

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
Московский ордена Трудового Красного Знамени
электротехнический институт связи

Кафедра радиовещания и электроакустики

Лабораторная работа № 102

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ГОЛОВКИ
ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ (ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОЛОВКИ
ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ И РАСЧЕТ ФАЗОИНВЕРТОРА)

по курсу

РАДИОВЕЩАНИЕ И ЭЛЕКТРОАКУСТИКА

(факультет РС и РВ)

Цель работы

Исследование параметров головки громкоговорителя и расчет фазоинвертора. Определение коэффициента полезного действия (к.п.д.) громкоговорителя.

Краткая теория

Известно, что головка громкоговорителя, работающая без оформления, в области низких частот обладает очень низкой отдачей (к.п.д.). При размещении ее в закрытом ящике к.п.д. несколько повышается, но при этом возрастает частота механического резонанса, что приводит к повышению нижней границы рабочего диапазона. Более целесообразным является применение фазоинвертора.

На рис. 1а схематически изображено устройство фазоинвертора, а на рис. 1б и 1в – схемы электрического аналога и электрического эквивалента соответственно.

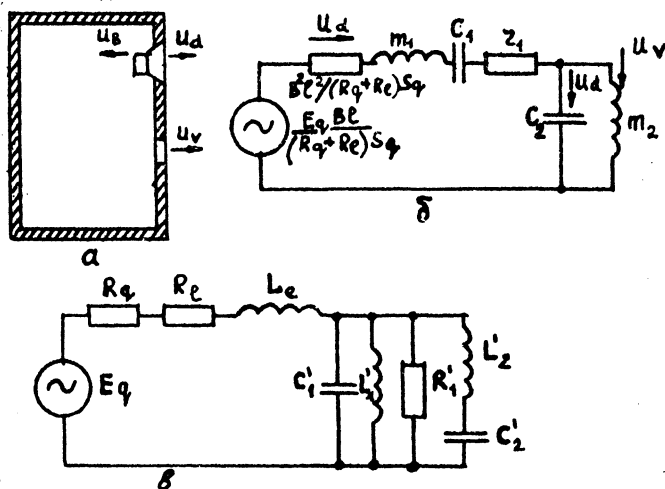


Рис. 1

Здесь: m_1 - акустическая масса подвижной системы головки громкоговорителя с учетом присоединенной массы воздуха, колеблющегося с фронтальной и тыльной сторонами диффузора; C_1 - акустическая гибкость подвесов подвижной системы; z_1 - акустическое сопротивление подвижной системы, характеризующее активные потери в подвесах; C_2 - акустическая гибкость воздуха в ящике; m_2 - акустическая масса воздуха, колеблющегося в фазоинверсном отверстии (трубе) с учетом присоединенной массы; R_e - сопротивление звуковой катушки постоянному току; R_g - выходное сопротивление усилителя мощности; E_g - напряжение на выходе усилителя в режиме холостого хода; L_e - индуктивность звуковой катушки (в области низких частот ее влиянием можно пренебречь); $B\ell$ - коэффициент электромеханической связи; S_g - площадь диффузора.

На приведенной схеме электрического аналога опущены активные компоненты сопротивления излучения, нагружающие фронтальную сторону диффузора и фазоинверсного отверстия. Это упрощение схемы допустимо, поскольку к.п.д. громкоговорителя не превышает 0,1-4%.

