

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Московский технический университет связи и информатики

---

Кафедра радиовещания и электрсакустики

Лабораторная работа № 104

**ИЗМЕРЕНИЕ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ**

Москва 1986

Лабораторная работа № 104  
ИЗМЕРЕНИЕ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ

Составители: Чернышева Т.В.  
Ефимов А.П.

Издание утверждено советом факультета РВТ 21 марта 1996 г  
Протокол № 7.

Рецензент Попов О.Б.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование частотных характеристик входного сопротивления электродинамической головки при ее различном акустическом оформлении.

## 2. ЗАДАНИЕ

По данным измерений построить частотные характеристики модуля  $|Z|$  и фазового угла  $\Phi$  полного входного сопротивления электродинамической головки, работающей в открытом, закрытом ящике и с фазоинвертором.

Рассчитать величины активной  $R$  и реактивной  $X$  составляющих входного сопротивления громкоговорителя.

## 3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И СООТНОШЕНИЯ

Электродинамическая головка представляет собой четырехполюсник, имеющий электрический вход и акустический выход, т.е. является преобразователем  $\downarrow\downarrow$  двигателем.

Исходя из общей теории четырехполюсников [3], для электрического эквивалента преобразователя  $\downarrow\downarrow$  двигателя имеем

$$U = I [Z_K + |K|^2 / (Z + Z_H)], \quad (1)$$

где  $U$  - напряжение, подаваемое в звуковую катушку головки, В;

$I$  - ток, протекающий по звуковой катушке, А;

$Z_K$  - электрическое сопротивление звуковой катушки, Ом;

$Z$  - механическое сопротивление подвижной системы, кг/с;

$Z_H$  - механическое сопротивление нагрузки преобразователя, кг/с;

$K$  - коэффициент электромеханической связи;

$R_K$  и  $\omega L_K$  - соответственно активное и индуктивное сопротивление звуковой катушки.

Сопротивление механической системы с одной степенью свободы

$$Z = j\omega m + 1/j\omega c,$$

где  $m$  - масса подвижной системы головки громкоговорителя;

$C$  - гибкость подвеса подвижной системы.

Собственным активным механическим сопротивлением, сопротивлением трения пренебрегаем.

Механическое сопротивление нагрузки  $Z_H$  для излучателя есть его сопротивление излучения  $Z_R$ :

$$Z_H = Z_R = r_R + j\omega m_R,$$

где  $r_R$  - активная составляющая сопротивления излучения;

$m_R$  - присоединенная масса,  $m_R = X_R / \omega$ .

Внесенное электрическое сопротивление для электродинамического преобразователя, обусловленное электродинамическим преобразованием,

$$Z_{BH} = |K| / (Z + Z_H) = (Bl)^2 / [r_R + j\omega(m + m_R) + 1/j\omega c]. \quad (2)$$

Полное электрическое сопротивление работающего преобразователя

$$Z = Z_K + Z_{BH}.$$

Из выражения (2) находим вносимую проводимость  $Y_{BH} = 1/Z_{BH}$ .

$$Y = r \cdot (Bl)^2 + j\omega(m + m_R) / (Bl)^2 + 1/j\omega c (Bl)^2 = \quad (3)$$

$$= j\omega c / R + 1/j\omega L,$$

$$R = (Bl)^2 / r_R; \quad c = (m + m_R) / (Bl)^2; \quad L = (Bl)^2 c.$$

Вносимая проводимость представляет собой проводимость трех параллельно включенных сопротивлений. На рис. 1 приведена схема электрического эквивалента электрической головки, а на рис. 2 - частотная характеристика модуля полного электрического сопротивления громкоговорителя. Собственная частота подвижной системы электродинамической головки

$$f_0 = 1 / [2\pi (mc)^{1/2}] = 1 / [2\pi (L'C')^{1/2}]. \quad (4)$$

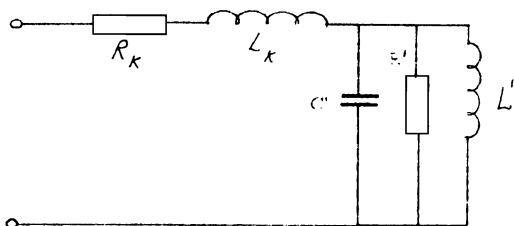


Рис. 1. Схема электрического эквивалента головки электродинамического громкоговорителя

