ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЬЕЗОТРАНСФОРМАТОРНОГО НЕЙРОНОПОДОБНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

А. В. Балыков, А. С. Малых, А. С. Назаров, В. Н. Седалищев, С. Е. Сорокин, А. О. Тицнер, А. А. Тятюхин
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

Целью данной работы является исследование возможности создания и выявление особенностей функционирования осцилляторных нейроноподобных измерительных устройств (ОНИУ), предназначенных не только для получения первичной измерительной информации, но и для ее передачи и первичной обработки.

При проведении экспериментальных исследований в качестве ансамблей взаимодействующих осцилляторов использовались колебательные системы, состоящие из акустически связанных пьезотрансформаторов. Применение пьезотрансформаторов в качестве взаимодействующих осцилляторов, с одной стороны, не требует использования специальной измерительной аппаратуры, а, с другой стороны, пьезорезорезонансные датчики находят достаточно широкое применение для измерения различных физических величин. На рисуноке 1 приведен внешний вид испытательной установки, использованной при проведении экспериментальных исследований.

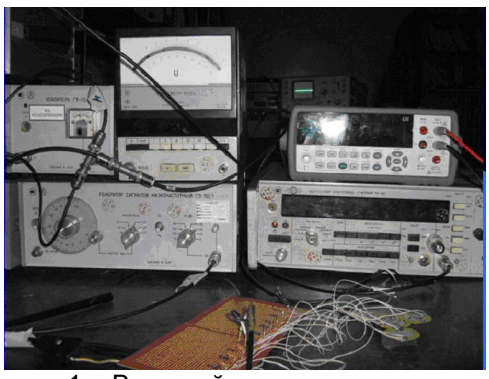


Рисунок 1 – Внешний вид экспериментальной установки

Необходимо отметить, что важную роль в процессах синхронизации взаимодействующих осцилляторов, характеристик измерительных устройств на их основе и, соответственно, областей их практического применения играет структура осцилляторной колебательной системы. Для создания контрольно-измерительных устройств могут использоваться колебательные системы с цепочной, магистральной, радиальной или глобальной (каждый с каждым) схемами взаимных связей [1, 2, 4, 6, 7].

Например, при цепочной структуре колебательной системы (рисунок 2) связь между осцилляторами убывает с увеличением расстояния между ними. Схематически это отображается уменьшением толщины стрелки, обозначающей связь между отдельными осцилляторами.

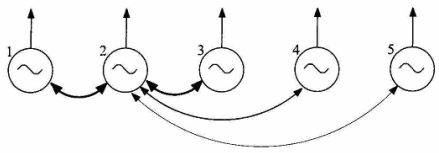


Рисунок 2 – Схема цепочки взаимодействующих осцилляторов

Более сложные процессы синхронизации возникают в замкнутых структурах, состоящих из большого числа взаимодействующих осцилляторов. Динамические процессы в таких системах также зависят от числа осцилляторов, от вида и величины связи между ними, при этом возможны режимы бифуркации, синфазной и противофазной синхронизации. С увеличением числа осцилляторов в системе возрастает число возможных комбинаций их взаимной синхронизации. В системах с пространственной структурой могут образовываться взаимодействующие между собой синхронизированные области (кластеры). Между отдельными кластерами могут возникать также и режимы биения синхронизированных колебаний.

Такой тип взаимодействия называется глобальным (рисунок 3, a). На эквивалентной схеме (рисунок 3, b) показано, что каждый осциллятор подвержен воздействию среднего поля, которое создается всеми элементами колебательной системы.

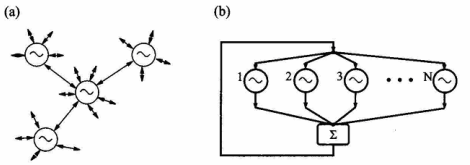


Рисунок 3 – Колебательная система, состоящая из осцилляторов, взаимодействующих «каждый с каждым»

Синхронизация может охватить весь ансамбль осцилляторов или только отдельные его области. Коллективная сила ансамбля осцилляторов формируется в зависимости от внешних условий, что является аналогом самоорганизации в сложных системах. При этом вокруг доминирующего осциллятора происходит образование кластера [2].

