

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ
РЕЗОНАТОРОВ

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе
для студентов

Куйбышев 1987

УДК 621.396

Методические указания содержат краткие теоретические сведения по пьезокерамическим резонаторам: принцип действия, основные параметры и конструкции. Приводятся расчетные и экспериментальные данные основных характеристик резонаторов.

Указания предназначены для студентов, обучающихся по специальностям 0701 и 0705.

Составители: Ю.И. Макарычев, В.А. Медников

Рецензенты: Ю.Н. Плехин, кафедра АСУ
Куйбышевский авиационный институт

Ц е л ь р а б о т ы - ознакомиться с принципом действия и применением пьезокерамических резонаторов.

С О Д Е Р Ж А Н И Е Р А Б О Т Ы :

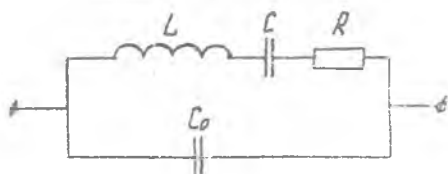
ознакомление с конструкцией пьезокерамических резонаторов;
определение параметров резонаторов расчетным и экспериментальным путем.

ТВОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Резонаторы могут выполнять функции последовательного и параллельного пьезоэлектрического (пьезокерамического) фильтра. Воздействуя на пьезокерамический резонатор переменным напряжением определенной частоты, в нем можно возбудить резонансные механические колебания. При включении в электрическую цепь пьезокерамический резонатор ведет себя как последовательно-параллельный колебательный контур, показанный на рис. 1. Элементы этого эквивалентного контура отражают свойства резонатора как электро-

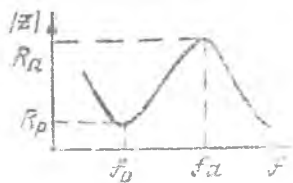
механической системы: сопротивление R отражает потери, обусловленные внутренним трением в материале, индуктивность L пропорциональна массе, а емкость C обратно пропорциональна механической жесткости материала резонатора. Параллельная емкость C_0 зависит как от герметической емкости резонатора, так и от коэффициента электромеханической связи. Параметры R , L , C называют динамическим сопротивлением, индуктивностью и емкостью соответственно, а емкость C_0 - статической емкостью резонатора.

Общий вид зависимости модуля полного сопротивления $|Z|$ резонатора от частоты показан на рис. 2.



Р и с. 1. Эквивалентная электрическая схема пьезокерамического резонатора

Общий вид зависимости модуля полного сопротивления $|Z|$ резонатора от частоты показан на рис. 2.



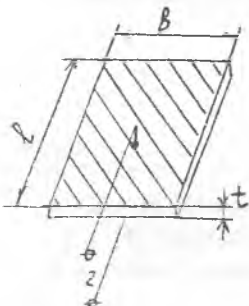
Р и с. 2. Зависимость модуля полного сопротивления пьезокерамического резонатора от частоты

На частоте много меньшей, чем резонансная, резонатор является конденсатором с емкостью $C_T \approx C_0 + C_1$. На частоте, близкой к частоте последовательного резонанса $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$, сопротивление резонатора резко уменьшается, достигая величины $R_p \approx R$. При дальнейшем повышении частоты сопротивление увеличивается до значения R_a на частоте, близкой к частоте параллельного резонанса,

$$f_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}}} \quad (I)$$

далее сопротивление падает, приближаясь к величине $\frac{1}{2\pi f C_0}$. Характерными точками рассмотренной зависимости являются частота последовательного резонанса (резонансная частота) f_p , частота параллельного резонанса (антирезонансная частота) f_a , минимальное R_p и максимальное R_a значения сопротивлений. Важное значение имеет также разность антирезонансной и резонансной частот $\Delta f = f_a - f_p$, называемая резонансным промежутком резонатора. Величина относительного резонансного промежутка $\Delta f / f_p$ определяет возможную ширину полосы пропускания фильтра.

