



**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Лабораторный практикум

по дисциплине

“АКУСТОЭЛЕКТРОНИКА”

для студентов дневной формы обучения
по направлению 6.050901 — Радиотехника

Севастополь
2009

УДК 621.396.1

Методические указания: «Лабораторный практикум по дисциплине «Акустоэлектроника» для студентов дневной формы обучения по направлению 6.050901 — Радиотехника/ Сост. А.Н. Трушкин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. — 72 с.

в подготовке и проведении лабораторного практикума по дисциплине

Целью методических указаний является оказание помощи студентам очной формы обучения в подготовке и проведении лабораторного практикума по дисциплине «Акустоэлектроника», а также в получении ими теоретических знаний и практических навыков при проектировании и эксплуатации современных акустоэлектронных устройств.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники протокол № от сентября 2009 г.

Допущено учебно-методическим центром в качестве методических указаний.

Рецензент: Гимпилевич Ю.Б., заведующий кафедрой радиотехники СевНТУ, докт. техн. наук, профессор.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Лабораторная работа №1	6
Исследование амплитудно-частотной характеристики фильтров на поверхностных акустических волнах.....	28
2. Лабораторная работа №2	28
Исследование характеристик громкоговорителей.....	47
3. Лабораторная работа №3	47
Исследование диаграммы направленности электродинамического микрофона.....	63
4. Лабораторная работа №4	63
Исследование частотной характеристики модуля полного электрического сопротивления конденсаторного микрофона.....	71
Библиографический список.....	71

Введение

Дисциплина «Акустоэлектроника» направления 6.050901 — «Радиотехника» изучается студентами дневной формы обучения в 6-ом семестре. В данную методическую разработку включены три лабораторных работы. Методические рекомендации по выполнению каждой лабораторной работы содержат следующие разделы: цель работы; теоретическая часть; расчетная часть; описание лабораторного макета; порядок выполнения лабораторной работы; порядок оформления отчета; порядок защиты отчета; выводы; контрольные вопросы; библиографический список.

Студенты осуществляют предварительную подготовку к лабораторным занятиям и перед выполнением лабораторной работы отвечают на теоретические вопросы, объясняют принцип работы лабораторного макета, назначение органов управления приборов, входящих в лабораторный макет (получают допуск). Такой подход позволяет не только подготовить студентов к осознанному выполнению лабораторной работы, но и повысить их производительность труда.

Бригада для выполнения лабораторной работы состоит из двух или трех студентов. В процессе выполнения работы ведется протокол, в котором излагается весь ход работы, фиксируются результаты экспериментов. После завершения работы преподаватель просматривает полученные данные и подписывает протокол.

На основании протокола каждый студент оформляет отчет, который имеет титульный лист установленного образца и содержит следующие разделы: цель работы; теоретическая часть; расчетная часть;

описание принципа действия лабораторной установки; экспериментальные данные; результаты обработки экспериментальных данных; графики, рассчитанные параметры и др.; выводы по работе; библиографический список используемой литературы.

В выводах должны быть отражены:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований проведенных студентом по индивидуальному заданию;
- результаты сопоставительного анализа теоретических и экспериментальных исследований с указанием причин, приводящих к погрешностям измерений.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЛЬТРОВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

1.1. Цель работы

Теоретические исследования, расчет конструктивных параметров и экспериментальные исследования амплитудно-частотной характеристики фильтров на поверхностных акустических волнах

1.2. Теоретическая часть

1.2.1. Принцип действия, основные характеристики и область их применения фильтров ПАВ

Работа фильтров на ПАВ основана на явлении избирательного приема и передачи бегущих вдоль поверхности и пьезоэлектрической подложки акустических волн. По сравнению с LC -фильтрами они имеют более плоскую вершину АЧХ, большую крутизну скатов АЧХ на границе полосы пропускания, стабильность и точность. Фильтры на ПАВ применяют взамен фильтров сосредоточенной селекции.

Широкополосные и средне-полосные фильтры используются для канальной или групповой селекции сигналов и частотно-избирательных элементов, переставляемых по частоте и полосе.

Компоненты на поверхностных акустических волнах (ПАВ) разрабатываются уже многие годы.

Основные достоинства ПАВ-устройств следуют из их структуры: относительная простота реализации фильтров с заданными характеристиками; технологичность и полная интегральность конструкции в сочетании с точной повторяемостью параметров. Кроме того, к достоинствам применения устройств на ПАВ следует отнести:

- малые размеры;
- независимость фазочастотной характеристики (ФЧХ) от амплитудно-частотной (АЧХ);
- высокая прямоугольность АЧХ;
- превосходная внеполосная режекция;
- температурная стабильность.

Возможность массового производства, экономичность и воспроизводимость таких устройств обусловлены применением планарной групповой технологии при их изготовлении. В настоящее время хорошо проработаны и серийно выпускаются следующие основные типы изделий на ПАВ, различие которых заключается в их физической конструкции:

- линии задержки;
- резонаторные фильтры;
- фильтры с малыми потерями.
- широкополосные фильтры.

На рис. 1.1 показаны варианты конструктивного оформления фильтров

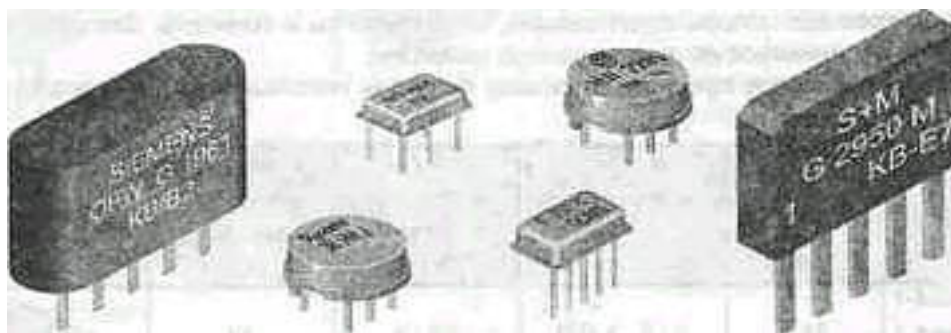


Рис. 1.1 — Внешний вид ПАВ-фильтров

В таблицах 1.1 и 1.2 приведены типовые значения параметров фильтров

Таблица 1.1 — Типовые полосовые фильтры

Центральная частота (МГц)	Ширина полосы пропускания по уровню 3 дБ (МГц)	Вносимые потери (дБ)	Вид групповой задержки	Материал подложки
8...400	$(0,2...50)\%$ от $f_{\text{ном}}$	14...35	линейный	Ниобат лития, кварц, танталат лития

Таблица 1.2 — Полосовые фильтры с малыми потерями

Центральная частота (МГц)	Ширина полосы пропускания по уровню 3 дБ (МГц)	Вносимые потери (дБ)	Вид групповой задержки	Материал подложки
50...1300	$1...7$ от $f_{\text{ном}}$	2,5...12	линейный	Ниобат лития, кварц, танталат лития

Простейший ПАВ-фильтр (рис.1.2) содержит два встречно-штыревых преобразователя (ВШП), предназначенных для взаимного преобразования электрических и акустических сигналов, расположенных на полированной пьезоэлектрической подложке (кварц, ниобат лития, танталат лития, и т.д.). Каждый ВШП состоит из двух вложенных друг в друга гребенок металлических электродов.



Рис.1. Конструкция фильтра на ПАВ.

Рис. 1.2 — Конструкция ПАВ-фильтра

Электроды ВШП обычно расположены на расстоянии 12 или 14 длин акустической волны на центральной частоте фильтра, что ограничивает

верхний предел центральной частоты минимальным размером ширины электрода, реализуемым при стандартной технологии.

Нижний предел центральной частоты фильтра ограничен допустимой длиной пьезоэлектрической подложки.

ПАВ-устройства используются для обработки радиосигналов в диапазоне частот от 10 МГц до 2 ГГц (рис.1.3)

Обычный ПАВ-преобразователь является двунаправленным излучателем, что ограничивает минимальные вносимые потери на уровне 6 дБ. Наличие ряда эффектов второго порядка, таких как резистивные потери в электродах и соединительных шинах, рассогласование акустических и электрических импедансов преобразователей, низкие значения коэффициента электромеханической связи доступных для применения пьезоэлектриков, увеличивает уровень вносимых потерь в реальном фильтре до 15...30 дБ.



Рис. 1.3 — Контруктивное исполнение
полоснопропускающего ПАВ-фильтра в
диапазоне 2 ГГц

В последние годы появились новые конструкции фильтров на ПАВ, обеспечивающие вносимые потери на уровне 1...7 дБ за счет использования внутренних переотражений, например, продольно-
а рис. 1.4.

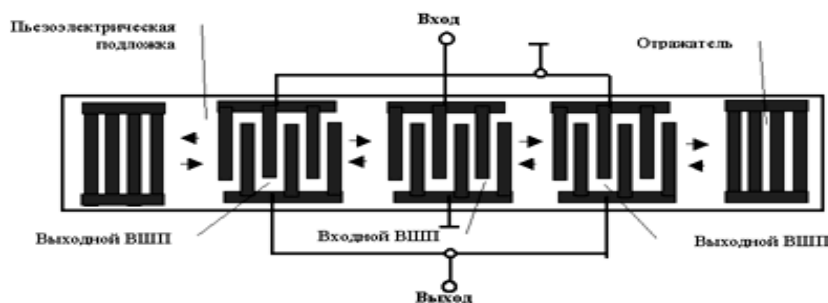


Рис.2. Конструкция фильтра на ПАВ с малыми потерями.

Рис. 1.4 — Конструкция фильтра с малыми поте-

С недавнего времени компания EPCOS предлагает фильтры на поверхностных акустических волнах и двухканальные резонаторы в керамическом корпусе на кварцевой подложке с посадочным местом 3x3 мм. Теперь, по сравнению с предыдущими моделями ПАВ-фильтров (3,8x3,8 мм) экономия площади на плате составит 40%, а для двухканального резонатора — 64% (5x5 мм). Высота вставки также была существенно уменьшена — от 1,5 до 1 мм в ПАВ-фильтрах и от 1,35 до 1 мм в двухканальных резонаторах.

Новые модели фильтров и резонаторов пригодны для использования в диапазонах 315, 433,92 и 915 МГц соответственно. Несмотря на такую миниатюризацию, типичные вносимые потери в полосе пропускания составляют лишь 2,4 дБ.

Сферы применения новых фильтров — это беспроводные наушники, открыватели гаражных дверей, системы управления доступа, системы противопожарной сигнализации, системы дистанционного управления для подъемных кранов и других промышленных машин и механизмов. Большинство преимуществ ПАВ-устройств обусловлено непосредственно их физической структурой: малым весом и габаритами; линейной фазой, исключительным внеполосным подавлением, температурной стабильностью. Они не требуют сложной настройки в аппаратуре и не могут расстроиться в процессе эксплуатации.

Среди новых полезных свойств описываемых ПАВ-фильтров и резонаторов — возможность использования в расширенном температурном диапазоне: от -40 до $+95^{\circ}\text{C}$.

1.2.2. Полоснопропускающие ПАВ-фильтры

Выбор конструктивного решения определяется совокупностью требований, предъявляемых к электрическим характеристикам конкретного ПАВ-фильтра:

1. Центральная частота фильтра;
2. Вносимое затухание в полосе пропускания;
3. Ширина полосы пропускания по уровню -3 дБ;
4. Ширина полосы пропускания по уровню -40 дБ;

5. Неравномерность АЧХ фильтра в заданной полосе пропускания;
6. Уровень подавления внеполосных сигналов в полосе задержания;
7. Допустимость наличия гармонических составляющих и их уровень по отношению к первой гармонике;
8. Неравномерность и форма характеристики группового времени запаздывания (ГВЗ) в полосе пропускания фильтра;
9. Сопротивление нагрузки по входу и выходу;
10. Допустимость применения согласующих элементов;
11. Рабочий диапазон температур;
12. Желаемое конструктивное исполнение (тип корпуса).

ПАВ-фильтры применяются в телевизионной технике, технике прецизионных измерений и при разработке датчиков различных физических величин. Широкое применение нашли электронные компоненты, использующие поверхностные акустические волны. ПАВ-фильтры используются в качестве химических микросенсоров (ПАВ-сенсоров) в силу своей чувствительности, малого размера и дешевизны изготовления на основе технологии микроэлектроники. Преимуществом ПАВ-сенсоров является высокая чувствительность скорости распространения поверхностно-акустической волны к любым изменениям свойств поверхностного материала. Это объясняется тем, что чувствительность таких сенсоров растет пропорционально квадрату рабочей частоты прибора, а охватываемый диапазон рабочих частот изменяется от десятков мегагерц до нескольких гигагерц.

