



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011118798/08, 10.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.05.2011

(45) Опубликовано: 10.11.2011 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

191119, Санкт-Петербург, ул. Правды, 13, Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения

(72) Автор(ы):

Тихонова Людмила Сергеевна (RU)

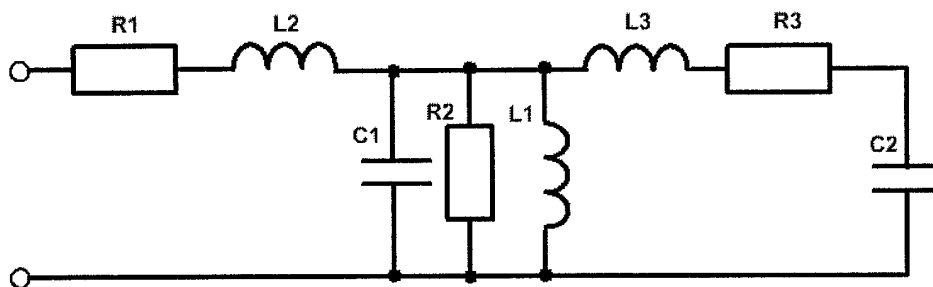
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения" (RU)

## (54) ЭКВИВАЛЕНТ НАГРУЗКИ УСИЛИТЕЛЕЙ СИГНАЛОВ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

### Формула полезной модели

Эквивалент нагрузки усилителей сигналов звуковой частоты, содержащий последовательно соединенные первый резистор и колебательный контур, состоящий из параллельно соединенных первого конденсатора, второго резистора и первой катушки индуктивности, отличающийся тем, что между первым резистором и колебательным контуром введена вторая катушка индуктивности, а параллельно колебательному контуру введены последовательно соединенные между собой третья катушка индуктивности, третий резистор и второй конденсатор.



## Область техники

Полезная модель относится к звукоусилительной технике и предназначена для использования при разработке, наладке и измерениях электрических параметров усилителей сигналов звуковой частоты, и в частности усилителей низкой частоты в интегральном исполнении и усилителей мощности в дискретном исполнении и выполненных по смешанной дискретно-интегральной технологии.

Цель полезной модели - более полная электрическая имитация громкоговорителя.

Поставленная цель достигается введением электрических эквивалентов индуктивного сопротивления звуковой катушки и акустического оформления громкоговорителя, для чего в схему устройства между первым резистором и колебательным контуром подключена вторая катушка индуктивности, а параллельно колебательному контуру подключены последовательно соединенные между собой третья катушка индуктивности, третий резистор и второй конденсатор.

## Описание аналогов

При разработке, наладке и исследовании характеристик оконечных усилителей звуковоспроизводящей аппаратуры для кинотеатров и киноконцертных залов не только в прошлом, но и до последнего времени, принято использовать в качестве нагрузки усилителя активное сопротивление номинальной величины, соответствующей указанной для электроакустического агрегата комплекта аппаратуры [1, с.32 и 69].

Методы измерения электрических параметров автономных и встроенных усилителей сигналов звуковой частоты, имеющих выход для подключения нагрузки, также предусматривают использование эквивалента нагрузки при проведении измерений [2]. Согласно [2, с.4], установка усилителя в номинальные условия измерений требует подключения его выходных зажимов к номинальному эквиваленту нагрузки, представляющему собой постоянный резистор соответствующей мощности и сопротивления.

Обычно, номинальное сопротивление громкоговорителя указывается изготовителем в соответствии с принятым рядом значений: 2, 4, 6, 8, 16, 25, 32 Ом. Номинальное сопротивление является некоторой усредненной величиной, близкой к минимальному значению полного сопротивления громкоговорителя и применяемой для оценочных расчетов и испытаний.

Использование эквивалента нагрузки в определенной степени оправдано технологичностью наладки и испытаний макетов и образцов усилителей: не надо использовать громоздкие громкоговорители, заглушенные камеры, не создаются мощные акустические поля и т.п. Однако использование резистора в качестве эквивалента нагрузки не дает достоверной и исчерпывающей информации о поведении и параметрах усилителя в эксплуатационных условиях.

## Описание прототипа

Компромиссным решением вопроса может служить использование в качестве эквивалента нагрузки цепи, состоящей из активных и реактивных пассивных элементов, комплексный характер сопротивления которой имитирует частотные изменения входного электрического сопротивления реальной нагрузки усилителя.

Наиболее близким к заявленному решению является эквивалент реактивной нагрузки выхода усилителя для подключения громкоговорителя, используемый при проведении измерений электрических параметров усилителей сигналов звуковой частоты [2]. Эквивалентом нагрузки служит электрическая цепь, имитирующая полное сопротивление нагрузки, для работы с которой предназначен усилитель (например, динамический громкоговоритель) [2, с.49]. При имитации полного сопротивления громкоговорителя

предусматривается использование понятия типового громкоговорителя - громкоговорителя определенного типа (например, динамического), обладающего среднестатистическими параметрами.

Известное устройство содержит последовательно соединенные первый резистор и колебательный контур, состоящий из параллельно соединенных первого конденсатора, второго резистора и первой катушки индуктивности [2, Приложение 2, с.51, черт.24 - прототип]. Параметры элементов электрической цепи приняты равными:  $R_1=5,4 \text{ Ом} \pm 2\%$ ;  $R_2=18,6 \text{ Ом} \pm 2\%$ ,  $C_1=800 \text{ мкФ} \pm 5\%$ ,  $L_1=12,5 \text{ мГн} \pm 5\%$ .

Критика прототипа

К причинам, препятствующим достижению требуемого технического результата при использовании известного устройства, можно отнести следующее.

