материалами (силикагель, окись алюминия и др.).

Говоря о самом широко распространенном методе влагозащиты – покрытие элементов защитными покрытиями, можно отметить следующие: сами защитные покрытия представляют собой тоже диэлектрики, которые в некоторой степени изменяют свои характеристики под действием влаги и тем самым в конечном счете изменяют характеристики самого защищаемого элемента.

### **Влияние температуры на электрические характеристики конденсаторов**

В случае, когда нельзя пренебречь влиянием температуры на электрические характеристики конденсаторов, следует отметить двойственный характер воздействия. Во-первых, с изменением температуры (при постоянной абсолютной влажности) изменяется относительная влажность среды, что вызывает соответствующее изменение параметров конденсаторов, с другой стороны, изменение температуры оказывает определенное влияние на характеристики собственно диэлектрика в конденсаторе, а именно изменяется диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь и изменяется емкость за счет изменения линейных размеров.

Рассматривая дестабилизирующее воздействие температуры, также следует отметить, что основное изменение емкости обусловлено изменением диэлектрической проницаемости изоляции.

Диэлектрическая проницаемость характеризует степень поляризации диэлектрика. Зависимость от температуры проявляется при любом виде поляризации: электронной, ионной, дипольно релаксационной, миграционной и др.

Температурная зависимость диэлектрической проницаемости определяется выражением

$$TK_{\varepsilon} = \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\Delta T} . \quad (2.1)$$

Отсюда можно вычислить относительное изменение диэлектрической проницаемости при изменении температуры. В первом приближении температурный коэффициент емкости для конденсатора можно записать

$$TK_C = \frac{\Delta C}{C} \cdot \frac{1}{\Delta T} = \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\Delta T} + \Delta C(\beta) = TK_{\varepsilon} + \Delta C(\beta) , \quad (2.2)$$

где  $C$  – емкость конденсатора;  $\Delta C$  – соответствующее изменение емкости в интервале температур;  $\Delta C(\beta)$  – поправочный коэффициент, обуславливающее влияние линейного расширения диэлектрика на величину емкости.

В большинстве практических случаев  $\Delta C(\beta)$  можно пренебречь. Тогда

$$TK_C \approx \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad (2.3)$$



Нейтральные диэлектрики, обладающие только электронной поляризацией, не изменяют степень поляризации при изменении температуры, хотя с ростом температуры уменьшается их плотность и это вызывает уменьшение диэлектрической проницаемости материала. При температуре плавления диэлектрическая проницаемость падает до 1.

Таким образом, конденсаторы с нейтральным диэлектриком имеют отрицательный температурный коэффициент емкости. К нейтральным диэлектрикам относятся парафин, полистирол, полиэтилен.

У диэлектриков с ионной структурой и плотной упаковкой ионов изменяется не только плотность, но и поляризуемость (т.е. степень ионного смещения). При этом плотность всегда уменьшается, а поляризуемость увеличивается.

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости обычно положителен. Примером является электротехнический фарфор, у которого этот коэффициент монотонно возрастает с ростом температуры. Аморфные диэлектрики обычно имеют низкие значения  $\epsilon$ , а  $TK_\epsilon > 0$ . Введение различных примесей изменяет зависимость  $TK_\epsilon$  и даже может сделать его отрицательными.

## Описание метода и приборов для измерения

Метод оценки влияния дестабилизирующих факторов на величину емкости конденсатора основан на непосредственном измерении величин емкости при изменении температуры и влажности окружающей среды.

Внутри термостата Т (рис. 2.1) находится исследуемый объект (конденсатор С). Термостат позволяет изменять температуру в интервале  $-5 \dots +40^\circ\text{C}$ , которая контролируется термометром С. Величина емкости конденсатора С измеряется прибором Е-7-5А. Для оценки влияния дестабилизирующих факторов на величину емкости необходимо произвести измерения в двух режимах по влажности:

1. Влажность в рабочем объеме термостата в начале измерения соответствует влажности окружающей среды. Т.к. количество воды в объеме термостата сохраняется, то при изменении температуры изменяется и относительная влажность. Таким образом, в этом случае мы измеряем суммарное воздействие этих факторов на образец.

2. Термостат, нагретый до  $40^\circ\text{C}$ , осушается с помощью обезвоженного силикагеля и проводятся измерения  $C=C(T)$  в том же интервале температур. В этом случае оценивается влияние только температуры.

На основании полученных данных необходимо выяснить преобладающий фактор, оказывающий влияние на величину емкости конденсатора.

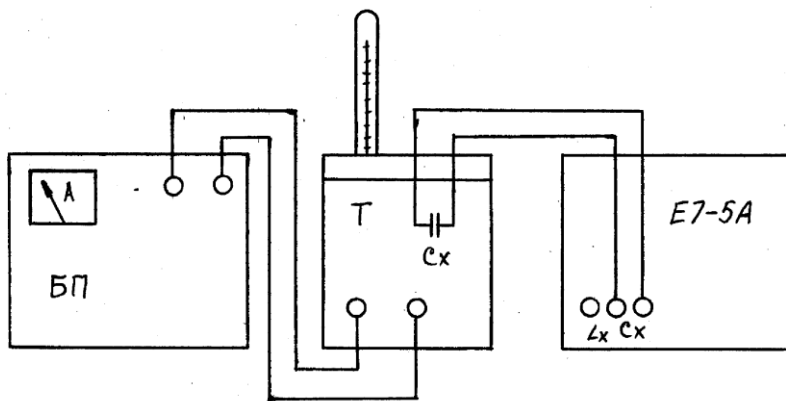


Рис. 2.1. Блок схема экспериментальной установки

В качестве термостата в данной работе используется микрохолодильник типа ТЛМ, предназначенный для проведения исследований в интервале температур от  $-5 \dots +40^\circ\text{C}$ . Рабочий объем микрохолодильника  $120 \text{ см}^3$ .