Область применения ПАВ-фильтров достаточно широка и разнообразна [1]. Эти приборы нашли свое применение в качестве датчиков температуры и давления, а, кроме того, дают возможность проводить исследование свойств различных полимерных пленок. Они также применяются в следующих устройствах:

- во входных и выходных каскадах мобильных радиостанций;
- во входных каскадах профессиональных приемников;
- во входных каскадах пейджеров;
- в селекторах телевизионных каналов;
- в каскадах ПЧ для фильтрации широкополосных и узкополосных сигналов.

1.3. Расчет конструктивных параметров фильтра ПАВ

1.3.1. Исходными данными для проектирования являются [2]:

- центральная частота f_0 ;
- относительная полоса пропускания $\Delta f/f_0$;
- число лепестков импульсного отклика m ;
- функция аподизации $\omega(n)$.

1.3.2. Выбирается материал звукопровода.

1.3.3. Выбирается структурная схема фильтра — тип конструкции входного и выходного преобразователей.

1.3.4. Производится синтез фильтра.

Если входной преобразователь эквидистантный неаподизованный, то расчет его топологии ведется по ниже приведенной методике.

На рис. 1.5. показана схема проектируемого фильтра

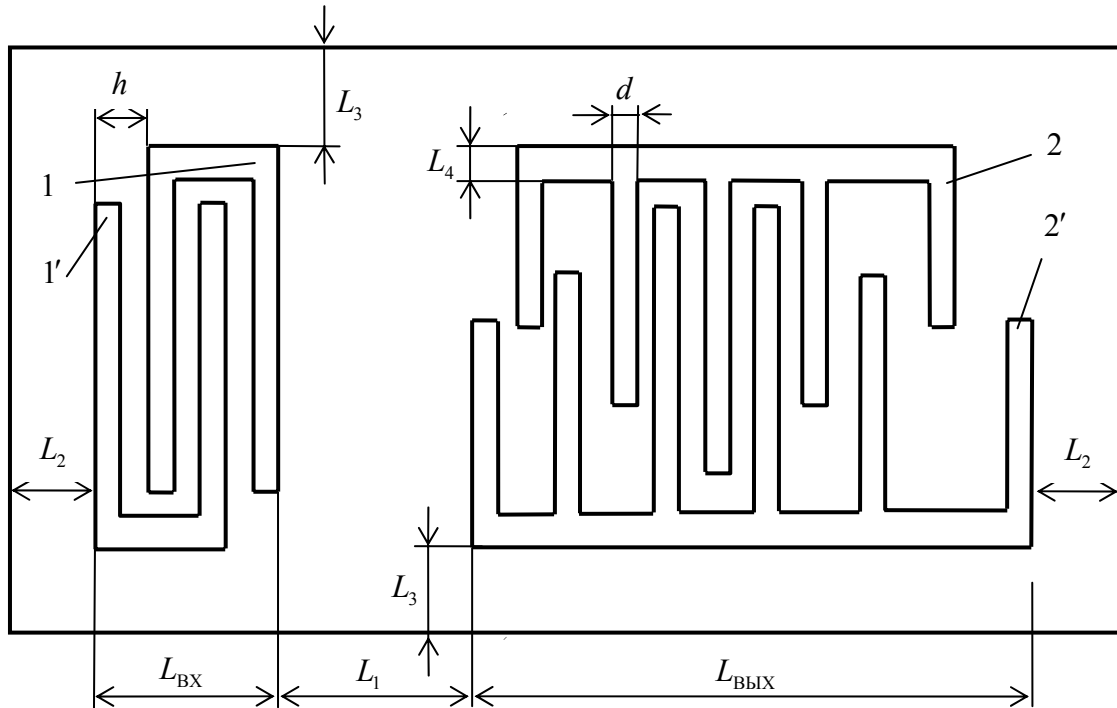


Рис 1.5 — Схема проектируемого фильтра ПАВ

Определяем количество пар N электродов

$$N = \frac{f_0}{\Delta f}, \quad (1.1)$$

где f_0 — центральная частота; $\Delta f = f_B - f_H$; f_B , f_H — верхняя и нижняя граничные частоты.

Значения f_B , f_H вытекают из соотношения $\frac{\Delta f}{f_0}$.

Определяем расстояние h между соседними электродами

$$h = \frac{\lambda}{2}, \quad (1.2)$$

где $\lambda = \frac{v}{f_0}$ — длина волны.

Рассчитываем толщину электродов по формуле

$$d = \frac{\lambda}{4} \quad (1.3)$$

Находим апертуру (степень перекрытия) электродов

$$W = (10 \dots 200) \lambda. \quad (1.4)$$

Если ВШП неэквидистантный аподизованный (рис. 1.7), то для расчета топологии справедлива следующая методика.

Определяем количество пар N электродов A

$$N = (m + 1) \frac{f_0}{\Delta f}, \quad (5)$$

где m — число лепестков импульсного отклика.

Определяем расстояние h между соседними электродами по формуле

$$h(n) = v \frac{f_B t_3}{2 \Delta f} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4n \Delta f}{f_B^2 t_3}} \right), \quad (6)$$

где $t_3 = \frac{L_1}{v}$ — время задержки; $L_1 = 8 \dots 10$ мм — расстояние между преобразователями; $n = 1, 2, \dots, N$ — количество пар электродов.

Рассчитываем толщину электродов по формуле

$$d = \frac{\lambda}{4}. \quad (7)$$

Находим координаты краев электродов ВШП по оси Y

$$Y(n) = \frac{W_0}{2} [1 - (-1)^n \Phi(n)], \quad (8)$$

где W_0 — апертура входного преобразователя; $n = -N \dots +N$, а $\Phi(n)$ имеет вид

$$\Phi(n) = \frac{\sin\left(\frac{\pi n}{N+1}\right)}{\frac{\pi n}{N+1}} \omega(n), \quad (9)$$

где $\omega(n)$ — передаточная функция (функция аподизации).

При $n = 0$ длина электрода равна $(10 \dots 200) \cdot \lambda$. Конец этого электрода будет являться началом системы координат $Y(n)$.

Если выходной преобразователь неэквидистантный аподизованный, то расчет его топологии ведется по следующей методике.

Определяем длину звукопровода

$$Z_n = Z_{BX} + Z_{ВЫХ} + Z_1 + 2Z_2, \quad (10)$$

где L_{BX} — длина входного преобразователя; $L_{\text{ВЫХ}}$ — длина выходного преобразователя; $L_1 = 8 \dots 10$ мм — расстояние между преобразователями; $L_2 = 5 \dots 10$ мм — расстояние между крайним электродом преобразователя и торцевой гранью звукопровода.

Если преобразователь эквидистантный, то

$$L_{\text{ЭКВ}} = h(2N - 1) + d. \quad (11)$$

Если преобразователь неэквидистантный, то

$$L_{\text{НЕЭКВ}} = \sum_{n=1}^N 2h_n(2h_n) + d. \quad (12)$$

Ширина звукопровода фильтра

$$L_{\text{Ш}} = W_{\text{BX}} + 2(L_3 + L_4). \quad (13)$$

где $L_3 = 5 \dots 10$ мм — расстояние между общей шиной решетки преобразователя и продольной гранью звукопровода; $L_4 = 2d$ — ширина общей шины решетки преобразователя.

Толщина звукопровода выбирается около 20λ для уменьшения влияния объемных волн. В нашем случае толщина звукопровода составляет 1,5 мм.

1.3.5. Приводится описание конструкции проектируемого фильтра.

В таблице 1.3. приведены варианты исходных данных для выполнения расчетов по индивидуальному заданию.

Таблица 1.3. — варианты исходных данных для выполнения расчетов по индивидуальному заданию

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Центральная частота f_0 , МГц	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	
Относительная полоса пропускания $\Delta f/f_0$, %	40	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
Число лепестков импульсного отклика m	4	5	6	7	8	9	10	8	7	6	
Коэффициенты функции аподизации $\omega(n)$	a	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
	b	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,8
Функция аподизации $\omega(n)$	$\omega(n)=a+b\cdot\cos\left(\frac{\pi n}{2(N+1)}\right)$										

1.4. Пример расчета фильтра ПАВ

1.4.1. Исходные данные:

- центральная частота $f_0 = 150 \times 10^6$ Гц;
- относительная полоса пропускания $\Delta f/f_0 = 50$ %;
- число лепестков импульсного отклика $m = 4$;
- функция аподизации $\omega(n) = 0,04 + 0,96 \cdot \cos\left(\frac{\pi n}{2(N+1)}\right)$.

1.4.2. Материал звукопровода — ниобат лития LiNbO_3 , ориентация среза $41,5^\circ X$ со скоростью распространения волны $v = 4 \cdot 10^3$ м/с.

1.4.3. Структурная схема фильтра — входной преобразователь эквидистантный неаподизованный, выходной — неэквидистантный аподизованный (см. рис. 1.5).

1.4.4. Расчет топологии входного преобразователя ведем по методике приведенной выше.

Определяем количество пар N электродов

$$N = \frac{f_0}{\Delta f},$$

где f_0 — центральная частота; $\Delta f = f_B - f_H$; для нашего фильтра $f_B = 187,5 \cdot 10^6$ Гц, $f_H = 112,5 \cdot 10^6$ Гц — верхняя и нижняя граничные частоты.

$$\Delta f = 187,5 \cdot 10^6 - 112,5 \cdot 10^6 = 75 \cdot 10^6 \text{ Гц},$$

$$N = \frac{150 \cdot 10^6}{75 \cdot 10^6} = 2 \text{ пары.}$$

Определяем расстояние h

$$h = \frac{\lambda}{2},$$

где $\lambda = \frac{v}{f_0}$ — длина волны.

$$\lambda = \frac{v}{f_0} = \frac{4 \cdot 10^3}{150 \cdot 10^6} = 26,667 \cdot 10^{-6} = 26,667 \text{ мкм},$$

$$h = \frac{\lambda}{2} = \frac{26,667 \cdot 10^{-6}}{2} = 13,333 \cdot 10^{-6} \text{ мкм}.$$

Рассчитываем толщину электродов по формуле

$$d = \frac{\lambda}{4} = \frac{26,667 \cdot 10^{-6}}{4} = 6,667 \cdot 10^{-6} = 6,667 \text{ мкм.}$$

Находим апертуру электродов

$$W = (10 \dots 200) \lambda.$$

Для данного проектируемого фильтра выбираем

$$W = 20 \cdot \lambda = 20 \cdot 26,667 \cdot 10^{-6} = 533,3 \text{ мкм.}$$

Расчет топологии неэквидистантного аподизованного выходного преобразователя ведем по изложенной выше методике.

Определяем количество пар N электродов

$$N = (m + 1) \frac{f_0}{\Delta f},$$

где m — число лепестков импульсного отклика.

$$N = (4 + 1) \cdot \frac{150 \cdot 10^6}{75 \cdot 10^6} = 10 \text{ пар.}$$

Определяем расстояние h между соседними электродами по формуле

$$h(n) = v \frac{f_B t_3}{2\Delta f} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4n\Delta f}{f_B^2 t_3}} \right),$$

где $t_3 = \frac{L_1}{v}$ — время задержки, $L_1 = 8 \dots 10$ мм — расстояние между преобразователями, $n = 1, 2, \dots, N$ — количество пар электродов.

$$t_3 = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^3} 2,5 \cdot 10^{-6} = 2,5 \text{ мкс.}$$

Получаем, что

$$h(n) = 4 \cdot 10^3 \cdot \frac{187,5 \cdot 10^6 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 75 \cdot 10^6} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4n \cdot 75 \cdot 10^6}{(187,5 \cdot 10^6)^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}}} \right].$$

Полученные значения запишем в таблицу 1.4

Таблица 1.4 — Расчетные значения $h(n)$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h , мкм	21,4	42,7	64,2	85,6	107,1	128,7	150,2	171,8	193,5	215,2

Рассчитываем толщину электродов по формуле

$$d = \frac{\lambda}{4} = \frac{26,667 \cdot 10^{-6}}{4} = 6,667 \cdot 10^{-6} = 6,667 \text{ мкм.}$$

Находим координаты краев электродов ВШП по оси Y:

$$Y(n) = \frac{W_0}{2} [1 - (-1)^n \Phi(n)]$$

где W_0 — апертура входного преобразователя, $n = -N \dots + N$, а $\Phi(n)$ имеет вид

$$\Phi(n) = \frac{\sin\left(\frac{\pi n}{N+1}\right)}{\frac{\pi n}{N+1}} \omega(n),$$

где $\omega(n)$ — передаточная функция (функция аподизации).