Выражение для полного сопротивления устройства-прототипа имеет вид

$$Z_{\text{прот}}(j\omega) = R_1 + \frac{R_2}{1 + R_2^2(\omega C_1 - \frac{1}{\omega L_1})^2} - j \left[ \frac{R_2^2(\omega C_1 - \frac{1}{\omega L_1})}{1 + R_2^2(\omega C_1 - \frac{1}{\omega L_1})^2} \right].$$

Соответствующая этому выражению амплитудная частотная характеристика (АЧХ) модуля полного сопротивления прототипа имеет в области низких частот резонансный всплеск на частоте  $f_1=\omega_1/2\pi$ , имитирующий основной (механический) резонанс громкоговорителя

$$f_{1\text{прот}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}} = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{1}{12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 800 \cdot 10^{-6}}} = 50 \text{ Гц}.$$

На этой частоте модуль достигает своего максимального значения

$$Z_{1\text{прот}} = R_1 + R_2 = 5,4 \text{ Ом} + 18,6 \text{ Ом} = 24 \text{ Ом}.$$

В диапазонах частот ниже и выше резонансного всплеска АЧХ прототипа переходит в горизонтальные участки на уровне значения в сопротивлении первого резистора, равного  $R_1=5,4 \text{ Ом}$ .

Таким образом, несмотря на указание в [2], что цепь, изображенная на чертеже, является эквивалентом реактивной нагрузки выхода усилителя для подключения громкоговорителя, полное сопротивление устройства-прототипа носит реактивный характер только в относительно узком диапазоне частот в районе частоты резонанса колебательного контура  $f_1$ . На других частотах полное сопротивление прототипа носит чисто активный характер.

Судя по значению частоты резонанса колебательного контура  $f_1$ , равному 50 Гц, и значениям параметров элементов схемы, эквивалент-прототип способен имитировать входное электрическое сопротивление широкополосной динамической головки, обладающей среднестатистическими параметрами, измеренными в свободном пространстве, причем без учета индуктивного сопротивления звуковой катушки. К тому же, в схеме прототипа отсутствуют элементы, имитирующие акустическое оформление громкоговорителя, в которое устанавливается головка и которое существенно влияние на входное сопротивление громкоговорителя.

АЧХ модуля полного сопротивления устройства-прототипа значительно отличается от АЧХ модуля полного сопротивления реального громкоговорителя, у которого она носит ярко выраженный неравномерный характер во всем рабочем диапазоне частот. Таким образом, использование прототипа не позволяет обеспечить соответствие условий при разработке и испытаниях усилителя условиям при его эксплуатации. Есть все основания предполагать, что значения ряда параметров, приводимых в технических условиях и описаниях усилителей, завышены. Особенно это касается энергетических и тепловых режимов, запаса устойчивости, оценки искажений, действенности и правильности настройки систем электронной защиты и т.д.

#### Сущность полезной модели

Задача, на решение которой направлена заявляемая полезная модель, заключается в более полной электрической имитации громкоговорителя.

Указанная задача решается за счет достижения при осуществлении полезной модели технического результата, который заключается во введении электрических эквивалентов индуктивного сопротивления звуков эй катушки и акустического оформления громкоговорителя.

Указанный технический результат достигается тем, что в схему устройства между первым резистором и колебательным контуром введена вторая катушка индуктивности, а параллельно колебательному контуру введены последовательно соединенные между собой третья катушка индуктивности, третий резистор и второй конденсатор.

Проведенный заявителем анализ уровня техники, включающий поиск по патентным и научно-техническим источникам информации, позволил установить, что заявителем не обнаружен аналог, характеризующийся признаками, идентичными всем существенным признакам заявленной полезной модели, а определение из числа выявленных аналогов прототипа, как наиболее близкого по совокупности признаков, позволило определить совокупность существенных по отношению к техническому результату признаков в заявленном объекте, изложенных в формуле полезной модели.

Следовательно, заявленная полезная модель соответствует требованию «новизна».

#### Перечень фигур чертежей

На фигуре 1 представлена схема устройства, реализующего предлагаемую полезную модель, где R1 - первый резистор с сопротивлением  $5,4 \text{ Ом} \pm 2\%$ , L2 - вторая катушка с индуктивностью  $0,5 \text{ мГн} \pm 5\%$ , C1 - первый конденсатор с емкостью  $800 \text{ мкФ} \pm 5\%$ , R2 - второй резистор с сопротивлением  $18,6 \text{ Ом} \pm 2\%$ , L1 - первая катушка с индуктивностью  $12,5 \text{ мГн} \pm 5\%$ , L3 - третья катушка с индуктивностью  $12,5 \text{ мГн} \pm 5\%$ , R3 - третий резистор с сопротивлением  $0,4 \text{ Ом} \pm 2\%$ , C2 - второй конденсатор с емкостью  $800 \text{ мкФ} \pm 5\%$ .

На фигуре 2 представлены амплитудно-частотные характеристики модулей полного сопротивления прототипа (1) и предлагаемого устройства (2).

Сведения, подтверждающие возможность осуществления полезной модели

Сведения, подтверждающие возможность осуществления полезной модели с получением вышеуказанного технического результата, заключаются в следующем.

Сущность полезной модели поясняется рисунком (фигура 1), где представлена схема предлагаемого эквивалента нагрузки.

Первый резистор R1 устройства имитирует активное сопротивление звуковой катушки головки громкоговорителя, которое измеряется на постоянном токе при неподвижной катушке.

Элементы колебательного контура образуют электрический эквивалент подвижной системы головки: C1 - имитирует массу всей подвижной системы, включая массу диффузора, массу звуковой катушки, часть массы подвеса и присоединенную к

диффузору массу воздуха; L1 - имитирует гибкость подвеса и гибкость центрирующей шайбы; R2 - имитирует активные сопротивления, включая трение катушки о воздух в зазоре, механические потери в диффузоре, центрирующей шайбе и подвесе, а также активную составляющую сопротивления излучения. Параллельный резонанс контура имитирует механический резонанс подвижной системы, т.е. основной резонанс динамической головки в свободном пространстве.