К.п.д. громкоговорителя, равный отношению акустической мощности P_a , излучаемой громкоговорителем, к подводимой к нему электрической мощности P_g , может быть определен с помощью выражения

$$\eta = \frac{P_a}{P_g} = \frac{\pi f^2 \rho (R_e + R_g) \ell^2}{C_{3B} E_g^2 R_e} |U_d - U_v|^2, \quad (I)$$

так как

$$P_a = z_e |U_d - U_v|^2 = \frac{\pi f^2 \rho}{C_{3B}} \cdot |U_d - U_v|^2,$$

а

$$P_g = \frac{E_g^2}{(R_e + R_g) \ell^2} \cdot R_e.$$

С помощью схемы, изображенной на рис. 1б, нетрудно найти точки U_d , U_g и U_v (объемные скорости). Подставляя их значения в (I), получим:

$$\eta = \left(\frac{\rho}{4\pi C_{3B}} \right) \cdot \left(\frac{B^2 \ell^2}{R_e m_1 S_g^2} \right) \times \left[\frac{1}{1 + y_1 \left(\frac{f_0}{f} \right)^2 + y_2 \left(\frac{f_0}{f} \right)^4 + y_3 \left(\frac{f_0}{f} \right)^6 + y_4 \left(\frac{f_0}{f} \right)^8} \right] \quad (2)$$

Таким образом, выражение для к.п.д. громкоговорителя содержит произведение трех множителей, в первый из которых входят только физические константы среды, во второй — постоянные параметры головки; а третий изменяется с частотой. Частотная характеристика к.п.д. полностью определяется третьим множителем. Можно показать [2], что форма и абсолютное значение к.п.д. громкоговорителя в области поршневого действия диффузора зависят от величины общей добротности головки Q_n и отношений V_2/V и f_B/f_0 .

Общая добротность головки Q_n обусловлена потерями в подвижной системе Q_M и потерями, внесенными при движении звуковой катушки в магнитном поле Q_2 :

$$\frac{1}{Q_n} = \frac{1}{Q_M} + \frac{1}{Q_2},$$

где

$$Q_M = \frac{2\pi f_0 m_1}{z_1}; \quad Q_2 = \frac{2\pi f_0 R_e S_g^2}{B^2 \rho^2}.$$

Отношение эквивалентного объема воздуха V_2 , соответствующего акустической гибкости подвижной системы, к внутреннему свободному объему воздуха V фазоинвертора, может быть заменено отношением гибкости подвижной системы головки C_1 к гибкости воздушного объема воздуха в фазоинверторе C_2 .

f_0 и f_B — собственная резонансная частота головки в свободном пространстве (с учетом соколеблющейся массы воздуха при работе головки в акустическом оформлении) и собственная резонансная частота или частота настройки фазоинвертора:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} (m_1 C_1)^{1/2}; \quad f_B = \frac{1}{2\pi} (m_2 C_2)^{1/2}.$$

Q_M и Q_2 могут быть определены по частотным характеристикам модуля полного электрического сопротивления головки, работающей без оформления (рис. 2 и 3а) и головки в фазоинверторе (рис. 3б):

$$Q_M' = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \left[\frac{\left(\frac{R_0}{R_e}\right)^2 - \left(\frac{R_{12}}{R_e}\right)^2}{\left(\frac{R_{12}}{R_e}\right)^2 - 1} \right]; \quad Q_2' = \frac{Q_M'}{\frac{R_0}{R_e} - 1}.$$

Величины f_0' , Q_M' , Q_2' взяты здесь со штрихами потому, что не учитывают изменений в присоединенной массе воздуха, возникающих при работе головки в акустическом оформлении. Чтобы уточнить параметры f_0 , Q_M и Q_2 , а также определить объем V , эквивалентный акустической гибкости, головку закрепляют в изме-