Согласно теории нелинейной динамики сложных систем [1, 2, 5, 6] в ансамблях глобально связанных осцилляторов (коллективах) на каждый осциллятор действует сила, пропорциональная средневзвешенному воздействию от всех осцилляторов. Эта сила пропорциональна среднему арифметическому воздействию от всего числа взаимодействующих осцилляторов, а флуктуации воздействий на каждый осциллятор пропорциональны среднеквадратическому от всех воздействий. Поэтому для оценки обобщенных параметров сложной колебательной системы ОНИУ могут использоваться вероятностные критерии, статистические методы, что существенно упрощает анализ и синтез устройств такого типа.

Наиболее простым вариантом построения осцилляторной системы, предназначенной для сбора и обработки измерительной информации может являться синхронизация системы осцилляторов внешней силой (рисунок 4).

В такой колебательной системе генератор большой мощности является доминирующим, кластерообразующим. При этом собственные частоты и амплитуды колебаний взаимодействующих осцилляторов близки, но не равны между собой. В такой системе можно создать различные режимы взаимодействия осцилляторов. Например, при определенных условиях можно реализовать режим, когда почти все автогенераторы будут синхронизированы. При этом колебания их могут быть когерентными, но иметь разные сдвиги фаз относительно друг друга.

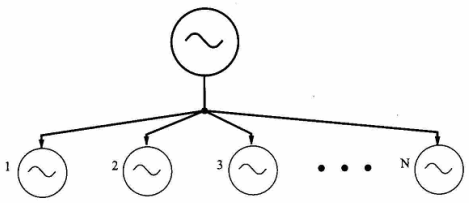


Рисунок 4 – Ансамбль осцилляторов под действием общей внешней силы

Такие синхронизированные системы взаимодействующих осцилляторов в настоящее время используются, например, для решения различных задач [1, 2, 5, 6], например, для повышения мощности излучения лазеров. При этом фазы и частоты лазеров должны совпадать за счет «захвата внешним полем». При простом сложении осцилляторов суммарная их мощность пропорциональна корню квадратному из числа взаимодействующих осцилляторов, а при синхронизации пропорциональна их сумме.

Таким образом, при увеличении числа взаимодействующих осцилляторов эффективность реализации процесса их синхронизации возрастает пропорционально корню квадратному из их общего числа. При этом мощность доминирующего осциллятора может быть в десятки раз слабее суммарной мощности всей системы [1, 2].

При проведении экспериментальных исследований в качестве ведущего (синхронизирующего) и ведомых осцилляторов использовались дисковые пьезоэлектрические трансформаторы (ПЭТ), акустически связанные между собой с помощью заземленного металлического звукопровода. Один из пьезоэлементов (на графиках обозначен как ведомый, так как не имеет собственной системы возбуждения автоколебаний) акустически связан с ведущим пьезорезонатором с помощью более протяженного по сравнению с другими элемента акустической связи.

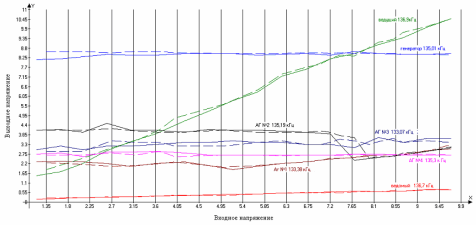


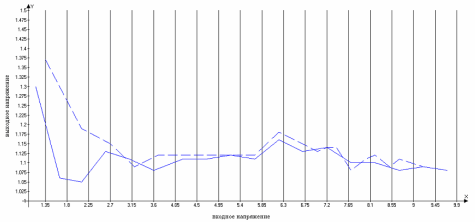
Рисунок 5 – Графики зависимости выходных напряжений акустически связанных ПЭТ при изменении напряжения возбуждения одного из них

На рисунке 5 приведены экспериментально полученные зависимости выходных

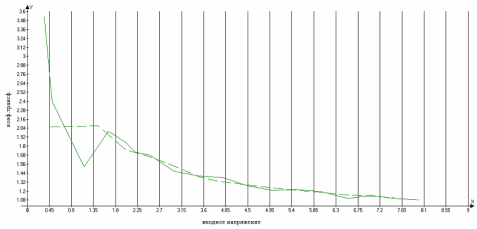
напряжений акустически связанных ПЭТ от величины напряжения возбуждения ведущего ПЭТ (пунктиром обозначен обратный ход).

Анализ режимов связанных колебаний в такой системе показывает, что при увеличении амплитуды колебаний синхронизирующего осциллятора происходит поочередная синхронизация сначала фаз, а затем частот и амплитуд колебаний ведомых осцилляторов. При уменьшении напряжения возбуждения ведущего ПЭТ происходит обратный процесс, при этом имеет место гистерезис.