Введенная вторая катушка индуктивности L2 имитирует индуктивное сопротивление звуковой катушки головки громкоговорителя, которое мало влияет в области низких частот, но обуславливает существенный подъем АЧХ модуля полного сопротивления в области высоких частот. Значение индуктивности звуковой катушки обычно невелико, и выбор индуктивности второй катушки L2, равной 0,5 мГн, входит в диапазон среднестатистических значений этого параметра для НЧ-СЧ динамических головок (0,5-1,7 мГн), а также соответствует значениям параметров элементов колебательного контура прототипа.

Теперь вторая катушка индуктивности L2, первая катушка индуктивности L1 и первый конденсатор C1 образуют контур с последовательным резонансом в области низких частот, имитирующий электромеханический резонанс в головке.

Конструктивной особенностью динамического громкоговорителя является установка звуковой головки в акустическое оформление, в качестве которого чаще всего используется фазоинверсная система - закрытый корпус с дополнительным отверстием или отверстием с трубой в передней стенке. Использование фазоинвертора обеспечивает повышение стандартного давления и равномерность частотной характеристики громкоговорителя в области низких частот, а также способствует снижению нелинейных искажений в области частоты основного резонанса головки.

Введенные в схему прототипа третья катушка индуктивности L3, третий резистор R3 и второй конденсатор C2 образуют электрический эквивалент фазоинвертора и моделируют его влияние на полное сопротивление громкоговорителя. Третья катушка индуктивности L3 имитирует гибкость воздушного объема корпуса. Третий резистор R3 имитирует щелевые потери за счет утечек: через неплотное крепление головки, сквозь крепежные винты, через материал подвеса и пылезащитного колпачка. Потерями за счет звукопоглощения в корпусе, потерями за счет трения воздуха в отверстии или трубе фазоинвертора можно пренебречь, что обусловлено их незначительностью. Второй конденсатор C2 имитирует акустическую массу воздуха в отверстии или трубе фазоинвертора с учетом соколеблющейся массы воздушной среды.

При проектировании фазоинвертора обычно исходят из соображения, что фазу обратного излучения целесообразно инвертировать лишь в области частот, лежащих выше частоты механического резонанса подвижной системы головки, поскольку в области более низких частот излучение не будет эффективным даже при использовании инверсии. Поэтому контур фазоинвертора настраивают на частоту, равную или чуть выше основной резонансной частоты головки. Расстройка частот резонансов фазоинвертора и головки, как правило, не превышает  $\pm 2/3$  октавы, а часто они совпадают.

Используя эти соображения, выберем значения параметров введенных элементов равными значениям параметров элементов прототипа:  $C_2=C_1=800$  мкФ,  $L_3=L_1=12,5$  мГн. Тогда частота резонанса  $f_{\Phi}$  последовательного контура L3-C2, имитирующая собственную частоту резонанса фазоинвертора, будет совпадать с частотой резонанса подвижной системы головки  $f_1$

$$f_{\Phi} = f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_3 C_2}} = 0,16 \sqrt{\frac{1}{12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 800 \cdot 10^{-6}}} = 50 \text{ Гц.}$$

Для выбора значения сопротивления резистора R3, имитирующего щелевые потери, воспользуемся практическими данными. Наиболее часто встречающиеся значения добротности, характеризующей щелевые потери Q, лежат в пределах 5...10. Отсюда диапазон возможных значений сопротивления резистора R3

$$R_3 = \frac{\omega_1 L_3}{Q} = \frac{1}{\omega_1 C_2 Q} = \sqrt{\frac{L_3}{C_2}} / Q = \sqrt{\frac{12,5 \cdot 10^{-3}}{800 \cdot 10^{-6}}} / 5 \div 10 = 0,8 \dots 0,4 \text{ Ом.}$$

Выберем минимальное значение из полученных - R3=0,4 Ом, т.к. при практической реализации электрической цепи эквивалента активное сопротивление провода катушки L3 увеличит фактическое значение активного сопротивления в последовательной цепи L3-R3-C2.

Выражение для полного сопротивления предлагаемого устройства имеет высокий (четвертый) порядок и настолько сложный вид, что теряет свою наглядность. В тоже время, ход АЧХ модуля полного сопротивления предлагаемого устройства не трудно проследить, не прибегая к сложным вычислениям, а руководствуясь простыми физическими соображениями: на АЧХ выделить зоны частот, где действие тех или иных элементов схемы преобладает над действием остальных элементов, и провести расчет координат контрольных точек, по которым построить АЧХ.

Головка и фазоинвертор представляют собой связанную систему с достаточно сильной связью между парциальными колебательными системами. Поэтому даже при настройке обеих систем на одну и ту же частоту, резонансная кривая в области низких частот будет иметь два максимума на частотах

$$f_{3,4} = f_1 \sqrt{\frac{1}{2} [(a+2) \mp \sqrt{a^2 + 4a}]}, \quad (1)$$

где a - константа, характеризующая степень связи между головкой и фазоинвертором и ее влияние на частотную характеристику.

Величина a зависит от отношения гибкости подвеса подвижной системы головки к гибкости объема воздуха в корпусе, которые в эквиваленте имитируются катушками L1 и L3, значения индуктивностей которых приняты равными, а значит

$$a = \frac{L_1}{L_3} = 1.$$

При подстановке a=1 в выражение (1) получим:

- частота первого максимума f3=31 Гц,
- частота второго максимума f4=81 Гц.

На частоте f1=50 Гц АЧХ модуля предлагаемого устройства будет иметь провал, а значение модуля в этой точке достигнет величины

$$Z_1 = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 5,4 + \frac{18,6 \cdot 0,4}{18,6 + 0,4} = 5,4 + 0,4 = 5,8 \text{ Ом.}$$

5 Частота последовательного резонанса элементов схемы L2, L1 и C1, соответствующая частоте электромеханического резонанса головки, равна

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C_1} \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \right)} = 0,16 \sqrt{\frac{1}{800 \cdot 10^{-6}} \left( \frac{1}{12,5 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{0,5 \cdot 10^{-3}} \right)} = 256 \text{ Гц.}$$

10 На этой частоте значение модуля минимально и снижается до величины

$$Z_2 = R_1 + \frac{1}{R_2} \cdot \frac{L_2}{C_1} = 5,4 + \frac{1}{18,6} \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{800 \cdot 10^{-6}} = 5,4 + 0,034 = 5,434 \text{ Ом.}$$

15 При введении в схему второй катушки индуктивности L2 равномерный участок характеристики прототипа в области высоких частот трансформируется в подъем характеристики предлагаемого устройства.

