ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Физико-математические науки XXXIV, № 4, 1981 Серия технических наук

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. С. ОВСЕПЯН

К ИССЛЕДОВАНИЮ АКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ЗВУКОУСИЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Линейная система с обратной связью при определенном значении модуля и аргумента передаточной функции разомкнутой системы становится неустойчивой.

В исследовании [1] рассматривается вопрос стабильности звукоусилительной системы согласно критерию Найквиста и указывается, что она неустойчива, если одновременно выполняются следующие условия:

$$k = 1; \tag{1}$$

$$\varphi = 2n\pi, \qquad n = 0, 1, 2, \ldots, \tag{2}$$

где k, φ — модуль и аргумент передаточной функции разомкнутой системы, характеризующие изменение амплитуды и фазы сигнала при одном пробеге по петле обратной связи.

Критерии (1) и (2) являются недостаточными условиями нестабильности линейной системы. Необходимым и достаточным условием является охват годографом передаточной функции разомкнутой системы точки 1, i 0 [2]. Однако, при построении годографа, который с инженерной точки зрения сложен, четко не выявляются амплитудно фазовые характеристики разомкнутой системы.

Рассмотрим работу линейной звукоусилительной системы в незаглушенном помещении с иных позиций и выявим, при каком значении амплитудной характеристики петли обратной связи система неустойчива.

Пусть в помещении, где громкоговоритель 1 (рис. 1, переключатели $П_1$, $П_2$ в положении «а») излучает синусоидальную звуковую волну определенной частоты ω, устанавливается энергия E_0. Тогда, после включения системы микрофон—громкоговоритель 2, энергия в точке расположения микрофона в течение времени $(m-1)\,T \leqslant t \leqslant mT$ (m — число пробега сигнала по петле обратной связи, T — время одного пробега) будет меняться по закону, основанному на статистической теории реверберации:

$$E = E_0 + k^* \frac{E_0}{\alpha}\{1-(1-\alpha)^{n(t-T)}\} + k^{*2}\left\{\frac{E_0}{\alpha^2}\cdot\{1-(1-\alpha)^{n[t-2T]}\} - \right.$$

$$\left. - \frac{E_0}{\alpha} n(t-2T)(1-\alpha)^{n(t-2T)}\right\} + \cdots + k^{*m-1}\left\{\left\{\frac{E_0}{\alpha^{m-1}}\{1-(1-\alpha)^{n[t-(m-1)T]}\} - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{E_0}{\alpha^{m-2}} n\{t-(m-1)\} T(1-\alpha)^{n[t-(m-1)T]} - \cdots - \frac{E_0}{\alpha(m-2)!} \times\right.\right.$$

$$\times \{n\{t-(m-1)T\} \times \cdots \times \{n[t-(m-1)T] +$$

$$\left.\left. + (m-2)\}(1-\alpha)^{n[t-(m-1)T]}\right\}\right\}, \qquad (3)$$

где α — коэффициент звукопоглощения помещения на данной частоте; n — количество отражений, претерпеваемых звуковым лучом за единицу времени; $k^* = k^2$ — коэффициент, характеризующий изменение энергии сигнала при одном пробеге по петле обратной связи микрофон—громкоговоритель—воздух—микрофон при работе системы в заглушенной камере.

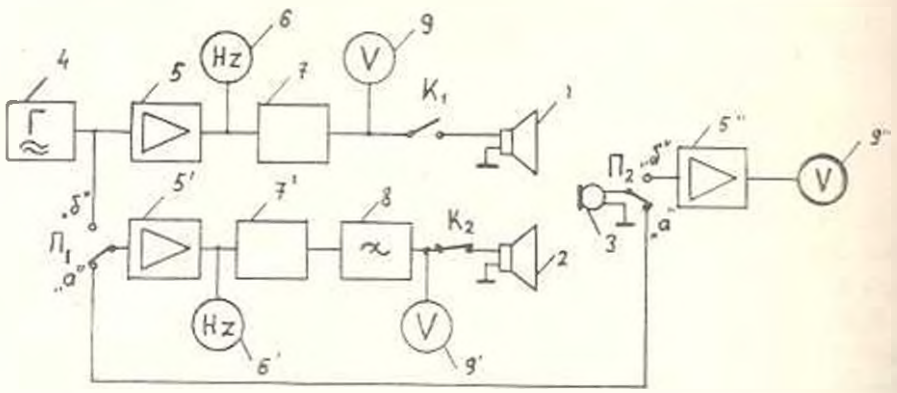

Рис. 1. Экспериментальная установка для определения условий устойчивости звукоусилительной системы. *1, 2* — громкоговорители; *3* — микрофон; *4* — генератор звуковой частоты; *5, 5', 5''* — усилители; *6, 6'* — частотомеры; *7, 7'* — регуляторы амплитуды; *8* — фильтр; *9, 9', 9''* — вольтметры; $П_1$, $П_2$ — переключатели; $К_1$, $К_2$ — ключи.

