

ОПОСРЕДОВАННАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРНО УСТОЙЧИВАЯ КВАЗИПЕРИОДИЧНОСТЬ В СИСТЕМЕ ТРЁХ СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ С ОДНООСНОЙ СИММЕТРИЕЙ И ПОЛЕВОЙ СВЯЗЬЮ

П. В. Куцов¹

¹ Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук

Спин-трансферный осциллятор представляет собой наноразмерное устройство, которое в простейшем случае включает в себя слой ферромагнетика с постоянной намагниченностью, слой ферромагнетика, намагниченность которого может легко меняться, и разделительный немагнитный слой между ними. При пропускании через устройство электрического тока, он сначала поляризуется в слое с постоянной намагниченностью (т. е., происходит выстраивание спинов электронов), а затем спин-поляризованный ток, проходя через второй ферромагнитный слой, вызывает прецессию его вектора намагниченности. Математическая модель осцилляций вектора намагниченности задаётся уравнением Ландау-Лифшица-Гильберта-Слончевского. Мы рассматриваем частный случай, когда осциллятор обладает симметрией относительно оси тока. Уравнения в этом случае значительно упрощаются, сохраняя при этом свои ключевые свойства [1].

Рассматривается система из трёх неидентичных спин-трансферных осцилляторов с одноосной симметрией, которые связаны через создаваемые друг другом магнитные поля. Магнитные поля рассматриваются в дипольном приближении, т. е. напряжённость создаваемого осциллятором поля пропорциональна его намагниченности. Осцилляторы образуют цепочку так что центральный m взаимодействует с боковыми осцилляторами s и s , а те, в свою очередь, взаимодействуют только с ним и не имеют прямой связи друг с другом.

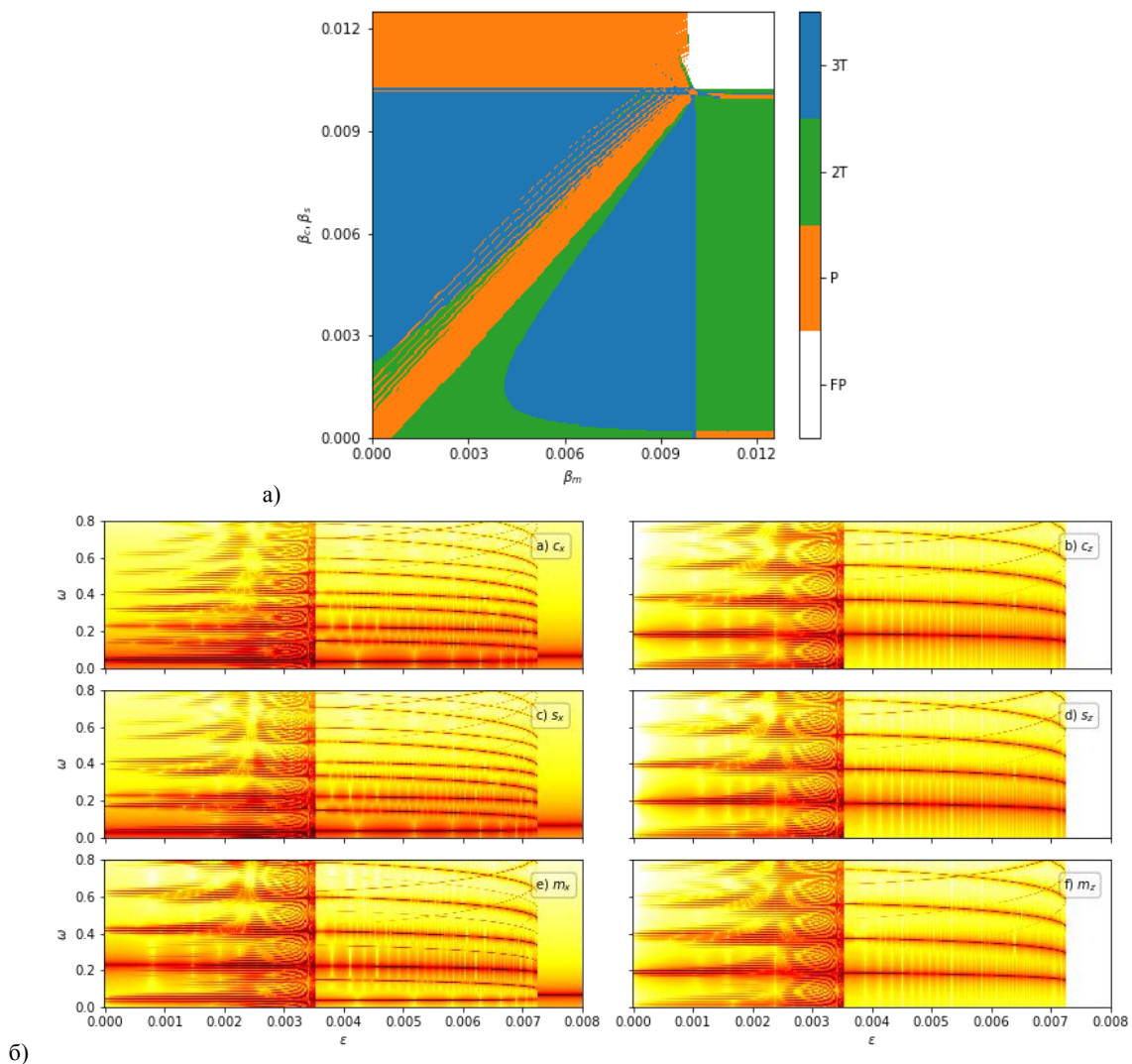


Рис. 1. Плоскость показателей Ляпунова (а) и спектрограммы Фурье (б) для изучаемой системы

Для этой системы методом карт Ляпуновских показателей и спектрограмм Фурье анализируются эффекты синхронизации, рис. 1. В частности обсуждается так называемая опосредованная синхронизация (эффект был впервые описан для звездчатой сети фазовых осцилляторов в работе [2]). Эффект состоит в том, что боковые осцилляторы c и s синхронизируются, не будучи связанными напрямую друг с другом, а центральный m при этом с ними не синхронизируется. На рис. 1а этому отвечает области $2T$ (двухчастотная квазипериодичность) вблизи диагонали рисунка, а на рис. 1б — область по параметру связи ϵ от примерно 0.0035 до 0.0072. Также обсуждается поведение, которое можно назвать структурно устойчивой квазипериодичностью. Оно проявляется в том, что на плоскости параметров, по осям которой отложены параметры, контролирующие парциальные частоты осцилляторов β_m и $\beta_{c,s}$, отсутствует характерная для таких случаев структура резонансов (резонансная паутина Арнольда), когда происходит взаимный захват частот и синхронизация на старших гармониках. Вместо этого наблюдаются обширные однородные области в которых осцилляторы сохраняют независимые частоты, близкие к собственным, рис. 1а.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда №21-12-00121, <https://rscf.ru/project/21-12-00121>

1. *Mayergoyz I. D., Bertotti G., Serpico C. Nonlinear magnetization dynamics in nanosystems / Mayergoyz I. D., Bertotti G., Serpico C. Elsevier. 2009. 466 с.*
2. *Bergner A. Remote synchronization in star networks / Bergner A., Frasca M., Sciuto G., Buscarino A., Ngamga E. J., Fortuna L., Kurths, J. // Phys. Rev. E. 2012 V. 85. P. 026208.*