Теперь на частоте  $f_B = 10 \text{ кГц}$  модуль полного сопротивления составит величину

$$20 \quad Z_A = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_2)^2} = \sqrt{5,4^2 + (2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3})^2} = 31,8 \text{ Ом.}$$

Построенные по рассчитанным контрольным точкам АЧХ представлены на фигуре 2. Кривая 1 представляет собой АЧХ модуля полного сопротивления устройства-прототипа и отражает имитацию полного сопротивления головки без учета индуктивного сопротивления звуковой катушки. Кривая 2 представляет собой АЧХ модуля полного сопротивления предлагаемой полезной модели и отражает имитацию полного сопротивления головки в фазоинверторе, собственная частота которого настроена на основную резонансную частоту головки.

Для построения характеристик также была использована такая система компьютерного моделирования и анализа как Electronic Work Bench. Элементам анализируемой модели (фигура 1) были приданы значения, присущие прототипу и предложенные выше. Координаты характерных точек обеих кривых, построенных в САПР, совпали с рассчитанными выше координатами контрольных точек АЧХ прототипа и предлагаемого устройства.

35 Полученная АЧХ модуля полного сопротивления предлагаемого устройства (фигура 2, кривая 2) наглядно демонстрирует ярко выраженный комплексный характер в диапазоне звуковых частот, в котором имитируются основные акустические особенности типового динамического громкоговорителя, головка которого помещена в фазоинвертор с отверстием или отверстием с трубой.

40 Отметим конструктивные особенности используемых в эквиваленте элементов: мощности резисторов, допустимые напряжения конденсаторов, сечения проводов катушек индуктивностей, должны соответствовать выходной мощности, развиваемой усилителем в ходе испытаний, проводимых совместно с эквивалентом нагрузки. Типы конденсаторов должны обеспечивать работу в цепях переменного тока в диапазоне звуковых частот, а их рабочее напряжение должно в полтора-два раза превышать максимальное выходное напряжение, развиваемое усилителем. Добротности катушек индуктивности на нижней рабочей частоте должны составлять величину не менее 10.

Из выше изложенного очевидно, что введение в эквивалент нагрузки усилителя дополнительных элементов, имитирующих такие важные особенности динамического

громкоговорителя как индуктивное сопротивление звуковой катушки (катушка индуктивности L2) и влияние фазоинвертора (катушка индуктивности L3, резистор R3 и емкость C2), позволяет получить более полное соответствие комплексного сопротивления эквивалента нагрузки, подключаемого к выходу усилителя в условиях разработки, наладки и проведения измерений, комплексному сопротивлению динамического громкоговорителя, подключаемого к выходу усилителя в условиях эксплуатации.

Таким образом, вышеуказанные сведения свидетельствуют о выполнении при использовании заявленной полезной модели следующих условий:

- устройство, воплощающие заявленную полезную модель при ее осуществлении, предназначено для использования в усилителях сигналов звуковой частоты, и в частности в усилителях низкой частоты в интегральном исполнении и в усилителях мощности в дискретном исполнении и выполненных по смешанной дискретно-интегральной технологии;

- для заявленной полезной модели в том виде, как она охарактеризована в формуле полезной модели, подтверждена возможность ее осуществления с помощью вышеописанных в заявке или известных до даты приоритета средств и методов;

- устройство, воплощающее заявленную полезную модель при ее осуществлении, способно обеспечить достижение указанного технического результата.

Следовательно, заявленная полезная модель соответствует требованию «промышленная применимость» по действующему законодательству.

#### Литература

1. ОТРАСЛЕВОЙ РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ. РТМ 19 253-70. Унифицированная система звукотехнической аппаратуры кинематографии. Исходные данные на разработку. - М., 1971 г.

2. ГОСТ 23849-87. АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ БЫТОВАЯ. Методы измерения электрических параметров усилителей сигналов звуковой частоты. - М.: Издательство стандартов, 1990 (прототип, Приложение 2, черт.24, с.51).

#### (57) Реферат

Эквивалент нагрузки усилителей сигналов звуковой частоты относится к звукоусилительной технике и предназначен для использования при разработке, наладке и измерениях электрических параметров усилителей, и в частности усилителей низкой частоты в интегральном исполнении и усилителей мощности в дискретном исполнении и выполненных по смешанной дискретно-интегральной технологии.

Целью полезной модели является более полная электрическая имитация громкоговорителя.

Технический результат при осуществлении модели достигается введением электрических эквивалентов индуктивного сопротивления звуковой катушки и акустического оформления громкоговорителя, для чего в схему устройства между первым резистором и колебательным контуром введена вторая катушка индуктивности, а параллельно колебательному контуру введены последовательно соединенные между собой третья катушка индуктивности, третий резистор и второй конденсатор.



## Реферат

Эквивалент нагрузки усилителей сигналов звуковой частоты относится к звукоусилительной технике и предназначен для использования при разработке, наладке и измерениях электрических параметров усилителей, и в частности усилителей низкой частоты в интегральном исполнении и усилителей мощности в дискретном исполнении и выполненных по смешанной дискретно-интегральной технологии.

Целью полезной модели является более полная электрическая имитация громкоговорителя.

Технический результат при осуществлении модели достигается введением электрических эквивалентов индуктивного сопротивления звуковой катушки и акустического оформления громкоговорителя, для чего в схему устройства между первым резистором и колебательным контуром введена вторая катушка индуктивности, а параллельно колебательному контуру введены последовательно соединенные между собой третья катушка индуктивности, третий резистор и второй конденсатор.



### **Область техники**

Полезная модель относится к звукоусилительной технике и предназначена для использования при разработке, наладке и измерениях электрических параметров усилителей сигналов звуковой частоты, и в частности усилителей низкой частоты в интегральном исполнении и усилителей мощности в дискретном исполнении и выполненных по смешанной дискретно-интегральной технологии.