Одной из распространенных конструкций резонаторов является прямоугольный брусок из пьезокерамического материала длиной l , шириной b и толщиной t (рис.3) с металлизированными поверхностями (электродами).



Р и с.3. Резонатор в виде прямоугольного бруска

Воздействием постоянного электрического напряжения брусок поляризуется в направлении толщины.

Если к электродам поляризованного бруска подвести переменное напряжение с частотой f , близкой к $v/2e$, где v — скорость распространения звука в материале, то в бруске возбуждятся резонансные колебания по длине. Длина бруска обычно значительно превышает ширину и толщину. В этом случае частота основного тона колебаний по длине существенно отличается от резонансных частот колебаний ширине и

толщине, и резонатор оказывается моночастотным в довольно широком диапазоне частот. При резонансных колебаниях по длине короткие торцы бруска испытывают наибольшие смещения, а его среднее сечение остается неподвижным. Как известно, неподвижные точки, линии или поверхности, образу-

щиеся при резонансных колебаниях резонаторов, называются узловыми. В этих местах резонатор можно закрепить или зажать между пружинящими контактами, не вызывая дополнительных потерь энергии и не нарушая моночастотности. Таким образом, у бруска контактные устройства можно располагать по периметру среднего сечения. Расчет резонансной частоты f_p , относительного резонансного промежутка $\Delta f/f_p$ и эквивалентной параллельной емкости C_0 производится по формулам

$$f_p = \frac{N_e}{e}, \quad \frac{\Delta f}{f_p} \approx 0,4 R_{31}^2, \quad (2)$$

$$C_0 = 8,85 \cdot 10^{-3} \varepsilon_{33}^T \frac{b e}{l} (1 - R_{31}^2), \quad (3)$$

где R_{31} - коэффициент электромеханической связи (табл. I);
 ε_{33}^T - диэлектрическая проницаемость (см. табл. I);
 N_e - частотная постоянная для бруска (см. табл. I).

Т а б л и ц а I

Материал	Плотность, г/см ³	Коэффициенты электромеханической связи		Добротность Q	Частотная постоянная для бруска N_e Кгц/см	Диэлектрическая проницаемость ε_{31}^T
		R_{31}	R_{33}			
Титанат бария	5,7	0,21	0,50	300	220	1700
Титанат бария, кальция и свинца	5,4	0,11	0,34	1200	243	450
Цирконат-титанат свинца PZT-6A	7,4	0,25	0,54	450	177	1050
Цирконат-титанат свинца ЦТС-60B	7,3	0,18	-	400	180	700
Ниобат бария и свинца КНБС-47	5,5	0,15	-	300	201	1800

В этих и приводимых ниже формулах размеры берутся в миллиметрах, емкость в пикофарадах, резонансная частота в килогерцах. Если емкость резонатора известна (по измерениям на низкой частоте) и равна C^T , то

$$C_0 = C^T (1 - R_{31}^2)$$

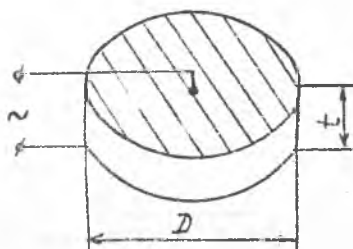
Динамическая индуктивность L_d емкость C эквивалентной схемы можно вычислить по следующим формулам:

$$C \approx C^r \frac{2 \Delta f}{f_p} \quad (5)$$

$$L \approx \frac{12,6 \cdot 10^6}{f_p \Delta f C^r} \quad (6)$$

Широкое распространение получили пьезокерамические резонаторы в форме диска (рис. 4), которые применяются, в частности, для изготовления

фильтров промежуточной частоты радиоприемников на частотах 450... 500 КГц. На плоские поверхности диска наносятся электроды, которые служат как для поляризации диска, так и для возбуждения резонансных колебаний.