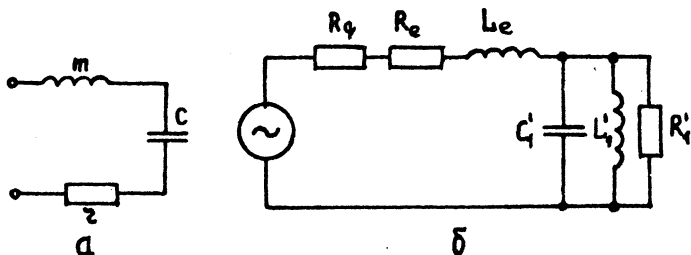


Рис. 2

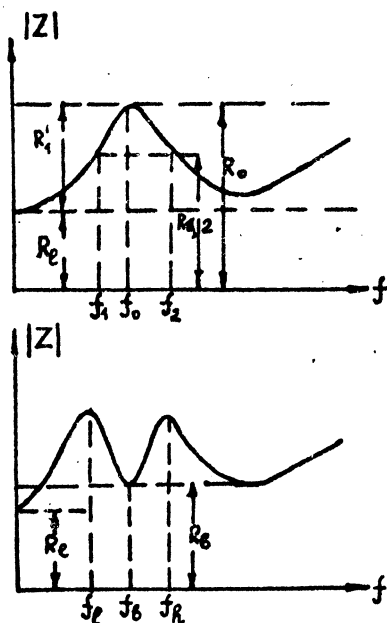


Рис. 3

рительном ящике (закрытый ящик или фазоинвертор). При использовании измерительного фазоинвертора определяют точные значения f_0 , Q_M и Q_3 по формулам:

$$f_0 = \frac{f_L \cdot f_H}{f_B};$$

$$\frac{V_2}{V} = \frac{(f_H^2 - f_B^2)(f_B^2 - f_L^2)}{f_B^2 \cdot f_L^2};$$

$$Q_M = Q'_M \frac{f'_0}{f_0};$$

$$Q_3 = Q'_3 \cdot \frac{f'_0}{f_0}.$$

Ориентировочное значение к.п.д. проектируемого громкоговорителя равно [2]:

$$\eta \approx \frac{2\pi f_0^3 \cdot V_2}{C_{fB}^3 \cdot Q_M} \cdot 100\%.$$

Полученное значение к.п.д. должно быть уменьшено на 40–60% за счет потерь в акустическом оформлении и в подвижной системе.

По найденным параметрам головки рассчитывают конструктивные параметры фазоинвертора. Исходным требованием к проектируемому громкоговорителю считают обеспечение гладкой частотной характеристики с заданной частотой среза f_3 , близкой к частоте f_0 . Оценивают потери в измерительном ящике-фазоинверторе [2]:

$$Q_B = \frac{f_B V}{f_0 V_2 Q_2} \left[\frac{(R_0 - R_B) \cdot R_B}{(R_0 - R_B) \cdot (R_B - R_E)} \right]$$

Как показали многочисленные измерения, наибольший вклад в Q_B вносят активные потери, возникающие вследствие трения при колебаниях воздуха в щелях и отверстиях ящика. Обычно в зависимости от качества исполнения ящика и низкочастотной головки Q_B находится в пределах 3–30.

Для расчета акустического оформления следует воспользоваться номограммой, приведенной на рис. 4. По рассчитанному отношению f_3/f_0 определяют требуемые значения Q_n ; V_2/V ; f_B/f_0

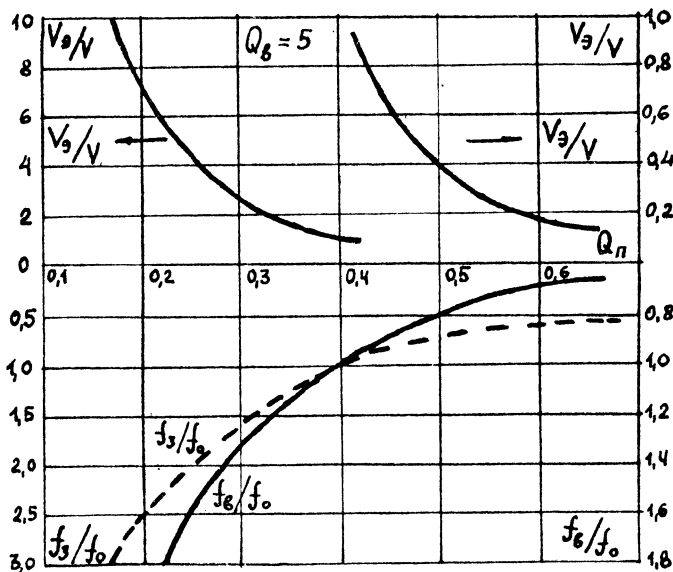


Рис. 4

Подставив в последние отношения измеренные значения параметров головки (V_3, f_0), определяют объем V и частоту настройки фазоинвертора f_g .