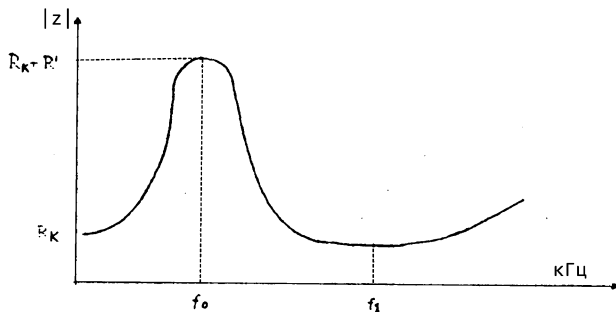


Рис. 2. Частотная характеристика модуля полного входного сопротивления громкоговорителя

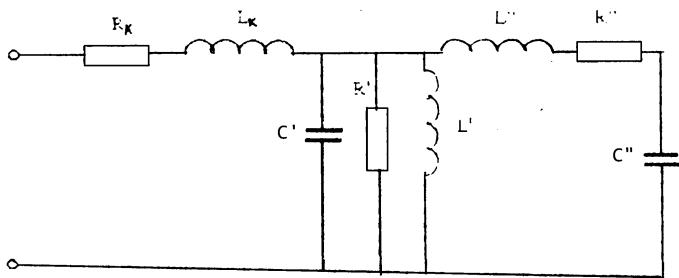


Рис. 3. Электрическая эквивалентная схема громкоговорителя с фазоинвертором

Механическое сопротивление на частоте  $f_0$  имеет минимум, а его реакция в виде вносимого сопротивления имеет максимум; на этой частоте входное сопротивление головки активно. На частоте выше частоты механического резонанса входное сопротивление уменьшается с увеличением частоты и достигает минимума на частоте электромеханического резонанса

$$f = 1/[2\pi(LC')^{1/2}]. \quad (5)$$

Обычно  $f_1 = 1/[2\pi(LC')^{1/2}].$

На более высоких частотах входное сопротивление электродинамической головки определяется индуктивным сопротивлением обмотки звуковой катушки и растет пропорционально частоте.

Для электродинамической головки, работающей в ящике с фазоинвертором, электрическая эквивалентная схема усложняется (на рис.3 - штриховая линия). В этом случае в механическую систему входят два колебательных контура, включенных последовательно. Один из них представляет подвижную систему головки, а другой - собственно фазоинвертор. Этот контур образуется гибкостью воздуха в ящике и массой воздуха в отверстии фазоинвертора (включая в нее соколеблющуюся массу окружающей среды).

Соответственно частота фазоинвертора определяется массой воздуха в отверстии и гибкостью ящика.

При правильном конструировании громкоговорителя резонансные частоты обоих контуров должны быть примерно равны:

$$f_0 = f_{\text{я}} = 1 / [2\pi(mc)^{1/2}] = 1 / [2\pi(m_{\text{я}}c_{\text{я}})^{1/2}]. \quad (6)$$

В этом случае вносимая проводимость будет иметь вид:

$$Y_{\text{вн}} = 1/R' + j\omega c' + 1/(j\omega L'' + R'' + j/\omega c''),$$

где  $c'' = m_{\text{я}}/(Be)^2$ ;  $L'' = (Be)^2 c_{\text{я}}$ ;  $R'' = (Be)^2/r$ ; (7)

$r$  - активная составляющая сопротивления излучения фазоинвертора.

При выполнении условия  $f_0 = f_{\text{я}}$  частотная характеристика полного входного сопротивления головки, работающей в ящике с фазоинвертором, будет иметь два дополнительных максимума (резонанса): один ниже  $f_0$ , а другой выше  $f_0$ ; на частоте  $f_0$  входное сопротивление громкоговорителя несколько уменьшается. Влияние фазоинвертора сказывается на частотах ниже частоты электромеханического резонанса, выше его характеристика полного входного сопротивления головки остается неизменной.