### Принцип работы

Рабочий объем микрохолодильника охлаждается двухкаскадной термобатареей. Термоэлектрическое охлаждение основано на использовании эффекта Пельтье, заключающегося в следующем: при прохождении тока через контакт двух разнородных проводников в месте контакта выделяется или поглощается тепло. Простейшим звеном микрохолодильника является термобатарея, состоящая из двух разнородных полупроводников (электронной и дырочной проводимости), соединенных между собой металлическими перемычками. Термоэлемент можно рассматривать как простейшую холодильную установку, перекачивающую тепло с более низкого температурного уровня (холодный спай) на более высокий (горячий спай). Такие элементы, соединенные между собой, составляют термобатарею. Соединяя такие батареи в каскады так, что горячие спаи верхней термобатареи охлаждаются холодными спаями нижней, получают каскады батарей, позволяющих получать достаточно низкие температуры.

**Для включения микрохолодильника необходимо:**

1. Установить расход воды через холодильник 50 л/час.
2. Подключить источник постоянного тока к клеммам микрохолодильника, как показано на рис. 2.2.

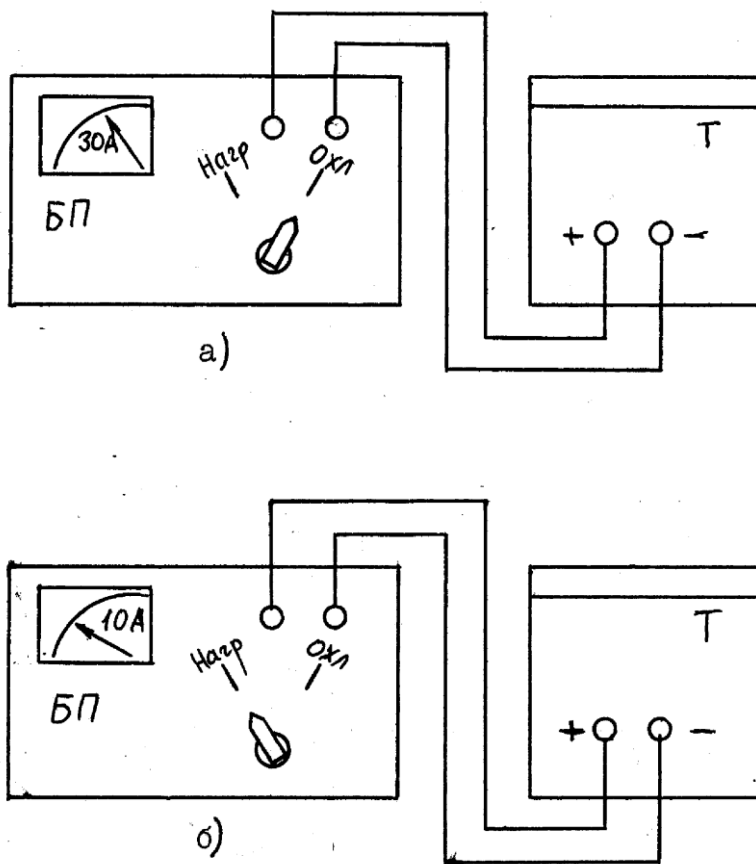


Рис. 2.2. Схема включения термостата: а – охлаждение; б – нагрев

3. В рабочий объем холодильника поместить термометр.
4. Включить источник постоянного тока; при этом необходимо помнить, что в режиме охлаждения ток через холодильник не должен превышать 30А, а в режиме нагревания – 10А.
5. Во время работы необходимо следить за температурой в рабочей камере, которая не должна в режиме нагрева превышать  $+70^{\circ}\text{C}$ , во избежание выхода термобатареи из строя.

**Для отключения микрохолодильника необходимо:**

- 1) выключить источник питания,
- 2) перекрыть воду охлаждения.

Для измерения емкости в данной работе применен прибор Е7-5А. Измерение емкости производится резонансным методом с индикацией резонанса по нулевым биениям. В приборе имеются два генератора, собранных

по одинаковом схеме. В колебательный контур одного генератора включен образцовый конденсатор переменной емкости, а в колебательный контур другого генератора включается измеряемый конденсатор. Колебания обоих генераторов поступают на смеситель, с выхода которого колебания разностной частоты поступают на индикатор нулевых биений. При равенстве частот обоих генераторов, что достигается перестройкой образцового конденсатора переменной емкости, индикатор регистрирует нулевые биения. В этом случае значение емкости образцового переменного конденсатора, считываемое с лимбов прибора под индексами С1, С2, С3, в сумме в точности равны емкости измеряемого конденсатора:

$$C_x = C_1 + C_2 + C_3. \quad (2.4)$$

## СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с лабораторной установкой и методикой измерений влияния дестабилизирующих факторов на величину емкости конденсатора.
2. Подготовить лабораторную установку к работе, для чего:
  - 2.1. подключить термостат к источнику питания как показано на рис. 2.2 в режиме охлаждения;
  - 2.2. поместить конденсатор и термометр в термостат;
  - 2.3. включить прибор Е7-5А тумблером «сеть» и дать ему прогреться в течении 30 мин;
  - 2.4. ручку «множитель К» установить в положение «0». Ручкой «нач. установка» установить световой индикатор по нулевым биениям (мин. частоте колебания лепестков).;
3. Подключить измеряемый конденсатор к входным клеммам прибора Е7-5А.
4. Произвести измерение номинальной емкости конденсатора при комнатной температуре.
5. Включить воду охлаждения термостата.
6. Включить блок питания термостата и установить ток термобатареи 30А.
7. По мере снижения температуры в объеме термостата через 1°С производить замеры величины емкости конденсатора до -5°С.
8. После достижения температуры -5°С выключить блок питания термостата и переключить микрохолодильник в режим нагрева, как показано на рис. 2.2. Включить блок питания термостата и установись ток через термобатарею 10А.
9. Произвести измерения в той же последовательности до температуры 40°С.
10. Результат измерений занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

$T, ^\circ\text{C}$	$C_T, \text{пФ}$	$\Delta C = C_{i+1} - C_i$	$C = (C_{i+1} + C_i)/2, \text{пФ}$	ТКс
-5				
...				
...				
40				

11. По рассчитанным данным построить зависимости  $C=C(T)$  и  $\text{ТКс}=F(T)$ ;

12. С целью исключения влияния влажности, в термостат, нагретый до +40 градусов в предыдущем опыте, засыпать обезвоженный селикагель. Для этого необходимо осторожно, при работающем термостате снять теплоизолирующую крышку, быстро засыпать селикагель и закрыть крышку. Снизить ток через батарею термостата, выдержать образец в течение 30 мин, затем повторить все предыдущие измерения в интервале температур – 5...40°C. Полученные данные занести в аналогичную таблицу. Для наглядности в той же системе координат построить зависимости  $C=C(T)$  и  $\text{ТКс}=F(T)$ ;

13. Сравнить полученные зависимости, сделать выводы.

### Контрольные вопросы

1. Как можно определить влияние внешних дестабилизирующих факторов на количественные показатели элементов РА?
2. Как поглощение влаги влияет на электрические характеристики элементов РА?
3. Какие конструктивные меры принимаются по влагозащите?
4. Опишите влияние температуры на электрические характеристики конденсаторов.
5. Запишите температурный коэффициент емкости для конденсатора.
6. Расскажите об используемом в работе методе оценки влияния дестабилизирующих факторов на величину емкости конденсатора.
7. В чем состоит эффект Пельтье?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИСТОРОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

### *Цель работы*

Изучение конструктивных особенностей резисторов и их основных параметров; исследование влияния шунтирующих резисторов на линейность резисторов переменного сопротивления.

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

### 1.1. Определение и классификация

Резистор – это элемент РЭА, предназначенный для перераспределения и регулирования электрической энергии между элементами схемы. Основной особенностью резистора является то, что электрическая энергия превращается в нем в тепловую и рассеивается.

Классификация резисторов осуществляется в зависимости оттого, постоянно или переменное значение сопротивления и по принципу создания резисторного элемента.

Различают:

- постоянные резисторы с фиксированным значением сопротивления; в зависимости от назначения они подразделяются на резисторы общего применения, точные, прецизионные, высокочастотные, высоковольтные, высокоомные;
- переменные резисторы с изменяющимся значением сопротивления ; в зависимости от назначения они подразделяются на подстроечные и регулировочные; по характеру зависимости сопротивления от угла поворота подвижной системы переменные резисторы делятся на линейные и нелинейные;
- специальные резисторы – это особая группа резисторов, сопротивление которых зависит от действий внешних факторов: величины проходящего тока, приложенного напряжения (варисторы), температуры (терморезисторы), освещения (фоторезисторы) и т.п.

По принципу создания резистивного элемента резисторы можно разделить на непроволочные и проволочные. В непроволочных резисторах резистивный элемент создается с помощью пленочных или объемных композиций с высшим удельным сопротивлением. В проволочных резисторах резистивный элемент выполнен из проволоки, изготовленной из сплава с высоким удельным сопротивлением.

Непроволочные резисторы отличаются малыми размерами и массой, низкой стоимостью, возможностью их применения на весьма высоких (до

100 МГц и выше) частотах. Однако они недостаточно стабильны, так как их сопротивление зависит от температуры, влажности, приложенной нагрузки, продолжительности работы и т.п.

Но положительные свойства непроволочных резисторов настолько значительны, что именно они получили наиболее широкое применение.

Проволочные резисторы отличаются более высокой стабильностью. Они допускают работу при более высоких температурах, выдерживают значительные нагрузки, но сложнее в производстве, стоимость их выше и они малоприменены для использования на частотах выше 1–2 МГц. В основном их применяют в цепях постоянного тока или тока низких частот, там, где требуется высокие точности и стабильность работы, а так же способность выдерживать значительные перегрузки.

Согласно ГОСТ 13453-68 были приняты обозначения резисторов общего применения, приведенного в табл. 3.1. Буква «С» в обозначениях осталась от старого названия резисторов – «сопротивление», «П» означает переменный, первая цифра обозначает материал, из которого выполнена проводящая часть резисторного элемента, вторая цифра (порядковый номер изделия) – конструкцию изделия и комплекс общих технических требований на это изделие.