Дальнейший расчет включает в себя определение конструктивных размеров ящика фазоинвертора, обеспечивающих как необходимый рабочий объем ящика V , так и частоту его настройки f_g . При этом обычно предполагается, что 10% объема ящика занимают брусья, фазоинверсное отверстие (с трубой) и головка. Таким образом, внутренний объем ящика будет $V' \approx 1/10 V$. Далее выбирают соотношение сторон ящика (например, 1:0,8:0,5) и определяют его высоту, ширину и глубину. Затем, учитывая толщину передней панели и остальных стенок, находят наружные размеры ящика.

Расчет фазоинвертора основан на определении акустической массы инвертора, которая вместе с гибкостью рабочего объема ящика резонирует на частоте f_g . Отношение длины трубы L_v к площади выходного отверстия S_v может быть найдено по следующей формуле [2]:

$$\frac{L_v}{S_v} = \frac{3097}{f_g^2 \cdot V'}$$

где f_g - в Гц; V' - в м³; L_v/S_v - в м⁻¹.

Обычно площадь S_v составляет (1/4 + 1) от эффективной площади диффузора головки. Площадь фазоинверсного отверстия не может быть слишком малой, так как из-за большой колебательной скорости в нем могут возникнуть нелинейные искажения и посторонние призвуки. Она не может быть и слишком большой, так как чем больше площадь инвертора, тем большей должна быть его длина, чтобы отношение S_v/L_v оставалось неизменным. Размещение большой трубы в ящике связано с усложнением его конструкции и увеличением размеров.

Эффективный диаметр диффузора принимают обычно равным 0,74 номинального диаметра. Определив S_v , находят L_v . Следует иметь в виду, что L_v - кажущаяся длина инвертора, включающая в себя как длину трубки, так и приращение вследствие краевых эффектов ΔL , равное:

$$\Delta L = 1,7 \sqrt{\frac{S_v}{\pi}}$$

Следовательно, длина инвертора, включая толщину передней стенки, равна:

$$L = L_v + \Delta L$$

Описание измерительной установки

Структурная схема измерительной установки изображена на рис. 5. Источником сигнала служит звуковой генератор ЗГ, к одному из выходов которого подключен частотомер ЧМ. Через добавочное сопротивление R_A ($R_A \gg |Z_{ГР}|$) сигнал поступает либо на громкоговоритель Гр, либо на магазин сопротивлений R_0 . Напряжение на Гр и R_0 контролируется с помощью вольтметра В.

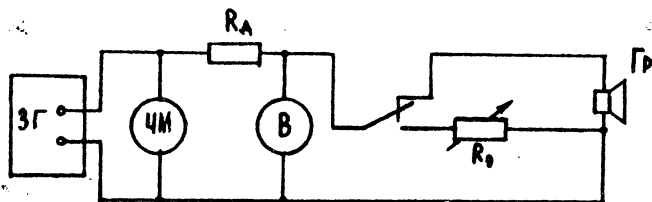


Рис. 5

Конструктивно установка выполнена таким образом, что головка может работать как в фазоинверторе, так и в открытом пространстве.

Порядок выполнения работы

1. Получить задание у преподавателя, ознакомиться с установкой и правилами по технике безопасности.

2. С помощью ручки отодвинуть ящик от головки до упора. В этом случае с достаточной точностью можно считать, что головка работает в открытом пространстве.