Цель полезной модели – более полная электрическая имитация громкоговорителя.

Поставленная цель достигается введением электрических эквивалентов индуктивного сопротивления звуковой катушки и акустического оформления громкоговорителя, для чего в схему устройства между первым резистором и колебательным контуром подключена вторая катушка индуктивности, а параллельно колебательному контуру подключены последовательно соединенные между собой третья катушка индуктивности, третий резистор и второй конденсатор.

### **Описание аналогов**

При разработке, наладке и исследовании характеристик оконечных усилителей звуковоспроизводящей аппаратуры для кинотеатров и киноконцертных залов не только в прошлом, но и до последнего времени, принято использовать в качестве нагрузки усилителя активное сопротивление номинальной величины, соответствующей указанной для электроакустического агрегата комплекта аппаратуры [1, с.32 и 69].

Методы измерения электрических параметров автономных и встроенных усилителей сигналов звуковой частоты, имеющих выход для подключения нагрузки, также предусматривают использование эквивалента нагрузки при проведении измерений [2]. Согласно [2, с.4], установка усилителя в номинальные условия измерений требует подключения его выходных зажимов к номинальному эквиваленту нагрузки, представляющему собой постоянный резистор соответствующей мощности и сопротивления.

Обычно, номинальное сопротивление громкоговорителя указывается изготовителем в соответствии с принятым рядом значений: 2, 4, 6, 8, 16, 25, 32 Ом. Номинальное сопротивление является некоторой усредненной величиной, близкой к минимальному значению полного сопротивления громкоговорителя и применяемой для оценочных расчетов и испытаний.

Использование эквивалента нагрузки в определенной степени оправдано технологичностью наладки и испытаний макетов и образцов усилителей: не надо использовать громоздкие громкоговорители, заглушенные камеры, не создаются мощные акустические поля и т.п. Однако использование резистора в качестве эквивалента нагрузки не дает достоверной и исчерпывающей информации о поведении и параметрах усилителя в эксплуатационных условиях.

### Описание прототипа

Компромиссным решением вопроса может служить использование в качестве эквивалента нагрузки цепи, состоящей из активных и реактивных пассивных элементов, комплексный характер сопротивления которой имитирует частотные изменения входного электрического сопротивления реальной нагрузки усилителя.

Наиболее близким к заявленному решению является эквивалент реактивной нагрузки выхода усилителя для подключения громкоговорителя, используемый при проведении измерений электрических параметров усилителей сигналов звуковой частоты [2]. Эквивалентом нагрузки служит электрическая цепь, имитирующая полное сопротивление нагрузки, для работы с которой предназначен усилитель (например, динамический громкоговоритель) [2, с.49]. При имитации полного сопротивления громкоговорителя предусматривается использование понятия типового громкоговорителя – громкоговорителя определенного типа (например, динамического), обладающего средне-статистическими параметрами.

Известное устройство содержит последовательно соединенные первый резистор и колебательный контур, состоящий из параллельно соединенных первого конденсатора, второго резистора и первой катушки индуктивности [2, Приложение 2, с.51, черт. 24 – прототип]. Параметры элементов электрической цепи приняты равными:  $R_1=5,4 \text{ Ом} \pm 2\%$ ;  $R_2=18,6 \text{ Ом} \pm 2\%$ ,  $C_1=800 \text{ мкФ} \pm 5\%$ ,  $L_1=12,5 \text{ мГн} \pm 5\%$ .

### Критика прототипа

К причинам, препятствующим достижению требуемого технического результата при использовании известного устройства, можно отнести следующее.

Выражение для полного сопротивления устройства-прототипа имеет вид

$$Z_{\text{прот}}(j\omega) = R_1 + \frac{R_2}{1 + R_2^2(\omega C_1 - \frac{1}{\omega L_1})^2} - j \left[ \frac{R_2^2(\omega C_1 - \frac{1}{\omega L_1})}{1 + R_2^2(\omega C_1 - \frac{1}{\omega L_1})^2} \right].$$

Соответствующая этому выражению амплитудная частотная характеристика (АЧХ) модуля полного сопротивления прототипа имеет в области низких частот резонансный всплеск на частоте  $f_1 = \omega_1 / 2\pi$ , имитирующий основной (механический) резонанс громкоговорителя

$$f_{1\text{прот}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}} = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{1}{12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 800 \cdot 10^{-6}}} = 50 \text{ Гц}.$$

На этой частоте модуль достигает своего максимального значения

$$Z_{1\text{прот}} = R_1 + R_2 = 5,4 \text{ Ом} + 18,6 \text{ Ом} = 24 \text{ Ом}.$$

В диапазонах частот ниже и выше резонансного всплеска АЧХ прототипа переходит в горизонтальные участки на уровне значения сопротивления первого резистора, равного  $R_1=5,4 \text{ Ом}$ .

Таким образом, несмотря на указание в [2], что цепь, изображенная на чертеже, является эквивалентом реактивной нагрузки выхода усилителя для подключения громкоговорителя, полное сопротивление устройства-прототипа носит реактивный характер только в относительно узком диапазоне частот в районе частоты резонанса колебательного контура  $f_1$ . На других частотах полное сопротивление прототипа носит чисто активный характер.

Судя по значению частоты резонанса колебательного контура  $f_1$ , равному 50 Гц, и значениям параметров элементов схемы, эквивалент-прототип способен имитировать входное электрическое сопротивление широкополосной динамической головки, обладающей среднестатистическими параметрами, измеренными в свободном пространстве, причем без учета индуктивного сопротивления звуковой катушки. К тому же, в схеме прототипа отсутствуют элементы, имитирующие акустическое оформление громкоговорителя, в которое устанавливается головка и которое существенно влияет на входное сопротивление громкоговорителя.

