

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

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

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по дисциплине «Материалы и компоненты электронных средств» по направлению 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»)
всех форм обучения



Воронеж 2021

УДК 621.3.049.7.002 (075)
ББК 38.54

Составители:

канд. физ.-мат. наук Ю.В. Худяков.

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Материалы и компоненты электронных средств» по направлению 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Ю.В. Худяков Воронеж, 2021. 55 с.

Основной целью указаний является выработка навыков использования элементной базы при проектировании РЭС и приборов с применением средств схемотехнического моделирования.

Предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине «Материалы и компоненты электронных средств» для студентов 3 курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле MIKES LAB.pdf.

Ил. 20. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.

УДК 621.3.049.7.002 (075)
ББК 38.54

Рецензент - О.Ю. Макаров, д-р техн. наук, проф.
кафедры конструирования и производства
радиоаппаратуры ВГТУ

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Анализ статистических параметров радиоэлементов массового производства

1 Цель работы: изучить конструктивные и технологические факторы, определяющие вероятностные свойства параметров элементов общего применения.

Практически ознакомиться с машинно-ориентированными методами и техническими средствами измерения параметров радиоэлементов и приобрести навыки в области машинной обработки статистической информации, полученной при измерении параметров элементов общего применения.

Овладеть методами проверки статистических гипотез и принятия решений при оценке качества элементов.

2 Краткие теоретические сведения

Катушку индуктивности или просто катушку можно представить в виде нескольких витков провода, намотанных на цилиндрическое основание. Ток, проходя по каждому витку спирали создает в них магнитное поле, которое пересекаясь с соседними витками наводит в них э.д.с. И чем провод длиннее и большее число витков он образует, тем э.д.с. больше.

Основные параметры катушек индуктивности: индуктивность и добротность.

Индуктивность (коэффициент самоиндукции) является основным электрическим параметром и характеризует величину энергии, запасаемой катушкой при протекании по ней электрического тока. Чем больше индуктивность катушки, тем больше энергии она запасает в своем магнитном поле.

Индуктивность зависит от размеров каркаса, формы, числа витков катушки, диаметра и марки провода, а также от формы и материала магнитопровода (сердечника).

Добротность (Q) характеризуется качеством работы катушки индуктивности в цепях переменного тока и определяется как отношение реактивного сопротивления катушки к ее активному сопротивлению потерь.

Активное сопротивление включает в себя сопротивление провода обмотки катушки; сопротивление, вносимое диэлектрическими потерями в каркасе; сопротивление, вносимое собственной емкостью и сопротивления, вносимые потери в экраны и сердечники.

Чем меньше активное сопротивление, тем выше добротность катушки и ее качество. Современные катушки средних размеров имеют добротность около 50 – 300.

3 Объект измерения

Для исследования статистических параметров использовалась партия катушек индуктивности в количестве 80 штук. Внешний вид и устройство объектов измерения представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 - Внешний вид и устройство катушки индуктивности

Исследуемая катушка индуктивности представляет собой высокочастотный дроссель. В электрической схеме дроссели используются как реактивные сопротивления в цепях для разделения постоянной и переменной составляющих сигнала. Жестких требований по точности изготовления индуктивности в дросселях не предъявляется, обычно от 10 до 30 % и в маркировке указывается соответствующей буквой латин-

ского алфавита. Дроссель отечественного производства в конструкторской документации (КД) имеет следующую форму записи

«Дроссель высокочастотный ДМ - 02- 20 $\pm$ 20% - В
ГИ0.477.005 ТУ»,

где ДМ – дроссель модифицированный;

02 – максимальный допустимый ток в А;

20 – индуктивность в мкГн;

В – всеклиматический.

Некоторые из этих параметров представлены в маркировке дросселя. В нашем случае это индуктивность в мкГн и максимальный допустимый ток в А.

Конструктивно дроссель состоит из трубчатого ферритового сердечника, на который намотан провод обмотки. Вид обмотки однослойная сплошная рядовая. В отверстие трубчатого сердечника с обеих сторон вставляют и закрепляют отрезки медной луженой проволоки диаметром близким к диаметру отверстия сердечника, которые являются выводами дросселя. Концевые выводы обмотки зачищают от изоляции и лудят, а затем закрепляют на выводах дросселя. Сначала закрепляют механически, сделав от 4 до 6 витков на проводе вывода около его входа в трубчатый сердечник. а затем паяют.

Полученную конструкцию, кроме выводов, методом окунания покрывают влагозащитным лаком и наносят маркировку.

4 Методика измерения

Измерение проводятся с помощью программно-измерительного комплекса. Он содержит измеритель RLC типа Е7-22, соединенный кабелем с входом RC-232 ПЭВМ. На ПЭВМ установлена программа «Virtual Metter». Эта программа специально разработана для автоматизации измерений прибора Е7-22 и предварительной обработки полученной в результате измерения информации.

После нажатия кнопкой мыши на ярлык программы, появляется главное окно «Main». В этом окне находим кнопку

«COMPORT», нажимаем ее (программно подключаем E7-22 к программе «Virtual Metter»). Появляется окно, дублирующее дисплей прибора E7-22 «Virtual Instrument» (рисунок 2).

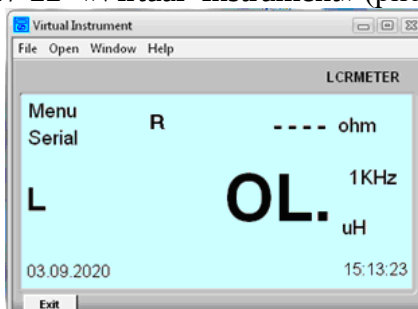


Рисунок 2

Параметры, представленные в этом окне случайные. Для того, чтобы установить нужные нам параметры для проведения измерения, находим в этом окне кнопку «File», нажимаем ее. В открывшемся контекстном меню находим кнопку «Initial Setup», нажимаем ее. Появляется окно установки параметров измерения, показанная на рисунке 3

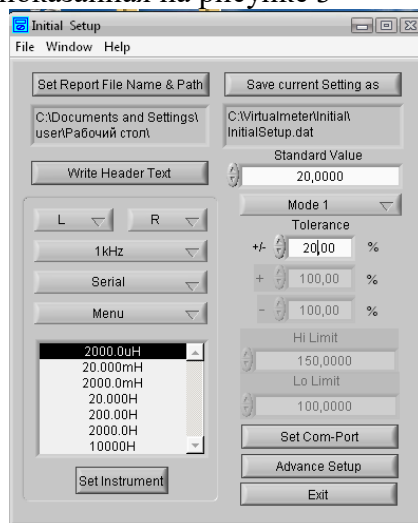


Рисунок 3

В соответствующем секторе выбора параметров измерения устанавливаем:

- основного параметра измеряемого объекта выбираем «L»;
- вспомогательного параметра выбираем сопротивление потерь в последовательной схеме замещения «R» ;
- частоту «1 кГц», так значение измеряемой величины мало 20 мкГн;
- схему замещения последовательную» Serial» как наиболее наглядную;
- режим ручного выбора «Menu», так как измеряемая величина изменяется незначительно в процессе измерения;
- верхняя граница поддиапазона значений основного параметра «2000 мкГн», так как 20 мкГн меньше 2000 мкГн;
- номинальное значение измеряемого параметра «Standard Value» 20 мкГн как указанная в маркировке;
- допуск на измеряемый параметр «Tolerance» $\pm 20 \%$ как наиболее распространенный для дросселей.

Нажимаем кнопку установки предварительной настройки, появляется контекстное меню и требует подтверждения установки этих параметров в прибор Е7-22. Нажимаем «ОК», прибор Е7-22 перестраивается под новые настройки и на его дисплее появляются все необходимые параметры, как показано на рисунке 4.

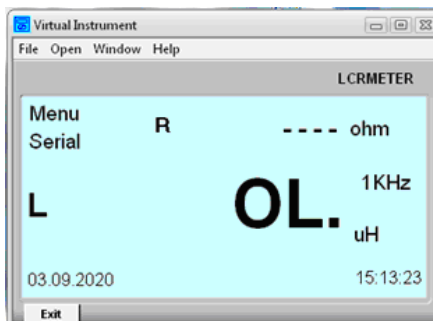


Рисунок 4

Для оперативного контроля за проведением измерения и отображения некоторых результатов измерения, кроме окна

«Virtual Instrument», дублирующего окно дисплея в программе «Virtual Metter» имеется еще три окна: «Profile», «Frequency Distribution» и «List». Для вызова этих окон необходимо в окне «Virtual Instrument» нажать кнопку «Open». Появится контекстное меню с перечнем этих окон. Окна вызываются нажатием на них при помощи мышки.

Окно «Profile» до проведения измерений показано на рисунке 5

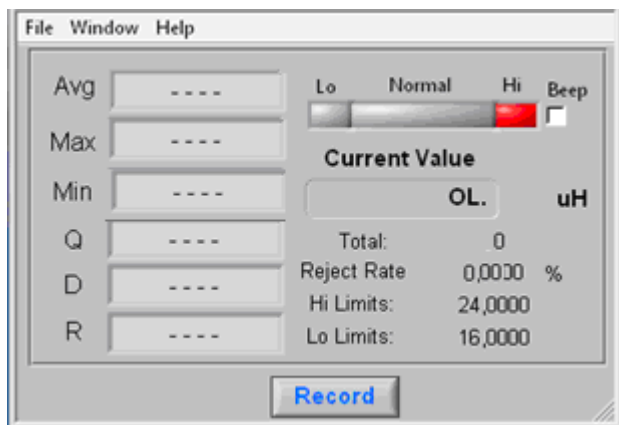


Рисунок 5

Окно содержит два показателя верхнее «Hi Limits» и нижние «Lo Limits» значение поля допуска в единицах измеряемой величины, которые заданы при начальной установке параметров (рисунок 3) и не меняются в процессе измерения

Остальные показатели изменяются после каждого измерения :

- «Avg» текущее среднее значение;
- «Max» текущее максимальное значение;
- «Min» текущее минимальное значение;
- цветное табло «Lo-Normal-Hi», индицирующее попадание текущего измерения в поле допуска;
- «Current Value» текущее значение измеряемой величины;
- «Total» общее число измерений;
- «Reject Rate» текущий процент брака.

