

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНИМОСТИ ОСЦИЛЛЯТОРОВ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В УСТРОЙСТВАХ КОНТРОЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Патрушева Т.В., Патрушев Е.М.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

Решение проблемы повышения чувствительности в приборах контроля физических величин является неизменно актуальной задачей на протяжении многих лет. Измерение на уровне порога чувствительности весьма нередко в практике современных научных исследований. Реализация электрических схем, обеспечивающих высокочувствительные измерения подразумевает множество известных подходов. Одним из хорошо зарекомендовавших является автогенераторный метод измерения [1]. Действительно, получение незатухающих гармонических колебаний от объекта исследования является удобным путём преобразования статической величины (ёмкость, индуктивность, сопротивление) в более наглядную динамическую величину (частота, фаза, амплитуда). Разработка подобных автогенераторных преобразователей осуществляется на основе систем со слабо выраженной нелинейностью, с целью обеспечения изохронности колебаний. При этом, неизменно, решается проблема стабильности генерации колебаний.

Предлагаемый подход состоит в использовании автогенераторных систем существенно нелинейных и анализе сигналов, генерируемых такими устройствами. Многообразие режимов работы таких систем является ключевым моментом в создании высокочувствительных устройств. Так например, работа вблизи границы синхронного и асинхронного режимов связанных осцилляторов позволяет обнаружить области резкого повышения чувствительности [2]. Ещё более интересных результатов можно достигнуть если осуществить плавный режим входа-выхода из синхронизма – значительно растянутый во времени он эквивалентен осциллятору с очень высокой добротностью. Сравнение синхронного и асинхронного режимов можно считать классическим примером того как небольшие количественные изменения перерастают в значительные качественные – динамика системы изменяется радикально. Ещё большей информативной ёмкости сигнала можно получить, если обеспечить непрерывное, бес-

конечное во времени и к тому же нарастающее в сигнале накопление информации об исследуемом объекте. Иными словами, формы получаемых сигналов в исходном состоянии измеряемой величины и при её ничтожно малом изменении должны расходиться с увеличением времени.

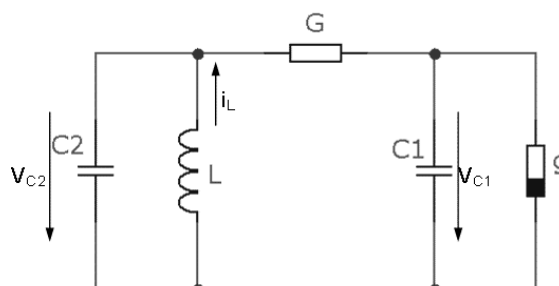


Рисунок 1 – Цепь Чуа. $L, G, C1, C2$ – пассивные элементы, g – диод Чуа. В классическом варианте предлагаются следующие значения элементов: $L=1/7\text{Гн}$; $G=0.7\text{См}$; $C1=1/9\text{Ф}$; $C2=1\text{Ф}$

Таким свойством обладают колебательные системы, поведение которых характеризуется наличием детерминированного хаоса. Действительно, траектория движения в таких системах носит неповторяющийся характер, имеет широкую спектральную полосу. И главное, такие системы обладают чрезвычайно высокой чувствительностью к начальным условиям – т.н. «эффект бабочки». Это означает, что сколь угодно малые приращения измеряемой величины приводят к всё более значительному изменению траектории движения в будущем.

Термин «хаос» в технике носит по большей части негативный оттенок. Обыватель ассоциирует с ним различные поломки, аварии и катастрофы, да и инженеры до недавнего времени полагали, что применимо к техническим устройствам можно считать «колебания – всегда периодическими, шум – недетерминированным» [3]. Также, умышленное внесение нелинейности в измерительную технику было по меньшей мере курьёзным.