При возбуждении дискового резонатора переменным электрическим полем в нем возникают радиальные колебания, при которых диск попеременно растягивается и сжимается в направлении от центра

Р и с. 4. Дисковый пьезокерамический резонатор

к краю. Диаметр диска обычно в 4 раза и более превышает толщину, что обеспечивает моночастотность резонатора в достаточно широкой полосе частот.

При радиальных колебаниях диска точки наибольших смещений находятся на его краях. Узел колебаний расположен в центре диска. Этот участок может быть использован для закрепления диска и подведения напряжения.

Частотная постоянная для основного тона радиальных колебаний диска $N_c = f_p D$ примерно в 1,35 раза больше частотной постоянной для продольных колебаний по длине бруса N_l (см. табл. I).

Резонансная частота диска определяется из выражения

$$f_p \approx \frac{1,35 N_c}{D} \quad (7)$$

Дисковые резонаторы на частоте 450...500 КГц имеют небольшие размеры, позволяющие создавать малогабаритные конструкции фильтров. Относительную величину резонансного промежутка и эквивалентную параллельную емкость дискового резонатора можно вычислить по формулам

$$\frac{\Delta f}{f_0} = 1,16 k_{31}^2$$

(8)

$$C_0 = 8,85 \cdot 10^{-3} \cdot \epsilon_{33}^T \left(1 - 2,86 k_{31}^2\right) \frac{S D^2}{4L}$$

(9)

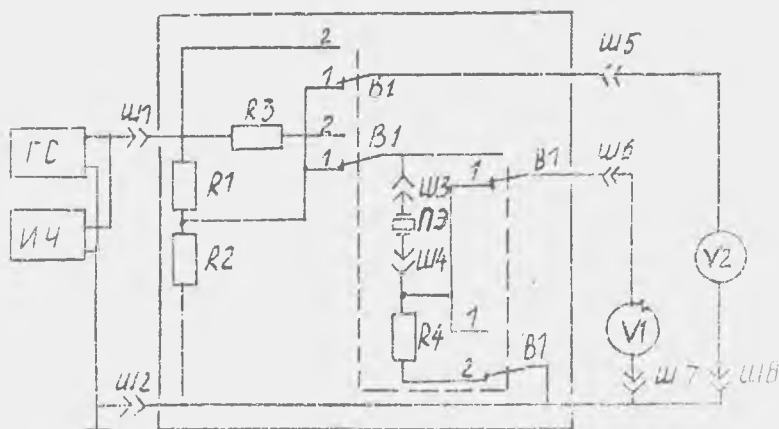
Статическая и динамическая емкости, динамическая индуктивность и сопротивление дисковых резонаторов на резонансной частоте зависят от площади электродов, толщины диска и констант материала. Значения параметров дисковых резонаторов на частотах 450...500 КГц находятся обычно в следующих пределах:

$$C_0 = 150 \dots 800 \text{ пФ}, \quad L = 2 \dots 20 \text{ мГ},$$

$$C = 20 \dots 100 \text{ пФ}, \quad R = 10 \dots 100 \text{ Ом}, \quad Q = 300 \dots 500.$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для исследования пьезокерамических резонаторов состоит из пульты, с которым соединен испытываемый резонатор ПЭ генератора сигналов (ГС), измерителя частоты (ИЧ), вольтметров $V1$ и $V2$ (рис.5).



Р и с. 5. Электрическая принципиальная схема установки для исследования параметров пьезокерамических резонаторов

Для измерения резонансной частоты переключатель В1 необходимо установить в положение 1. При этом сигнал поступает на резонатор ПЭ через делитель $R1$, $R2$. Напряжение, пропорциональное току в цепи резонатора, снимается с резистора $R4$ и контролируется вольтметром $V1$. На резонансной частоте эквивалентное сопротивление резонатора принимает наименьшее значение, при этом ток в цепи резонатора и напряжение на резисторе $R4$ резко возрастают. Резонансная частота f_p фиксируется по максимуму показаний вольтметра $V1$. Отсчет частоты производится по измерителю частоты ИЧ. Сопротивления резисторов $R2$, $R4$ снижают добротность резонатора, поэтому выбор суммарного сопротивления $R2 + R4$ производится из условия $R2 + R4 \ll R$, где R - резонансное сопротивление резонатора.