Значение величин добротности «Q», тангенса угла потерь «D» и сопротивления потерь «R» в окне «Profile» не отображаются.

Запись результатов каждого измерения проводится кнопкой «Record».

В окне «Frequency Distribution» автоматически строится гистограмма, а в окне «List» фрагмент таблицы Excel с числовыми данными основного и вспомогательного параметров.

Выводы у дросселя аксиальные, поэтому их нужно загнуть буквой П, вставить во входные контакты прибора E7-22 (рисунок 6) и нажать кнопку «Record». Измерение одного образца произошло. И так далее для всех 80-ти образцов



Рисунок 6

С целью более удобного наблюдения за процессом измерения и контроля все четыре окна располагают на рабочем столе ПЭВМ, как показано на рисунке 7.

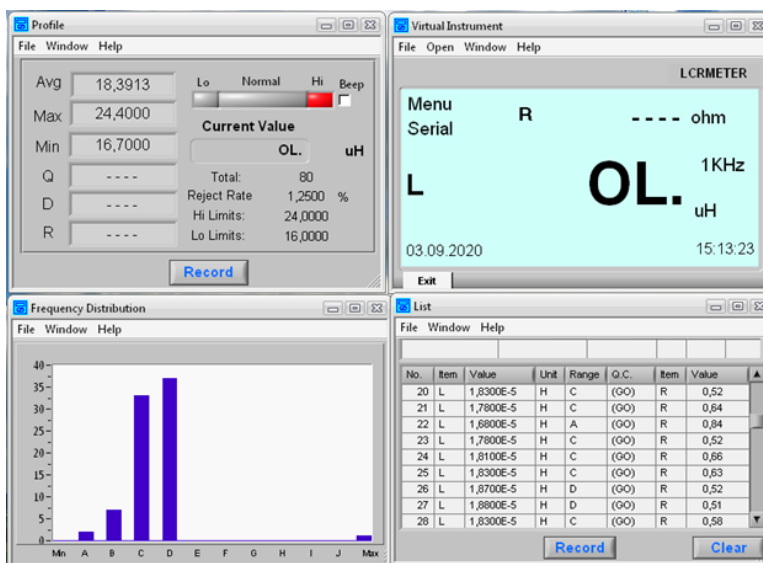


Рисунок 7 - Оптимальное расположение окон программы «Virtual Metter» в процессе измерения

5 Результаты измерения и их анализ

Окно «Profile» после завершения измерений будет иметь вид, показанный на рисунке 8.

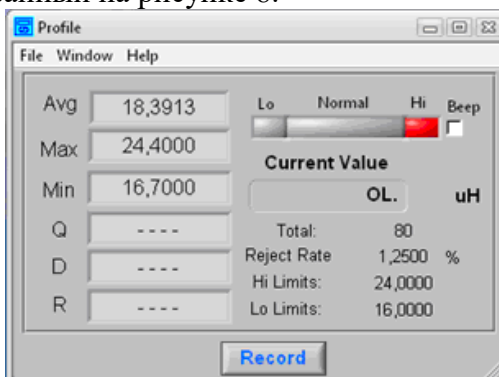


Рисунок 8

Среднее значение индуктивности равно 18,4 мкГн, что почти на 10 % отличается от номинального, прописанного в

маркировке. Этот эффект связан с процессом старения ферритового сердечника или как его называют в литературе дезаккомодацией, учитывая, что согласно маркировке этим дросселям более 30-ти лет.

Как известно, дезаккомодация μ обусловлена образованием дополнительных потенциальных барьеров, препятствующих изменению исходного магнитного состояния внешним полем. Причиной образования таких барьеров является диффузия дефектов (в данном случае электронов) в те узлы кристаллической решетки, которые энергетически выгодны при наличии магнитного моментов.

В окне «Frequency Distribution» автоматически в процессе измерения строится гистограмма. После каждого нового измерения она изменяется и после 80-ти измерений имеет вид (рисунок 9). При допуске $20 \text{ мкГн} \pm 20 \%$ и числе интервалов ± 5 в центральном интервале «Е» находятся все значения $20 \text{ мкГн} \pm 4 \%$ или от 19,2 до 20,8 мкГн. В интервале «D» — 18,4 до 19,2 мкГн и т.д. до интервала «min». В интервале «F» — 20,8 до 21,6 мкГн и т.д. до интервала «max».

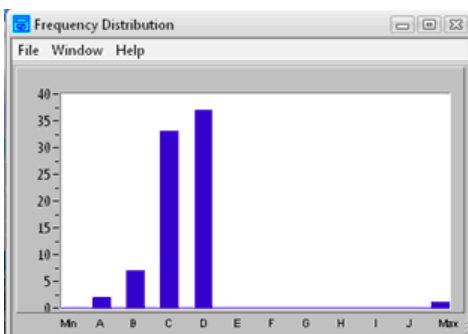


Рисунок 9

Все поле допуска расположено левее номинального значения, что согласуется с меньшим средним значением по сравнению с номинальным. Форма огибающей столбиков гистограммы представляет собой возрастающую функцию, что

противоречит теоретическим представлением о законе распределения равновероятных отклонений от среднего значения.

Возможно причиной представления гистограммы в таком виде является ее низкая разрешающая способность. Увеличим ее и расположим относительно полученного среднего значения. Из рисунка 9 видно, что основное количество значений измеренных параметров лежит в пределах трех интервалов, а это $4\% \times 3 = 12\%$ Примем с запасом 14% . Тогда относительно среднего значения нужно иметь гистограмму $18,3 \text{ мкГн} \pm 7\%$.

Для получения гистограммы с такими параметрами необходимо изменить параметры начальной установки «Initial Setup», как показано на рисунке 10.

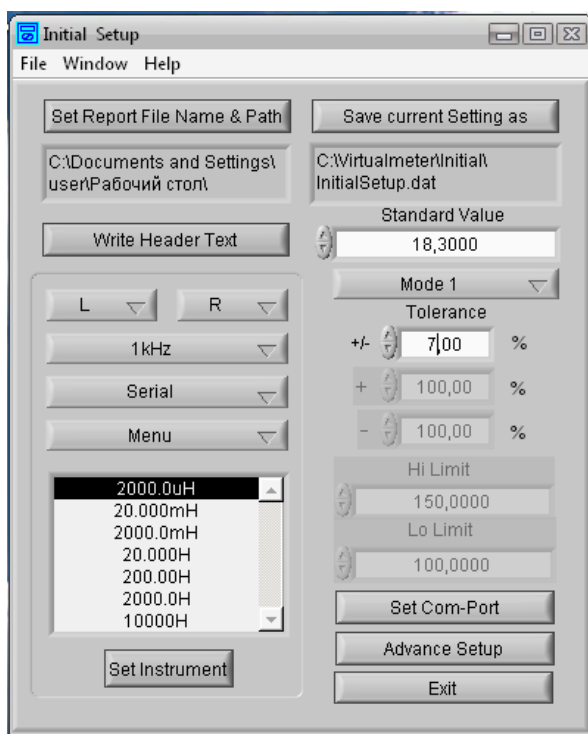


Рисунок 10

Снова открываем контекстное меню «Ореп» и выбираем в нем кнопку «Frequency Distribution» и нажимаем ее. Появилась новая гистограмма, показанная на рисунке 11.

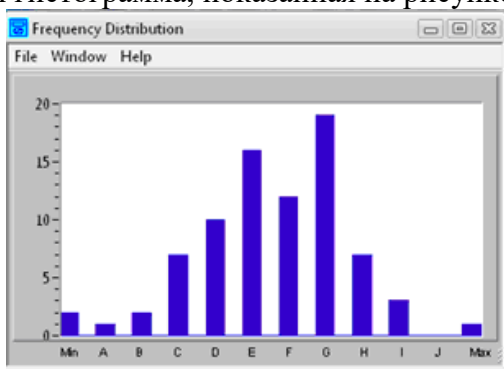


Рисунок 11

Эта диаграмма уже больше напоминает нормальное распределение.

Индуктивность нашего дросселя в общем виде будет определяться по формуле

$$L = k \cdot \mu_C \cdot L_0 \cdot N^2 \cdot D$$

где k - коэффициент размерности;

μ_C - магнитная проницаемость сердечника;

L_0 - коэффициент, зависящий от отношения длины к диаметру катушки;

N - число витков ;

D - диаметр катушки.

Тогда относительная погрешность индуктивности дросселя будет равна

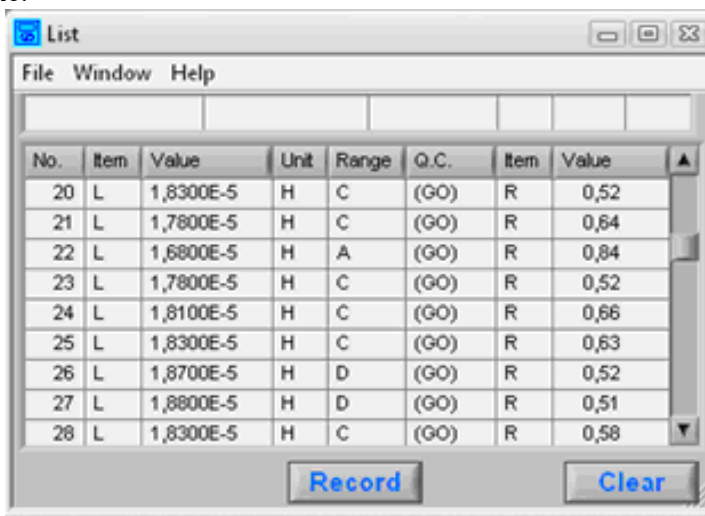
$$\delta L = \delta \mu_C + 2 \delta N + \delta D.$$

С учетом того, что процесс изготовления дросселя автоматизирован δN и δD

малы и их можно не учитывать, тогда $\delta L \approx \delta \mu$ (μ – магнитная проницаемость материала сердечника).

Согласно различным литературным источникам допуск на μ для ферритов может достигать 20 %. Так, что 7 % вполне укладывается в эти значения допусков.

На рисунке 12 показано окно «List» с фрагментом таблицы с данными измерения, а сама таблица представлена ниже.