Таблица 3.1

Постоянные	Переменные	Вид резистивного элемента
С 1	СП 1	Углеродистый
С 2	СП 2	Металлопленочный или металлоокисный
С 3	СП 3	Пленочные композиции
С 4	СП 4	Объемный композиционный
С 5	СП 5	Проволочный
С 6	СП 6	Металло-керамический

Для специальных резисторов; СТ (сопротивление термочувствительное) – терморезисторы; СН (сопротивление нелинейное) – варистор; СФ (сопротивление fotocувствительное) – фоторезисторы.

Ранее используемые обозначения резисторов состояли из трех букв, первая из которых обозначала вид проводящей части резистивного элемента (У – углеродистые, К – композиционные, М – металлопленочные); вторая – вид защиты (Л – лакированные, Г – герметичные, Н – незащищенные и т.д.); третья – особые свойства резистора или его назначение (Т – теплостойкие, У – ультра высокочастотные, И – измерительные и т.д.). Например: резисторы МЛТ – это металлопленочные, лакированные, теплостойкие.

По действующей системе обозначений условное обозначение состоит из следующих элементов :

1. Первый элемент – буква или сочетание букв (Р– резисторы постоянные; РП – резисторы переменные; НР – наборы резисторов; ТР – термочувствительные резисторы; ВР – варистор; ФР – фоторезистор ).

2. Второй элемент – цифра, обозначающая группу резисторов по материалу резистивного элемента (1 – непроволочные; 2 – проволочные или металлофольговые ).

3. Третий элемент – регистрационный номер.

Например, Р1-4 РП1-46 .

## **1.2. Основные параметры резисторов**

### **1.2.1. Номинальное сопротивление**

Номинальное сопротивление типовых резисторов установлено соответствующими стандартами: для резисторов постоянного сопротивления ГОСТ 2825-67, а резисторов переменного сопротивления – ГОСТ 10318-7А. Численные значения номинальных сопротивлений определяются рядами предпочтительных чисел: для резисторов постоянного сопротивления с допустимым отклонением  $\pm 20$ ,  $\pm 10$ , и  $\pm 5$  % рядами Е 6, Е12, и Е 24 соответственно и для допускаемых отклонений менее  $\pm 5$  % – Е 48, Е 96, и Е 192. Шкала номинальных значений резисторов переменного сопротивления определяется рядами Е 6, Е 12 и Е 24. Кратные и дольные значения сопротивлений получаются путем умножения или деления чисел этого ряда на 10.

### **1.2.2. Класс точности**

Класс точности резисторов определяют допустимые отклонения величины сопротивления от номинальной, т.е.

$$R = R_{\text{ном}} \pm A,$$

где  $R_{\text{ном}}$  – допустимая величина сопротивления резистора;

$A$  – допустимое отклонение величины сопротивления от номинальной. Величина  $A$ , выраженная в процентах, определяет класс точности резистора и определяется как

$$A = \pm \frac{R - R_{\text{ном}}}{R_{\text{ном}}} \cdot 100\% . \quad (3.1)$$

### **1.2.3. Номинальная мощность резистора**

Электрическая мощность при непрерывной нагрузке, вызывающая определенный перегрев (например  $40^{\circ}\text{C}$ ) резистора над нормальной температурой окружающей среды, при которой параметры резистора сохраняются в установленных пределах, называются номинальной стоимостью.



#### 1.2.4. Рабочее напряжение

Предельное рабочее напряжение резистора характеризуется максимальным напряжением, при котором резистор может работать в течение гарантированного срока службы без электрического пробоя. Оно не должно превышать напряжения  $U_{ном}$  определяющего номинальную мощность резистора, т.е.

$$U_{ном} = \sqrt{P_{ном} \cdot R_{ном}} \quad (3.2)$$

#### 1.2.5. Стабильность

Стабильность резисторов характеризуется изменениями их параметров под влиянием окружающей среды, электрической нагрузки, а также временем эксплуатации и хранения на складах. Температурный коэффициент сопротивления резистора (ТКС) определяет относительное изменение величины сопротивления резистора при изменении его температуры на  $1^\circ\text{C}$ . ТКС непроволочных резисторов может иметь положительный или отрицательный знак в зависимости от свойств токопроводящего элемента. Абсолютное значение ТКС зависит от удельного электрического сопротивления токопроводящего элемента резистора.

#### 1.2.6. Шумы

Собственные шумы резисторов характеризуются флуктуациями напряжения на его выходе. Шумы резистора обычно разделяются на тепловые и флуктуационные. Первые из них обусловлены хаотичным движением носителей зарядов под действием температуры. Вторые обусловлены непостоянством контакта между токопроводящими частицами проводящего элемента резистора, имеющего обычно зернистую структуру. Величина возникающей при этом Э.Д.С. шума зависит от качества резистора и приложенного к нему напряжения. По величине Э.Д.С. шума резисторы разделяются на группы А и Б. Группа А характеризуется величиной уровня шума около  $1 \text{ мкВ/В}$  при полосе пропускания частот в  $1 \text{ кГц}$ , а группа Б – уровнем шума  $5 \text{ мкВ/В}$  при той же полосе пропускания частот.

#### 1.2.7. Индуктивность и емкость

Собственные индуктивность и емкость резисторов определяются конструкцией и габаритами резисторов и уменьшают частотный предел их применения.

### 1.3. Особенности резисторов переменного сопротивления

#### 1.3.1. Назначение и принцип действия

Схема включения резистора переменного сопротивления показана на рис. 3.1.