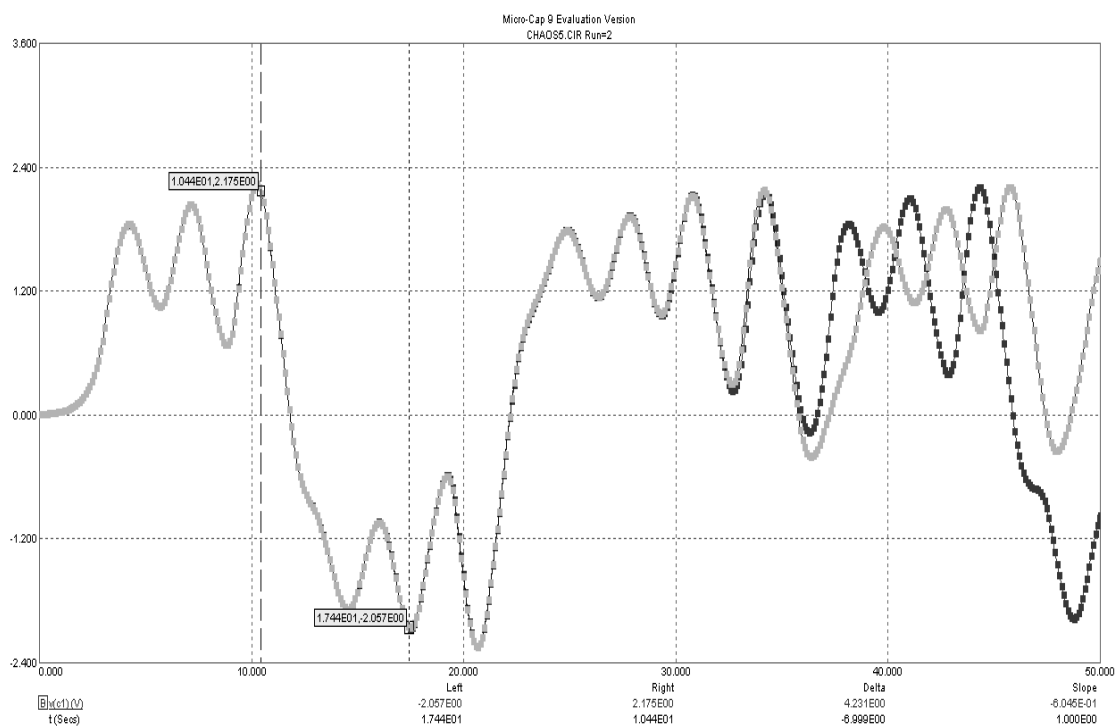


Рисунок 2 – Временная реализация vC1 для двух значений L отличающихся друг от друга на 0,01%. Очень хорошо видно, как два сигнала, вначале почти точно совпадающие друг с другом сначала постепенно расходятся, а затем становятся существенно непохожими друг на друга.

Получена в MicroCap

Тем не менее, развитие теории детерминированного хаоса на сегодня подтверждает что «колебания не обязательно должны быть периодическими» и «шум может возникнуть в детерминированных схемах». Так что вполне можно ожидать появления устройств с хаотической динамикой в цитадели линейности – средствах измерения и контроля.

Подобные колебательные системы на основе электрических элементов были предложены в начале 80-х годов XX века. Также было доказано, что возможно существование хаотических колебаний в автономных системах с тремя и более реактивными элементами. Системы с детерминированным хаосом нашли своё применение в устройствах защищённых коммуникаций, при моделировании различных сложных систем, для распознавания речи и изображений, при кодировании цифровой информации, устройствах автоматики, нейронных сетях.

Существует большое количество практических радиоэлектронных схем, демонстрирующих хаотическое поведение – самая простая из них цепь Чуа [4]. Основное удобство схемы состоит в том, что нелинейность является нереактивной величиной и реализована кусочно-линейным элементом. Вари-

ант использования осциллятора Чуа в измерительной технике предлагался в [5].

