

УДК 534.26

## О СТАБИЛИЗИРУЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ЗВУКА

© 2012 г. Н. Г. Канев

Акустический институт им. Н.Н. Андреева

117036 Москва, ул. Шверника 4

E-mail: nikolay.kanev@mail.ru

Поступила в редакцию 21.07.2011 г.

Одним из критериев качества активной системы гашения звука является робастность, т.е. стабильность ее работы в смысле влияния ошибок на эффективность гашения звука. Ошибки, вызывающие отклонения производительности вторичных излучателей звука (далее излучателей) от требуемых значений, могут иметь различное происхождение [1–3]: неточности в показании приемников, неточности при учете взаимного расположения приемников и излучателей, ошибки в настройке управляющих звеньев активной системы и т.п. Робастность системы тем выше, чем меньше влияние ошибок на эффективность ее работы. Очевидно, что для практики желательно иметь активные системы с высокой робастностью.

В работах [3, 4] показано, что активная система наименее чувствительна к ошибкам настройки, если управляющие приемники расположены относительно излучателей так, что не регистрируют собственное звуковое поле излучателей. При таком расположении отклонения производительности излучателей от требуемого значения пропорциональны значению ошибки.

Из теории электрических усилителей известно, что глубокая обратная связь (когда абсолютное значение кольцевой передаточной функции схемы усилителя значительно больше единицы) оказывает стабилизирующее воздействие на коэффициент усиления [5]. Представляет интерес определить, оказывает ли обратная связь подобный стабилизирующий эффект в системах активного гашения звука. Ниже исследована в общем виде простейшая активная система с обратной связью и оценено влияние ошибок настройки.

Рассмотрим активную систему с обратной связью, состоящую из одного приемника и одного излучателя, произвольно расположенных относительно друг друга. Звуковое поле в точке расположения приемника можно записать в виде

$$Q_s = T_0 P_0 + T_1 P_1, \quad (1)$$

где  $P_0$  – первичное поле, подлежащее гашению,  $P_1$  – производительность излучателя,  $T_0$  – коэффициент, связывающий величину, характеризую-

щую звуковое поле, и величину, измеряемую приемником,  $T_1$  – коэффициент, описывающий акустическую связь между приемником и излучателем. Отметим, что величины, введенные в (1), могут иметь разную размерность [4].

Обратная связь по сигналу с приемника  $Q_s$  формирует производительность излучателя  $P_1$ . Коэффициент обратной связи  $K$  определим следующим образом

$$Q_s K = P_1. \quad (2)$$

Из (1) и (2) находим производительность излучателя

$$P_1 = \frac{T_0 K}{1 - T_1 K} P_0. \quad (3)$$

Пусть для решения поставленной задачи активного гашения необходимо обеспечить производительность излучателя

$$P_1 = \tilde{P}. \quad (4)$$

Волной будем обозначать величины соответствующие оптимальному режиму работы активной системы, т.е. при котором обеспечивается максимальная степень гашения звука. Так, коэффициент обратной связи, при котором обеспечивается выполнение (4), обозначим  $\tilde{K}$ .

Пусть по совокупности причин коэффициент обратной связи  $K$  отличается от оптимального значения  $\tilde{K}$  на величину  $\Delta K$ . Введем безразмерную ошибку настройки  $\varepsilon = \Delta K / \tilde{K}$ . Коэффициент обратной связи можно выразить следующим образом

$$K = \tilde{K} + \Delta K = \tilde{K}(1 + \varepsilon). \quad (5)$$

Подставляя (5) в (3), найдем относительное отклонение производительности излучателя от оптимального значения

$$\frac{\Delta P}{\tilde{P}} = \frac{\tilde{P} - P_1}{\tilde{P}} = 1 - \frac{(1 + \varepsilon)(1 - T_1 \tilde{K})}{1 - T_1 \tilde{K}(1 + \varepsilon)}. \quad (6)$$

Если поле излучателя не воспринимается приемником, то  $T_1 = 0$ , и из (6) получаем

$$\frac{\Delta P}{\bar{P}} = -\varepsilon. \quad (7)$$

Таким образом, в случае нулевой обратной связи отклонение производительности от оптимального значения пропорционально ошибке [3, 4].

Если оптимальный коэффициент обратной связи является таковым, что обратная связь оказывается глубокой, т.е. абсолютное значение кольцевой передаточной функции  $T_1 \tilde{K}$  значительно превосходит 1 ( $|T_1 \tilde{K}| \gg 1$ ), то (6) принимает вид

$$\frac{\Delta P}{\bar{P}} \approx \frac{\varepsilon}{T_1 \tilde{K} (1 + \varepsilon)}. \quad (8)$$

Выражение (8) справедливо для значений ошибок, удовлетворяющих условию  $|T_1 \tilde{K} (1 + \varepsilon)| \gg 1$ . При малых значениях ошибки  $|\varepsilon| \ll 1$  из (8) находим

$$\left| \frac{\Delta P}{\bar{P}} \right| \approx \left| \frac{\varepsilon}{T_1 \tilde{K}} \right| \ll |\varepsilon|. \quad (9)$$

Как следует из (9), отклонение производительности от оптимального значения существенно меньше (примерно в  $|T_1 \tilde{K}|$  раз) при глубокой обратной связи, чем при нулевой обратной связи, т.е. при отсутствии влияния поля излучателя на приемник. Таким образом, глубокая обратная связь оказывает стабилизирующее воздействие на работу активной системы и повышает ее робастность.

В качестве примера активной системы гашения с глубокой обратной связью приведем активный резонатор [6], состоящий из монополюсного приемника и монополюсного излучателя и применяемый для гашения шума, излучаемого из открытой трубы [7]. Отметим, что при создании активных систем с глубокой обратной связью необходимо внимательно следить за их устойчивостью. В соответствии с критерием Найквиста кольцевая передаточная функция  $T_1 \tilde{K} (1 + \varepsilon)$  системы с глубокой обратной связью не должна принимать действительные, положительные значения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федорюк М.Ф. О работах Г.Д. Малюжинца по теории волновых потенциалов // Тр. Акуст. ин-та. 1971. Вып. 14. С. 169–179.
2. Mangiante G.A. Active sound absorption // J. Acoust. Soc. Am. 1977. V. 61. № 5. P. 1516–1523.
3. Урусовский И.А. О самовозбуждении системы активной звукоизоляции в волноводе // Акуст. журн. 1977. Т. 23. № 3. С. 437–442.
4. Канев Н.Г. О влиянии ошибок на эффективность работы локальных активных поглотителей // Акуст. журн. 2006. Т. 52. № 5. С. 665–669.
5. Шкиртек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике. Пер. с нем. М.: Мир, 1991. 446 с.
6. Канев Н.Г., Миронов М.А. Активные резонаторы для гашения звука в узких трубах // Акуст. журн. 2008. Т. 54. № 3. С. 505–512.
7. Kanev N., Mironov M., Gladilin A. Robustness of a feedback active noise control / Proc. of. INTERNOISE 2010, June 13–16, 2010, Lisbon, Portugal.