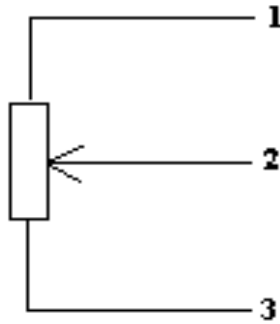


Рис. 3.1. Схема включения резистора переменного сопротивления

Полным сопротивлением  $R_o$  называют сопротивление между крайними выводами 1–3, где цифрой 1 обозначен вывод, у которого останавливается скользящий контакт при вращении подвижной системы против часовой стрелки до упора; цифрой 3 – противоположный вывод и цифрой 2 – вывод от скользящего контакта.

Введем обозначения:  $L_o$  или  $Q_o$  – полное линейное или угловое перемещение скользящего контакта;  $L_x$  или  $Q_x$  – текущее положение скользящего контакта.

Выходное напряжение  $U_x$  снимается с вывода 2 от скользящего контакта и одной из двух крайних точек (например 1). Для нагруженного резистора переменного сопротивления.

$$U_x = U_o \cdot \frac{R_x}{R_o}, \quad (3.3)$$

где  $R_x$  – сопротивление участка резистора между точками 1 и 2.

Так как величина  $R_x$  зависит от положения движка относительно точек 1 и 3, то  $R_x$  является функцией этого положения. По виду этой функции все переменные резисторы делятся на *линейные* и *нелинейные*. В линейном потенциометре при перемещении движка сопротивление изменяется по линейному закону, т.е.

$$\frac{R_x}{R_o} = \frac{L_x}{L_o}. \quad (3.4)$$

При этом выходное напряжение прямо пропорционально перемещению движка.

$$U_x = U_o \cdot \frac{L_x}{L_o}. \quad (3.5)$$

В нелинейном резисторе переменного сопротивления  $R_x$  изменяется по нелинейному закону, т.е.

$$R_x = R_o \times f\left(\frac{L_x}{L_o}\right), \quad (3.6)$$

где  $f$  – некоторая функция.  
Выходное напряжение

$$U_x = U_o \cdot f\left(\frac{L_x}{L_o}\right). \quad (3.7)$$

Следовательно, с помощью потенциометра, сопротивление которого распределено по некоторому закону, можно не только преобразовать механическую величину в электрическую, но и реализовать требуемую функциональную связь между этими величинами. На рис. 3.2 показана наиболее общая схема включения переменного резистора.

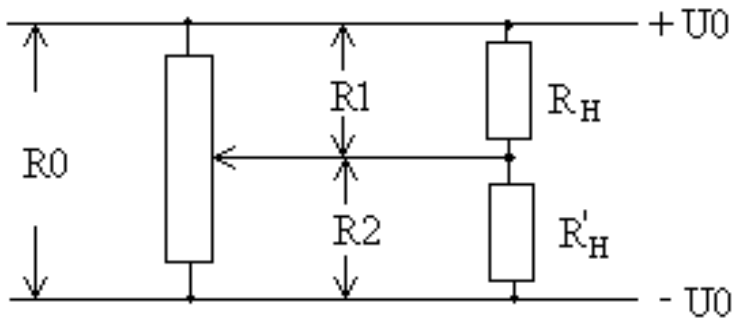


Рис. 3.2. Пример схемы включения переменного резистора

### 1.3.2. Основные характеристики резисторов переменного сопротивления

Линейность и согласование (для функциональных резисторов переменного сопротивления), наряду с другими характеристиками, определяют точность воспроизведения заданных функций с помощью резисторов переменного сопротивления.

В общем виде под функциональной характеристикой переменного резистора понимается зависимость между отношением  $U_x/U_o$  и положением токосъемного элемента.

$$\frac{U_x}{U_o} = f(\Theta), \quad (3.8)$$

где  $\Theta$  – угол поворота или перемещения движка на  $L_x$ .

### 1.3.3 Анализ работы линейных потенциометров

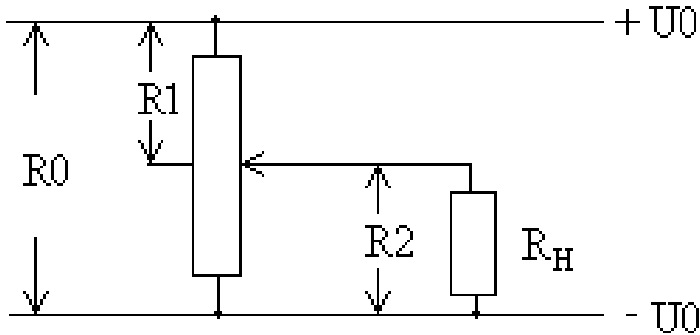


Рис. 3.3. Включение потенциометра на нагрузку, сравнимую с его полным сопротивлением

Ненагруженным или работающим в режиме холостого хода является такой потенциометр, который включен на нагрузку с сопротивлением намного большим (на 3 порядка), чем его полное сопротивление (например, сеточная цепь электронной лампы). При допущении, что внутреннее сопротивление источника питания мало и отсутствуют колебания его напряжения, а погрешности производственного характера исключены, выходное напряжение потенциометра при перемещении движка будет изменяться в соответствии с заданной функцией, определяемой формулой (3.7).