Для измерения антирезонансной частоты f_a переключатель В1 устанавливают в положение 2. При этом сигнал поступает на резонатор ПЭ через резистор $R3$, величина которого выбирается из условия $R3 \gg R_a$, где R_a - сопротивление резонатора на антирезонансной частоте. Антирезонансная частота f_a считывается с измерителя частоты при максимальных показаниях вольтметра $V1$. Вольтметр $V2$ измеряет напряжение, подаваемое на резонатор.

УКАЗАНИЕ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Для проведения работы необходимо ознакомиться с лабораторной установкой и приборами, необходимыми для исследований.

I. Рассчитать параметры f_p , $\frac{\Delta f}{f_p}$, C_0 , L , C , f_a для 2-х образцов резонаторов в виде прямоугольного бруска и 2-х образцов резонаторов в виде диска. Предварительно необходимо измерить b , e , l бруска, D и t диска, а также определить по табл. I коэффициенты k_{32} , k_{33} , N_0 , ϵ_{33}^T зная материал, из которого изготовлены резонаторы. Для расчета f_p применяют формулы (2), (7); для расчета $\Delta f/f_p$, C_0 - формулы (2), (3) и (8), (9). Для расчета f_a применяют формулу

$$f_a = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot \frac{C C_0}{C + C_0}}}$$

предварительно находят L и C по формулам (5), (6) с использованием (4).

Результаты расчетов внести в табл. 2.

2. Определить экспериментально f_p . Для этого к гнездам Ш3, Ш4 подключить исследуемый резонатор, установить переключатель В1 в положение I и, изменяя частоту генератора сигналов ГС в диапазоне расчетного значения $f_{расч}$, определить $f_{рэкспер}$ по показаниям ИЧ при максимальном отклонении стрелки вольтметра $V1$.

Установив переключатель В1 в положение 2, аналогично определить $f_{аэкспер}$. Вычислить экспериментальное значение относительного резонансного промежутка $\Delta f / f_{рэкспер}$.

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Номера резонаторов, их типы, константы	Параметры резонатора					
	$f_{расч}$ $f_{рэкспер}$	$\Delta f / f_{расч}$ $\Delta f / f_{рэкспер}$	C_0	L	C	$f_{арасч}$ $f_{аэкспер}$
I						
.						
.						
.						
4						

Объяснить причины возможных отклонений экспериментальных данных от расчетных.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткие теоретические сведения о принципе действия пьезокерамических резонаторов. Необходимые расчетные соотношения.
2. Типы исследуемых резонаторов, их геометрия, необходимые константы.
3. Схема лабораторной установки.
4. Расчеты параметров резонаторов f_p , $\Delta f / f_p$, C_0 , L , C , f_a приведенных в табл. 2.
5. Экспериментальные данные приведенные в табл. 2.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами должны обладать материалы для изготовления пьезо-керамических резонаторов?
2. Принцип действия пьезокерамического резонатора, его эквивалентная схема и зависимость полного сопротивления резонатора от частоты.
3. Объяснить принцип работы лабораторной установки при измерении f_p и f_2 .

Библиографический список

- Фрид Н.А., Азарх С.Х. Пьезокерамические фильтры. - М.: Энергия, 1967. - с. 8-16.
- Грибовский П.О. Керамические твердые схемы. - М.: Энергия, 1971. - с. 272-301.

Составители: Юрий Иванович Макарычев,
Залерий Александрович Медников

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

Редактор Б.Д.Антонова
Техн.редактор Н.Н.Каленик

Подписано в печать 18.09.87 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная.
Печать оперативная. Усл.п.л.0,7. Уч.-изд.л.0,6.Т.300 экз.
Бесплатно. Заказ № 447.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Уч.оперативной полиграфии КуАИ, г.Куйбышев,
ул. Ульяновская, 18.