

Эффективное подавление шумов в режиме компенсации потерь для нелинейных систем

Н. Е. Нефедкин^{1,2,3}, Е. С. Андрианов^{1,3}, А. А. Пухов^{1,2,3}, А. П. Виноградов^{1,2,3}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН

³Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова

Когерентная динамика открытых систем различной физической природы в последнее время привлекает всё большее внимание. Прежде всего, стоит упомянуть открытые квантовые системы, кубиты, химические и биологические системы. Одним из основных свойств открытых систем является высокий уровень потерь и шумов, которые существенно влияют на динамику системы. Потери и шумы в ряде случаев могут связаны. Такие связи обычно объединяют под названием флуктуационно-диссипационная теорема (ФДТ) [1]. Данная теорема первоначально связывала линейный отклик системы из неравновесного состояния с характеристиками флуктуаций системы в равновесии. Качественно, она состоит в том, что чем больше потери, тем сильнее амплитуда случайных шумов.

Отметим, что для большого количества прикладных задач шумы являются более серьёзной проблемой, чем диссипация. Это связано с тем, что для многих систем необходимо добиться когерентного отклика. И если потери энергии можно компенсировать накачкой, то случайные шумы остаются в системе. В этой связи особый интерес представляет класс задач, связанных с эффективным подавлением шумов. Известно, что существует целый класс явлений в нелинейных системах, где при конечных потерях шум в системе эффективно может подавляться. Эти явления часто объединяют под названием стохастического резонанса [2-3]. Стохастический резонанс – это эффект, объединяющий группу явлений, в которых интегральные характеристики на выходе системы: коэффициент усиления и отношение сигнал/шум, – имеют ярко выраженный максимум при некотором оптимальном значении потерь, в то время как энтропия системы при этом достигает своего минимума. Естественно, что как качественные, так и количественные характеристики СР будут определяться свойствами конкретных нелинейных систем. В то же время, независимо от характеристик системы и структуры сигналов, явлению СР присущи общие фундаментальные свойства, проявляющиеся в увеличении степени порядка в выходном сигнале при оптимальном уровне потерь и шума.

В настоящей работе на основе исследования динамики уравнения Ван дер Поля мы рассматриваем влияние внешней когерентной силы на нелинейную систему и показываем, при каких условиях внешняя когерентная сила может приводить к эффективному подавлению шума. Установлено, что в режиме компенсации потерь, когда отклик сигнала находится в противофазе внешней силе, происходит эффективное подавление шумов, которое проявляется как сужение спектра коррелятора фазы.

Литература

1. *Nyquist H.* Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors // *Phys. Rev.* 1928. V. 32. P. 110.
2. *Gammaitoni L. et al.* Stochastic Resonance // *Rev. Mod. Phys.* 1998. V. 70. P.223.
3. *Wellens T. et al.* Stochastic Resonance // *Rep. Prog. Phys.* 2004. V. 67. P. 45.