Исходя из выражения (3), энергию в момент времени $t = mT$ можно представить в виде:

$$E(mT) = E_0 + F_0 k^{*m-2}(1-\alpha)^{n2T} \frac{n2T \times \cdots \times [n2T + (m-2)]}{(m-2)!} + \cdots +$$

$$+ E_0 k^{*m}(1-\alpha)^{n(m-1)T}\left\{\frac{n(m-1)T}{1!} + \cdots\right.$$

$$\left. + \frac{[n(m-1)T] \times \cdots \times [n(m-1)T + (m-2)]\alpha}{(m-2)!}\right\}^{m-3}. \qquad (4)$$

Анализ формулы (4) показывает, что при $k^*/\alpha \geqslant 1$ $\lim_{m\to\infty} E(mT) = \infty$ (при конечном значении E_0), а при $k^*/\alpha < 1$ $E(mT)$ стремится к пределу, когда $m \to \infty$.

Следовательно, при

$$\frac{k^*}{\alpha} < 1 \qquad (5)$$

энергия, излучаемая громкоговорителем 2, со временем устанавливается и система работает в устойчивом режиме,

а при

$$\frac{k^*}{\alpha} \geqslant 1 \qquad (6)$$

энергия неограниченно возрастает, что указывает на неустойчивый режим работы системы.

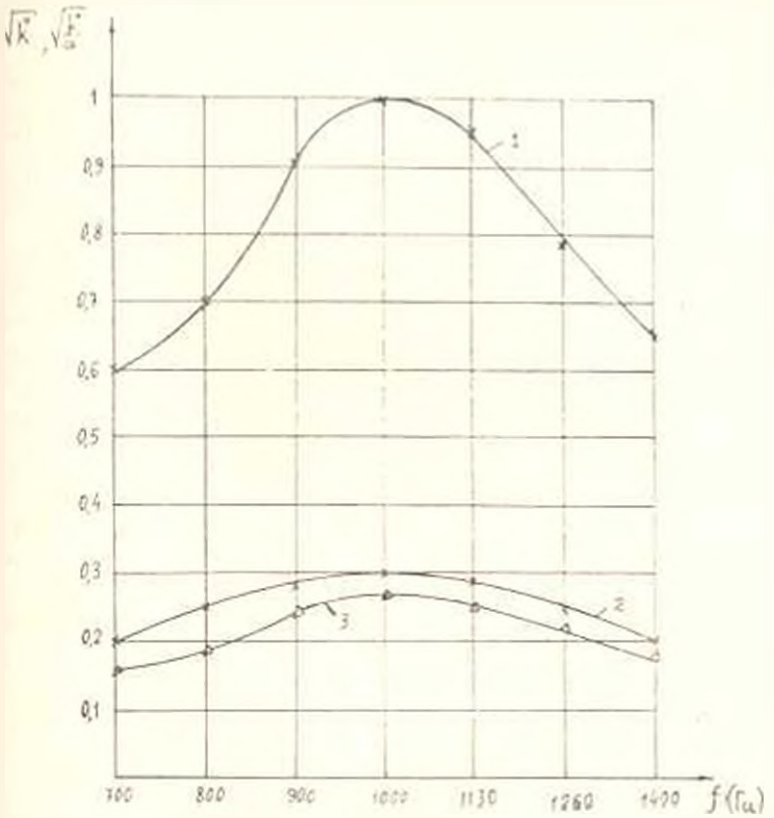

Рис. 2. Амплитудно-частотная зависимость петли обратной связи звукоусилительной системы. Результаты: × — экспериментальных данных; △ — расчетных данных

Очевидно, условия (5) и (6) применимы при озвучивании помещений, поверхности которых равномерно обработаны звукопоглощающим материалом с малым коэффициентом звукопоглощения α, где звуковые поля более приближаются к диффузному.

Из условия (6) вытекает, что система склонна к генерации на тех частотах, на которых коэффициент звукопоглощения α меньше.

Для выявления правомерности условий (5) и (6) проведены эксперименты на определенной частоте синусоидального сигнала в заглушенной камере и в незаглушенном помещении, при этом собрана установка, блок-схема которой приведена на рис. 1.

Экспериментальные данные для диапазона частот в 1 октаву со средней частотой 1 кГц приведены на рис. 2, где кривая 1 представляет частотную экспериментальную зависимость величины $\frac{1}{\sqrt{\frac{k^*}{\alpha}}}$ в помещении, кривая 2 — экспериментальную зависимость $\frac{1}{k^*}$ при работе звукоусилительной системы в условиях открытого пространства, кривая 3 — расчетная кривая зависимости $\frac{1}{k^*}$ от частоты при отсутствии отражений, найденная расчетным путем, исходя из экспериментальной кривой 1. На приведенных кривых видно, что максимальное расхождение расчетных данных (кривая 3) от экспериментальных (кривая 2) составляет 0,06 на частоте 800 Гц.

Расхождение кривых 2 и 3 можно объяснить недиффузностью звукового поля, возбуждаемого в помещении на дискретных частотах. Тем не менее, сравнительный анализ данных опытов показал применимость условий (5) и (6), несмотря на некоторое расхождение результатов эксперимента с указанными условиями.

Звукоусилительная система, работающая в помещении (при условии диффузности звукового поля), нестабильна при $\frac{k^*}{\alpha} \geqslant 1$ и стабильна при $\frac{k^*}{\alpha} < 1$.

АрмНИИСА

Поступило 23. VI. 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. *Waterhouse R. V.* Theory of howlback in reverberant rooms. J. A. S. A., No 5, 921—923.
2. *Гоноровский И. С.* Радиотехнические цепи и сигналы. М., «Советское радио», 1977.