

05.4
©1994

РЕГУЛЯРНЫЕ И ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ЗОНЫ В ТОНКИХ ВТСП-ПЛЕНКАХ, ВКЛЮЧЕННЫХ ВО ВНЕШНЮЮ ЦЕПЬ

В.Н.Скоков, В.П.Коверда

Нелинейность тепловыделения в нагруженном током сверхпроводнике может приводить к тепловой бистабильности режимов протекания тока [1-3]. Вольтамперная характеристика (ВАХ) в этом случае имеет S-образный вид. При включении такого проводника в цепь, содержащую реактивные элементы, могут наблюдаться автоколебательные режимы протекания тока. Возникновение автоколебаний в сверхпроводнике, включенном в цепь источника постоянного напряжения с индуктивностью, связано со сдвигом фаз тока и напряжения. В отсутствие индуктивности цепи появление резистивного состояния в сверхпроводнике приводит к уменьшению тока, синфазно компенсирующему увеличение падения напряжения. При наличии индуктивности возникающее изменение тока запаздывает по отношению к изменению падения напряжения. Динамика такой системы описывается двумя дифференциальными уравнениями — уравнением теплопроводности и уравнением цепи [1,4]. С математической точки зрения возникновение автоколебаний связано с бифуркацией Андронова-Хопфа и рождением предельного цикла.

Экспериментально автоколебания нормальной зоны неоднократно наблюдались на "классических" низкотемпературных сверхпроводниках (см., например, литературу в [1]), а также в тонких ВТСП-пленках [5,6]. Во всех имеющихся к настоящему времени теоретических и экспериментальных работах исследовались автоколебания в сверхпроводниках, включенных в цепь источника постоянного тока (или напряжения). Изучение динамики системы при наличии периодической составляющей тока также представляет интерес. В таких системах наряду с регулярными колебаниями могут возникать сложные квазипериодические и хаотические движения. Однако исследования хаотической динамики цепи, содержащей в качестве нелинейного элемента сверхпроводник с током, нам неизвестны. Между тем, автоколебательные системы с периодическим внешним воздействием явля-

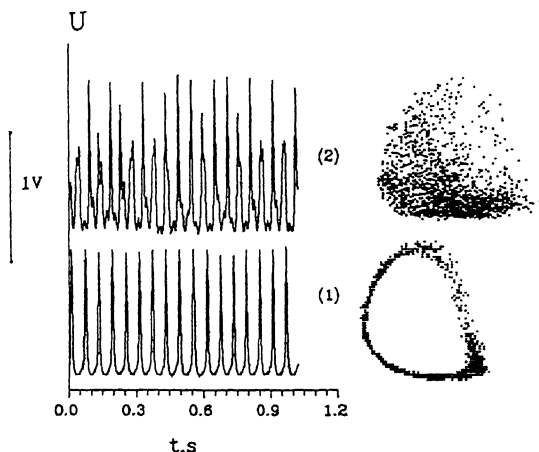


Рис. 1. Временные реализации и отображения Пуанкаре для периодического (1) и хаотического (2) режимов колебаний нормальной зоны.

ются широко исследуемыми объектами нелинейной динамики [7-9].

В настоящем сообщении приводятся результаты экспериментального исследования режимов колебаний нормальной зоны в тонких ВТСП-пленках, включенных во внешнюю цепь с индуктивностью и гармонической составляющей тока.

Тонкие пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ получали методом магнетронного распыления на постоянном токе [3,10]. Температуры сверхпроводящего перехода пленок $T_c = 86 - 88$ К, плотности критического тока $j_c = 10^5 - 10^6$ А/см² при 77 К. Толщины пленок составляли 0.3-0.4 мкм. Методом химической литографии изготавливались мостики шириной 0.7-1.0 мм и длиной 1-7 мм.

Образцы включали в электрическую цепь источника постоянного напряжения последовательно с нагрузочным сопротивлением и индуктивностью. Параллельно образцу и нагрузочному сопротивлению подключали дополнительный генератор синусоидальных колебаний. Эксперименты проводили при погружении пленок в жидкий азот. При протекании через образец постоянного тока (режим фиксированного напряжения) и при малой индуктивности цепи ВАХ имели S-образный вид, что свидетельствовало о развитии тепловой неустойчивости. При включении в цепь дополнительной катушки индуктивности (с индуктивностью от 10 до 300 мГн) на неустойчивом участке ВАХ с отрицательным дифференциальным сопротивлением возникали релаксаци-