No.	Item	Value	Unit	Range	Q.C.	Item	Value
20	L	1,8300E-5	H	C	(GO)	R	0,52
21	L	1,7800E-5	H	C	(GO)	R	0,64
22	L	1,6800E-5	H	A	(GO)	R	0,84
23	L	1,7800E-5	H	C	(GO)	R	0,52
24	L	1,8100E-5	H	C	(GO)	R	0,66
25	L	1,8300E-5	H	C	(GO)	R	0,63
26	L	1,8700E-5	H	D	(GO)	R	0,52
27	L	1,8800E-5	H	D	(GO)	R	0,51
28	L	1,8300E-5	H	C	(GO)	R	0,58

Рисунок 12

Определим связь между L и R или, что тоже самое, между μ и $\operatorname{tg} \delta_{\mu}$. Для этого рассчитаем коэффициент корреляции между этими двумя случайными величинами по формуле

$$\frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i \right) / N}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 / N \right] \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2 / N \right]}}.$$

Результаты вычислений в программном обеспечении Microsoft Excel приведены на рисунке 13

x^2	y^2	x*y	Сумма x	Сумма y	Сумма x*y
			1,47E-03	46,02	0,000845
3,5721E-10	0,2704	0,000009828	Сумма x^2	Сумма y^2	
3,4969E-10	0,2601	0,000009537	2,71164E-08	27,1686	
3,4225E-10	0,2704	0,00000962			
3,5344E-10	0,2809	0,000009964			
3,1329E-10	0,3025	0,000009735	числитель	Знаменатель	
2,9241E-10	0,6889	0,000014193	-1,38E-06	6,3168E-06	
3,4596E-10	0,3136	0,000010416			
2,7889E-10	1	0,0000167			
3,0976E-10	0,5625	0,0000132	Первая скобка		
3,1329E-10	0,25	0,00000885	5,74E-11		
3,24E-10	0,2601	0,00000918			
3,2041E-10	0,5476	0,000013246	Вторая скобка		
3,4969E-10	0,3025	0,000010285	0,695595		
3,0625E-10	0,4761	0,000012075			
3,4225E-10	0,3481	0,000010915			
3,1684E-10	0,36	0,00001068			
3,4969E-10	0,2916	0,000010098			
3,24E-10	0,3025	0,0000099			
3,4225E-10	0,2601	0,000009435			
3,61E-10	0,2704	0,00000988			
3,3489E-10	0,2704	0,000009516			
3,1684E-10	0,4096	0,000011392			
2,8224E-10	0,7056	0,000014112			
3,1684E-10	0,2704	0,000009256			
3,2761E-10	0,4356	0,000011946			

Коэффициент корреляции
-2,18E-01

Рисунок 13 - Результаты вычислений

Выводы:

- в процессе старения магнитная проницаемость сердечников из феррита уменьшается и, следовательно, уменьшается индуктивность катушек, в которых применены эти сердечники;
- закон распределения индуктивности дросселя как случайной величины близок к нормальному;
- погрешность индуктивности при изготовлении конструктивно одинаковых катушек с ферритовыми сердечниками в основном определяется разбросом параметров магнитной проницаемости материала сердечника;
- для ферритов с одинаковыми значениями магнитной проницаемости магнитные потери могут отличаться от образца к образцу;
- имеется незначительная тенденция к обратной зависимости изменений μ и $\operatorname{tg} \delta_{\mu}$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Резисторы переменного сопротивления

1 Целью лабораторной работы является:

- изучение конструктивных особенностей резисторов переменного сопротивления;
- определение материалов, из которых изготовлены их основные элементы;
- определение функциональных характеристик потенциометров.

2 Правила безопасности при выполнении лабораторной работы являются типовыми

3 Краткие теоретические сведения

Резисторы переменного сопротивления относятся к массовым элементам современной радиотехнической и электронной аппаратуры и предназначены для регулировки напряжения и тока в её электрических цепях и для подстройки их сопротивления под заданное значение.

Специалистами нашей и зарубежных стран подсчитано, что потребности промышленности в переменных резисторах в несколько раз превышают их производство. В связи с этим многие типы переменных резисторов стандартизованы и производятся в массовом порядке.

В зависимости от типа проводящего элемента резисторы делят на проволочные и непроволочные.

В проволочных резисторах токонесущий элемент выполнен из проволоки с высоким удельным электрическим сопротивлением (например, из сплавов манганина, константана, нихрома и других).

В непроволочных резисторах токопроводящий элемент изготовлен либо из полупроводника либо из тонкой полупроводящей или металлической плёнки. Эти резисторы отличаются меньшей стоимостью и возможностью использования на

высоких (более 1000 МГц) частотах. Они получили наиболее широкое распространение, хотя и недостаточно стабильные.

Проволочные резисторы более стабильны, выдерживают значительные перегрузки, но сложнее в производстве и мало пригодны для применения на частотах выше 1.5 – 2 МГц из-за влияния собственной емкости и индуктивности.

Переменные резисторы характеризуются начальным и номинальным сопротивлением, протяженностью регулируемого участка, функциональной характеристикой, номинальной мощностью, моментом вращения, параметрами, характеризующими поведение резисторов при воздействии климатических факторов, а также размерами, весом, стоимостью и т.д.

За номинальное сопротивление резистора принимают величина сопротивления между крайними выводами. Отклонение его от номинального значения может достигать до 30%.

По закону изменения сопротивления от угла поворота оси переменные резисторы делятся на 3 основных типа: линейные, логарифмические и обратно логарифмические (показательные). Их типовые характеристики представлены на рисунке 1.

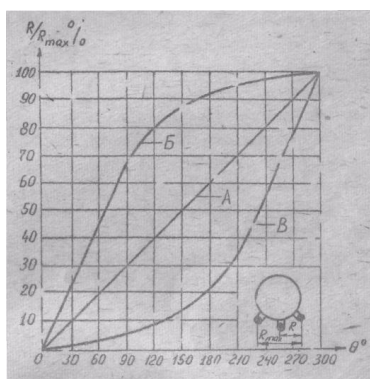


Рисунок 1

Резисторы с линейной функциональной характеристикой «А» применяются в качестве регулировочных и подстроечных; резисторы с логарифмической характеристикой «Б» часто используются в измерительных приборах, где необходимо обеспечить постоянство относительного изменения сопротивления; резисторы с показательной характеристикой «В» применяются в качестве регуляторов громкости, обеспечивая акустически равномерное её изменение.

Минимальным (начальным) сопротивлением резистора называют его величину при установке подвижной системы в крайнее (против часовой стрелки) положение. В непроволочных резисторах величина $R_{\min}$ равна 50 – 200 Ом, в проволочных она значительно меньше.

Непроволочные резисторы переменного сопротивления могут иметь токонесущий элемент как поверхностного, так и объемного типа.

В случае токоведущего элемента поверхностного типа резистор состоит из изоляционного (например, гетинаксового) основания с расположенными на нем тремя выводными контактами, с крайними из которых соединяются концы токопроводящего слоя. Необходимый закон изменения сопротивления здесь обеспечивается нанесением на основание токонесущих слоев с различным удельным электросопротивлением или применением резистивных элементов с переменным по длине сечением. Контактная щетка крепится на оси при помощи изолирующей пластинки и специальной пружинкой соединяется со средним контактом. При вращении оси щетка изменяет величину сопротивления между средним и крайними лепестками. Полный угол поворота оси составляет от 270 до 300°. Для защиты от пыли, влаги, механических повреждений и с целью электрической экранировки резистивное устройство закрывается металлическим колпачком. Функциональные резисторы по сравнению с линейными при прочих одинаковых условиях имеют примерно вдвое меньшую мощность из-за перегрузки отдельных участков токонесущего слоя. Непроволоч-

ные резисторы объемного типа имеют некоторые отличительные особенности. Корпус их изготавливают из керамики, а проводящий слой впрессовывают в дугообразную канавку. Контакт щетку выполняют из специально подобранной смеси графита и сажи. К достоинствам этих резисторов относятся большая износостойкость и меньшие габариты, а к недостаткам — сложность получения нужных функциональных характеристик.

Переменные проволочные резисторы состоят из кольцеобразного каркаса с расположенной на нем однослойной намоткой, по которой перемещается контактная щётка. Для обеспечения хорошего электрического контакта контактная дорожка на обмотке тщательно обрабатывается (шлифуется), а в точных потенциометрах даже полируется. Контактные выводы размещают на изоляционном основании. Каркасы проволочных резисторов изготавливают из гетинакса, текстолита, стеклотекстолита или из металла — алюминия, латуни и т.д. Каркасы из изоляционных материалов покрывают лаками или эмалями, каркасы из металла анодируют и также покрывают стойкими изолирующими лаками и эмалями, что обеспечивает дополнительное закрепление витков и улучшает теплоотдачу.)

Диаметр провода определяется плотностью тока. При небольших нагрузках он определяется технологическими условиями намотки и возможностью размещения провода на каркасе.

Контактные щетки потенциометров делают из платины, серебра, палладия, иридия и др. В грубых резисторах щетка изготавливается из того же материала, что и ползун (бронза, сталь).

От величины контактного давления зависит переходное сопротивление и износ провода. Обычно давление равно $20 - 40 \text{ г/мм}^2$, а в точных потенциометрах — от 3 до 5 г/мм^2 .

Угловые характеристики готовых переменных резисторов одного и того же типа практически не могут быть точно

одинаковыми из-за неизбежно существующего производственного разброса (погрешность в изготовлении резистивного элемента, неточность сборки, влияние при малых сопротивлениях скользящего контакта и т.п.

4. Методика измерения функциональных характеристик

Схема измерительного стенда представлена на рисунке 2

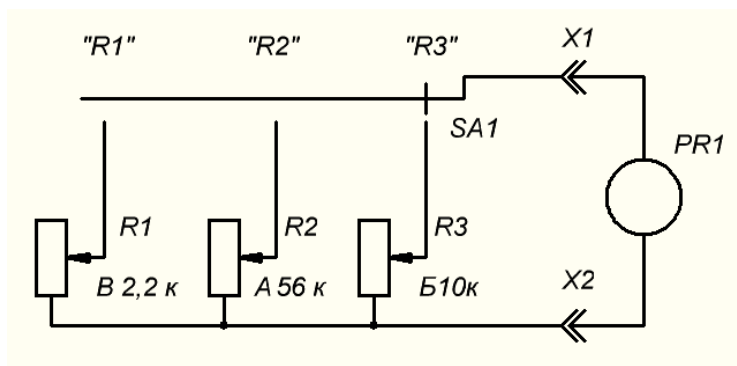


Рисунок 2 – Электрическая схема измерения функциональных характеристик переменных резисторов

Омметром является измеритель RLC типа Е7- 22 в режиме измерения сопротивлений на частоте 120 Гц.