Иначе обстоит дело, когда потенциометр включен на полную нагрузку, сопротивление которой сравнимо с его полным сопротивлением. Как следует из рис. 3.3

$$U_x = \frac{U_o}{R_1 + R_3} \cdot R_3, \quad (3.9)$$

где  $R_3 = \frac{R_H R_2}{R_H + R_2}$  – это эквивалентное сопротивление нагрузки и той части потенциометра, к которой подключена нагрузка;

$R_1 = R_0 - R_2$  – сопротивление части потенциометра, которое не шунтировано нагрузкой.

Введем переменную

$$\alpha = \frac{\theta_x}{\theta_o} = \frac{L_x}{L_o},$$

характеризующую относительное перемещение движка потенциометра.

Тогда

$$R_1 = (1 - \alpha) R_0 \quad (3.10)$$

$$R_2 = \alpha R_0 \quad (3.11)$$

Обозначая отношение

$$\frac{R_H}{R_O} = K_H$$

которое называется коэффициент нагрузки потенциометра, подставляя значения сопротивлений, выраженных через относительное изменение угла перемещения движка и полное сопротивление потенциометра в формулу (9), окончательно получим

$$U_x = \frac{U_o \cdot \alpha}{1 + \frac{1}{K_H} \alpha(1 - \alpha)} . \quad (3.12)$$

Таким образом, сопротивление нагрузки вносит погрешность в выходное напряжение потенциометра. Абсолютная погрешность определяется

$$\Delta U_x = U_x - U_{x_o} = -(U_{x_o} - U_x) , \quad (3.13)$$

где  $U_{x_o}$  – напряжение, снимаемое с потенциометра при отсутствии нагрузки.

В нашем случае

$$U_{x_o} = U_o \cdot \alpha . \quad (3.14)$$

Относительная погрешность отклонения, выраженная в процентах

$$\rho = \frac{\Delta U_x}{U_{x_o}} \cdot 100 = -\frac{U_{x_o} - U_x}{U_{x_o}} \cdot 100 . \quad (3.15)$$

Подставляя в формулу (3.15) выражения (3.12) и (3.14) и проводя преобразования, получим

$$\rho = \frac{\frac{1}{K_H} \alpha(1 - \alpha)}{1 + \frac{1}{K_H} \alpha(1 - \alpha)} \cdot 100 = \frac{\alpha(1 - \alpha)}{\alpha(1 - \alpha) + K_H} \cdot 100 . \quad (3.16)$$

Отклонение от физической нагрузки потенциометра обычно рассматривается как вредный фактор. Но нагрузочные кривые могут стать полезными, т.к. потенциометр, нагруженный надлежащим образом может быть использован для получения многих нелинейных функций.

На рис. 3.4 показана схема, в которой потенциометр зашунтирован дополнительным сопротивлением в «верхней» части.

Коэффициент деления потенциометра в этом случае

$$K = \frac{U_x}{U_o} = \frac{R_2}{R_3 + R_2} = \frac{R_1 + R_2}{\frac{R_1 + R_H}{R_2} + R_1 + R_H} , \quad (3.17)$$

где  $R_3 = \frac{R_1 R'_H}{R_1 + R'_H}$

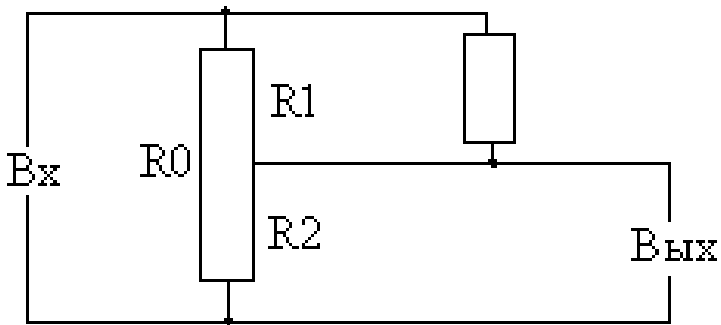


Рис. 3.4. Включение потенциометра по схеме с частичным шунтированием

Обозначая отношение  $\frac{R'_H}{R_0} = K'_H$  и используя ранее полученные формулы для значений сопротивлений, выраженных через относительное перемещение движка  $\alpha$ , подставим  $K'_H$  в формулу (3.15). После преобразований получим

$$K = \frac{1 - \alpha + K'_H}{1 - \frac{K'_H}{\alpha} - \alpha}. \quad (3.18)$$

Для потенциометра, зашунтированного в «нижней» части коэффициента деления,

$$K = \frac{U_x}{U_0} = \frac{\alpha}{1 + \frac{1}{K_H} \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)} \quad (3.19)$$

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В состав оборудования к настоящей работе входит:

- 1) источник питания (ИП) генератор, ГЗ-102;
- 2) лабораторный стенд с исследуемыми резисторами переменного сопротивления;
- 3) измерительный прибор (ИП-В), милливольтметр ВЗ-38 – 2 шт.