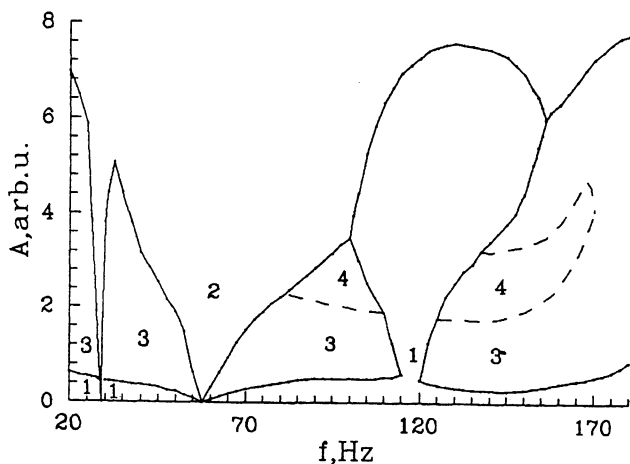


Рис. 2. “Фазовая” диаграмма системы в координатах частота–амплитуда вынуждающей силы. Частота собственных автоколебаний $f_0 = 58$ Гц.

онные автоколебания, период которых линейно возрастал с увеличением индуктивности. На рис. 1 приведена типичная осциллограмма падения напряжения на потенциальных контактах образца в режиме автоколебаний (кривая 1).

Для исследования влияния на динамику системы внешней периодической силы образец сначала переводился в режим автоколебаний (под действием постоянного напряжения), а затем увеличивалась амплитуда внешних синусоидальных колебаний. Регистрируемый отклик системы зависел от частоты и амплитуды внешнего воздействия. На рис. 2 приведена “фазовая” (бифуркационная) диаграмма системы в координатах частота–амплитуда внешних синусоидальных колебаний. При небольшой амплитуде внешнего воздействия собственные периодические колебания сохранялись, что свидетельствовало об устойчивости предельного цикла (область 1 на рис. 2). При частоте внешнего воздействия, кратной собственной частоте, на “фазовой” диаграмме наблюдались характерные “языки” синхронизации. При достаточно большой амплитуде внешнего воздействия колебания системы захватывались на вынуждающей частоте во всем экспериментальном диапазоне частот внешнего генератора (область 2 рис. 2). Между указанными областями наблюдались сложные двухчастотные и квазипериодические колебания (область 3 рис. 2).

В некотором диапазоне частот и амплитуд внешних колебаний возникали хаотические колебания (область 4 рис. 2). Идентификация хаотических движений проводилась с использованием точечного отображения Пуанкаре [7–9]. Для

построения отображения Пуанкаре на цифровых осциллографах снимались синхронизированные осциллограммы падения напряжения и транспортного тока с выборкой по времени, равной периоду внешних синусоидальных колебаний. Затем с помощью компьютера, подключенного к осциллографам, полученные значения напряжения и тока представлялись в плоскости ток-напряжение. Пример полученных отображений для двух режимов: периодического с собственной частотой и хаотического приведен на рис. 1. Каждое из приведенных отображений состоит из 2048 точек. Отображение Пуанкаре периодического режима приведено для случая, когда собственная частота несоизмерима с частотой внешнего генератора.

Следует отметить, что границы области хаотических колебаний, приведенные на рис. 2, достаточно условны, т. к. метод построения отображений Пуанкаре для выделения хаотических режимов, при всей его наглядности, является качественным. Для более строгих количественных критериев необходимо нахождение по экспериментальным данным характеристических показателей Ляпунова и размерностей наблюдаемых аттракторов [7-9].

Таким образом, в настоящей работе экспериментально показана возможность существования регулярных и хаотических режимов колебаний нормальной зоны в тонких ВТСП-пленках, включенных во внешнюю цепь с индуктивностью и периодической вынуждающей силой, и построена "фазовая" диаграмма такой системы.

Авторы выражают благодарность Н.М. Семенову за помощь в обработке экспериментальных данных.

Список литературы

- [1] Гуревич А.В., Минц Р.Г., Ратманов А.Л. Физика композитных сверхпроводников. М.: Наука, 1987. 240 с.
- [2] Скоков В.Н., Коверда В.П., Ивакин В.Б. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 3. С. 56-62.
- [3] Skokov V.N., Koverda V.P. // Cryogenics. 1993. V. 33. N 11. P. 1072-1076.
- [4] Львовский Ю.М. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 11. С. 2219-2228.
- [5] Kizu T., Enpuku K., Yoshida K., Takeo M., Yamafuji K. // Jap. J. Appl. Phys. 1990. V. 29. N 11. P. 12056-2059.
- [6] Скоков В.Н., Коверда В.П., Скрипов В.П., Ивакин В.Б., Семенова Н.М. // Доклады РАН. 1993. Т. 333. В. 5. С. 614-615.
- [7] Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1987. 423 с.

- [8] Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах. М.: Наука. 1990. 311 с.
- [9] Мун Ф. Хаотические колебания. М.: Мир, 1991. 312 с.
- [10] Скоков В.Н., Коверда В.П., Богданов Н.М. // СФХТ. 1992. Т. 5. В. 1. С. 90-94.

Институт теплофизики,
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
13 июля 1994 г.