На рисунке 3 показан внешний вид тестера Е7-22.



Рисунок 3

4.1 Назначение органов управления и индикации

4.1.1 Органы управления и индикации передней панели

На рисунке 4 показаны органы управления и индикации передней панели.

- 1 Кнопка включения питания
- 2 Кнопка выбора частоты тест сигнала или ввода цифры «0» или знака «-».
- 3 Кнопка выбора схемы замещения или ввода заданных значений

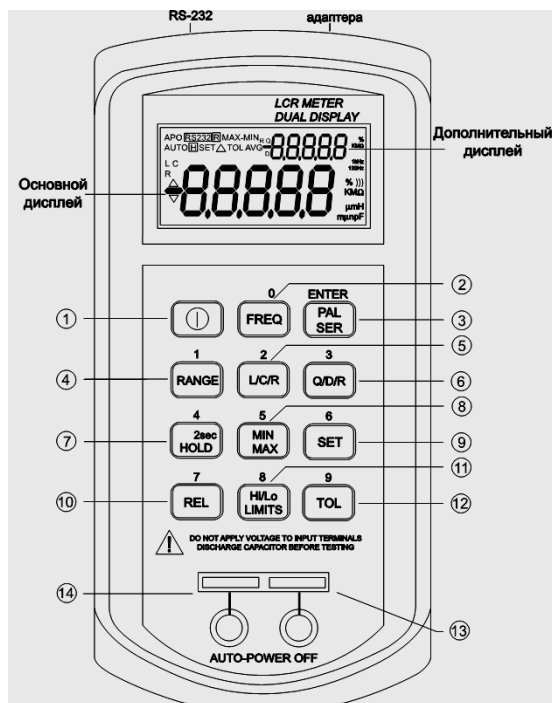


Рисунок 4 - Органы управления и индикации передней панели

- 4 Кнопка ручного выбора пределов измерения или ввода цифры «1»
- 5 Кнопка выбора режимов измерения основных параметров (R,L,C) или ввода цифры «2»
- 6 Кнопка выбора режимов измерения вспомогательных параметров (Q,D,R) или ввода цифры «3»
- 7 Кнопка фиксации измеренного значения, ввода цифры «4» или включения подсветки индикатора
- 8 Кнопка выбора режима фиксации экстремальных или средних значений или ввода цифры «5»

- 9 Кнопка установки программных режимов измерителя RLC или ввода цифры «6»
- 10 Кнопка включения режима относительных Δ -измерений или ввода цифры «7»
- 11 Кнопка установки верхнего и нижнего допускового предела или ввода цифры «8»
- 12 Кнопка включения режима контроля относительных отклонений или ввода цифры «9»
- 13 «-» входные контакты измерителя
- 14 «+» входные контакты измерителя

4.1.2 Назначение органов управления

Основной индикатор измерения параметров ЖК-дисплея – предназначен для отображения результата измерения R, L и C.

Вспомогательный индикатор измерения параметров ЖК-дисплея - предназначен для отображения результата измерения вспомогательных значений - тангенса угла потерь, добротности и сопротивления.

«» - кнопка включения и выключения питания. При включении питания измеритель включится, на индикаторе появится символ «APO», свидетельствующий об активации функции автоматического выключения питания. В режиме бездействия питание будет выключено примерно через 10 минут. Для возвращения в рабочий режим нажмите временно кнопку «», измеритель RLC вернется в состояние, предшествующее выключению питания. Функции автоматического выключения питания дезактивируется при работе от сетевого адаптера или включении режима фиксации экстремальных значений. Для принудительно отключения функции автоматического выключения питания, при включении питания нажмите и удерживайте кнопку «» до появления надписи «APO OFF». После чего отпустите ее, при работе с измерителем на ЖКИ не

будет надписи «АРО». Функции автоматического выключения питания будет активирована автоматически при последующем включении питания.

«ЧАСТ» («Frequency») - кнопка выбора частоты тест сигнала. При каждом нажатии на кнопку частота тест сигнала изменяется в последовательности

1 кГц → 120 Гц → 1 кГц.

Примечание: при включении питания будет установлена частота тест сигнала, предшествующая выключению питания

«ПАР/ПОСЛ» («PAL/SER») - кнопка выбора схемы замещения (PAL- параллельная, SER- последовательная). При каждом нажатии на кнопку тип схемы замещения изменяется в

последовательности

SER → PAL → SER

Примечание: при включении питания будет установлен тип схемы замещения, предшествующий выключению питания.

«ВВОД» («ENTER») – кнопка для ввода заданных значений.

«ДИАП» («RANGE») - кнопка ручного выбора или фиксации пределов измерения, на индикаторе погаснет символ «АUTO». Выбор пределов измерения осуществляется при кратковременном нажатии на кнопку «ДИАП». Выключение режима ручного выбора пределов

измерения осуществляется при:

- повторном нажатии и удержании кнопки «ДИАП» более 2-х секунд;
- переключение режима измерения;
- выключение питания

Примечание: предел измерения будет зафиксирован при включении режима фиксации

экстремальных значений, контроля верхнего и нижнего допускового предела и относительных измерений.

«L/C/R» -Кнопка выбора режимов измерения основных параметров – емкости, индуктивности и сопротивления. При каждом нажатии на кнопку вид измеряемого параметра изменяется в последовательности

$C \rightarrow R \rightarrow L \rightarrow C$.

Примечание: при включении питания будет установлено измерение параметра, предшествующее выключению питания

«D/Q/R» -Кнопка выбора режимов измерения вспомогательных параметров. При каждом нажатии на кнопку на вспомогательном индикаторе параметры будут отображаться параметры доступные для измерения, в зависимости от установленного основного режима измерения.

«УДЕРЖ» («HOLD») - кнопка включения/выключения режима удержания результата на ЖКИ и включения подсветки ЖКИ. При включении режима «УДЕРЖ» – включается индикатор «Н».

Выключение режима удержания результата измерения:

- кратковременно нажать на кнопку «УДЕРЖ»;
- выключить питание.

Нажатие и удержание кнопки «УДЕРЖ» более 2-х секунд, приводит к включению подсветки экрана. Повторное нажатие и удержание кнопки «УДЕРЖ» более 2-х секунд, приводит к выключению подсветки экрана. Подсветка экрана так же выключается автоматически через 1 минуту.

«MIN/MAX» - кнопка включения/выключения режима фиксации экстремальных значений (минимум, максимум, разность между максимальным и минимальным значением, среднее значение за время измерения). При каждом нажатии на кнопку режим изменяется в последовательности

$MIN \rightarrow MAX \rightarrow MIN-MAX \rightarrow AVG \rightarrow \text{выкл} \rightarrow MIN$.

Нажатие и удержание кнопки «MIN/MAX» более 2-х секунд, приводит к выключению режима фиксации экстремальных значений.

Примечание : Во время измерения экстремальных значений изменение режимов измерения не возможно.

«УСТ» («SET») - кнопка программных установок измерителя RLC, подробное описание см. в разделе порядок эксплуатации.

«Δ» («REL») - кнопка включения/выключения режима относительных Δ-измерений, при включении режима относительных измерений – включается индикатор «Δ», основная цифровая шкала обнуляется, а последнее измеренное значение записывается в память как эталонное ($N_{\text{эталон}}$),

В режиме относительных измерений на цифровой шкале отображается величина $N_{\text{отобр.}}$, равная $N_{\text{отобр.}} = N_{\text{вх.}} - N_{\text{эталон.}}$, где $N_{\text{вх.}}$ – измеренное текущее значение.

Выключение режима относительных измерений осуществляется при:

- нажатие и удержание кнопки «Δ /REL» более 2-х секунд;

- выключение питания

«Верх/Ниж Пред» («Hi/Lo LIMITS») - кнопка включения контроля верхнего и нижнего допускового предела.

«ОТН» («TOL») - кнопка включения режима контроля при измерении относительных отклонений.

На рисунке 5 показан стенд для измерения функциональных характеристик $R = f(\alpha)$ переменных резисторов, где α - текущее значение угла поворота оси резистора в градусах, а R - соответствующее этому углу сопротивления резистора. На лицевой панели стенда установлены три переменных резистора с разными функциональными характеристиками.

На осях этих резисторов установлены ручки типа «клювик». Аксиально с осью резистора нанесена шкала с делениями в угловых градусах через 10 градусов. Кончик ручки указывает на значение угла поворота. Все резисторы идентифицированы «R1», «R2» и «R3». На боковой стенке стенда расположены две однополюсные розетки XS1 и XS2. Около розетки XS2 расположена надпись «Общий», что соответствует общему проводнику всех резисторов (см. электрическую схему на рисунке 2). Розетка XS1 в зависимости от положения переключателя R1, R2 или R3 подключается к среднему выводу одного из этих резисторов.

Подключите к измерителю измерительный кабель. Включите питание измерителя, на индикаторе будет высвечиваться символ «AUTO» - автоматический режим выбора или фиксации пределов измерения.

Убедитесь в том, что индикатор состояния батарей не горит. Прогрейте измеритель в течение пяти минут. По истечении этого времени измеритель готов к работе.

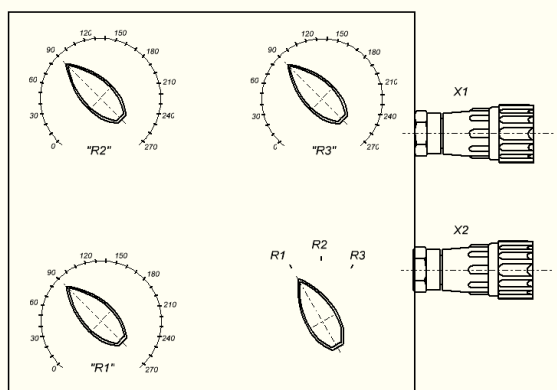


Рисунок 5 – Общий вид стенда для измерения функциональных характеристик $R = f(\alpha)$ переменных резисторов

При измерение сопротивления нажатием на кнопку «L/C/R» выберите режим измерения «R».