В нашем случае

$$\omega(n) = 0,04 + 0,96 \cdot \cos\left(\frac{\pi n}{2(10+1)}\right).$$

Следовательно,

$$\Phi(n) = \frac{\sin\left(\frac{\pi n}{10+1}\right)}{\frac{\pi n}{10+1}} \left[0,04 + 0,96 \cdot \cos\left(\frac{\pi n}{2(10+1)}\right) \right].$$

Откуда получаем

$$Y(n) = \frac{5,333 \cdot 10^{-4}}{2} \left[1 - (-1)^n \frac{\sin\left(\frac{\pi n}{10+1}\right)}{\frac{\pi n}{10+1}} \left[0,04 + 0,96 \cdot \cos\left(\frac{\pi n}{2(10+1)}\right) \right] \right].$$

Полученные значения запишем в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 — Координаты краев электродов ВШП по оси Y

n	−10	−9	−8	−7	−6	−5	−4	−3	−2	−1	
$Y(n)$	262	284	228	335	164	408	87	482	24	527	
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Y(n)$	0	527	24	428	87	408	164	335	228	284	262

При $n = 0$ длина электрода равна длине электрода входного неаподизованного ВШП. Конец этого электрода и будет являться началом системы координат $Y(n)$;

Определение габаритных размеров фильтра ПАВ проводим в следующем порядке.

Определяем длину звукопровода

$$L_{\text{д}} = L_{\text{вх}} + L_{\text{вых}} + L_1 + 2L_2,$$

где $L_{\text{вх}} = h_{\text{вх}}(2N_{\text{вх}} - 1) + d_{\text{вх}}$ — длина входного преобразователя;

$L_{\text{вых}} = \sum_{n=1}^N (2h_{\text{вых } n}) + d_{\text{вых}}$ — длина выходного преобразователя;

$L_1 = 8...10$ мм — расстояние между преобразователями;

$L_2 = 5...10$ мм — расстояние между крайним электродом преобразователя и торцевой гранью звукопровода.

$$L_{\text{вх}} = 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot (2 \cdot 10 - 1) + 6,67 \cdot 10^{-6} = 0,259 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$L_{\text{вых}} = \sum_{n=1}^{10} (2h_{\text{вых } n}) + 6,67 \cdot 10^{-6} = 2,368 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$L_{\text{д}} = 0,259 \cdot 10^{-3} + 2,368 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 22,527 \cdot 10^{-3} \approx 22,5 \text{ мм.}$$

Ширина звукопровода фильтра

$$L_{\text{ш}} = W_{\text{ВХ}} + 2(L_3 + L_4),$$

где $L_3 = 5 \dots 10$ мм — расстояние между общей шиной решетки преобразователя и продольной гранью звукопровода; $L_4 = 2d$ — ширина общей шины решетки преобразователя.

$$L_{\text{ш}} = 0,53 \cdot 10^{-3} + 2(5 \cdot 10^{-3} + 13,34 \cdot 10^{-6}) = 10,536 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 10,5 \text{ мм.}$$

Толщина звукопровода выбирается около 20λ для уменьшения влияния объемных волн. В нашем случае толщина звукопровода составляет 1,5 мм.

5. Описание конструкции проектируемого фильтра:

Фильтр содержит один входной преобразователь и один выходной. Входной преобразователь — эквидистантный неаподизованный широкополосный, число пар штырей — 2. Выходной преобразователь — неэквидистантный аподизованный с числом пар штырей — 10.

Материалом для звукопровода проектируемого фильтра на ПАВ является ниобат лития. Размеры подложки $22,5 \times 10,5 \times 1,5$ мм.

Материалом изготовления штырей преобразователей является алюминий А99 ГОСТ11069—64, по соображениям наименьшей стоимости. Для улучшения адгезии используется подслой ванадия. Для защиты от воздействия окружающей среды элементы конструкции ВШП покрываются защитным материалом — фоторезист нега-

тивный ФН-11 ТУ6-14-631—71. В качестве материала для поглотителей используется эпоксидная смола ЭД-5 ГОСТ 10587-75.

Проектируемый фильтр изготавливают по методу прямой контактной фотолитографии.

Для герметизации фильтра используется металлостеклянный прямоугольный корпус из ковара, со штырьковыми выводами, соответствующий по типоразмеру ГОСТ 17467—79.

1.5. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из высокочастотного генератора Г4-107, частотомера ЧЗ-54, исследуемого фильтра, вольтметра и осциллографа С1-70. Генератор вырабатывает высокочастотные колебания в диапазоне частот от 100 кГц до 400 МГц с амплитудой до одного вольта. Электронно-счетный частотомер контролирует частоту генератора, высокочастотный вольтметр измеряет выходное напряжение фильтра. Осциллограф предназначен для контроля формы сигнала на выходе фильтра.

Структурная схема лабораторной установки показана на рис. 1.6.

1.6. Порядок выполнения работы

1.6.1. Снять частотную характеристику фильтра ПАВ, результаты занести в таблицу 1.6

Таблица 1.6 — Результаты измерения АЧХ ПАВ-фильтра

$f, \text{МГц}$													
$U, \text{В}$													

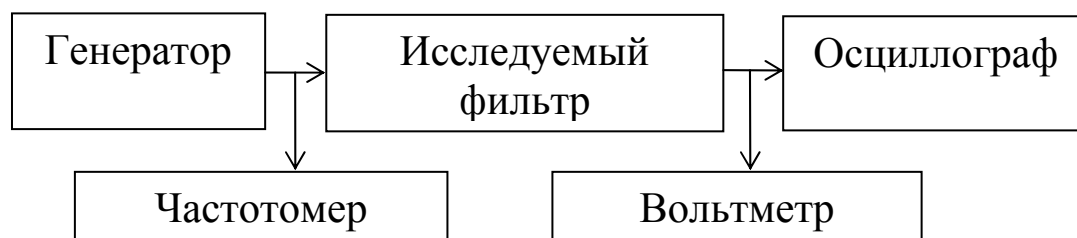


Рис. 1.6 — Структурная схема лабораторной установки для исследования амплитудно-частотной характеристики фильтра на поверхностных акустических волнах

1.6.2. Определить частоты среза на уровне 3-х дБ и полосу пропускания исследуемого фильтра.

1.7. Содержание отчета

- цель работы;
- результаты теоретических исследований в виде расчетов
- структурная схема лабораторной установки;
- таблицы с экспериментальными данными;
- график нормированной АЧХ;
- результаты расчета ширины полосы пропускания на уровне 3дБ;
- выводы по результатам исследований.

1.8. Контрольные вопросы

1.8.1. Какие существуют варианты конструктивного оформления ПАВ-фильтров?

1.8.2. Какие особенности конструкции ПАВ-фильтров с малыми потерями?

1.8.3. Какие основные требования предъявляются к электрическим характеристикам ПАВ-фильтров?

1.8.4. Какие основные области применения ПАВ-фильтров?

1.8.5. Какие новые типы ПАВ-фильтров разработаны в последнее время?

1.8.6. В каком диапазоне центральных частот серийно производятся ПАВ-фильтры?

1.8.7. Какие основные типы изделий на ПАВ серийно выпускаются в настоящее время?

1.8.8. В каких пределах может обеспечиваться полоса пропускания типового фильтра на уровне 3 дБ?

1.8.9. В каких пределах обеспечиваются вносимые потери типовых фильтров?

1.8.10. Какие материалы используются для подложек ПАВ-фильтров?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

«ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРОМКОГОВОРТЕЛЕЙ»

2.1. Цель работы

Теоретические исследования, инженерный расчет открытого акустического оформления, экспериментальные исследования характеристик громкоговорителей, закреплении и углублении теоретических и практических знаний по изучаемой дисциплине.

2.2. Содержание и объем работы

Лабораторная работа состоит из двух частей и рассчитана на четыре часа.

В первой части проводится расчет размеров экрана и передней панели открытого акустического оформления по типу головки громкоговорителя.

Вторая часть посвящена экспериментальным исследованиям характеристик громкоговорителей.

2.3. Краткие теоретические сведения

2.3.1. Основные термины и определения

При исследовании электроакустических характеристик громкоговорителей используются следующие основные термины.

Громкоговоритель — устройство для эффективного излучения звука в окружающее пространство в воздушной среде, содержащее одну или несколько головок громкоговорителя (и при наличии : акустическое оформление, электрические устройства (фильтры, трансформаторы, регуляторы и т.п.)).

Пассивный громкоговоритель — громкоговоритель не увеличивающий мощность электрического сигнала, поступающего на вход.

Акустическое оформление — конструктивный элемент, обеспечивающий эффективное излучение звука (акустический экран, ящик, рупор и т.п.)

Дополнительное акустическое оформление — конструктивные элементы, определяемые условиями эксплуатации и указанные в ТУ.

Однополосный громкоговоритель — громкоговоритель, головки которого работают в одном и том же диапазоне частот.

Многополосный громкоговоритель — громкоговоритель, головки которого работают в двух и более разных диапазонах частот.

Акустическая система — громкоговоритель, предназначенный для использования в качестве функционального звена в бытовой радиоэлектронной аппаратуре.

Электрическая мощность, подводимая к громкоговорителю — мощность, вычисляемая по формуле

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{ном}}},$$

где $R_{\text{ном}}$ — номинальное сопротивление нагрузки, Ом; U — напряжение на входах громкоговорителя, В.

Номинальная мощность — заданная электрическая мощность, при которой нелинейные искажения звукового давления громкоговорителя не должны превышать требуемого значения.

Частота основного резонанса головки громкоговорителя — частота возбуждающего синусоидального сигнала, при которой значение модуля полного электрического сопротивления головки громкоговорителя имеет свой первый максимум (при возрастании частоты).

Частота настройки громкоговорителя с фазоинвертором или пассивным излучателем — частота возбуждающего синусоидального сигнала, при которой значение модуля полного электрического сопротивления громкоговорителя с фазоинвертором или пассивным излучателем имеет свой первый минимум после первого максимума (при возрастании частоты).

Добротность головки громкоговорителя — мера затухания свободных колебаний подвижной системы головки громкоговорителя, определяемая отношением реактивной составляющей механического сопротивления подвижной системы головки громкоговорителя на частоте основного резонанса к активной составляющей.

2.4. Принципы работы, конструкции и основные формулы для расчета громкоговорителей

По способу излучения громкоговорители подразделяют на диффузорные — непосредственного излучения колеблющейся диафрагмой с гибкой подвеской и на рупорные — излучения с помощью жесткого рупора (рис. 2.1).

Конструктивно громкоговоритель представляет собой совокуп-



Рис.2.1 — Классификация
громкоговорителей
по способам излучения

ность двух независимых узлов — головки и акустического оформления, согласованных по акустическим свойствам. Головка громкоговорителя — это преобразователь сигналов звуковой частоты из электриче-

ской формы в акустическую. Акустическое оформление является элементом громкоговорителя, не участвующим в процессе указанного преобразования; оно лишь обеспечивает эффективное излучение звука в пространство с помощью различного вида акустических экранов, ящиков, рупоров в различных вариантах построения.

Устройство громкоговорителя существенно зависит от вида главного элемента — головки, содержащей тот или иной электрический преобразователь. В настоящее время в качестве основы для построения громкоговорителей используют преимущественно электродинамические преобразователи. Соответственно и громкоговорители, укомплектованные головками с электродинамическими преобразователями, называются электродинамическими (сокращенно динамическими).

На рис. 2.2 изображена головка диффузорного громкоговорителя.

Диффузор в таком громкоговорителе является одновременно и элементом колебательной системы и излучателем звуковых колебаний в пространство.

Входное сопротивление колебательной системы головки громкоговорителя можно представить в виде электрического сопротивления катушки и сопротивления, вносимого элементами механической колебательной цепи, в данном случае включенными последовательно.