В качестве ИП может быть использован источник питания как переменного, так и постоянного тока. Соответственно в качестве измерительного прибора должен использоваться вольтметр переменного или постоянного тока. Для исследования влияния шунтирующих резисторов на работу потенциометра в лабораторном стенде имеется переключатель SA2 и набор нагрузочных резисторов.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить приборы и дать им прогреться 15 минут.
2. Установить напряжение источника  $U_0$  равным 1–3 вольта и подключить к его клеммам  $U_{вх}$  лабораторного стенда.
3. Измерительный прибор подключить к клеммам лабораторного стенда.
4. Переключатель  $R_n$  лабораторного стенда установить в положение «Откл» ( $R_n = \infty$ ).
5. Снять зависимость  $U_{x0}$  от угла поворота движка одного из потенциометров  $R_1, R_2, R_3$  (по указанию преподавателя).
6. Определить величины относительного перемещения движка потенциометра  $\alpha = \frac{\theta_x}{\theta_0}$  и занести в табл. 3.2.
7. Установить переключатель  $R_n$  последовательно в положение «120 Ом», «510 Ом», «3 кОм», «10 кОм», «47 кОм», повторить пункт 5.
8. Рассчитать по формуле (3.18) значение относительной погрешности потенциометра для резисторов  $R_{n1}, R_{n2}, R_{n3}, R_{n4}, R_{n5}$ .
9. По данным табл. 3.2 построить графики в одних координатных осях.

Таблица 3.2

□	U мВ	U1 мВ	U2 мВ	U3 мВ	U4 мВ	U5 мВ	U6 мВ	□	К1.	К2.	К3	К4	К5	К6
0														
15														
30														
45														
...														
...														
300														

### Содержание отчета

- Отчет по лабораторной работе должен содержать:
1. Функциональную схему установки для проведения лабораторной работы.
  2. Заполненную таблицу.
  3. Графики функций в одних координатных осях.
  4. Краткие выводы по данной работе.

## Контрольные вопросы

1. Дайте классификацию и обозначение резисторов и конструкторской документации.
2. Перечислите основные характеристики резисторов постоянного сопротивления.
3. Перечислите основные характеристики резисторов переменного сопротивления.
4. Назовите конструктивные особенности резисторов постоянного и переменного сопротивления и область их применения.
5. Опишите конструкцию непроволочных резисторов переменного сопротивления.
6. Укажите особенности работы линейных потенциометров.
7. Каким образом можно использовать линейные потенциометры для получения требуемой нелинейной функции?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРЯЖЕНИЯ ЕМКОСТИ СЕКЦИЙ БЛОКА КОНДЕНСАТОРОВ ПЕРЕМЕННОЙ ЕМКОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ $C_\varphi = f(\varphi)$

### *Цель работы*

Экспериментальная оценка ошибок сопряжения емкости секций блока конденсаторов переменной емкости. Получение практических навыков в исследовании функциональных характеристик конденсаторов переменной емкости и измерении их емкости.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Основное применение КПЕ находят в качестве элемента настройки диапазоновых колебательных контуров. Поэтому важнейшей характеристикой КПЕ является закон изменения емкости – функциональная характеристика. Функциональная характеристика КПЕ определяет характер изменения частоты колебательного контура при настройке. По этим признакам КПЕ разделяют на прямоемкостные (линейные), прямоволновые (квадратичные), прямочастотные (обратноквадратичные), логарифмические и специальные.

Прямолинейные конденсаторы характеризуются линейной функциональной характеристикой:

$$C_\varphi = a \cdot \varphi + b, \quad (4.1)$$

где  $\varphi$  – угол поворота подвижной системы конденсатора;  $a$ ,  $b$  – постоянные коэффициенты, которые могут быть определены по начальным условиям, т.е. при  $\varphi = 0^\circ$  и  $\varphi = 180^\circ$ .

Плотность настройки у прямоемкостных КПЕ получается по диапазону неравномерной; при малых емкостях она велика, а при больших – мала.

Прямоволновые конденсаторы дают линейное изменение длины волны контура. Емкость конденсатора при этом изменяется нелинейно. Функциональная характеристика конденсатора имеет вид:

$$C_\varphi = (a \cdot \varphi + b)^2. \quad (4.2)$$

Прямочастотные конденсаторы дают линейное изменение частоты контура, что обеспечивает постоянную плотность настройки по диапазону. Функциональная характеристика этих конденсаторов имеет следующий вид

$$C_\varphi = \frac{I}{(a \cdot \varphi + b)^2}. \quad (4.3)$$

Прямочастотные конденсаторы имеют широкое применение в разнообразной радиоэлектронной аппаратуре.

Логарифмические конденсаторы характеризуются постоянным, в пределах диапазона, относительным изменением емкости и частоты. В первом случае КПЕ называют емкостно-логарифмическими. При этом

$$C_{\varphi} = \exp \cdot (a \cdot \varphi + b) \quad (4.4)$$

и во втором – частотно-логарифмическими:

$$C_{\varphi} = b \cdot \exp \cdot (a \cdot \varphi) . \quad (4.5)$$

При использовании КПЕ для настройки колебательных контуров пределы настройки (коэффициент перекрытия диапазона) в значительной степени зависит от величины максимальной и минимальной емкости конденсатора.

Максимальная емкость конденсатора  $C_{\max}$  определяется диапазоном требуемой перестройки, а минимальная емкость  $C_{\min}$  – паразитными емкостями, которые зависят от конструкции конденсатора.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с конструкциями конденсаторов переменной емкости.
  2. Ознакомиться с порядком подготовки к работе измерителя индуктивности и емкости Е7-9 по технической инструкции.
  3. Включить прибор Е7-9 в сеть и дать прогреться в течение 15 минут. Подготовить прибор для измерения емкости.
  4. Произвести измерения емкости первой и второй секций блока конденсаторов через 10 градусов угла поворота ротора, схема приведена на рис. 4.1.
- Результаты измерений и расчетов по приведенным формулам занести в табл. 4.1.