3. Установить на 600-омном выходе генератора напряжение 20 В на частоте 100 Гц (внутренняя нагрузка включена). Ручкой "Установка нуля" генератора установить точное значение частоты (100 Гц) по частотомеру, подключенному к генератору (выход "5 Ом"). Плавно меняя частоту в диапазоне 20 - 600 Гц, определить:

а. Частоту механического резонанса головки без оформления, для чего необходимо зафиксировать максимальное показание вольтметра U_{max} и отсчитать точное значение частоты f_0' с помощью частотомера. Включив вместо головки громкоговорителя эталонный магазин сопротивлений, установить ранее зафиксированное показание вольтметра. Записать величину полученного сопротивления R_0 .

6. Вернуть тумблер в верхнее положение. Плавно увеличивая частоту измерительного сигнала, зафиксировать минимальное показание вольтметра и определить значение R_c .

в. Установить на вольтметре шкалу "0 дБ" и ручкой генератора "Рег. выхода" на частоте f_0 установить 0 дБ. Далее, уменьшая частоту, определить точное значение частоты f_1 , на которой показание вольтметра уменьшится на 3 дБ. Увеличивая частоту, определить f_2 (см. рис. 3а). Уточненное значение резонансной частоты равно:

$$f_{0\text{уточн}} = \sqrt{f_1 f_2}.$$

4. Поместить головку в измерительный фазоинвертор, для чего придвинуть ящик к головке до упора. Образующаяся при этом щель играет роль фазоинверсного отверстия. Определить значения f_e , f_B , f_H и R_B (см. рис. 3б) по методике, изложенной в п. 3.

5. Результаты измерений удобно записать в таблице вида:

f_0'	f_1	f_2	R_0	R_c	f_e	f_H	f_B	R_B	$f_{0\text{уточн}}$

6. Рассчитать значения Q_M , Q_3 , Q_B , Q_H и V_3 по вышеприведенным формулам.

7. Рассчитать параметры ящика-фазоинвертора и к.п.д. громкоговорителя.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание и структурную схему установки.
2. Таблицы измеренных и вычисленных вспомогательных величин.
3. Расчет фазоинвертора.
4. Расчет коэффициента полезного действия громкоговорителя.

Контрольные вопросы

1. Схема электрического аналога головки без оформления.
2. Схема электрического эквивалента головки без оформления.

3. Схема электрического аналога головки в фазоинверторе.
4. Схема электрического эквивалента головки в фазоинверторе.
5. Какие параметры головки нужно знать для расчета фазоинвертора?
6. Что такое эквивалентный объем?
7. Назначение фазоинвертора.
8. Чем определяется коэффициент полезного действия громкоговорителя?
9. Методика определения полной добротности головки.

Литература

1. Сапожков М.А. Электроакустика. - М.: Связь, 1978. - | 272 с.
2. Виноградова Э.Л. Конструирование громкоговорителей со сглаженными частотными характеристиками. - М.: Энергия, 1978. - 48 с.
3. Фурдуев В.В. Акустические основы вещания. - М.: Связьиздат, 1960. - 320 с.
4. ГОСТ 16122-78. "Громкоговорители. Методы измерений электроакустических параметров". - М.: Государственный комитет по стандартам, 1979. - 41 с.

Бесплатно.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ГОЛОВКИ
ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ (ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОЛОВКИ
ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ И РАСЧЕТ ФАЗОИНВЕРТОРА)

по курсу

РАДИОВЕЩАНИЕ И ЭЛЕКТРОАКУСТИКА

(факультет РС и РВ)

Составители: Н.Т. Молодая, А.П. Степанов

Рецензент М.А. Сапожков

Редактор Л.А. Мятина

Корректор Г.В. Курьянчик

62

Подписано к печати 27.12.83, п.л. 0,75, тир. 500, зак. 1582,
изд. № 364. Бесплатно.

Типография ХОЗУ Миннефтепрома