На основании метода электромеханических аналогий они представляются в виде параллельного включения соответствующих электрических элементов, приведенных к входной цепи через коэффициент электромеханической связи. Таким образом, полное сопротивление головки громкоговорителя описывается выражениями:

$$Z_{\text{ВХ}} = Z_{\text{ЭЛ}} + Z_{\text{ВН}}; \quad Z_{\text{ЭЛ}} = R_K + j\omega L_K; \quad Z_{\text{ВН}} = B^2 l^2 / Z_M; \quad Z_M = Z_{M0} + Z_{\text{ИЗЛ}};$$

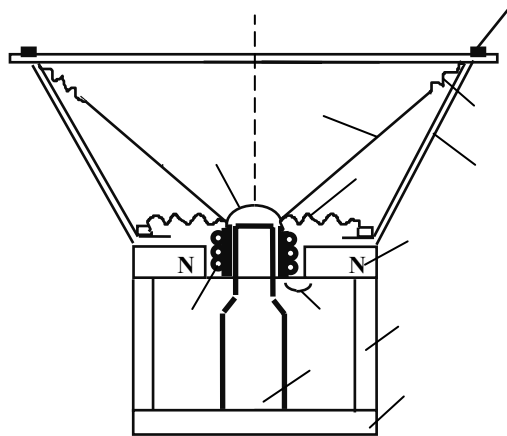
$$Z_{M0} = R_M + j\omega m_0 + 1/(j\omega C_M); \quad Z_{\text{ИЗЛ}} = R_{\text{ИЗЛ}} + j\omega m_R,$$

где Z_{M0} — собственное механическое сопротивление подвижной системы; $Z_{\text{ИЗЛ}}$ — сопротивление излучения; m_0 — масса подвижной системы; C_M — коэффициент гибкости; m_R — колеблющаяся масса воздуха; R_M — сопротивление трения, возникающее при изгибе гофрированного воротника и центрирующей шайбы; R_K , L_K — сопротивление и индуктивность звуковой катушки.

Излучаемая акустическая мощность

$$P_a = \frac{1}{2} v_M^2 R_{\text{ИЗЛ}} = \frac{1}{2} \left[\frac{B l U_M}{|Z_M| |Z_{\text{ВХ}}|} \right]^2 R_{\text{ИЗЛ}},$$

где v_M — амплитуда колебательной скорости излучающей поверхности; U_M — амплитуда подводимого напряжения.



1 — постоянный магнит; 2 — круглый стальной керн; 3, 4 — нижний и верхний стальные фланцы; 5 — воздушный зазор; 6 — катушка индуктивности; 7 — гибкая центрирующая шайба; 8 — пылезащитный колпачек; 9 — диффузор; 10 — гибкий воротник; 11 — кольцо; 12 — держатель

Рис. 2.2 — Головка диффузорного громкоговорителя

Неблагоприятные условия излучения диффузорными громкоговорителями в области нижних частот звукового диапазона стараются компенсировать путем настройки в резонанс в этой области подвижных элементов головок. Резонансную частоту $\omega_0 = 1/\sqrt{C_0 m}$ стараются выбрать, особенно для низкочастотных головок, предельно низкой за счет

создания возможно гибкой подвески диффузора при ограниченной массе подвижной части, вносящей элемент инерционности. Большое значение имеет и форма резонансной кривой. Ее левая ветвь определяет граничное значение и крутизну спада частотной характеристики в области нижних частот. Правой ветви стараются придать такую форму, чтобы в совокупности с частотными зависимостями $R_{\text{изл}}$, $Z_{\text{м}}$, $Z_{\text{вх}}$ (рис.2.3) можно было получить горизонтальную форму частотной характеристики громкоговорителя по звуковому давлению.

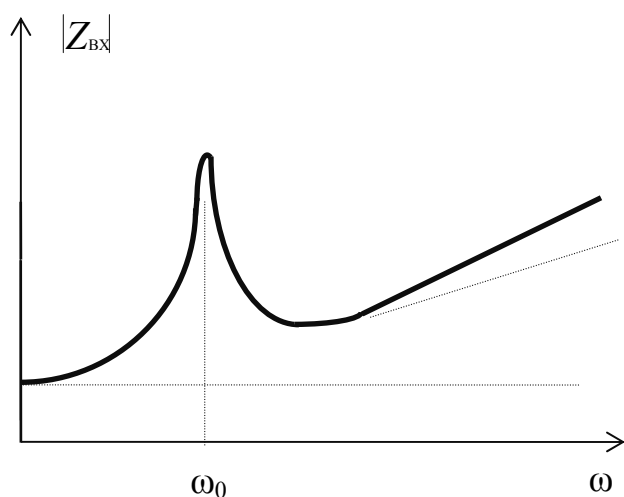


Рис.2.3 — Резонансная кривая на нижних частотах

В средней части звукового диапазона частотные характеристики громкоговорителей имеют относительно ровную форму, излучение достаточно сильное, существенно возрастает роль индуктивного сопротивления катушки головки.

Однако, начиная от 1,5 кГц, проявляются поверхностные

колебания диффузора. При этих и более высоких частотах становится недостаточной жесткость материала диффузоров, в радиальных направлениях возникают прямые и обратные волны, создающие фазовые сдвиги при излучении. В результате появляются неровности в частотных характеристиках, уменьшается эффективная площадь диффузоров. Естественно, что для высокочастотной части диапазона колебательные процессы громкоговорителя более сложны.

Одним из методов улучшения однородности излучения акустических волн в области верхних частот является укрепление в центре диффузора дополнительного коаксиального усеченного конуса из жесткого картона. На низких и средних частотах звукового диапазона оба конуса колеблются как одно целое, при этом в области средних частот внутренний конус действует как рассеивающее тело. На верхних частотах эффективно работает внутренний легкий жесткий конус, а основная часть большого конуса колеблется с малыми амплитудами. Кроме того, конус способствует рассеянию локальных колебаний,

возникающих на высоких частотах на различных участках диффузора из-за трудностей получения в этом диапазоне его достаточной жесткости.

Другой возможностью получения хороших частотных характеристик является комплектация громкоговорителей несколькими головками, предназначенными для звуковоспроизведения определенных частотных зон всего диапазона.

Громкоговоритель одностороннего действия (головка с экраном и головка в закрытом ящике) на низких частотах будет обладать ненаправленной характеристикой. Волны, излучаемые вдоль громкоговорителя, складываются в одинаковой фазе и взаимно усиливаются. Волны, излучаемые под некоторыми углами ϑ к рабочей оси, складываются с учетом различных фаз, так как они излучаются с разных участков поверхности диффузора и проходят пути, отличающиеся на разность хода крайних точек. Однако в области низких частот разность фаз получается очень малой и ею можно пренебречь.

Характеристика направленности в этом случае представляет собой полуокружность. На более высоких частотах, когда фазовый сдвиг становится сравним с периодом колебаний, характеристика направленности вытягивается в направлении рабочей оси громкоговорителя. Направленность растет в соответствии с увеличением коэффициента активного сопротивления $Z_{\text{изл}}$ излучения. При сопряжении головки громкоговорителя с экраном, обладающим ограниченным размером, или же головки, излучающей акустические волны без экрана, приходится учитывать интерференционные явления лицевой и обратной сторон.

В области высоких частот характеристика направленности приобретает вид кардиоиды с дополнительными боковыми лепестками, образующимися из-за взаимной интерференции между волнами, излучаемыми с большими фазовыми сдвигами разными точками поверхности диффузора. Для снижения интерференционных явлений и повышения эффективности использования энергии, излучаемой обратной стороной диффузора, особенно в области нижних частот, иногда используют акустическое оформление в виде фазоинвертора — закрытого ящика с дополнительными отверстиями на лицевой панели; к нему примыкает выходная часть акустического лабиринта, на-

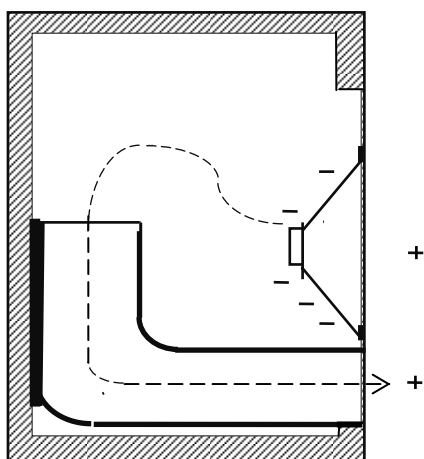


Рис.2.4 — Схема акустического фазоинвертора

пример трубы, как на рис. 2.4. Энергия звуковых колебаний, концентрирующаяся во внутреннем объеме ящика, через акустический лабиринт передается в сторону прямого излучения, и при надлежащей его длине фаза звуковых колебаний изменяется на обратную. Таким образом, дости-

гается возможность синфазного сложения прямого и обратного излучений между собой.

2.5. Методика расчета элементов открытого акустического оформления головок громкоговорителей

Открытым акустическим оформлением головки называют такое оформление, при котором задняя сторона звукоизлучающей поверх-

ности диффузора головки не изолирована акустически от передней. В качестве открытого оформления применяют плоский экран (щит), либо ящик, обычно имеющий форму параллелепипеда, с перфорированной задней стенкой.

Достоинство открытых АС — простота и, кроме того, в них не имеет места повышение резонансной частоты по сравнению с резонансной частотой применяемой головки, а принципиально возможно и понижение этой частоты, что выгодно отличает открытую АС от закрытой.

Недостаток открытой АС — сравнительно большие размеры этого оформления, когда требуется воспроизведение нижних частот звукового диапазона.

2.6. Методика расчета геометрических размеров экрана головки громкоговорителя для системы с открытым акустическим оформлением

2.6.1. Используя данные индивидуального задания (таблица 2.1), найти верхнюю частотную границу $f_{ГР В}$ поршневого диапазона по формуле

$$f_{ГР В} = 1,4 \frac{c}{\pi d}. \quad (2.1)$$

2.6.2. Из таблицы 2.1. найти заданное значение добротности головки Q_0 .

2.6.3. По графику, приведенному на рис. 2.5, определить нижнюю частотную границу $f_{ГР Н}$ поршневого диапазона.

2.6.4. По графику, приведенному на рис.2.6, определить значение функции $\varphi(Q_0)$.

2.6.5. Рассчитать площадь экрана, подставляя значения $f_{\text{ГР Н}}$ и добротности Q_0 в формулу

$$S = 0,15 \frac{c^2}{f_{\text{ГР Н}}^2 [\varphi(Q_0)]^2},$$

где $c = 343$ м/с — скорость распространения звуковой волны при нормальных атмосферном давлении и температуре.

2.6.6. Определить площадь экрана S' с учетом допустимого спада частотной характеристики на нижней граничной частоте из выражения

$$N_{\text{дБ}} = 10 \lg \frac{S'}{S}.$$

Выбрать размеры экрана по рассчитанной фактической площади S' .

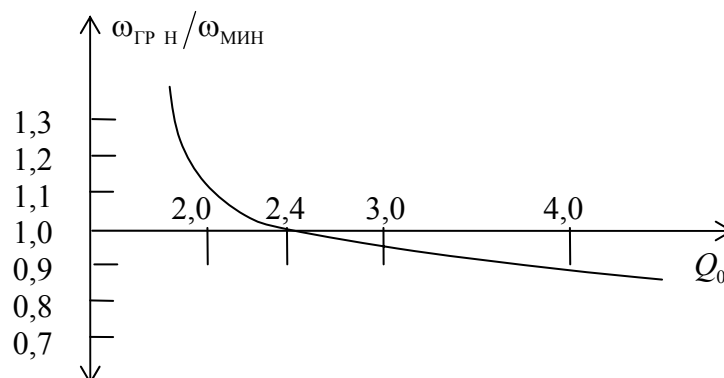


Рис. 2.5 — Зависимость $f_{\text{ГР Н}}$ от Q_0

2.7. Методика расчета геометрических размеров передней панели открытого акустического оформления

2.7.1. По формуле (2.1) рассчитать граничную частоту.

2.7.2. Рассчитать резонансную частоту головки в открытом оформлении с учетом его глубины, используя исходные данные индивидуального задания

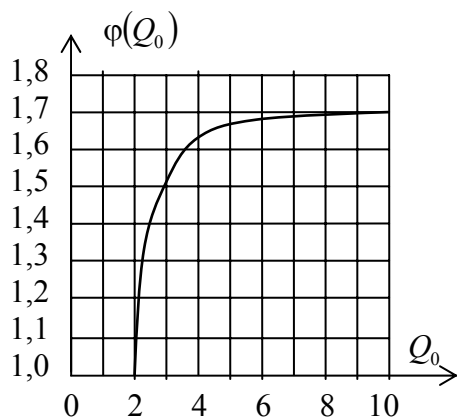


Рис. 2.6 — Значение функции $\varphi(Q_0)$

$$f_{\text{РЕЗ}} = \frac{f_{\text{МИН}}}{\sqrt{1 + \frac{\rho h S_{\text{ЭФФ}}}{m_0}}},$$

где $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ — плотность воздуха при нормальном давлении и его нулевой температуре; $S_{\text{ЭФФ}} = \pi r^2$ — эффективная площадь рабочей части головки громкоговорителя; r — радиус диффузора.

