

ГЕНЕРАТОРЫ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Максимов Н. А., Панас А.И.
ФИРЭ им.В.А.Котельникова РАН
141190, г.Фрязино, Московской обл.,
пл. Академика Б.А.Введенского
E-mail: maksna49@mail.ru

Аннотация - Предлагается подход к созданию генераторов хаоса с требуемой полосой спектра в заданном диапазоне частот. Приводятся уравнения генераторов и результаты компьютерного моделирования.. Демонстрируются варианты реализации генераторов хаотических колебаний в различных диапазонах частот и результаты их экспериментального исследования.

За основу может быть взят генератор гармонических колебаний, чья динамика описывается обыкновенным дифференциальным уравнением второго порядка, т.е. система с одной степенью свободы, в которой по определению не могут возникнуть хаотические колебания. Назовем такой генератор активным осциллятором. В качестве такого осциллятора могут выступать генераторы, построенные на основе моста Вина, RC- генераторы, генераторы с трансформаторной обратной связью, генераторы 3-х точки и т.д.

Вторым элементом структуры является пассивный осциллятор, который может содержать как линейные, так и нелинейные реактивные элементы и обладает частотно-избирательными свойствами в соответствующем диапазоне частот. При создании генераторов хаоса для практического применения полторы степени свободы в системе, необходимые для возникновения хаотических колебаний, как правило, недостаточны. Поэтому под пассивным осциллятором в общем случае подразумевается резонансная цепь, состоящая из нескольких простейших колебательных контуров, число степеней свободы которых, значительно превышает 2. В частности это относится к распределенным системам, применяемым в СВЧ диапазоне.

Третий элемент структуры – связь. Связь между активным и пассивным осциллятором, обеспечивающая их самосогласованное взаимодействие. Другими словами, связь должна обеспечивать взаимообратное влияние друг на друга активного и пассивного осцилляторов. Блок – схема, описанной структуры приведена на рис.1а.



Рис.1. Структура построения генератора хаотических колебаний

В качестве активного осциллятора (автоколебательной системы) используем, например, генератор, реализованный на операционном усилителе и мосте Вина рис.2а, а в качестве пассивного осциллятора может быть выбрана частотно-избирательная система (ЧИС), составленная из цепочки нескольких последовательно - параллельных RLC звеньев, рис.2б, которые в совокупности формируют полосно-пропускающий фильтр (ППФ):

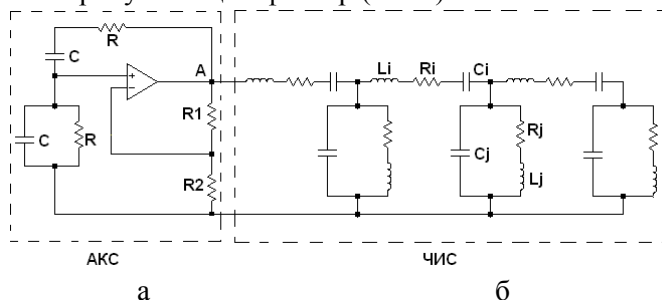


Рис.2 Схема генератора на основе моста Вина с цепочкой осцилляторов

Автоколебательная система представляет собой, в данном случае, неинвертирующий усилитель, охваченный положительной обратной связью по входу "+", роль которой выполняет пассивный полосовой RC-фильтр с низкой добротностью. Часть сигнала с выхода операционного усилителя (т. А) через делитель R1, R2 поступает на инвертирующий вход "-", образуя отрицательную обратную связь по входу и обеспечивая, тем самым, устойчивую работу усилителя. Напряжение $U_{ос} = U_{вых} * k$, где коэффициент обратной связи $k = R1/(R1+R2)$. При этом коэффициент усиления такого усилителя будет $G = 1/k$. Отсюда следует, что коэффициент усиления не зависит от параметров самого усилителя, а определяется только обратной связью.