Подключите стенд к измерителю: провод красного цвета к розетке XS1, а черного цвета - к XS2 (Общий).

Нажатием на кнопку «ЧАСТ» («FREQ») установите частоту тест сигнала 120 Гц. Кнопку «ПАР/ПОСЛ» («PAL/SER») - кнопка выбора схемы замещения - в положение SER- последовательная. На ЖКИ отобразится результат. Дополнительный индикатор в этом случае отключен.

Обращайте внимание на разряд измеряемой величины, который высвечивается сразу за измеряемой величиной: Ω , $k\Omega$ или $M\Omega$.

Установите все ручки переменных резисторов в положение «0°». Переключатель установите в положение «R1», индикатор будет показывать в Омах начальное сопротивление переменного резистора R1. Запишите показание в таблицу 1.

Поверните ручку на 20°, проведите отчет сопротивления и внесите его в таблицу 1. Продолжайте измерения с шагом 20° до 270° пока ось переменного резистора не упрется в ограничитель. Не забывайте контролировать разряд измеряемой величины. Значение сопротивления при угле поворота 270° является $R_{\max}$.

Значение $R_{\max}$ для всех трех резисторов разное и практически невозможно сравнивать их функциональные характеристики.

Поэтому необходимо провести нормировку полученных сопротивлений.

Нормирование – это получение значений сопротивлений в относительных единицах к максимальным значениям каждого сопротивления. При этом максимальное нормированное значение сопротивления у каждого резистора будет одинаковым и равным единицы. В этом случае для получения промежуточных значений надо каждое текущее значение разделить на максимальное, то есть представить их в относительных единицах (или процентах) по отношению к $R_{\max}$. Максималь-

ное значение будет называться нормирующим коэффициентом.

В рассматриваемом случае нормирующий коэффициент равен для каждого резистора величине $R_{\max}$.

Тогда нормированное значение при 270° будет равно единице или 100 %.

Указанные операции повторите для конденсаторов R2 и R3.

В таблицы 1 – 3 следует внести свои результаты измерения.

Таблица 1 – Исходные данные для резистора R1

$\alpha, \text{град}$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	270
$R, \text{Ом}$	21	28	41	56	71	123	184	240	336	459	602	804	1130	1837	2158
$R/R_{\max}$															1

Переключатель установите в положение «R2», показания на ЖК-индикаторе будут в Омах и представляет начальное сопротивление переменного резистора R2. Поверните ручку на 20° , посмотрите не изменился ли разряд сопротивления, то есть не перешел ли он в кОм. Проведите отчет сопротивления и внесите его в таблицу 2 и так далее, как для резистора R1.

Таблица 2 – Исходные данные для резистора R2

$\alpha, \text{град}$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	270
$R, \text{кОм}$	0,2	4,14	8,34	13,54	18,74	23,94	29,14	34,34	39,54	44,74	49,94	55,14	60,34	65,54	70,74
$R/R_{\max}$															1

Переключатель установите в положение «R3» , индикатор будет показывать в Омах начальное сопротивление переменного резистора R3. Поверните ручку на 20°, посмотрите не изменился ли разряд сопротивления, то есть не перешел ли он в кОм. Проведите отчет сопротивления и также внесите его в таблицу 3 и далее, как для резистора R1.

Таблица 3 – Исходные данные для резистора R3

$\alpha, град$	0	2	4	6	8	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
		0	0	0	0	0	2	4	6	8	0	2	4	6	7
						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$R, кОм$	0,	3,	5,	6,	7,	7,	9,	9,	9,	9,	9,	9,	9,	1	1
	1	7	5	9	2	9	1	2	3	5	7	8	9	0,	0,
														3	6
R/R_{max}															1

Построим три графика по аналогии с графиками, представленном на рисунке 1. Из этих графиков в первом приближении определим какой из резисторов R1, R2 и R3 имеет линейную А, логарифмическую Б и показательную В функциональные характеристики.

Пример построения показан на рисунке 6.

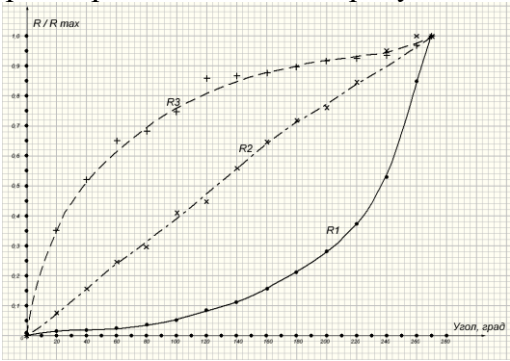


Рисунок 6 – Экспериментальные функциональные характеристики для трех типов переменных резисторов R1, R2 и R3

Определим вид экспериментально полученных функциональных характеристик. Для этого построим нормированные графики логарифмической и показательной функций, где аргументом является угол поворота. Для этого воспользуемся данными таблицы 4.

Таблица 4 – Исходные данные для построения графика нормированной логарифмической функции

$\alpha, \text{град}$	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\alpha / \alpha_{\max}$	0	0,074	0,148	0,222	0,296	0,370	0,444	0,518	0,592	0,666	0,740	0,814	0,888	0,962	1
$\lg \alpha, \text{град}$	0														
$\lg \alpha / \lg \alpha_{\max}$	0														1

На основе этой таблицы построим график (рисунок 7) нормированных функций $\alpha / \alpha_{\max} = f_1(\alpha)$ и $\lg \alpha / \lg \alpha_{\max} = f_2(\alpha)$. Эти графики функциональных характеристик, наиболее часто встречающихся на практике: логарифмической, обратно логарифмической и линейной зависимости.

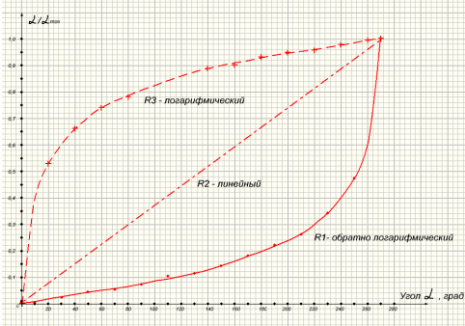


Рисунок 7- Наиболее часто встречающиеся функциональные характеристики переменных резисторов

Показательная функция является обратной к логарифмической. Как известно, графики прямой и обратной функций симметричны относительно прямой проходящей через начало координат и точку с координатами $(\alpha_{max}; 1)$. Поэтому показательную функциональную характеристику очень часто в литературе называют обратно логарифмической. Ее построили методами переноса, поворота и отражения графика для логарифмической функции.

На отдельном рисунке 8 представим графики $R/R_{max} = f(\alpha)$ для экспериментальных результатов. На этом же графике представим рассчитанные кривые, показанные на рисунке 7, и сравним их положение и форму.

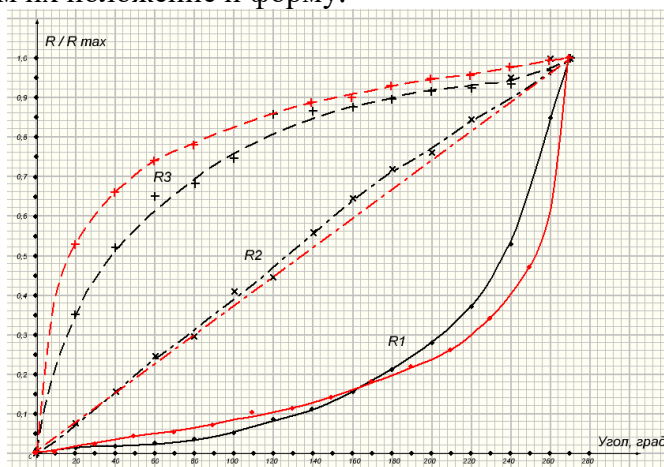


Рисунок 8 - Сравнение графиков для резисторов переменного сопротивления с разными функциональными зависимостями, полученные экспериментальным путем (черного цвета) и путем расчета (красного цвета)

Первое, что следует из графиков, резистор $R1$ имеет обратно логарифмическую характеристику, $R2$ – линейную, а $R3$ – логарифмическую. Для резисторов $R1$ и $R3$ наблюдается заметное отличие кривых рассчитанных и экспериментальных,

особенно в областях быстрого изменения сопротивления при изменении угла поворота.

Такое различие может быть обусловлено многими факторами. Погрешность измерения, которая всегда присутствует при проведении эксперимента. Кривые красного цвета представляют собой показательную и логарифмическую функции, так как они рассчитывались по формулам для этих функций. А вот являются ли экспериментальные кривыми таковыми. Это еще вопрос. Необходимо провести анализ этих кривых и, по возможности, представить аналитические выражения, которыми описываются эти кривые. При расчете функций использовалось основание логарифма, равное 10. Даже, если эти функции те, за которые они себя выдают, то при другом основании вид графиков уже другой.

Так, например, показательную функцию (для резистора R_1) можно очень приближенно описать уравнением модифицированной показательной функции

$$\frac{R}{R_{\max}} = k \frac{b^{\frac{\alpha}{\alpha_{\max}}} - 1}{b - 1}$$

где k - коэффициент пропорциональности;

b - основание показательной функции.

Действительно, при α равном нулю (начало графика) $R/R_{\max}$ также равно нулю, так b^0 равно единице и числитель обращается в ноль. При $\alpha = \alpha_{\max}$, числитель и знаменатель становятся одинаковыми и при k , равным единице, $R/R_{\max}$ будет равно единице, что и наблюдается на графике этой функции. Эти особенности имеют место при любом значении параметра b . Для всех остальных точек значение параметра b имеет определенное значение и его нужно определить, рассматривая конкретные точки графиков показательной функции.

Аналогичные проблемы имеют место быть и для логарифмической функции. Так, например, логарифмическую

функцию (для резистора $R3$) можно очень приближенно описать уравнением модифицированной логарифмической функции

$$\frac{R}{R_{\max}} = \frac{\log_b(\alpha + 1)}{\log_b \alpha_{\max}}.$$

Действительно, при α равно нулю (начало графика) $R/R_{\max}$ также равно нулю, так $\log 1$ равен нулю и числитель обращается в ноль. При $\alpha = \alpha_{\max}$ угол $\alpha_{\max} \gg 1$, числитель и знаменатель становятся одинаковыми и $R/R_{\max}$ будет равно единице, что и наблюдается на графике этой функции. Эти особенности имеют место при любом значении параметра b . Для всех остальных точек значение параметра b имеет определенное значение и его нужно определить, рассматривая конкретные точки графиков логарифмической функции.