АЧХ модуля полного сопротивления устройства-прототипа значительно отличается от АЧХ модуля полного сопротивления реального громкоговорителя, у которого она носит ярко выраженный неравномерный характер во всем рабочем диапазоне частот. Таким образом, использование прототипа не позволяет обеспечить соответствие условий при разработке и испытаниях усилителя условиям при его эксплуатации. Есть все основания предполагать, что значения ряда параметров, приводимых в технических условиях и описаниях усилителей, завышены. Особенно это касается энергетических и тепловых режимов, запаса устойчивости, оценки искажений, действенности и правильности настройки систем электронной защиты и т.д.

#### **Сущность полезной модели**

Задача, на решение которой направлена заявляемая полезная модель, заключается в более полной электрической имитации громкоговорителя.

Указанная задача решается за счет достижения при осуществлении полезной модели технического результата, который заключается во введении электрических эквивалентов индуктивного сопротивления звуковой катушки и акустического оформления громкоговорителя.

Указанный технический результат достигается тем, что в схему устройства между первым резистором и колебательным контуром введена вторая катушка индуктивности, а параллельно колебательному контуру введены последовательно соединенные между собой третья катушка индуктивности, третий резистор и второй конденсатор.

Проведенный заявителем анализ уровня техники, включающий поиск по патентным и научно-техническим источникам информации, позволил установить, что заявителем не обнаружен аналог, характеризующийся признаками, идентичными всем существенным признакам заявленной полезной модели, а определение из числа выявленных аналогов прототипа, как наиболее близкого по совокупности признаков, позволило определить совокупность существенных

по отношению к техническому результату признаков в заявленном объекте, изложенных в формуле полезной модели.

Следовательно, заявленная полезная модель соответствует требованию «новизна».

#### **Перечень фигур чертежей**

На фигуре 1 представлена схема устройства, реализующего предлагаемую полезную модель, где R1 – первый резистор с сопротивлением  $5,4 \text{ Ом} \pm 2\%$ , L2 – вторая катушка с индуктивностью  $0,5 \text{ мГн} \pm 5\%$ , C1 – первый конденсатор с емкостью  $800 \text{ мкФ} \pm 5\%$ , R2 – второй резистор с сопротивлением  $18,6 \text{ Ом} \pm 2\%$ , L1 – первая катушка с индуктивностью  $12,5 \text{ мГн} \pm 5\%$ , L3 – третья катушка с индуктивностью  $12,5 \text{ мГн} \pm 5\%$ , R3 – третий резистор с сопротивлением  $0,4 \text{ Ом} \pm 2\%$ , C2 – второй конденсатор с емкостью  $800 \text{ мкФ} \pm 5\%$ .

На фигуре 2 представлены амплитудно-частотные характеристики модулей полного сопротивления прототипа (1) и предлагаемого устройства (2).

#### **Сведения, подтверждающие возможность осуществления полезной модели**

Сведения, подтверждающие возможность осуществления полезной модели с получением вышеуказанного технического результата, заключаются в следующем.

Сущность полезной модели поясняется рисунком (фигура 1), где представлена схема предлагаемого эквивалента нагрузки.

Первый резистор R1 устройства имитирует активное сопротивление звуковой катушки головки громкоговорителя, которое измеряется на постоянном токе при неподвижной катушке.

Элементы колебательного контура образуют электрический эквивалент подвижной системы головки: C1 – имитирует массу всей подвижной системы, включая массу диффузора, массу звуковой катушки, часть массы подвеса и присоединенную к диффузору массу воздуха; L1 – имитирует гибкость подвеса и гибкость центрирующей шайбы; R2 – имитирует активные сопротивления, включая трение катушки о воздух в зазоре, механические потери в диффузоре, центрирующей шайбе и подвесе, а также активную составляющую сопротивления излучения. Параллельный резонанс контура имитирует механический резонанс подвижной системы, т.е. основной резонанс динамической головки в свободном пространстве.

Введенная вторая катушка индуктивности L2 имитирует индуктивное сопротивление звуковой катушки головки громкоговорителя, которое мало влияет в области низких частот, но обуславливает существенный подъем АЧХ модуля полного сопротивления в области высоких частот. Значение индуктивности звуковой катушки обычно невелико, и выбор индуктивности второй катушки L2, равной  $0,5 \text{ мГн}$ , входит в диапазон среднестатистических значений этого параметра для НЧ-СЧ динамических головок ( $0,5\text{-}1,7 \text{ мГн}$ ), а также соответствует значениям параметров элементов колебательного контура прототипа.

Теперь вторая катушка индуктивности L2, первая катушка индуктивности L1 и первый конденсатор C1 образуют контур с последовательным резонансом

в области низких частот, имитирующий электромеханический резонанс в головке.

Конструктивной особенностью динамического громкоговорителя является установка звуковой головки в акустическое оформление, в качестве которого чаще всего используется фазоинверсная система – закрытый корпус с дополнительным отверстием или отверстием с трубой в передней стенке. Использование фазоинвертора обеспечивает повышение стандартного давления и равномерность частотной характеристики громкоговорителя в области низких частот, а также способствует снижению нелинейных искажений в области частоты основного резонанса головки.

Введенные в схему прототипа третья катушка индуктивности  $L_3$ , третий резистор  $R_3$  и второй конденсатор  $C_2$  образуют электрический эквивалент фазоинвертора и моделируют его влияние на полное сопротивление громкоговорителя. Третья катушка индуктивности  $L_3$  имитирует гибкость воздушного объема корпуса. Третий резистор  $R_3$  имитирует щелевые потери за счет утечек: через неплотное крепление головки, сквозь крепежные винты, через материал подвеса и пылезащитного колпачка. Потерями за счет звукопоглощения в корпусе, потерями за счет трения воздуха в отверстии или трубе фазоинвертора можно пренебречь, что обусловлено их незначительностью. Второй конденсатор  $C_2$  имитирует акустическую массу воздуха в отверстии или трубе фазоинвертора с учетом соколеблющейся массы воздушной среды.