2.7.3. По графику, приведенному на рис. 2.6, определить нижнюю частотную границу $f_{\text{ГР Н}}$ поршневого диапазона.

2.7.4. По графику, приведенному на рис. 2.6, определить значение функции $\varphi(Q_0)$.

2.7.5. Рассчитать площадь панели, подставляя значения $f_{\text{ГР Н}}$ и добротности Q_0 в формулу

$$S = 0,125 \frac{c^2}{f_{\text{ГР Н}}^2 \varphi^2(Q_0)}.$$

2.7.6. Определить площадь экрана S' с учетом допустимого спада частотной характеристики на нижней граничной частоте из выражения

$$N_{\text{дб}} = 10 \lg \frac{S'}{S}.$$

Выбрать размеры экрана по рассчитанной фактической площади S' .

Таблица 2.1 — Характеристики громкоговорителей

№	Тип	Нижняя рабочая частота $f_{\text{мин}}$ по паспорту, Гц	Диаметр диффузора головки d, м	Добротность головки Q_0 по паспорту	Масса m_0 диффузора, кг	Допустимый спад частотной характеристики $N_{\text{дб}}$, дБ	Глубина открытого оформления h, м
1	0,1 ГД-17	450	0,05	2,3	$0,3 \cdot 10^{-3}$	6	0,08
2	0,25ГД-10	315	0,053	2,7	$0,6 \cdot 10^{-3}$	3	0,09
3	0,5ГД-30	125	0,125	2,0	$1,2 \cdot 10^{-3}$	6	0,085
4	0,5ГД-31	200	0,125	2,3	$1,2 \cdot 10^{-3}$	3	0,09
5	0,5ГД-35К	315	0,080	2,5	$1,3 \cdot 10^{-3}$	6	0,095
6	0,5ГД-37	315	0,080	2,4	$1,25 \cdot 10^{-3}$	3	0,09
7	0,5ГД-50	400	0,05	2,3	$1,2 \cdot 10^{-3}$	6	0,07
8	1ГД-37	100	0,1	2,5	$2,5 \cdot 10^{-3}$	3	0,095
9	1ГД-40	100	0,1	2,1	$2,6 \cdot 10^{-3}$	6	0,085
10	1ГД-44	125	0,080	2,6	$2,7 \cdot 10^{-3}$	3	0,09
11	1ГД-48	100	0,1	2,3	$2,4 \cdot 10^{-3}$	6	0,09
12	1ГД-50	180	0,100	2,4	$2,25 \cdot 10^{-3}$	3	0,07
13	1ГД-54	150	0,125	2,5	$2,2 \cdot 10^{-3}$	6	0,095
14	1ГД-55	200	0,125	2,4	$2,3 \cdot 10^{-3}$	3	0,085
15	3ГД-40	80	0,160	2,3	$3,2 \cdot 10^{-3}$	6	0,09
16	3ГД-42	100	0,100	2,5	$3,4 \cdot 10^{-3}$	3	0,08
17	4ГД-8Е	125	0,125	2,1	$3,3 \cdot 10^{-3}$	6	0,07
18	4ГД-35	63	0,200	2,2	$3,1 \cdot 10^{-3}$	3	0,095
19	4ГД-53	100	0,152	2,4	$3,5 \cdot 10^{-3}$	6	0,085

2.8. Описание лабораторной установки

2.8.1. Структурная схема лабораторной установки

Для исследования электроакустических параметров громкоговорителя используется лабораторная установка, структурная схема которой приведена на рис. 2.7.

Измеритель цифровой Е7-8 служит для измерения сопротивления громкоговорителя на постоянном токе и индуктивности катушки громкоговорителя. Генератор низкой частоты ГЗ-34 предназначен для исследования параметров громкоговорителя в диапазоне его рабочих частот.

Вольтметр переменного тока ВЗ-38 измеряет напряжение на исследуемом громкоговорителе. Магазин сопротивлений предназначен для определения модуля полного электрического сопротивления громкоговорителя.

2.9. Подготовка к проведению измерений

2.9.1. Установить генератор ГЗ-34 на частоту близкую к частоте резонанса громкоговорителя (ориентировочно на частоту 80 Гц для низкочастотных громкоговорителей).

2.9.2. Установить измеритель Е7-8 в режим измерения «R, L».

2.9.3. Установить переключатель «В1» в верхнее положение.

2.9.4. Замкнуть цепь исследуемого громкоговорителя на общую шину с помощью соответствующего тумблера.

2.9.5. Установить все остальные тумблеры на панели управления макетом в нижнее положение.

2.9.6. Включить измеритель Е7-8, вольтметр ВЗ-38, частотомер ЧЗ-54, генератор ГЗ-34 и дать им прогреться 5 минут.

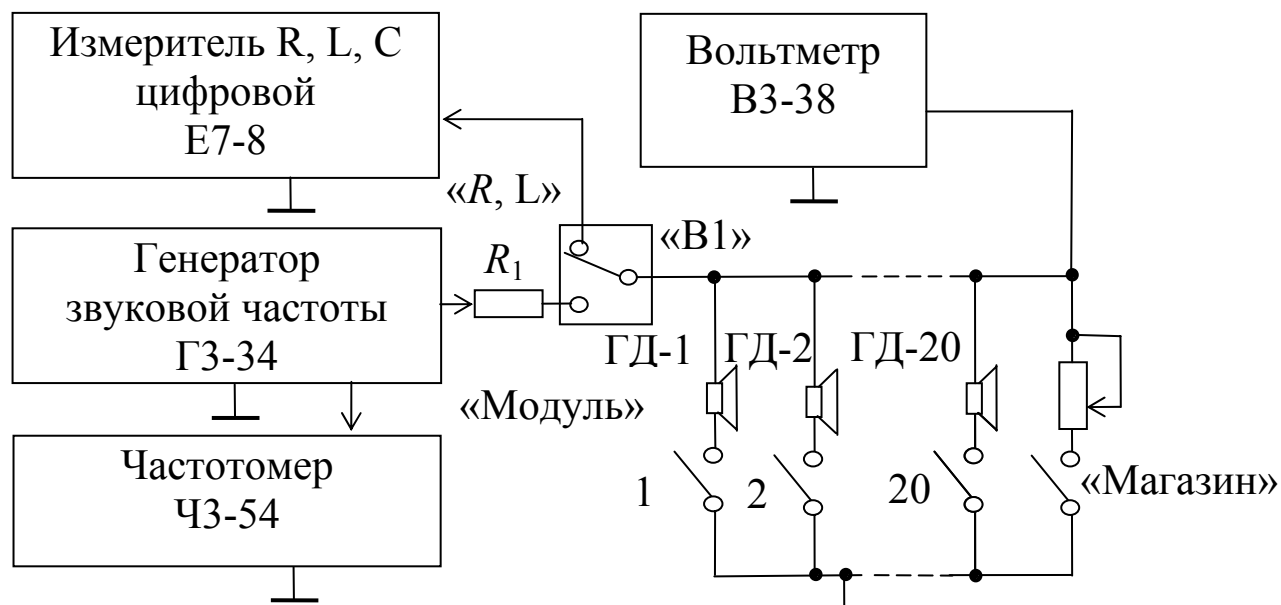


Рис. 2.7 — Схема электрическая лабораторной установки для исследования электроакустических параметров громкоговорителя

2.10. Программа и методика измерений частотной характеристики модуля полного электрического сопротивления громкоговорителя

2.10.1. Снять показания R_0 и L с цифровых индикаторов измерителя Е7-8 и занести данные в таблицу 2.1.

2.10.2. Установить переключатель «В1» в нижнее положение.

2.10.3. Плавно перестроить генератор на резонансную частоту (добиться максимального напряжения $U_{\text{МАКС}}$ на вольтметре), записать показания частоты f_0 частотомера и вольтметра $U_{\text{МАКС}}$ в таблицу 2.1.

2.10.4. Установить тумблер магазина сопротивлений в верхнее положение и только после этого (с целью предотвращения перегрузок вольтметра) тумблер громкоговорителя в нижнее положение.

2.10.5. Регулировкой магазина сопротивлений установить на вольтметре значение напряжения из таблицы 2.1, измеренное в п.3 и записать показание магазина сопротивлений $|Z|_{\text{МАКС}}$ в таблицу 2.1.

2.10.6. Установить тумблер громкоговорителя в верхнее положение, тумблер магазина сопротивлений в нижнее положение.

2.10.7. Рассчитать по приведенной ниже формуле напряжение, которое необходимо установить на вольтметре при перестройке генератора в сторону уменьшения (увеличения частоты).

$$U_{1,2} = U_{\text{МАКС}} \sqrt{R_0 / |Z|_{\text{МАКС}}} , \quad (2.1)$$

2.10.8. Перестроить генератор на частоту f_{H} , соответствующую рассчитанному напряжению $U_{1,2}$.

2.10.9. Записать показания f_{H} частотомера в таблицу 2.1.

2.10.10. Установить тумблер магазина сопротивлений в верхнее положение, а тумблер громкоговорителя в нижнее положение.

2.10.11. Регулировкой магазина сопротивлений установить на вольтметре значение напряжения $U_{1,2}$ и записать показание магазина сопротивлений $|Z|_{\text{H}}$ в таблицу 2.1.

2.10.12. Установить тумблер громкоговорителя в верхнее положение, а тумблер магазина сопротивлений в нижнее положение.

2.10.13. Перестроить генератор на частоту f_B , соответствующую рассчитанному напряжению $U_{1,2}$.

2.10.14. Записать показания f_B частотомера в таблицу 2.1.

2.10.15. Установить тумблер магазина сопротивлений в верхнее положение, а тумблер громкоговорителя в нижнее положение.

2.10.16. Регулировкой магазина сопротивлений установить на вольтметре значение напряжения $U_{1,2}$ и записать показание магазина сопротивлений $|Z|_B$ в таблицу 2.1.

2.10.17. Рассчитать механическую Q_M , полную Q_Π и электрическую Q_Σ добротности по формулам:

$$Q_M = \frac{\sqrt{f_H f_B}}{f_H - f_B} \sqrt{\frac{|Z|_{\text{МАКС}}}{R_0}}; \quad (2.2)$$

$$Q_\Pi = \frac{\sqrt{f_H f_B}}{f_H - f_B} \sqrt{\frac{R_0}{|Z|_{\text{МАКС}}}}; \quad (2.3)$$

$$Q_\Sigma = \frac{Q_\Pi Q_M}{Q_M - Q_\Pi}. \quad (2.4)$$

2.10.18. Результаты расчетов занести в таблицу 2.1

2.10.19. Рассчитать коэффициент гибкости C_M механической системы исследуемого громкоговорителя по формуле

$$C_M = \sqrt{\left[\left(\frac{\omega_0^2 \omega_H^2 - 1}{\omega_H^2} \right)^2 - \left(\frac{\omega_0^2 \omega_B^2 - 1}{\omega_B^2} \right)^2 \right] \frac{1}{K}}, \quad (2.5)$$

где $\omega_0 = 2\pi f_0$, $\omega_H = 2\pi f_H$, $\omega_B = 2\pi f_B$, $K = |Z|_B - |Z|_H$.

2.10.20. Рассчитать массу m подвижной части механической системы исследуемого громкоговорителя по формуле

$$m = \frac{\omega_0^2}{C_M}.$$

2.10.21. Рассчитать сопротивление трения R_M подвижной части механической системы исследуемого громкоговорителя по формуле

$$R_M = \sqrt{|Z|_H^2 - \left(\omega_H m - \frac{1}{\omega_H C_M} \right)^2}. \quad (2.7)$$

2.10.22. Результаты расчета свести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 — Результаты исследования громкоговорителя

Вариант №	Значение R, Ом		Значение L, Гн	
Частота генератора, Гц	f_0	f_B	f_H	
Напряжение вольтметра, В	$U_{\text{МАКС}}$	$U_{1,2}$	$U_{1,2}$	
Модуль полного сопротивления	$ Z _{\text{МАКС}}$	$ Z _B$	$ Z _H$	
Добротность	Q_M	Q_{Π}	Q_{Σ}	
Параметры механической системы	C_M	m	R_M	

2.11. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- формулы, таблицы результатов измерения и расчетов;
- выводы по результатам работы.