Генерация в АКС возникает при выполнении условия $R1 = 2R2 + r$, т.е. когда коэффициент усиления $k \geq 3 + r/R2$. Временная и спектральная характеристика сигнала на выходе генератора (т. А) представлены на рис.3(а,б). В системе устойчиво реализуются детерминированные колебания, частота которых $W = 1/RC$, рис.3:

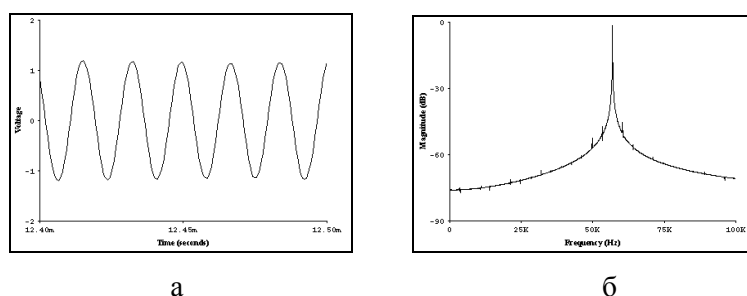


Рис.3 Временная реализация и спектр сигнала на выходе АКС

Синтезируем теперь ЧИС с требуемыми характеристиками: полоса частот, диапазон, неравномерность АЧХ и т.д. и подключим этот колебательный элемент к АКС таким образом, чтобы между ними осуществлялось взаимное воздействие, рис.2. Это соответствует тому, что в качестве нагрузки и дополнительной цепи обратной связи к АКС подключается реактивный элемент $Z(W)$, рис.4 и коэффициент передачи сигнала с выхода на вход становится частотно-зависимым:

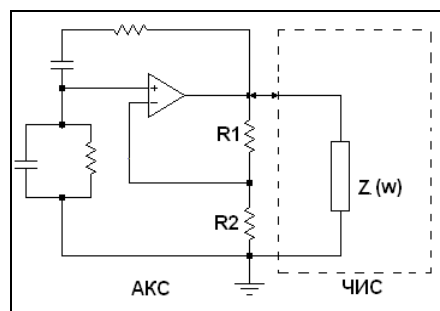


Рис.4 Схема генератора в обобщенном виде

В результате сигнал, поступающий на вход усилителя как по цепи обратной положительной, так и обратной отрицательной связи изменяется и по частоте и по амплитуде и в силу низкой добротности пассивного фильтра АКС и изменения реактивного сопротивления на выходе ОУ в системе могут возникнуть условия для генерации колебаний на различных частотах. В результате многократного взаимного влияния АКС и ЧИС, а также конкуренции возникающих мод развиваются хаотические колебания с частотами, определяемыми полосой пропускания ЧИС. Вид колебаний в этом случае представлен на рис.5:

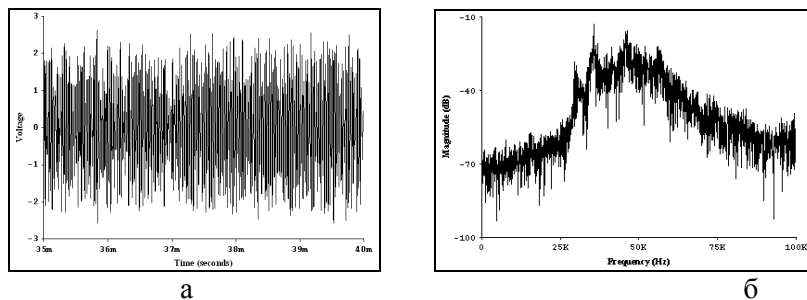


Рис.5 Временная реализация (а) и спектральная характеристика (б) хаотических колебаний на выходе ЧИС, моделирование.

Необходимо отметить, что подключение ЧИС изменяет начальные условия, накладываемые на коэффициент усиления k . Хаотические колебания в системе возникают при $k \leq 3$.

Если на выходе АКС поставить буферное устройство, т.е. устранить взаимное влияние АКС и ЧИС, то в системе будут существовать только детерминированные колебания.