Выводы

1 По графикам зависимости сопротивления от угла поворота оси резистора можно практически безошибочно определить функциональную характеристику резистора переменного сопротивления потому, что каждая из этих видов характеристик существенно отличается от других, и их даже при большой погрешности измерения трудно перепутать.

2 Однако при более детальном рассмотрении возникают трудности при аналитическом описании этих характеристик и, как следствие этого усложняется процесс оптимизации электрических цепей с переменными резисторами.

3 Имея информацию о функциональных характеристиках резисторов переменного сопротивления можно применять эти резисторы оптимальным образом.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Плоскопараллельные конденсаторы переменной емкости с вращательным перемещением ротора

1 Целью лабораторной работы является

- изучение конструктивных особенностей конденсаторов переменной емкости (КПЕ);
- определение материалов, из которых изготовлены их основные элементы;
- определение функциональных характеристик

2 Правила безопасности при выполнении лабораторной работы являются типовыми

3 Краткие теоретические сведения

В различных радиотехнических устройствах (приемниках, передатчиках, волномерах и т.д.) в качестве элементов настройки колебательных контуров широко используются конденсаторы переменной ёмкости. Преимущества этого метода настройки по сравнению с вариометрами состоят в более легкой возможности получения необходимого закона изменения емкости и, соответственно, частоты, а также в возможности точного сопряжения нескольких настраиваемых контуров и большем перекрытии по диапазону..

В большинстве практических случаев изменение емкости КПЕ достигается изменением активной площади перекрытия пластин; подвижных (роторных) и неподвижных (статорных).

Наиболее часто применяются воздушные КПЕ с плоскопараллельными пластинами и вращательным перемещением ротора. Емкость таких конденсаторов определяется по формуле

$$C = \frac{S(n-1)}{3,6\pi d}, n\Phi$$

где S и d - активная площадь перекрытия пластин (см^2) и величина зазора между ними (см);

n - суммарное число роторных и статорных пластин.

Величина площади и, следовательно, емкости C зависит от угла поворота ротора θ . При $\theta = 0$, то есть при полностью выведенном роторе, емкость конденсатора не равна нулю, а имеет некоторое $C_{\min}$, называемое его начальной емкостью. Величина $C_{\min}$ зависит от размеров КПЕ, взаимного расположения ротора и статора и элементов крепления статора (его изоляторов). Максимальная емкость $C_{\max}$ определяется диапазоном перекрытия. Разность между C и $C_{\min}$ называют переменной составляющей емкости КПЕ, так как она изменяется при вращении ротора

$$C_{\text{пер}} = C - C_{\min}.$$

По закону изменения $C_{\text{пер}}$ переменные конденсаторы делятся на четыре основных типа:

- прямоемкостные;
- прямоволновые ;
- прямочастотные;
- логарифмические.

Необходимый закон изменения емкости чаще всего обеспечивается соответствующим очертанием роторных пластин. Зависимость $C = f(\theta)$ принято называть угловой характеристикой КПЕ.

Для указанных выше типов КПЕ угловые характеристики и радиусы очертания роторных пластин аналитически выражаются следующими соотношениями

$$\begin{array}{ll}
 C = a\Theta + \epsilon & R = 10,7\sqrt{aK_1 + K_2} \\
 C = (a\Theta + \epsilon)^2 & R = 10,7\sqrt{2aK_1(a\Theta + \epsilon) + K_2} \\
 C = \frac{1}{(a\Theta + \epsilon)^2} & R = 10,7\sqrt{\frac{2aK_1}{(a\Theta + \epsilon)^3} + K_2} \\
 C = \epsilon e^{a\Theta} & R = 10,7\sqrt{a\epsilon K_1 e^{a\Theta} + K_2}
 \end{array}$$

где a, ϵ, K_1, K_2 - постоянные коэффициенты (не зависящие от θ). Формулы 1-4 приведены в такой же последовательности, в какой дана классификация самих конденсаторов.

Графики $C = f(\theta)$ представлены на рисунке 1, а соответствующая им форма пластин показана на рисунке 2; на обоих рисунках цифра 1 относится к прямоемкостному КПЕ, 2 - к прямоволновому, 3 - к прямочастотному и 4 - к логарифмическому.

К основным элементам КПЕ, конструкция которых в значительной степени определяет свойства конденсатора, относятся корпус, статор, ротор, подшипники и токосъем.

По конструктивному выполнению ротора, статора и корпуса КПЕ делятся на 3 типа: литые, фрезерованные и штампованные.

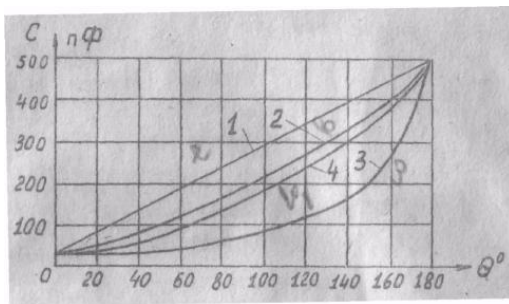


Рисунок 1

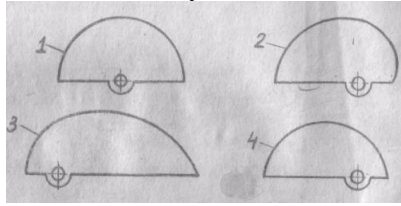


Рисунок 2

Первые из них изготавливаются методом литья из цинковых и алюминиевых сплавов и отличаются высокой стабильностью; однако их нельзя изготовить на большую емкость без значительного увеличения габаритов.

Фрезерованные КПЕ, изготавливаемые фрезерованием ротора, статора и корпуса из сплошных кусков алюминия и его сплавов, также характеризуются высокими электрическими показателями, но металлоемки и сложны в производстве.

Наиболее пригодными для массового производства являются штампованные КПЕ, хотя по электрическим характеристикам они уступают первым двум типам. Эти конденсаторы изготавливаются из штампованных деталей, соединяемых между собой посредством пайки, отбортовки, расчеканки или задавливания.

Роторные и статорные пластины штампуются из листовой стали, латуни или алюминия толщиной от 0,5 до 0,8 мм. После штамповки для снятия внутренних механических напряжений пластины подвергаются термотренировке и специальной рихтовке.

Корпус штампованного КПЕ изготавливают из листовой стали толщиной от 1,5 до 2 мм. Поперечные платы корпуса повышают общую жесткость и экранируют секции друг от друга. Иногда для повышения стабильности корпус делается литым.

Изоляторы статора используются для его крепления и изготавливаются из механически прочных высокочастотных диэлектриков: ультрафарфора, радиофарфора и др. Конфигурацию изоляторов выбирают такой, чтобы емкость через диэлектрик свести к минимуму.

Оси КПЕ делают из стали, латуни, инвара, ультрафарфора и стеатита.

Подшипники в конденсаторах применяются в основном шариковые, которые обеспечивают легкое и равномерное вращение ротора и допускают точную сборку.

Токоъем КПЕ предназначен для соединения его ротора со схемой. Применяемые токоъемы делятся на три группы: со скользящим контактом, с гибким соединением и емкостные токоъемы. Наиболее распространенными являются токоъемы со скользящим контактом, среди которых самыми совершенными считаются цанговые.

Для возможности точной подгонки емкости КПЕ под нужное значение роторные пластины при помощи радиальных разрезов длиной около $2/3$ радиуса делят на ряд секторов, отгибанием которых и производится регулировка емкости.

Под влиянием дестабилизирующих факторов, в частности температуры, происходит изменение размеров деталей КПЕ и взаимного расположения ротора и статора, что сопровождается изменением емкости конденсатора. Обратимые изменения емкости количественно оцениваются ее температурным коэффициентом

$$\alpha_C = \frac{\Delta C}{C \Delta T} , \quad (5)$$

где ΔT и ΔC - изменение температуры и соответствующее ему изменение емкости.

Величина α_C зависит от применяемых материалов, конструкции конденсатора и качества его сборки.

Угловые характеристики готовых КПЕ одного и того же типа практически не могут быть точно одинаковыми из-за неизбежно существующего производственного разброса (погрешность в установке зазора, его асимметрия; погрешность толщины и площади пластин, их кривизна, перекосы и т.д.).

1 Методика измерения угловых характеристик

Схема измерительного стенда представлена на рисунке 3

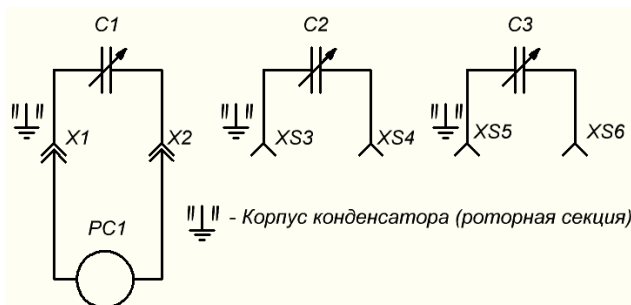


Рисунок 3 – Электрическая схема измерения угловых характеристик переменных конденсаторов

Измерителем емкости является измеритель RLC типа Е7- 22 в режиме измерения емкостей на частоте 1 кГц.

На рисунке 6 показан стенд для измерения угловых характеристик $C = f(\varphi)$ переменных конденсаторов, где φ - текущее значение угла поворота оси конденсатора в градусах, а C - соответствующее этому углу сопротивления конденсатора. На внутренней стороне лицевой панели стенда установлены три переменных конденсатора с разными угловыми характеристиками.

На осях этих конденсаторов установлены ручки типа «клювик». Аксиально с осью конденсатора нанесена шкала с делениями в угловых градусах через 10 градусов. Кончик руч-

ки указывает на значение угла поворота. Все конденсаторы идентифицированы «C1», «C2» и «C3». На боковой стенке стенда расположены 6-ть однополюсных розеток XS1, XS2, XS3, XS4, XS5 и XS6. Около розеток XS1, XS3 и XS5 рас-

положен мнемокод $\begin{smallmatrix} \text{||} \\ \text{||} \\ \text{||} \end{smallmatrix}$ что соответствует корпусному или роторной секции проводнику всех конденсаторов (см. электрическую схему на рисунке 2) Однополюсные розетки XS2, XS4, и XS6 подключается к статорным секциям соответствующих конденсаторов.