2.12. Контрольные вопросы

2.12.1. Что такое громкоговоритель?

2.12.2. Как классифицируются громкоговорители по способу излучения?

2.12.3. Что такое головка громкоговорителя?

2.12.4. Что такое дополнительное акустическое оформление?

2.12.5. Что такое однополосный громкоговоритель?

2.12.6. Что такое многополосный громкоговоритель?

2.12.7. Что такое акустическая система?

2.12.8. Что такое номинальное электрическое сопротивление?

2.12.9. Что такое электрическая мощность, подводимая к громкоговорителю?

2.12.10. Что такое номинальная мощность?

2.12.11. Что такое частота основного резонанса головки громкоговорителя?

2.12.12. Что такое частота настройки громкоговорителя с фазоинвертором или пассивным излучателем?

2.12.13. Что такое добротность головки громкоговорителя?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОФОНА

3.1. Цель работы

Теоретические и экспериментальные исследования характеристик конденсаторных микрофонов, закрепление и углубление теоретических и практических знаний по изучаемой дисциплине.

3.2. Теоретическая часть

3.2.1. Основные характеристики микрофонов

Микрофоны как преобразователи акустических колебаний в электрические сигналы выполняют роль входных элементов в любых радиовещательных системах и бытовых радиовещательных комплексах, установках озвучивания и звукоусиления. Преобразование звука в электрический сигнал должно производиться с высокой достоверностью, и технические требования к микрофонам очень высоки. Требуется обеспечить высокую разборчивость и узнаваемость речевого сигнала, избежать появления различных искажений и помех в пределах динамических диапазонов, достигающих при музыкальных программах 90...100 дБ в частотной полосе от 20 Гц до 20 кГц. Кроме того, нужно удовлетворять и эстетическим требованиям слушателей.

Микрофон является связующим звеном между исполнителем и аппаратным комплексом радиовещательной системы. При создании звуковой партии телевизионных программ (например, эстрадных) он часто попадает в кадр изображения. Это обстоятельство вызывает необходимость соответствия его конструкции современному дизайну.

Свойства микрофонов описываются комплексом технических характеристик.

3.2.1.1. Чувствительность

Чувствительность – отношение напряжения U в вольтах на выходе микрофона к звуковому давлению $p_{зв}$ в паскалях, воздействующему на его входной элемент

$$E_M = \frac{U}{p_{зв}}, \text{ В/Па.}$$

Чувствительность различна для ненагруженного микрофона в режиме холостого входа (если нагрузочное сопротивление не подключено и измеряется ЭДС на выходе микрофона) и нагруженного на номинальное активное сопротивление $R_{ном}$ (обычно 250...1000 Ом). В справочниках [5,6] указывается значение E_M и $R_{ном}$. При описании чувствительности и других параметров микрофонов оговариваются и условия измерения. Обычно используется методика измерения в «свободном» звуковом поле.

3.2.1.2. Характеристика направленности микрофонов

Характеристика направленности микрофонов (диаграмма направленности) – отношение чувствительности микрофона, измеренной

под различными углами к оси симметрии, к чувствительности, измеренной на оси симметрии в азимутальной плоскости. Характеристики (или диаграммы) направленности симметричны относительно акустической оси микрофона, однако могут иметь различную форму на различных частотах. Поэтому свойство направленности характеризуется семейством диаграмм, построенных для ряда выбранных частот.

Направленный микрофон может обладать определенной чувствительностью не только с фронтальной стороны, обращенной к источнику звука, но и с обратной. Этот факт учитывается отдельным параметром «фронт-тыл», измеряемым путем поворота микрофона по отношению к направлению на источник звука на 180° и сравнения чувствительности при таком положении относительно прямого положения.

3.2.1.3. Частотная характеристика микрофонов

Частотная характеристика — зависимость осевой чувствительности или ее уровня от частоты. Ее отклонения от горизонтальной линии в номинальном диапазоне для данного типа микрофона определяют частотные искажения. Сам номинальный частотный диапазон определяют по допустимым спадам чувствительности в области нижних и верхних частот.

3.2.1.4. Уровень собственных шумов микрофонов

Уровень собственных шумов микрофона — отношение эквивалентного этому шуму звукового давления к значению порогового восприятия $P_0 = 2 \times 10^{-5}$.

При детальном анализе микрофонов или же их отдельных элементов приведенные выше основные параметры дополняются другими, обычно удовлетворяющими требованиям (коэффициент нелинейных искажений, динамический диапазон и пр.).

3.2.2. Типы микрофонов и их свойства

В технике радиовещания используют микрофоны различных типов. Их классификация осуществляется, прежде всего, по признаку приема звуковых колебаний входным звеном — акустико-механической системой. Затем следует классификация по способам преобразования механических колебаний в электрический сигнал.

Классификация по первому признаку в основном способствует правильному выбору микрофона в зависимости от требований направленности, которые обусловлены взаимным расположением источников звука. Угловыми охватами звуковой панорамы, наличием акустического шума в помещении и пр. В соответствии с этой классификацией различают приемники звукового давления, приемники градиента звукового давления и комбинированные.

По способу преобразования механических колебания в электрический сигнал вещательные микрофоны подразделяют на электродинамические в двух вариантах: катушечные и ленточные, электромагнитные, а также электростатические: конденсаторные, электретные и угольные. Каждый из них обладает определенными достоинствами и может быть выбран в зависимости от класса качества аппаратного комплекса, характера передаваемой программы и эксплуатационных требований. Параметры микрофонов нормируются по ГОСТ 6495 - 84

по группам сложности: нулевая; первая; вторая; третья. К нулевой группе относятся микрофоны высшего качества.

3.2.2.1. Микрофон — приемник звукового давления

Микрофон — приемник звукового давления звукового давления изображен на рис. 3.1. в виде цилиндра диаметром D , внутренняя область которого изолирована от внешней среды стенками корпуса, а на фронтальной стороне расположена тонкая гибкая диафрагма площадью S . Характерной особенностью такого микрофона является то, что его входной элемент — мембрана (или диафрагма) подвергается воздействию звукового давления только с фронтального направления, другая ее сторона от прямого воздействия звука экранируется корпусом. Микрофоны стараются конструировать так, чтобы

$$D \ll \lambda,$$

где λ — наименьшая длина волны, соответствующая максимальной частоте рабочего диапазона для данного микрофона. Тогда можно считать, что переменное звуковое давление, создаваемое в звуковом поле акустическими колебаниями, будет воздействовать на мембрану микрофона в одинаковых фазах в пределах всей площади S . Звуковые волны, попадающие на мембрану с других направлений, благодаря относительно малому отношению D/λ как бы обтекают корпус микрофона и мембрану попадают также синфазно с фронтальными.

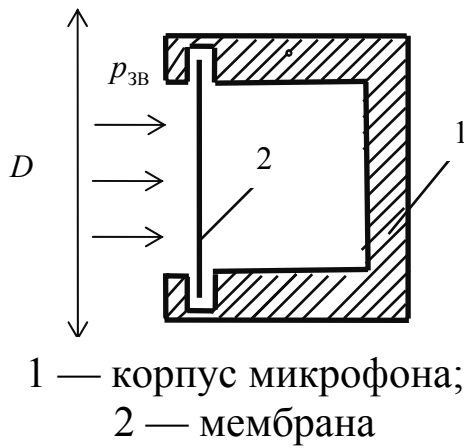


Рис. 3.1 — Схема приема акустических волн микрофоном — приемником звукового давления

Это означает, что микрофон — приемник звукового давления обладает ненаправленным действием. Характеристика направленности такого микрофона для этого случая представляет собой шар, в центре которого находится микрофон. Схема приема акустических волн микрофоном — приемником звукового давления

показана на рис. 3.1

3.2.2.2. Приемник градиента звукового давления

В приемнике градиента звукового давления акустические колебания воздействуют на обе стороны диафрагмы. Однако так, что для волн, падающих на внутреннюю сторону диафрагмы, создается дополнительный путь Δx относительно звуковой волны, падающей на мембрану с фронтальной стороны. В результате на противоположных сторонах диафрагмы образуется разность звуковых давлений с взаимным фазовым сдвигом $\Delta\varphi$ (рис. 3.2, а).

Для графического пояснения градиентного приема толщину d диафрагмы S микрофона условно увеличивают (рис. 3.2, б).

Звуковая волна, достигающая тыльной стороны, должна пройти дополнительный путь $\Delta = d \cos \theta$. Но поскольку справедливо соотноше-

ние $\frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda}$, то $\Delta\varphi = \frac{2\pi d \cos \theta}{\lambda}$.

Так как

$$F = p_{3B} S,$$

где S — площадь диафрагмы, то на диафрагму действует сила

$$F \approx p_{3B} S \Delta\varphi = 2\pi p_{3B} S (d \cos\theta) / \lambda.$$

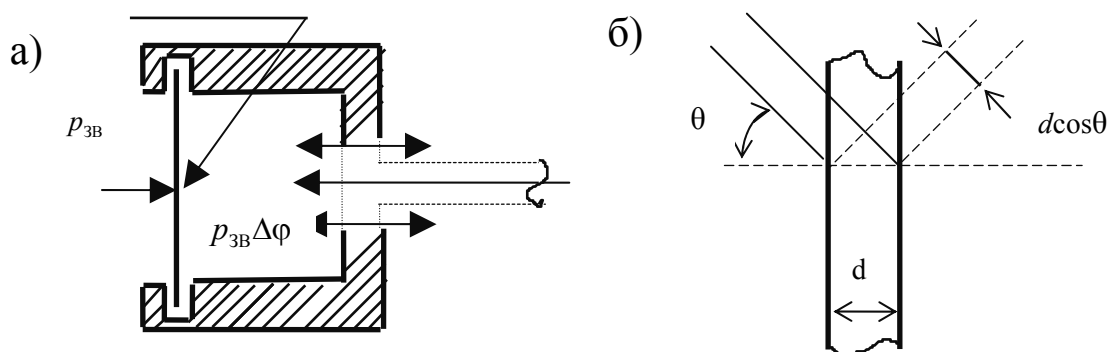


Рис. 3.2 — Схема приема градиента звукового давления

Из этого выражения видно, что при симметричном доступе волн к передней и тыловой стороне диафрагмы направленность микрофона должна также иметь симметричный характер с косинусоидальным распределением чувствительности (рис. 3.3, а). Подобные микрофоны называют двунаправленными.

Комбинированные микрофоны характеризуются односторонней, в том числе и острой направленностью (рис. 3.3, б). Это достигается путем синтеза двунаправленной характеристики градиентных микрофонов с ненаправленной, присущей приемникам звукового давления.

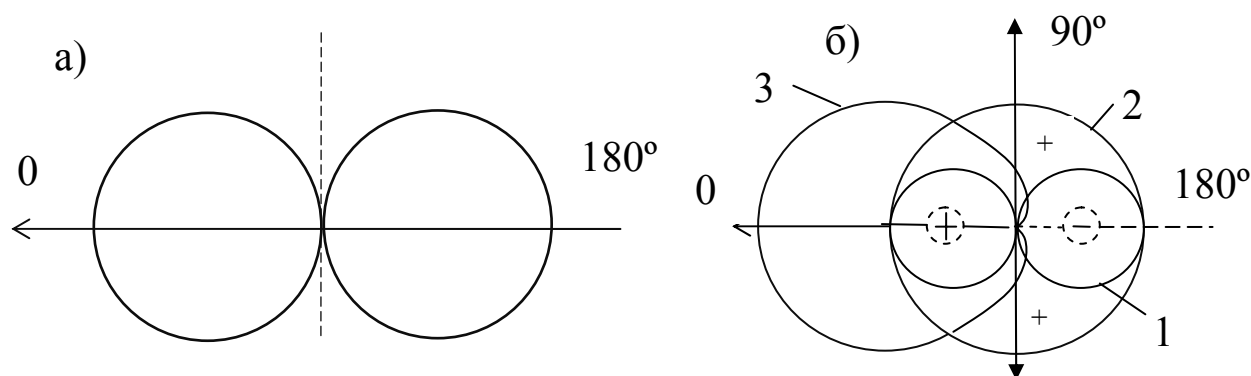


Рис. 3.3 — Характеристика направленности микрофона — приемника градиента звукового давления (а) и комбинированного (б)

Такой синтез проще всего осуществить путем смешения электрических сигналов от двух указанных типов микрофонов, помещенных рядом, и обеспечения параллельности акустических осей. Сигналы, полученные от фронтальных волн при смешивании сигналов от микрофонов градиентного типа с указанной характеристикой двусторонней направленности (зависимость 1) с сигналами от ненаправленных микрофонов давления (зависимость 2) складываются (рис. 3.3, б), поскольку их фазы одинаковы, а сигналы от волн, поступающих сзади, взаимно вычитаются, поскольку их фазы противоположны. Результирующая направленность приобретает вид зависимости 3.