Данная система была реализована в макете на базе ОУ LM741 и исследована в эксперименте в диапазоне до 200КГц, рис.6 :

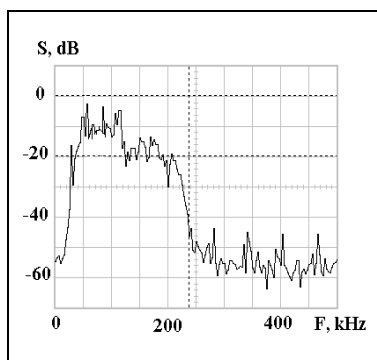


Рис.6 Спектральная характеристика сигнала на выходе ЧИС, эксперимент.

В докладе приводятся результаты численного исследования математических моделей генераторов хаотических колебаний, построенных в соответствии с приведенной общей структурой, но разных по схемной реализации. В одном случае, в качестве активного осциллятора используется генератор трехточки, а пассивный осциллятор представлен частотно-избирательной системой, составленной из цепочки нескольких последовательно - параллельных RLC звеньев, которые в совокупности формируют полосно-пропускающий фильтр (ППФ), являющийся низкочастотной моделью ППФ в микрополосковом исполнении, [1]. Во втором случае активным осциллятором является классический одноконтурный генератор с трансформаторной обратной связью, а роль пассивного осциллятора выполняет колебательный контур с нелинейной емкостью варакторного диода, [2]. Далее рассматривается система взаимно связанных генераторов хаоса. Показано, что область изменения параметров системы при устойчивой генерации хаотических колебаний значительно увеличивается и появляется возможность управления полосой генерации в широких пределах без нарушения режима работы системы.

В докладе приведены результаты экспериментального исследования макетов генераторов СВЧ диапазона, в которых роль активного элемента выполняет мощный транзистор КТ982. Генераторы построены в соответствии со структурной схемой, рис.1. Роль пассивного осциллятора выполняет микрополосковый резонатор с варакторным СВЧ диодом, подключенный к эмиттеру транзистора. На рис.7 приведены спектры мощности генераторов изготовленных на основе микрополосковой технологии.

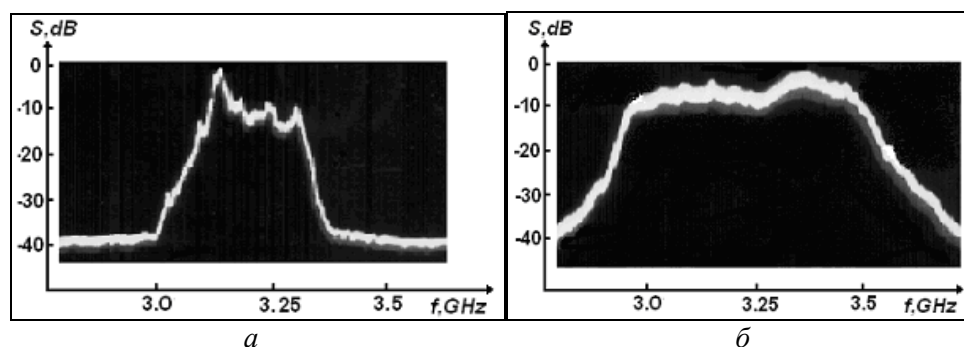


Рис. 7. эксперимент; (а) – спектр мощности генератора с варактором в полосе 3.15-3.3 ГГц ; (б)- спектр мощности двух связанных идентичных генераторов в диапазоне 3.0-3.5 ГГц, по уровню 10дБ, спектром можно управлять используя элемент связи.

Следует отметить, что использование варакторного диода в качестве нелинейного элемента (нелинейной емкости), отсутствие энергетических затрат на его управление, позволяет поднять КПД автогенератора до 25-30% в режиме хаотических колебаний.

На основе математического моделирования и физического эксперимента апробирован подход к созданию генераторов хаотических колебаний с заданной и управляемой полосой спектра в различных диапазонах частот.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект 08-07-00298).

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимов Н.А., Панас А.И. Однотранзисторный генератор полосовых хаотических сигналов радиодиапазона. Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники, 2000, №11, С.61-69.
2. Максимов Н.А., Кислов В.Я. “Хаотическая и регулярная динамика автономных автоколебательных систем, содержащих *p-n* переход” // Радиотехника и электроника. 1997. №12. С.1487-1492.