Подключите к тестеру Е7-22 измерительный кабель. Включите питание измерителя, на индикаторе будет высвечиваться символ «АUTO» - автоматический режим выбора или фиксации пределов измерения.

Убедитесь в том, что индикатор состояния батарей не горит. Прогрейте измеритель в течение пяти минут. По истечении этого времени измеритель готов к работе.

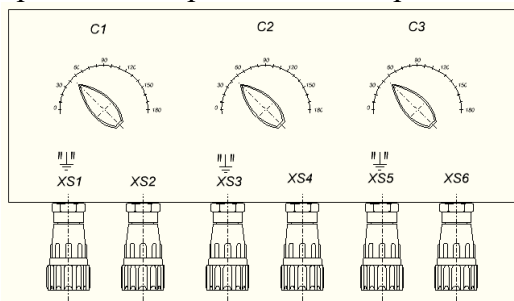


Рисунок 6 – Общий вид стенда для измерения угловых характеристик $C = f(\varphi)$ переменных конденсаторов

При измерение емкости нажатием на кнопку «L/C/R» выберите режим измерения «C».

Подключите стенд к измерителю: провод красного цвета подключается поочередно к розеткам XS2, XS4 и XS6, а черного цвета - к XS1, XS3 и XS5 ($\begin{smallmatrix} \text{||} \\ \text{||} \\ \text{||} \end{smallmatrix}$).

Нажатием на кнопку «ЧАСТ» («FREQ») установите частоту тест сигнала 1 кГц. Кнопку «ПАР/ПОСЛ»

(«PAL/SEC») - кнопка выбора схемы замещения – в положение SEC- последовательная. На ЖКИ отобразится результат. Показания дополнительного параметра не учитываются.

Установите все ручки переменных конденсаторов в положение «0°». Подключите тестер согласно вышеуказанным требованиям к розеткам XS1 и XS2 конденсатора «C1», индикатор будет показывать в пФ или нФ начальную емкость переменного конденсатора C1. Запишите показание в таблицу 1.

Поверните ручку на 20°, проведите отчет сопротивления и внесите его в таблицу 1. Продолжайте измерения с шагом 20° до 180° пока роторная секция переменного конденсатора не упрется в ограничитель. Значение емкости при угле поворота 180° является $C_{\max}$.

Значение $C_{\max}$ для всех трех конденсаторов разное (рисунок 7), поэтому практически невозможно сравнивать их угловые характеристики.

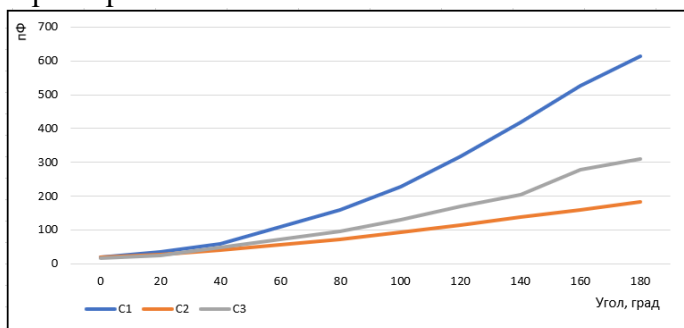


Рисунок 7 – Графики зависимости емкости от угла поворота для разных конденсаторов

Поэтому необходимо провести нормировку полученных емкостей,

Нормирование –это получение значений емкости в относительных единицах к максимальным значениям каждого конденсатора. При этом максимальное нормированное значение емкости у каждого конденсатора будет одинаковым и равным единицы. В этом случае для получения промежуточных

значений надо каждое текущее значение разделить на максимальное, то есть представить их в относительных единицах (или процентах) по отношению к $C_{\max}$. Максимальное значение будет называться нормирующим коэффициентом.

В рассматриваемом случае нормирующий коэффициент равен для каждого конденсатора равен величине $C_{\max}$.

. Тогда нормированное значение при 180° будет равно единице или 100 %.

Указанные операции повторите для конденсаторов C2 и C3.

Таблица 1 – Исходные данные для конденсатора C1

$\theta, град$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$C, n\Phi$										
$C/C_{\max}$										

Таблица 2 – Исходные данные для конденсатора C2

$\theta, град$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$C, n\Phi$										
$C/C_{\max}$										

Таблица 3 – Исходные данные для конденсатора C3

$\alpha, град$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$C, n\Phi$										
$C/C_{\max}$										

Построим три графика (рисунок 8) по аналогии с графиками, представленном на рисунке 1.

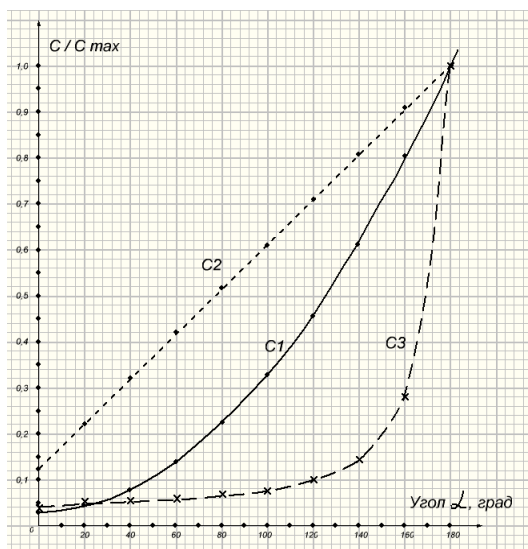


Рисунок 8 – Экспериментальные угловые характеристики конденсаторов

Из этих графиков в первом приближении можно определить только прямоемкостной конденсатор $C2$ с линейной зависимостью $C/C_{max} = \kappa \Theta$.

Теперь нужно определить какой конденсатор является прямоугольным, а какой прямоточный.

Из раздела 3 «Краткие теоретические сведения» известно, что для прямоугольного конденсатора зависимость емкости от угла поворота имеет вид

$$C = (a\Theta + b)^2,$$

а аналогичная зависимость для прямоточного конденсатора имеет вид

$$C = \frac{1}{(a\Theta + b)^2}.$$

Приняв, как частный случай, коэффициент «а» равным единице, а коэффициент «b» равным нулю, получим для прямоугольного конденсатора

$$C = \Theta^2,$$

а для прямочастотного конденсатора

$$C = \frac{1}{\Theta^2}.$$

Для нормированных значений емкостей эти выражения будут выглядеть следующим образом, соответственно, для прямоволнового и прямочастотного конденсаторов

$$\frac{C}{C_{\max}} = \Theta^2,$$

$$\frac{C}{C_{\max}} = \frac{1}{\Theta^2}.$$

Для прямоволнового конденсатора мы имеем дело с параболой, а для прямочастотного - с гиперболой, аргумент которой изменяется по квадратичному закону, то есть с «обостренной» гиперболой.

При проведении эксперимента измерения обычно начинают с минимальных значений углов и идут в сторону увеличения, и для сравнения их графики располагают в одних координатах.

Первые две нормированные функции (для прямоемкостного и прямоволнового конденсаторов) возрастающие и достигают максимума (единицы) емкости при $\Theta = \Theta_{\max}$, третья функция (для прямочастотного) убывающая и имеет максимум емкости при угле, равным нулю, а по мере ее приближения к $\Theta_{\max}$ асимптотически стремиться к минимальным значениям, как показано на рисунке 9.

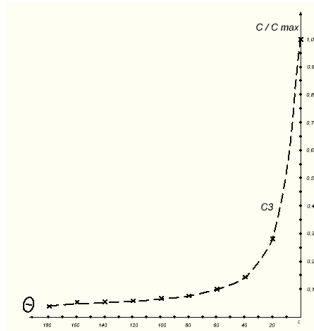


Рисунок 9 – Убывающая функция $\frac{C}{C_{\max}} = \frac{1}{\Theta^2}$ для пря-

мочастотного конденсатора

Эту функцию можно представить как возрастающую, поменяв местами начало и конец координат по оси абсцисс, как показано на рисунке 10. Тогда функции $\frac{C}{C_{\max}} = \frac{1}{\Theta^2}$ пре-

образуется $\frac{C}{C_{\max}} = \frac{1}{(\Theta_{\max} - \Theta)^2}$, а ее график можно также пред-
ставить в тех координатах, что и графики для прямоемкостно-
го $C/C_{\max} = \Theta$ и прямоугольного $C = \Theta^2$ конденсаторов.

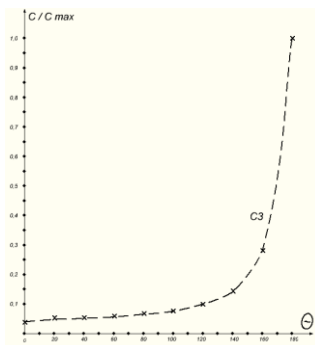


Рисунок 10 – График функция $\frac{C}{C_{\max}} = \frac{1}{(\Theta_{\max} - \Theta)^2}$ для

прямочастотного конденсатора в тех же координатах, что и

графики для прямоемкостного и прямоволнового конденсаторов

Какой из графиков, построенных на основе экспериментальных результатов, относится к какой угловой характеристике более корректно можно утверждать только после сравнения их с графиками, построенными на расчетных (теоретических) данных.

Для этого сначала заполним таблицу 4

Таблица 4 – Исходные данные для построения графиков нормированных функций $f_1(\Theta) = (\Theta / \Theta_{max})$ и $f_2(\Theta) = (\Theta / \Theta_{max})^2$

$\theta, град$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Θ / Θ_{max}	0	0,11	0,22	0,33	0,44	0,55	0,66	0,77	0,88	1
$(\Theta / \Theta_{max})^2$	0	0,012	0,049	0,11	0,2	0,31	0,44	0,6	0,79	1

Сложнее обстоит дело с расчетом аналогичной функции для прямочастотного конденсатора. Во-первых нужно инвертировать направление отсчета по шкале абсцисс $\Theta_{max} - \Theta$. Во-вторых нормировать числовые отчеты по оси абсцисс $(\Theta_{max} - \Theta) / \Theta_{max}$. В третьих получить квадрат этой функции $[(\Theta_{max} - \Theta) / \Theta_{max}]^2$, получить ее обратную величину $\Theta_{max}^2 / (\Theta_{max} - \Theta)^2$ и провести нормировку.