В процессе создания вещательных программ пользуются микрофонами с различной направленностью. Для приема сигналов, отраженных от поверхностей помещения, в студиях и театральных залах используют ненаправленные микрофоны; для обслуживания солистов требуются остронаправленные микрофоны типа приемников звукового давления и комбинированных. Программы в виде сложных музыкальных и литературно-драматических произведений формируются с

помощью специальной расстановки в студиях групп микрофонов, каждый из которых соединяется экранированным микрофонным кабелем с отдельным входом звуорежиссерского пульта. При этом возникает задача выбора микрофонов конкретных типов с определенными эксплуатационно-техническими показателями.

Встречаются ситуации, когда микрофоном требуется равномерно охватить широкую зону, сосредоточенную непосредственно около него. Примером может служить докладчик, который может отклоняться от микрофона, поворачивая голову и пр. При этом необходимо воспользоваться «линейкой» микрофонов, т.е. расположить перед докладчиком на некотором расстоянии друг от друга ряд однонаправленных микрофонов с параллельным направлением рабочих осей, у которых боковые зоны характеристик направленности складываются.

3.2.3. Электродинамические микрофоны

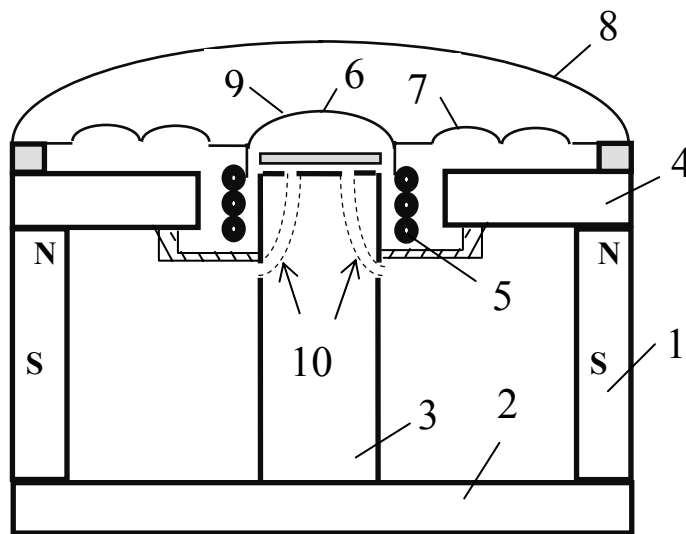
В настоящее время в технике радиовещания, а также в технике радиообслуживания наиболее распространены электродинамические (сокращенно-динамические) микрофоны. Среди них имеются микрофоны ненаправленного действия, выполненные по принципу приемника звукового давления, двунаправленные — приемники градиента звукового давления и остронаправленные — комбинированные. По реализации электродинамического способа преобразования микрофоны подразделяются на катушечные и ленточные.

Принцип действия такого микрофона заключается в следующем (рис. 3.4). При воздействии на диафрагму звуковых колебаний скрепленная с ней катушка совершает движения с колебательной скоростью v в

направлении и оси микрофона, перпендикулярном направлению радиального магнитного поля в воздушном зазоре. Благодаря этому в ней индуцируется электродвижущая сила

$$E = Blv,$$

где B — индукция магнитного поля; l — общая длина провода катушки.



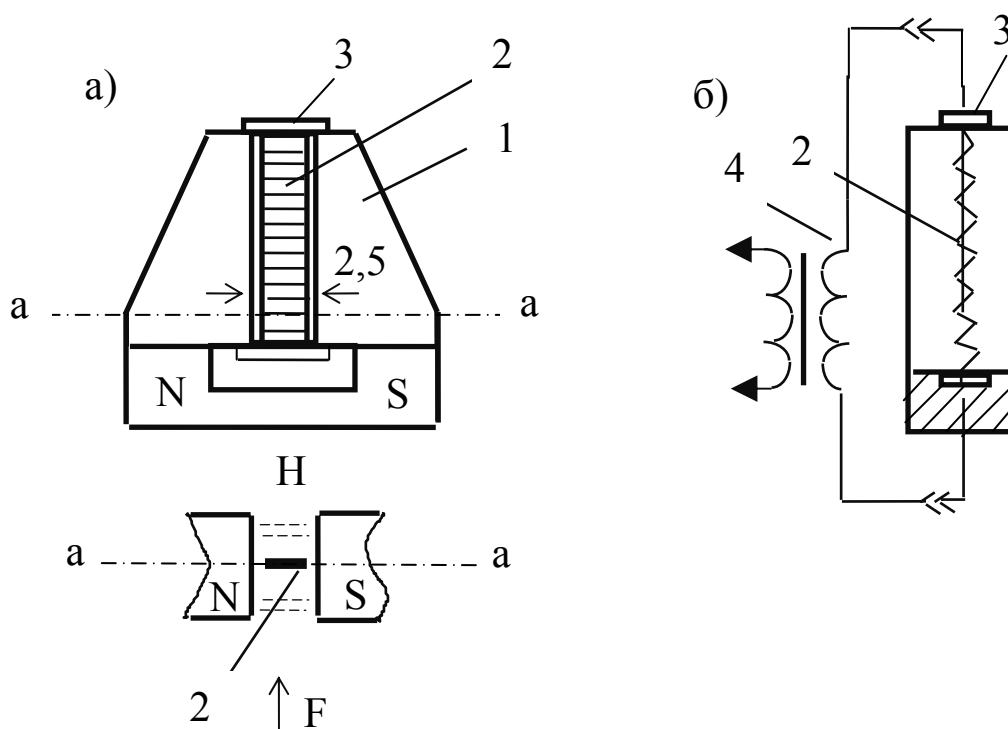
- 1 — постоянный магнит; 2 — нижний фланец; 3 — стержень;
4 — верхний фланец; 5 — катушка индуктивности; 6 — упругая диафрагма; 7 — гофрированная шайба; 8 — шелковая ткань;
9 — немагнитная шайба; 10 — сквозные отверстия

Рис. 3.4 — Схема устройства электродинамического катушечного микрофона

Произведение $Bl = E/v = K_{\text{св}}$ для динамических микрофонов представляет коэффициент связи между механическими и электрическими величинами преобразователя как линейного четырехполюсника.

Другим видом электродинамического микрофона является ленточный (рис. 3.5). Принцип его действия мало чем отличается от

принципа действия катушечного микрофона, однако в конструкции имеются существенные различия.



1 — магнитная система; 2 — гофрированная лента;
3 — повышающий трансформатор

Рис. 3.5 — Схема устройства электродинамического ленточного микрофона

Магнитная система 1 (рис. 3.5, а) имеет подковообразную форму. А между плоскопараллельными поверхностями полюсных наконечников размещается тонкая гофрированная лента 2, обладающая достаточной прочностью при хорошей гибкости и малой массе. Для простоты рассмотрения можно представить себе ленту плоской, поскольку гофрировка нужна лишь для повышения гибкости механической прочности и удельной длины. Положение ленты относительно направления силовых линий магнитного поля на фрагменте поперечно-

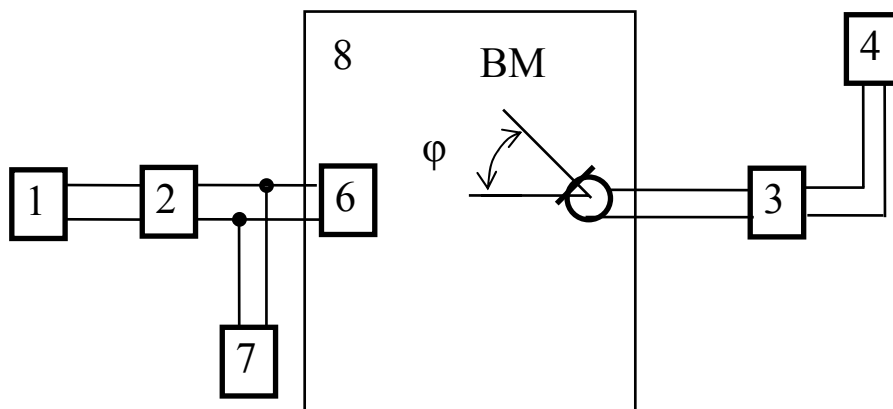
го сечения (рис. 3.5, а, снизу). Лента 2 располагается параллельно силовым линиям поля H (на чертеже показанным штриховыми линиями). Сам микрофон располагается по отношению к источнику звука так, что бы сила, создаваемая акустической волной, была направлена перпендикулярна к плоскости ленты. При ее воздействии лента будет изгибаться в направлении, перпендикулярном магнитному полю. Благодаря возникающей при этом магнитной индукции на ее концах образуется э. д. с., как и на концах провода катушки рассмотренного катушечного микрофона. Однако, несмотря на гофрировку, длина ленты несравненно короче провода катушки, что упрощает конструкцию микрофона и уменьшает его габариты.

3.3. Описание лабораторной установки

Для исследования диаграммы направленности микрофона электродинамического типа используется лабораторная установка, структурная схема которой приведена на рис. 3.6.

Низкочастотный генератор сигналов 1 вырабатывает переменное напряжение, которое усиливается усилителем мощности 2. Нагрузкой усилителя мощности является излучатель 6 в виде громкоговорителя. Акустическая волна распространяется в сторону микрофона ВМ, который преобразует акустические колебания в электрическое напряжение на нагрузке измерительного усилителя 3. Микрофон расположен на продольной оси симметрии заглушенной камеры 8 на расстоянии 1 метра от излучателя и поворачивается вокруг своей вертикальной оси на $\pm 180^\circ$. С осью вращения скреплена шкала с делениями, благодаря

чему имеется возможность определять положение микрофона в горизонтальной плоскости.



1 — низкочастотный генератор сигналов; 2 — усилитель мощности; 3 — измерительный усилитель; 4, 7 — вольтметры;
5 — установка для автоматической записи диаграммы направленности; 6 — излучатель; ВМ — испытываемый микрофон;
8 — заглушенная камера

Рис. 3.6 — Структурная схема измерения диаграммы направленности микрофона

С помощью вольтметра 7 контролируется постоянство выходного напряжения генератора 1. Вольтметр 4 измеряет напряжение на нагрузке измерительного усилителя 3. Свободное поле в заглушенной камере 8 обеспечивается благодаря поглощающему покрытию на внутренних стенках камеры и ее хорошей звукоизоляции от внешних шумов. Стенки камеры 8 двойные с звукопоглощающей прослойкой.

3.4. Требования к приборам и элементам лабораторной установки

В соответствии с ГОСТ 16123 - 88 [6] расстояние между рабочим центром излучения и рабочим центром микрофона постоянно (1,00

$\pm 0,01$ м и рабочий центр микрофона совмещен с рабочей точкой поля). Допускается в технически обоснованных случаях располагать центр рабочей области на другом расстоянии от излучателя, которое указывают в технической документации.

Для фильтрации помех измерительный усилитель 3 должен быть узкополосным.

Генератор 1, вольтметры 4,7 должны обеспечивать генерацию и измерение сигналов в заданном частотном диапазоне. Усилитель мощности 6 должен усиливать напряжение генератора 1 с коэффициентом нелинейных искажений не более 1%.

3.5. Программа и методика измерения диаграммы направленности электродинамического микрофона

3.5.1. Генератор 1 настроить на заданную преподавателем частоту и установить уровень напряжения, при котором нет заметных нелинейных искажений напряжения на нагрузке усилителя мощности.

3.5.2. Микрофон установить рабочей плоскостью к излучателю (установить 0 градусов по шкале). Настроить селективный усилитель 3 на частоту генератора по максимуму напряжения на вольтметре 4.

3.5.3. Снять и записать показания с вольтметра 4.

3.5.4. Повернуть микрофон на 15° по часовой (против часовой стрелки) стрелке и снять и записать показания с вольтметра 4.