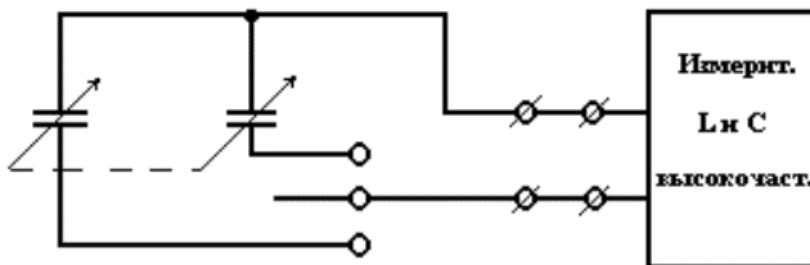


Рис. 4.1. Схема соединения приборов

$$\Delta C_i = C_{2i} - C_{1i} \quad (4.6)$$

$$\delta C_i = \frac{2\Delta C_i}{C_{1i} + C_{2i}} \cdot 100 \% \quad (4.7)$$

где  $C_{1i}$ - пФ – емкость первой секции в  $i$ -той точке измерения

$C_{2i}$ - пФ – емкость второй секции в  $i$ -той точке измерения

$\Delta C_i$ - пФ – абсолютная ошибка сопряжения емкости секций блока КПЕ.

$\delta C_i$  -% – относительная ошибка сопряжения секций блока КПЕ.

5. Построить графики зависимости величины емкости от угла поворота ротора для обеих секций КПЕ и графики зависимости ошибок сопряжения емкости секций от угла поворота ротора КПЕ.

6. Рассчитать среднее значение емкости секций КПЕ по данным измерений и значения емкостей для прямоугольного, прямоугольного и логарифмических КПЕ (при тех же значениях начальной и конечной емкости, как и у измеренного конденсатора) в зависимости от угла поворота ротора и занести в табл 4.1.

7. Построить графики зависимости емкости от угла поворота ротора КПЕ для всех КПЕ из табл. 4.2 и сделать вывод о функциональной характеристике измеренного КПЕ.

### Содержание отчета

В отчете по лабораторной работе должны быть:

1. Номер, наименование, цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема измерения емкости секций блока КПЕ.
4. Таблицы результатов измерений и расчетов.
5. Графики зависимостей: а)  $C_1 = f_1(\varphi)$  и  $C_2 = f_2(\varphi)$  по данным табл. 4.1; б)  $C_\varphi = f(\varphi)$  по данным таблицы 4.2.
6. Выводы по работе.

Таблица 4.1

№	Угол поворота $\varphi_i$ , град	Значения емкости, пФ			$\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_i$ , %
		$C_{1i}$	$C_{2i}$	$\Delta C_i$	

Таблица 4.2

№	Угол поворота $\varphi_i$ , град	Значения емкости, пФ			
		Измеряемого, (среднеарифметическое)	Прямо-волнового	Прямочастотного	Емкостно логарифмического

Формулы для определения коэффициентов  $a$  и  $b$ , входящих в уравнения для прямоемкостного, прямоволнового, прямочастотного и логарифмического КПЕ:

$$a = \frac{I_{max} - I_{min}}{180^\circ}; b = I_{max} - A \cdot 180^\circ$$

для прямоемкостного КПЕ  $I = C \cdot \varphi$ ;  $x = \varphi$ ;

для прямоволнового КПЕ  $I = \sqrt{C \cdot \varphi}$ ;  $x = \varphi$ ;

для прямочастотного КПЕ  $I = \frac{I}{\sqrt{C \cdot \varphi}}$ ;  $x = \varphi$ ;

для емкостно-логарифмического КПЕ  $I = \ln C \cdot \varphi$ ;  $x = \varphi$ ;

для частотно-логарифмического КПЕ  $I = \ln C \cdot \varphi$ ;  $x = \varphi$ .

### Контрольные вопросы

1. Назовите виды конденсаторов переменной емкости.
2. Каково назначение КПЕ.
3. Чем определяется минимальная и максимальная емкость КПЕ?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Радиоматериалы и радиокомпоненты. – М.: Высш. шк., 1981.
- Резисторы: Справочник / Под ред. И.И. Четверикова. – М.: Радио и связь, 1987.
- Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Р.Г. Варламова. – М.: Сов. радио, 1980.
- Электроэлементы. – М.: Высш.шк., 1987.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 .....	1
Исследование вольт-амперной характеристики варистора.....	3
Лабораторная работа № 2 .....	7
Исследование влияния дестабилизирующих факторов на величину емкости постоянных конденсаторов .....	7
Лабораторная работа № 3 .....	14
Исследование электрических и конструктивных параметров резисторов постоянного и переменного сопротивления .....	14
Лабораторная работа № 4 .....	25
Исследование сопряжения емкости секций блока конденсаторов переменной емкости и определение зависимости .....	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	29

Учебное издание

Горошко Дмитрий Львович  
Гудаков Геннадий Александрович

**РАДИОМАТЕРИАЛЫ  
И РАДИОКОМПОНЕНТЫ**

Учебно-практическое пособие

Редактор Л.И. Александрова  
Компьютерная верстка М.А. Портновой

Лицензия на издательскую деятельность ИД № 03816 от 22.01.2001

Подписано в печать 16.12.2003. Формат 60×84/16.  
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86.  
Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ

---

Издательство Владивостокского государственного университета  
экономики и сервиса

690600, Владивосток, ул. Гоголя, 41  
Отпечатано в типографии ВГУЭС  
690600, Владивосток, ул. Державина, 57