В нашем случае нормирование – это получение значений функции в относительных единицах с максимальным значением таким, как и у сравниваемых с нею функций, то есть единицы. В этом случае для получения промежуточных значений надо каждое текущее значение разделить на максимальное. Максимальное значение будет называться нормирующим коэффициентом.

В рассматриваемом случае нормирующий коэффициент равен бесконечности ∞ . Поэтому все промежуточные результаты будут равны нулю, и пронормированная функция будет принципиально отличаться от исходной и не годится для сравнения с другими нормированными функциями.

Поэтому значение нормирующего коэффициента, нужно выбрать такое (в нашем случае это число 100), чтобы минимальные значения полученной функции могли быть представлены на графике функции точкой вне оси абсцисс, то есть должны превышать или быть равным разрешающей способности по оси ординат (в нашем случае это число 0,01) Проведем все эти операции в таблице 5.

Таблица 5 - Исходные данные для построения графика нормированных функций $f_3(\Theta)$
 $= [1 / (\Theta / \Theta_{max})^2]$

$\Theta, град$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$\Theta_{max} - \Theta$	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
$(\Theta_{max} - \Theta) / \Theta_{max}$	1	0,88	0,77	0,66	0,55	0,44	0,33	0,22	0,11	0
$[(\Theta_{max} - \Theta) / \Theta_{max}]^2$	1	0,77	0,6	0,44	0,3	0,194	0,109	0,048	0,012	0
$\Theta_{max}^2 / (\Theta_{max} - \Theta)^2$	1	1,26	1,65	2,25	3,2	5,1	9	20	83	∞
$0,01 \Theta_{max}^2 / (\Theta_{max} - \Theta)^2$	0,01	0,013	0,017	0,023	0,032	0,051	0,09	0,2	0,83	1

Построим графики нормированных функций:
- линейной зависимости

$$f_1(\Theta) = \frac{\Theta}{\Theta_{max}} ;$$

- квадратичной (параболической) зависимости

$$f_2(\Theta) = \left(\frac{\Theta}{\Theta_{max}} \right)^2 ;$$

- обратно квадратичной (гиперболической) зависимости с модифицируемым аргументом

$$f_3(\Theta) = \frac{1}{100} \cdot \frac{\Theta_{\max}^2}{(\Theta_{\max} - \Theta)^2}$$

Для построения этих графиков воспользуемся данными таблиц 4 и 5.

Графики представлены на рисунке 11

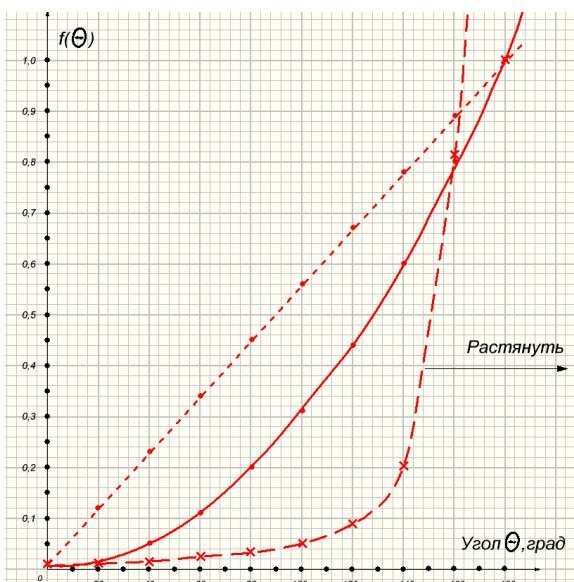


Рисунок 11 – Графики нормированных функций

Экспериментально полученные графики, представленные на рисунке 8, при угле поворота 180 ° все сходятся в одной точке с ординатой, равной единице. Для сравнения экспериментально полученные графиков и графиков нормированных функций последние приведем к одинаковым конечным точкам методом пропорционального сжатия – растяжения, как показано на рисунке 12.

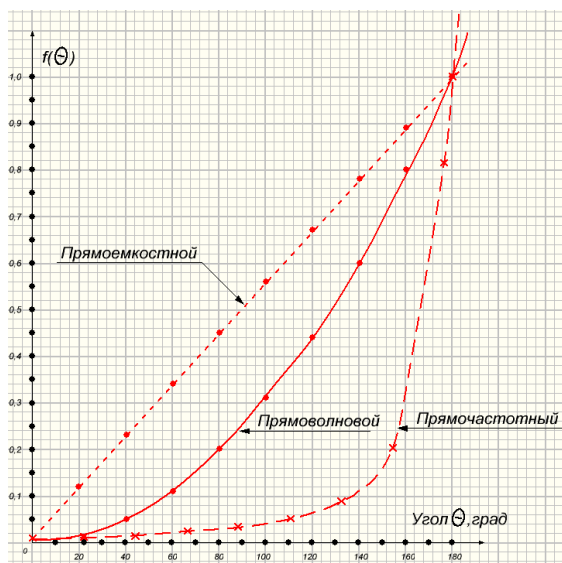


Рисунок 12 – Графики нормированных функций с растянутым по горизонтали графиком обратно квадратичной (гиперболической) зависимости

Как ранее было установлено, что линейной зависимостью должен обладать прямоемкостной конденсатор, квадратичной (параболической) зависимостью – прямоугольной и обратно квадратичной (гиперболической) зависимостью – прямочастотный.

В результате растяжки появилась погрешность отсчета углов поворота равная 16° при максимальном угле 180° как следует из рисунка 10 или в относительных единицах 8,8 %. Такая погрешность приемлемая для качественного сравнения экспериментальных и расчетных кривых.

Расположим экспериментальные и расчетные графики в одной системе координат приведем расчетные графики к начальным точкам экспериментальных кривых методом пропорционального сжатия – растяжения и перемещения по оси ординат, как показано на рисунке 13.

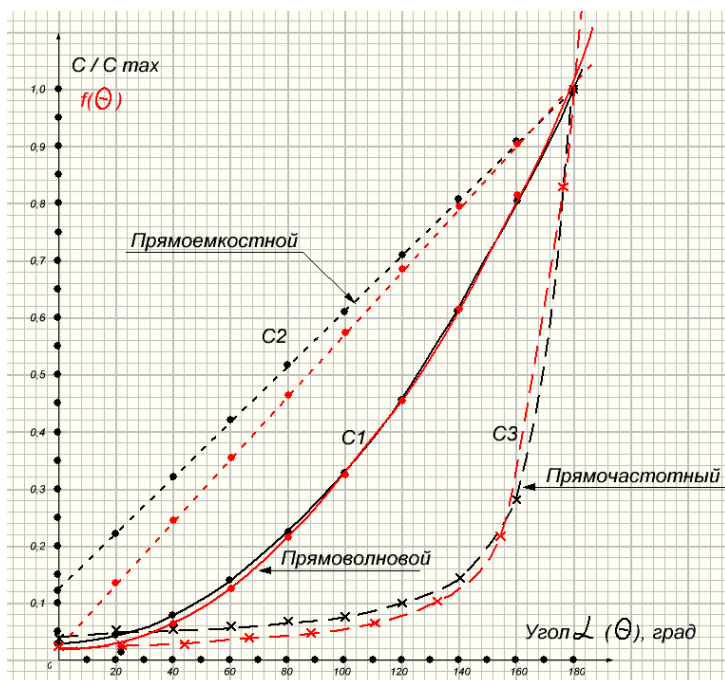


Рисунок 13 – Графики для сравнения экспериментальных (черного цвета) и идеальных (красного цвета) угловых характеристик различных типов конденсаторов

Как видно из рисунка 13 совпадение экспериментальных (черного цвета) и идеальных (красного цвета) угловых характеристик достаточно высокое. Теперь можно точно утверждать, что C1 – это конденсатор с прямоугольной угловой характеристикой, а C3 - с прямоуглоной угловой характеристикой.

Выводы

1 Угловая характеристика является важной информацией при проектировании шкал различных измерительных приборов, а иногда приемных и передающих устройств, с вернь-

ерным приводом для механического перемещения ротора конденсатора

2 По графикам зависимости емкости от угла поворота ротора можно практически безошибочно определить прямую емкостную угловую характеристику конденсатора переменной емкости потому, что из всех видов характеристик она существенно отличается от двух других даже при большой погрешности измерения.

3 Однако, при более детальном рассмотрении возникают трудности при аналитическом описании этих характеристик и, как следствие этого усложняется процесс оптимизации электрических цепей с переменными конденсаторами.

4 Проблематично оценить числовое значение точности реальной угловой характеристики относительно идеальной для прямочастотных конденсаторов

5 Имея информацию об угловых характеристиках конденсаторов переменной емкости можно применять эти конденсаторы оптимальным образом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 1. Демаков, Ю. П. Радиоматериалы и радиокомпоненты: Учебное пособие для вузов: В 2 ч. ч. II: Компоненты электронных схем. / Ю. П. Демаков– Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 1999. — 472 с.: ил.

2. ГОСТ 20718-75 Катушки индуктивности аппаратуры связи. Термины и определения. - Официальное издание. Телекоммуникации. Аудио- и видеотехника. Термины и определения. Часть 3: Сб. стандартов. - М.: Стандартиформ, 2005. – С. 39 -54.

3. ГОСТ Р 52002-2003. Электротехника. Термины и определения основных понятий.–М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2003. – 30 с. Пестряков, В.Б. Конструирование радиоэлектронных средств [Текст]: учебник для вузов / В.Б. Пестряков и др; под ред. В.Б. Пестрякова. – М.: Радио и связь, 1992. – 432 с.

2. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник / Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А.Прохоренко, Ю.П.Ходоренок. – Мн.:Беларусь, 1994. – 591 с.: ил.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа №1	3
2. Лабораторная работа №2	15
3. Лабораторная работа №3	35
Библиографический список.....	53

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по дисциплине «Материалы и компоненты электронных средств» по направлению 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм обучения

Составители:
Худяков Юрий Васильевич

Компьютерный набор Ю.В. Худякова

Подписано к изданию _____
Уч.- изд. л. ____

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14