При проектировании фазоинвертора обычно исходят из соображения, что фазу оборотного излучения целесообразно инвертировать лишь в области частот, лежащих выше частоты механического резонанса подвижной системы головки, поскольку в области более низких частот излучение не будет эффективным даже при использовании инверсии. Поэтому контур фазоинвертора настраивают на частоту, равную или чуть выше основной резонансной частоты головки. Расстройка частот резонансов фазоинвертора и головки, как правило, не превышает  $\pm 2/3$  октавы, а часто они совпадают.

Используя эти соображения, выберем значения параметров введенных элементов равными значениям параметров элементов прототипа:  $C_2 = C_1 = 800$  мкФ,  $L_3 = L_1 = 12,5$  мГн. Тогда частота резонанса  $f_\phi$  последовательного контура  $L_3$ - $C_2$ , имитирующая собственную частоту резонанса фазоинвертора, будет совпадать с частотой резонанса подвижной системы головки  $f_1$

$$f_\phi = f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_3 C_2}} = 0,16 \sqrt{\frac{1}{12,5 \cdot 10^{-3} \cdot 800 \cdot 10^{-6}}} = 50 \text{ Гц.}$$

Для выбора значения сопротивления резистора  $R_3$ , имитирующего щелевые потери, воспользуемся практическими данными. Наиболее часто встречающиеся значения добротности, характеризующей щелевые потери  $Q$ , лежат в пределах 5...10. Отсюда диапазон возможных значений сопротивления резистора  $R_3$

$$R_3 = \frac{\omega_1 L_3}{Q} = \frac{1}{\omega_1 C_2 Q} = \sqrt{\frac{L_3}{C_2}} / Q = \sqrt{\frac{12,5 \cdot 10^{-3}}{800 \cdot 10^{-6}}} / 5 \div 10 = 0,8 \dots 0,4 \text{ Ом.}$$

Выберем минимальное значение из полученных –  $R_3=0,4$  Ом, т.к. при практической реализации электрической цепи эквивалента активное сопротивление провода катушки  $L_3$  увеличит фактическое значение активного сопротивления в последовательной цепи  $L_3$ - $R_3$ - $C_2$ .

Выражение для полного сопротивления предлагаемого устройства имеет высокий (четвертый) порядок и настолько сложный вид, что теряет свою наглядность. В тоже время, ход АЧХ модуля полного сопротивления предлагаемого устройства не трудно проследить, не прибегая к сложным вычислениям, а руководствуясь простыми физическими соображениями: на АЧХ выделить зоны частот, где действие тех или иных элементов схемы преобладает над действием остальных элементов, и провести расчет координат контрольных точек, по которым построить АЧХ.

Головка и фазоинвертор представляют собой связанную систему с достаточно сильной связью между парциальными колебательными системами. Поэтому даже при настройке обеих систем на одну и ту же частоту, резонансная кривая в области низких частот будет иметь два максимума на частотах

$$f_{3,4} = f_1 \sqrt{\frac{1}{2}[(a+2) \mp \sqrt{a^2 + 4a}]}, \quad (1)$$

где  $a$  – константа, характеризующая степень связи между головкой и фазоинвертором и ее влияние на частотную характеристику.

Величина  $a$  зависит от отношения гибкости подвеса подвижной системы головки к гибкости объема воздуха в корпусе, которые в эквиваленте имитируются катушками  $L_1$  и  $L_3$ , значения индуктивностей которых приняты равными, а значит

$$a = \frac{L_1}{L_3} = 1.$$

При подстановке  $a=1$  в выражение (1) получим:

- частота первого максимума  $f_3=31$  Гц,
- частота второго максимума  $f_4=81$  Гц.

На частоте  $f_1=50$  Гц АЧХ модуля предлагаемого устройства будет иметь провал, а значение модуля в этой точке достигнет величины

$$Z_1 = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 5,4 + \frac{18,6 \cdot 0,4}{18,6 + 0,4} = 5,4 + 0,4 = 5,8 \text{ Ом.}$$

Частота последовательного резонанса элементов схемы  $L_2$ ,  $L_1$  и  $C_1$ , соответствующая частоте электромеханического резонанса головки, равна

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C_1} \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \right)} = 0,16 \sqrt{\frac{1}{800 \cdot 10^{-6}} \left( \frac{1}{12,5 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{0,5 \cdot 10^{-3}} \right)} = 256 \text{ Гц.}$$

На этой частоте значение модуля минимально и снижается до величины

$$Z_2 = R_1 + \frac{1}{R_2} \cdot \frac{L_2}{C_1} = 5,4 + \frac{1}{18,6} \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{800 \cdot 10^{-6}} = 5,4 + 0,034 = 5,434 \text{ Ом.}$$

При введении в схему второй катушки индуктивности  $L_2$  равномерный участок характеристики прототипа в области высоких частот трансформируется в подъем характеристики предлагаемого устройства.

Теперь на частоте  $f_B = 10$  кГц модуль полного сопротивления составит величину

$$Z_A = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_2)^2} = \sqrt{5,4^2 + (2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3})^2} = 31,8 \text{ Ом.}$$

Построенные по рассчитанным контрольным точкам АЧХ представлены на *фигуре 2*. Кривая 1 представляет собой АЧХ модуля полного сопротивления устройства-прототипа и отражает имитацию полного сопротивления головки без учета индуктивного сопротивления звуковой катушки. Кривая 2 представляет собой АЧХ модуля полного сопротивления предлагаемой полезной модели и отражает имитацию полного сопротивления головки в фазоинверторе, собственная частота которого настроена на основную резонансную частоту головки.

Для построения характеристик также была использована такая система компьютерного моделирования и анализа как Electronic Work Bench. Элементам анализируемой модели (*фигура 1*) были приданы значения, присущие прототипу и предложенные выше. Координаты характерных точек обеих кривых, построенных в САПР, совпали с рассчитанными выше координатами контрольных точек АЧХ прототипа и предлагаемого устройства.

Полученная АЧХ модуля полного сопротивления предлагаемого устройства (*фигура 2*, кривая 2) наглядно демонстрирует ярко выраженный комплексный характер в диапазоне звуковых частот, в котором имитируются основные акустические особенности типового динамического громкоговорителя, головка которого помещена в фазоинвертор с отверстием или отверстием с трубой.