Рассмотрим схему осциллятора Чуа, представленную на рисунке 1. Практически все пассивные элементы схемы могут выступать в качестве датчика физической величины как электрической, так и неэлектрической. Таким образом, измеряемое воздействие определяет траекторию хаотического движения колебательной системы. Также представленные на схеме элементы не обязательно должны быть реальными или сосредоточёнными. Их также можно рассматривать как элементы схемы замещения датчика неэлектрической величины, например пьезорезонансного. Одной из важных особенностей применяемого подхода является «неповторяемость» сигнала, что важно если объект исследования имеет способность «подстраиваться» под рабочий сигнал измерительной системы (рисунок 2).

Анализ получаемых хаотических колебаний может производиться множеством разнообразных способов, как с применением цифровой обработки сигналов, так и без [5,6]. Трудность состоит в том, что нет возможности сравнить траектории движения в осцилляторах с опорным элементом и с измеряемой величиной, включённой в цепь. Невоз-

возможность осуществления такого эксперимента объясняется тем, что невозможно выполнить абсолютно одинаковый запуск осциллятора. Также нет возможности использовать дифференциальный метод измерения непосредственно, поскольку невозможно создать два абсолютно идентичных осциллятора. Тем не менее, траектория движения системы хранит в себе однозначную информацию о всех элементах схемы и чем больший временной интервал взять, тем на большую чувствительность в итоге можно рассчитывать.

Цепь Чуа демонстрирует хаотическое поведение довольно в узкой области параметров схемы, но даже и эта область хаоса далеко неоднородна – она буквально испещрена различными периодическими окнами, гомо- и гетероклиническими орбитами. Такая неоднородность вряд ли позволит создать преобразователь непосредственно физической величины в хаотический сигнал с широким рабочим диапазоном, но зато выбор рабочей точки вблизи границы «хаос - порядок» и введение обратной связи позволит реализовать потенциал метода, когда количественные изменения преобразуются в качественные

Информативным параметром системы могут выступать следующие величины: объём параллелепипеда, в который вписан аттрактор, что непосредственно соответствует объёму хаотического аттрактора [5,6]; форма сечения Пуанкаре при переходе из одного сегмента нелинейной характеристики в другой – в частности на возвратной траектории имеет линейный вид; сечение Пуанкаре через начало координат системы имеет вид двойного завитка с фрактальной структурой; дискретная функция последования для точек в сечении Пуанкаре [8]; распределение по час-

тотам спектральных составляющих сигнала; распределение по уровню сигналов; сигнал управления обратной связью для поддержания «стабильного» режима бифуркаций; средняя скорость движения изображающей точки по аттрактору; частота вращения изображающей точки вокруг оси аттрактора.

Таким образом, можно считать обоснованными перспективы использования хаотических осцилляторов в приборах контроля физических величин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арш Э.И. Автогенераторные методы и средства измерений. – М.: Машиностроение, 1979, 256 с.
2. Патрушев Е.М. Разработка и создание приборов и методов контроля, основанных на реализации режима биения колебаний с частичным увлечением частот в системах с двумя степенями свободы. – Диссертация на соиск. степени канд. технических наук. – Барнаул, -1999.-180с.
3. Мацумото Т. Хаос в электронных схемах. ТИИЭР Т.75 №8 1987. С.66-87.
4. Chua, LO., Komuro, M., Matsumoto, T. [1986] "The Double Scroll Family" IEEE Transactions on Circuits & Systems, vol.CAS-33, no.11, pp.1073-1118.
5. S.S. Voronov, L.V. Kolpakova, V.A. Kuznetsov Measurement methods using the properties of nonlinear dynamic systems. Measurement techniques. Vol.39 N12, 1996. p. 1188-1190
6. Воронов С.С., Колпакова Л.В., Кузнецов В.А. Метод хаотического генератора: подходы к диагностированию параметров нелинейных хаотических систем. //Измерительная техника.-2000.-№5.
7. Л.В.Колпакова Разработка измерительных устройств на базе метода хаотического генератора//Измерительная техника.-2000.-№5.
8. Wu, C.W., Rul'kov, N.F. Studying chaos via 1-D maps- a tutorial.- IEEE Transactions on Circuits & Systems I-Fundamental Theory & Applications, vol.40,1993, no.10, pp.707-721.