На рисунке 6 приведены зависимости коэффициента трансформации ведущего ПЭТ от величины возбуждающего напряжения для двух вариантов осцилляторных систем.



а)



б)

Рисунок 6 – Зависимость коэффициента трансформации ведущего ПЭТ от величины напряжения возбуждения

Как следует из приведенных графиков, в обоих случаях с увеличением напряжения возбуждения ведущего ПЭТ его коэффициент трансформации существенно уменьшается. Это, очевидно, связано с тем, что процесс синхронизации осцилляторов в колебательной системе сопровождается перераспределением колебательной энергии между отдельными ее членами. Причем, величина энергии взаимообмена зависит от уровня акустической связи между пьезорезонаторами, а также от величины относительной расстройки частот осцилляторов и разбаланса их амплитуд колебаний.

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований позволил сделать следующие выводы относительно особенностей взаимной синхронизации осцилляторов:

- пьезорезтрансформаторы отличаются по частоте резонанса, механической добротности, амплитуде колебаний, поэтому их взаимодействие несимметрично, они в разной степени воздействую друг на друга;
- при изменении условий взаимодействия изменяются их амплитуды и частоты колебаний;
- синхронизация пьезорезотрансформаторов может быть синфазной и противофазной;
- при увеличении напряжения возбуждения синхронизирующего пьезорезотрансформатора сначала происходит синхронизация фаз осцилляторов, а при дальнейшем увеличении напряжения возбуждения ведущего пьезотрансформатора происходит захват частот и синхронизация амплитуд колебаний взаимодействующих осцилляторов;
- наличие акустической связи между пьезотрансформаторами обусловливает гашение колебаний ведущего пьезотрансформатора, что говорит о том, что взаимодействие осцилляторов соответствует появлению в системе дополнительной диссипации колебаний;
- увеличение напряжения возбуждения пьезотрансформатора приводит к существенному уменьшению его добротности, соответственно изменяется и его коэффициент трансформации;
- при снижении напряжения возбуждения ведущего пьезотрансформатора в системе с большим числом осцилляторов происходит распад образовавшихся синхронизированных ансамблей, что приводит к появлению конкуренции между ними, в результате чего могут появляться новые кластеры.

При разработке и эксплуатации ОНИУ необходимо также учитывать влияния шума на их работу. Существуют определенные особенности синхронизации ансамблей осцилляторов при наличии шума в системе:

- между синхронными и асинхронными режимами нет четкой границы (переход получается размытым);
- в синхронном режиме нормальная частота синхронизации флуктуирует;
- может происходить перескок или проскок фаз синхронных колебаний.

Знание основных закономерностей самоорганизации в таких сложных системах позволяет перейти к целенаправленному конструированию искусственных активных сред, процессы самоорганизации в которых приводили бы к образованию нужных структур. Пока в этом направлении предпринима-

ются лишь первые шаги. Наиболее развитым приложением является создание аналоговых распределенных устройств для обработки измерительной информации. Особенностью таких устройств является то, что их принцип действия базируется не на логических операциях над математическими символами, а представляют собой сложные процессы, связанный с эволюцией и взаимодействием пространственных и волновых структур в искусственно созданных активных средах [1-7].

Развитие систем получения, сбора и обработки измерительной информации идет в направлении приближения к принципам построения биологических систем. Известно, что развитие живого организма есть последовательность автономных актов самоорганизации. Управление этим процессом может осуществляться с помощью слабых воздействий, которые влияют на выбор того или иного конкретного пути развития в те моменты, когда развивающаяся структура оказывается в состоянии «бифуркации», характеризующегося наличием нескольких возможных равноправных продолжений. Именно эти слабые управляющие воздействия закодированы, по всей видимости, в генетических последовательностях первичной клетки [4].

Использование таких принципов в технике позволило бы резко расширить ее возможности, строить ее «в формах самой жизни». Это привело бы к преодолению сегодняшних принципиальных различий между миром техники и миром живой природы. То есть одни и те же закономерности должны лежать в основе функционирования как искусственно созданных технических устройств, так и живых организмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1997.
2. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. Нелинейные колебания: Учеб. пособие для вузов.-М.: Издательство физико-математической литературы, 2002.
3. Седалищев В.Н., Хомутов О.И. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации: монография. Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006.
4. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику: Учеб. руководство. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1990 272 с.
5. Рюэль Д. Случайность и хаос.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
6. Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение. М.: Мир, 1988.
7. Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах. М.: Наука, 1990.