3.5.5. Аналогично снять и записать показания с вольтметра 4 через каждые 15° до $\pm 180^\circ$. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

3.5.6. Рассчитать нормированные значения направленности по формуле

$$K = \frac{U_{\varphi}}{U_0},$$

где U_{φ} — напряжение на выходе измерительного усилителя при вращении микрофона вокруг своей оси; U_0 — напряжение на выходе измерительного усилителя при расположении микрофона вдоль оси симметрии и ориентированного рабочей плоскостью к излучателю.

3.5.7. Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

3.5.8. Построить зависимость $K(\varphi)$.

Таблица 3.1 — Результаты измерений

$+\varphi, ^\circ$	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
U_{φ}												
$+K(\varphi)$												
$-\varphi, ^\circ$	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
U_{φ}												
$-K(\varphi)$												

3.6. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- формулы, таблицы и графики результатов измерения и расчетов;
- выводы по результатам работы.

3.7. Контрольные вопросы

3.7.1. По каким внешним признакам можно отличить микрофон – приемник звукового давления от микрофонов – приемников градиентов звукового давления?

3.7.2. В чем состоит различие схем устройств микрофона - приемника звукового давления и микрофона – приемника градиентов звукового давления?

3.7.3. В чем состоит различие принципов действия микрофона - приемника звукового давления и микрофона – приемника градиентов звукового давления?

3.7.4. Каковы достоинства и недостатки конденсаторных микрофонов?

3.7.5. За счет чего образуется двунаправленная диаграмма направленности в приемнике градиента звукового давления?

3.7.6. Каковы особенности схемы конденсаторного микрофона?

3.7.7. Почему входной каскад усиления располагается в корпусе микрофона?

3.7.8. Почему входной каскад усиления конденсаторного микрофона выполняется на полевом транзисторе?

3.7.9. Для чего используются комбинированные микрофоны?

3.7.10. Чем отличаются конденсаторные и электретные микрофоны?

3.7.11. В чем особенность асимметричных градиентных микрофонов?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЯ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРНОГО МИКРОФОНА

4.1. Цель работы

Теоретические и экспериментальные исследования частотной характеристики модуля полного электрического сопротивления конденсаторного микрофона, закрепление и углубление теоретических и практических знаний по изучаемой дисциплине.

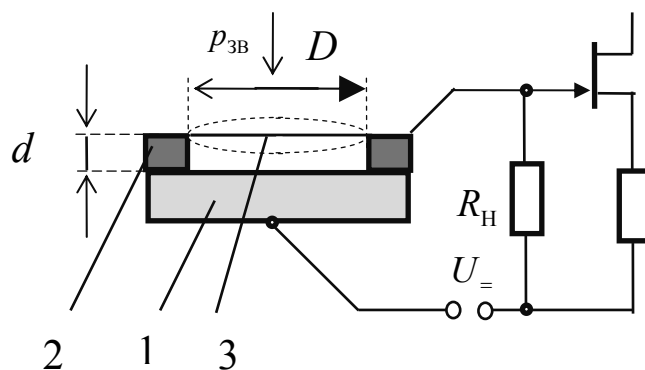
4.2. Теоретическая часть

4.2.1. Принцип действия конденсаторных микрофонов

Широко распространённым видом микрофонов в технике вещания являются электростатические: конденсаторные и электретные.

Принцип действия конденсаторного микрофона достаточно прост. Его входная часть (рис. 4.1) представляет собой плоский конденсатор, состоящий из двух обкладок. Из них внешняя 1, обращенная к источнику звука сторона, выполнена в виде тонкой круглой металлизированной изнутри диафрагмы диаметром D , скрепленной по окружности с кольцом из диэлектрика 2. Второй обкладкой конденсатора служит массивное металлическое основание 3. Эту обкладку на-

зывают базой. Обкладки 1 и 3 располагаются на малом друг от друга расстоянии d , образуя, таким образом, плоский конденсатор.



$U_{=}$ — напряжение питания; 1 — внешняя обкладка; 2 — кольцо диэлектрическое; 3 — вторая обкладка

Рис. 4.1 — Схема устройства конденсаторного микрофона

Он соединяется через нагрузочное сопротивление R_H с источником постоянного напряжения $U_{=}$. Под действием звукового давления $p_{зв}$ диафрагма совершает колебания. При этом расстояние между пластинами конденсатора изменяется, соответственно изменяется и его емкость, возрастая при сближении пластин и уменьшаясь при удалении. Но так как заряд конденсатора пропорционален приложенному напряжению и емкости $q \approx CU_{=}$ то при увеличении емкости конденсатор будет дополнительно заряжаться и в электрической цепи образуется зарядный ток. При уменьшении емкости, напротив, образуется ток разряда. В результате на сопротивлении нагрузки R_H возникает сигнал, отображающий колебательный процесс диафрагмы.

В простейшем случае звуковые волны действуют лишь на ее переднюю сторону, воздушная полость, сосредоточенная между пластинами, соединена с внешней средой вспомогательным отверстием так, что сжатия воздуха при колебаниях не происходит и закон движения внешней обкладки 1 не нарушается.

Нетрудно заметить, что схема на рис. 4.1 соответствует микрофону — приемнику звукового давления.

4.2.2. Конструктивные особенности конденсаторных микрофонов

Электретные конденсаторные микрофоны (МКЭ) по своему устройству не отличаются от обычных конденсаторных, только в них мембраны выполняются из материалов, обладающих электретным свойством: сохранять поляризацию в течение длительного времени. Такое свойство создается предварительной термической обработкой полимерных пленок в электрическом поле с высоким градиентом напряжения. Мембраны, изготовленные из подобных пленок, могут обеспечить достаточные для работы микрофонов постоянные напряжения, сохраняемые в течение многих лет. В результате отпадает необходимость в дополнительном источнике постоянного напряжения и подводе питания.

Главным достоинством конденсаторных микрофонов (с источником постоянного напряжения) и электретных являются:

— малая длительность установления напряжения (10 мкс и менее) переходной характеристики, что позволяет обеспечить высокую достоверность, разборчивость и комфортность восприятия;

— равномерная частотная характеристика в широком диапазоне частот;

— высокая чувствительность, линейность амплитудной характеристики, хорошие массо-габаритные показатели обуславливают широкое применение конденсаторных микрофонов в театральных и эстрадных звукотехнических комплексах высшего качества.

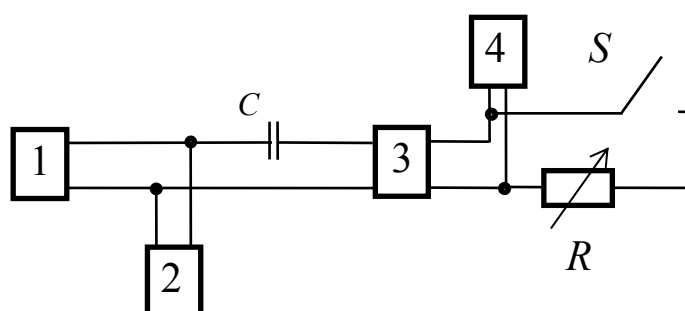
4.3. Работа лабораторной установки

Структурная схема измерения частотной характеристики полного сопротивления конденсаторного микрофона приведена на рис. 4.2. Низкочастотный генератор сигналов 1 вырабатывает переменное напряжение, которое подается на микрофонный усилитель 3 через емкость C , равную по номиналу емкости исследуемого микрофона. Вольтметр 2 предназначен для контроля уровня выходного напряжения генератора 1. Вольтметр 4 измеряет напряжение на выходе микрофонного усилителя 3. Переключатель S обеспечивает коммутацию нагрузки R микрофонного усилителя 3. В качестве нагрузки R усилителя 3 используется магазин сопротивлений.

4.4. Требования к приборам и элементам лабораторной установки

В соответствие с ГОСТ 16123 - 88 [1] расстояние между рабочим центром излучения и рабочим центром микрофона постоянно ($1,00 \pm 0,01$ м и рабочий центр микрофона совмещен с рабочей точкой поля). Допускается в технически обоснованных случаях располагать центр рабочей области на другом расстоянии от излучателя, которое указывают в технической документации.

Генератор 1 должен обеспечивать коэффициент нелинейных искажений не более 1% при выходной мощности 0,1 Вт в рабочем диапазоне частот исследуемого микрофона. Вольтметры 2, 4 должны обеспечивать погрешность измерения не более 2% в рабочем частотном диапазоне исследуемого микрофона. Магазин сопротивлений R должен перекрывать диапазон измеряемых значений полного сопротивления исследуемого микрофона не менее чем на $\pm 40\%$.



1 — низкочастотный генератор сигналов; C — конденсатор, емкость которого равна емкости капсуля микрофона; 2, 4 — вольтметры; R — магазин сопротивлений; 3 — предварительный усилитель испытываемого микрофона; S — переключатель

Рис. 4.2 — Структурная схема измерения модуля полного электрического сопротивления конденсаторного микрофона

4.5. Программа и методика исследования частотной характеристики модуля полного электрического сопротивления конденсаторного микрофона

4.5.1. По технической документации на исследуемый микрофон определить значение емкости C конденсаторного микрофона.

4.5.2. Подобрать на измерителе емкости Е7-8 конденсатор, значение емкости которого не отличалось бы от заданного C на 1%.

4.5.3. Выбранный конденсатор включить в схему приведенную на рисунке 3.1.

4.5.4. Измерить напряжение U_{xx} на выходе усилителя 3 вольтметром 4 при разомкнутом контакте переключателя S .

4.5.5. Замкнуть контакты переключателя S и подобрать такое сопротивление на магазине R , при котором напряжение на выходе усилителя 3, снятое по вольтметру 4, равно половине напряжения при разомкнутом переключателе S .

4.5.6. Снять показания на магазине сопротивлений R и занести их в таблицу 4.1.

4.5.7. Повторить выполнение пунктов 4.1...4.6 на частотах, заданных в таблице 4.1.

4.5.8. Построить график зависимости полного сопротивления конденсаторного микрофона от частоты.

4.5.9. Сделать выводы по работе.

Таблица 4.1 — Результаты измерений модуля полного электрического сопротивления конденсаторного микрофона

Частота f , Гц	U_{xx} , В	$ Z $, Ом
50		
100		
500		
1000		
2000		
5000		
10000		
12000		
15000		

4.6. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- формулы, таблицы и графики результатов измерения;
- выводы по результатам работы.

4.7. Контрольные вопросы

4.7.1. От чего зависит полное сопротивление конденсаторного микрофона?

4.7.2. Почему частотная характеристика чувствительности микрофона имеет характерный спад на нижних и верхних частотах?

4.7.3. В чем состоит различие схем устройств микрофона - приемника звукового давления и микрофона – приемника градиентов звукового давления?

4.7.4. По каким внешним признакам можно отличить микрофон – приемник звукового давления от микрофонов – приемников градиентов звукового давления?

4.7.5. В чем состоит различие принципов действия микрофона - приемника звукового давления и микрофона – приемника градиентов звукового давления?

4.7.6. Каковы достоинства и недостатки конденсаторных микрофонов?

4.7.7. За счет чего образуется двунаправленная диаграмма направленности в приемнике градиента звукового давления?

4.7.8. Каковы особенности схемы конденсаторного микрофона?

4.7.9. Почему входной каскад усиления располагается в корпусе микрофона?

4.7.10. Почему входной каскад усиления конденсаторного микрофона выполняется на полевом транзисторе?

4.7.11. В чем особенность асимметричных градиентных микрофонов?

4.7.12. Для чего используются комбинированные микрофоны?

4.7.13. Чем отличаются конденсаторные и электретные микрофоны?

Библиографический список

1. Чернышова Т.И. Проектирование фильтров на поверхностно-акустических волнах: учебно-методическое пособие /Т.И. Чернышова, Н.Г. Чернышов. — изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. — 48 с.
2. Коледов Л.А. Конструирование и технология микросхем / Л.А. Коледов. — М.: Высш. шк, 1984. — 231 с.
3. ГОСТ 16122-88. Громкоговорители. Методы измерения электроакустических параметров. Введ. 01.01.89. — М.: Изд. стандартов, 1989. 57 с.
4. Акустика: Справочник/ А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.И. Шоров; Под ред. М.А. Сапожкова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1989. — 336 с.
5. Колесников А.Е. Акустические измерения/ А.Е. Колесников. — Л.: Судостроение, 1983. — 256 с.
6. ГОСТ 16123-88. Методы измерения электроакустических параметров микрофонов. Введ. 01.01.89. — М.: Изд. стандартов, 1989. 58 с.