Применение фазоинвертора несколько расширяет частотный диапазон в сторону низких частот; понижая нижнюю частоту излучаемых громкоговорителем колебаний, уменьшаем коэффициент гармоник и уменьшаем неравномерность частотной характеристики в области низких частот. Уменьшение электрического сопротивления в области резонансных частот (примерно вдвое) улучшает отбор мощности от усилителя.

#### 4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Измерение полного электрического сопротивления громкоговорителя производится методом сравнения сопротивлений. Это сравнение производится с помощью осциллографа, который позволяет фиксировать равенство модулей сравниваемых сопротивлений и измерять разность фазовых углов. Сравниваются характеристики одной и той же электродинамической головки громкоговорителя, работающей без акустического оформления с фазоинвертором, в закрытом ящике. Структурная схема измерительной установки показана на рис. 4.

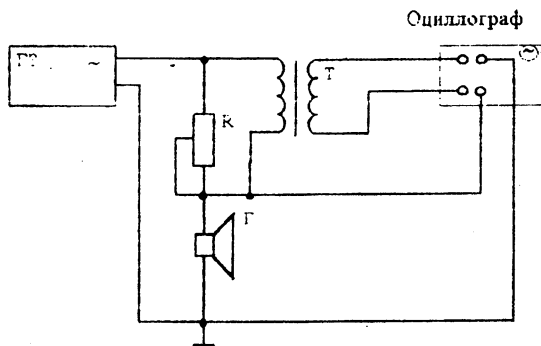


Рис. 4. Функциональная схема измерительной установки

Для измерения полного входного сопротивления  $Z$  звуковая катушка головки включается последовательно с известным сопротивлением и источником напряжения звуковой частоты. В качестве известного сопротивления используется магазин сопротивлений.

Один из входов осциллографа подключен к измерительной установке через разделительный трансформатор с коэффициентом трансформации для устранения гальванической связи между обоими входами осциллографа. Вход усилителя сигнала осциллографа включается параллельно магазину сопротивлений, а вход развертки - параллельно звуковой катушке головки. Для правильного измерения  $|Z|$  необходимо равенство коэффициентов усиления обоих усилителей осциллографа.

На экране осциллографа укреплена координатная сетка, служащая для измерения соотношений активной и реактивной составляющих

входного сопротивления громкоговорителя. Оси сетки установлены под углом  $45^\circ$  к линии горизонтальной развертки луча осциллографа.

## 5. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Включить приборы и дать им прогреться в течение 5 мин.

2. Проверить правильность включения генератора по нулевым "биениям"; выход должен быть низкоомным.

3. Проверить положение сетки на экране осциллографа, для чего снять со схемы напряжение звуковой частоты и включить развертку.

4. Откалибровать усилители осциллографа. Соединить параллельно верхние зажимы обоих входов и подать на них напряжение частоты 1 кГц. Можно также отключить верхний зажим входа горизонтального усилителя "X" от схемы измерений и соединить эту клемму с верхним зажимом входа вертикального усилителя "Y". Поставить на магазине сопротивлений 1 кОм и подать от генератора напряжений 5 В с частотой 1 кГц. Ручками регулировки усиления горизонтального и вертикального усилителей добиться того, чтобы на экране осциллографа получалась прямая линия, совпадающая с осью сетки (под углом  $45^\circ$ ).

В этом случае усиление обоих усилителей осциллографа будет одинаковым. При всех последующих измерениях положение регуляторов остается неизменным (отмечается красными метками).

5. Восстановить первоначальное включение осциллографа, включить напряжение на выходе генератора, поставить на магазине сопротивление ниже десятков Ом и проверить правильность включения измерительной системы.

6. Открыть головку, сдвинув футляр до упора, подать от генератора напряжение 4-6 В и на частоте 1 кГц подбором сопротивлений на магазине добиться совмещения большой оси полученного на экране осциллографа эллипса с одной из осей координатной сетки.