Отметим конструктивные особенности используемых в эквиваленте элементов: мощности резисторов, допустимые напряжения конденсаторов, сечения проводов катушек индуктивностей, должны соответствовать выходной мощности, развиваемой усилителем в ходе испытаний, проводимых совместно с эквивалентом нагрузки. Типы конденсаторов должны обеспечивать работу в цепях переменного тока в диапазоне звуковых частот, а их рабочее напряжение должно в полтора-два раза превышать максимальное выходное напряжение,



развиваемое усилителем. Добротности катушек индуктивности на нижней рабочей частоте должны составлять величину не менее 10.

Из выше изложенного очевидно, что введение в эквивалент нагрузки усилителя дополнительных элементов, имитирующих такие важные особенности динамического громкоговорителя как индуктивное сопротивление звуковой катушки (катушка индуктивности L2) и влияние фазоинвертора (катушка индуктивности L3, резистор R3 и ёмкость C2), позволяет получить более полное соответствие комплексного сопротивления эквивалента нагрузки, подключаемого к выходу усилителя в условиях разработки, наладки и проведения измерений, комплексному сопротивлению динамического громкоговорителя, подключаемого к выходу усилителя в условиях эксплуатации.

Таким образом, вышеуказанные сведения свидетельствуют о выполнении при использовании заявленной полезной модели следующих условий:

- устройство, воплощающее заявленную полезную модель при ее осуществлении, предназначено для использования в усилителях сигналов звуковой частоты, и в частности в усилителях низкой частоты в интегральном исполнении и в усилителях мощности в дискретном исполнении и выполненных по смешанной дискретно-интегральной технологии;

- для заявленной полезной модели в том виде, как она охарактеризована в формуле полезной модели, подтверждена возможность ее осуществления с помощью вышеописанных в заявке или известных до даты приоритета средств и методов;

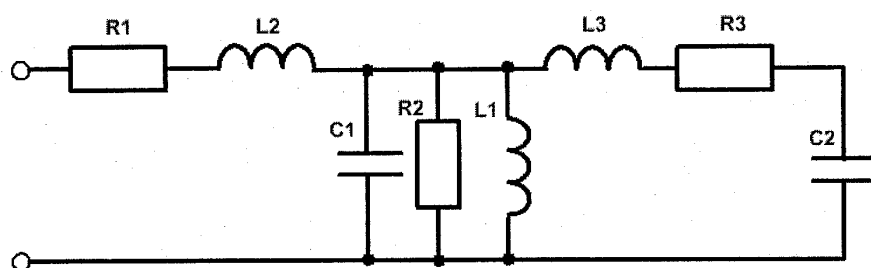
- устройство, воплощающее заявленную полезную модель при ее осуществлении, способно обеспечить достижение указанного технического результата.

Следовательно, заявленная полезная модель соответствует требованию «промышленная применимость» по действующему законодательству.

#### **Литература**

1. ОТРАСЛЕВОЙ РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ. РТМ 19 253-70. Унифицированная система звукотехнической аппаратуры кинематографии. Исходные данные на разработку. – М., 1971 г.
2. ГОСТ 23849-87. АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ БЫТОВАЯ. Методы измерения электрических параметров усилителей сигналов звуковой частоты. – М.: Издательство стандартов, 1990 (прототип, Приложение 2, черт. 24, с.51).

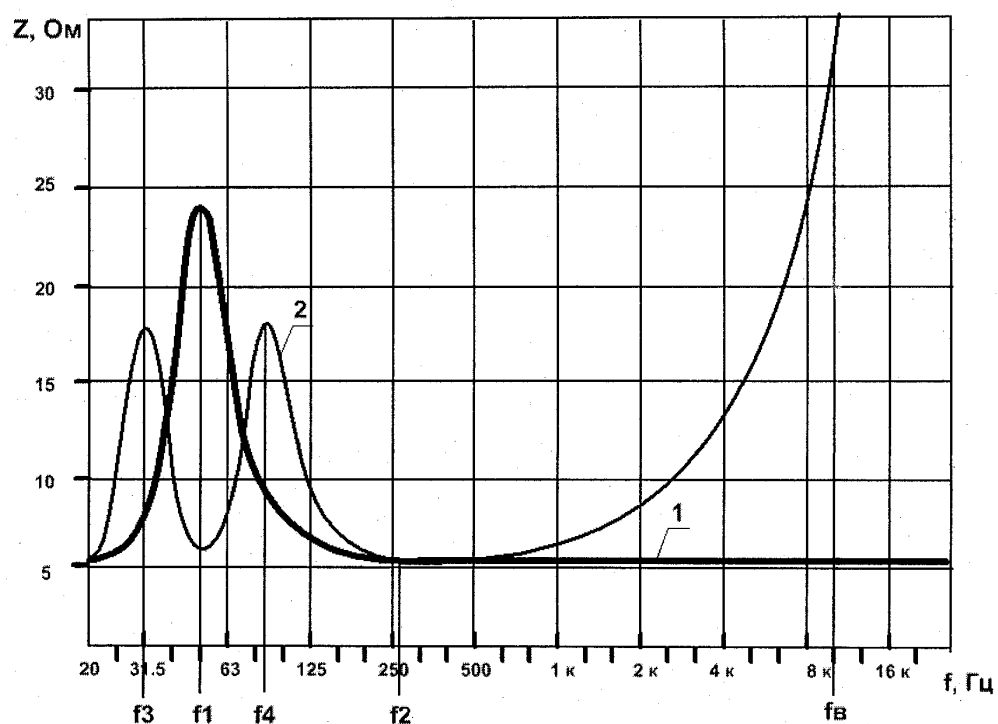
**Эквивалент нагрузки усилителей  
сигналов звуковой частоты**



Фигура 1

Тихонова Л.С.

# Эквивалент нагрузки усилителей сигналов звуковой частоты



Фигура 2

Тихонова Л.С.