7. Установить размер большой оси эллипса  $2a \approx 40$  мм и измерить малую ось  $2b$ , а также значение сопротивления, набранного на магазине сопротивлений.

Данные записать в таблицу.

8. Измерения пп. 6, 7 провести на частотах 63, 125, 200, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, а также на частотах механического и электромеханического резонансов и на частотах, отличающихся от них



на 5-10 Гц, чтобы получить более точную кривую частотной характеристики модуля входного сопротивления громкоговорителя.

9. Определить и включить в таблицу частоты механических и электромеханических резонансов (при резонансе эллипс сопротивлений вырождается в линию).

10. Повторить те же измерения при полностью закрытом футляре и при работе громкоговорителя с фазоинвертором. Точное значение зазора фазоинвертора устанавливают по равенству двух резонансных пиков.

11. После проверки полученных результатов преподавателем выключить аппаратуру.

12. По данным измерений необходимо определить угол сдвига фаз  $\varphi$ , активную  $R$  и реактивную  $X$  составляющие полного входного сопротивления электродинамической головки, работающей в закрытом ящике и ящике с фазоинвертором.

Расчет производить, используя следующие формулы:

$$\operatorname{tg} \varphi/2 = b/a ; \quad (8)$$

$$R = |Z| \cos \varphi ; \quad (9)$$

$$X = |Z| \sin \varphi . \quad (10)$$

Все измеренные и рассчитанные данные свести в три таблицы (общая форма таблиц приведена ниже) для трех режимов: без футляра, в закрытом футляре и с фазоинвертором.

Общая форма таблиц

$f,$ Гц	$ Z ,$ Ом	$2\alpha,$ мм	$b,$ мм	$\operatorname{tg}(\varphi/2)$	$\varphi$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$R,$ Ом	$X,$ Ом

Аналогично - для двух других режимов.

**Замечание:** на частотах выше частоты механического резонанса ход графиков модуля сопротивления головки громкоговорителя практически одинаков, поэтому примерно с частоты выше 250 Гц измерения можно не повторять.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1. Изложение цели работы и метода измерений.
2. Структурную схему измерительной установки.
3. Таблицы измеренных и вычисленных величин.
4. Частотные характеристики  $|Z|$ ,  $R$ ,  $X$ ; по оси абсцисс должны быть отложены частоты в логарифмическом масштабе, по оси ординат - сопротивления в линейном масштабе с соблюдением знака фазового угла.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким методом измеряется электрическое сопротивление?
2. Какими элементами эквивалентной схемы определяются частоты механического и электромеханического резонансов?
3. Каково назначение и принцип действия фазоинвертора?
4. Из какого условия выбирают резонансную частоту фазоинвертора? Как практически настраивать фазоинвертор?
5. Приведите схему электрического эквивалента электродинамической головки и поясните все параметры схемы.
6. Составьте и поясните схемы аналога и электрического эквивалента электродинамической головки, работающей с фазоинвертором.
7. Какими элементами определяется входное сопротивление громкоговорителя на самых низких и самых высоких частотах?
8. Поясните схему измерений и порядок расчета активной и реактивной составляющих полного входного сопротивления громкоговорителя.

## 8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиовещание и электроакустика: Учебник для вузов/ Под ред. М.В.Гитлица. - М.: Радио и связь, 1989.
2. Акустика: Справочник/ Под ред. М.В.Сапожкова. - М.: Радио и связь, 1991.
3. Сапожков М.А. Электроакустика. - М.: Связь, 1978. - С. 254-258.
4. Сталь Г.Н. Электроакустика. Ч. 2/ ВЗЭС. - М., 1976. - С. 10-15.

Лабораторная работа № 104

ИЗМЕРЕНИЕ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ

Редактор Г.В.Курьянчик

---

Подписано в печать 7.06.1996 г. Формат 60x84/16. Печать офсетная.  
Объем 0,8 усл.п.л. Тираж 200 экз. Изд. № 85. Заказ 362.

Цена 500 р.

---

ЗАО "Информсвязьиздат". Москва, ул. Авиамоторная, 8.