

Мощный генератор микроволнового шума

С. В. Савельев

Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова российской академии наук; Фрязино, пл. Введенского, 1; e-mail: savelyev@ms.ire.rssi.ru.

Предложена и реализована хаотическая автоколебательная система двух связанных через небалансный сумматор мощностей автогенераторов на биполярных транзисторах 2Т 982 А-2. Получена устойчивая генерация хаотических колебаний в диапазоне частот 4.98 – 5,57 ГГц со спектральной плотностью $1,45 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/МГц}$.

The chaotic self-oscillatory system of two capacities of oscillators connected via not balance adder on bipolar A-2 transistors 2T 982 is offered and realized. Steady generation of chaotic fluctuations in the range of frequencies of 4.98 - 5,57 GHz with a spectral density of $1,45 \cdot 10^{-3} \text{ W/MHz}$ is received.

Современные требования к системам радиопротиводействия накладывают жесткие условия на параметры передатчиков шумовых помех: ширина спектра генерируемых колебаний свыше 10%, спектральная плотность не менее 10^{-3} Вт/МГц по порядку величины, коэффициентом полезного действия (КПД) не менее 10% при соблюдении требований высокой надёжности. Такими параметрами обладают прямошумовые генераторы на базе мощных биполярных транзисторов.

Особенностью мощных биполярных транзисторов является сильная зависимость основных параметров, таких как коэффициент усиления и значения импедансов, от рабочего тока [1], что совместно с большим разбросом значений параметров от экземпляра к экземпляру является основным препятствием для использования готовых программных пакетов, например Cadence IC или Electronic WorkBench 5.12, с целью моделирования процессов в таких системах.

В работе [2] показана возможность генерации микроволнового хаоса на базе одностранзисторных систем на основе отечественного мощного транзистора 2Т 982 А-2. Однако эффективная полоса генерируемых шумовых колебаний в таких системах не превышает 4%. Подход увеличения ширины полосы шумового сигнала за счет сложения сигналов от нескольких автогенераторов малоэффективен, так как потери мощности складываемых микроволновых шумовых сигналов при отсутствии корреляции между ними составляет 50% и более. Кроме того, активный элемент в одностранзисторном генераторе хаоса обязан работать в сильно нелинейном режиме, что ограничивает энергетические параметры системы в целом, такие как интегральная мощность и КПД.

В настоящей работе продемонстрирована возможность построения генератора микроволновых хаотических колебаний на двух связанных одностранзисторных автогенераторах. Каждый парциальный автогенератор представляет собой автогенератор на транзисторе 2Т 982 А-2, аналогичный автогенератору, описанному в [2], эмиттер и коллектор которого подключены к выполненным по планарной микрополосковой технологии элементам топологии, согласующие входной и выходной импедансы транзистора с 50-омными подводными линиями. Топология согласующих элементов транзисторов в парциальных автогенераторах рассчитана так, чтобы автогенераторы были расстроены друг относительно друга по частоте. Так, в предлагаемой схеме разность между центральными частотами парциальных автогенераторов со значениями 5,15 и 5,45 ГГц равнялась эффективной полосе одного парциального автогенератора. Такая расстановка по частоте обеспечивает необходимые

условия для получения хаотического сигнала на выходе системы с максимально широким спектром мощности, равным удвоенной ширине полосы частот одного парциального автогенератора.

В качестве элемента связи парциальных автогенераторов предложен небалансный кольцевой сумматор мощностей с центральной частотой 5,3 ГГц. Сумматор обеспечивает как необходимое значение коэффициента связи между парциальными автогенераторами, так и согласование выходов парциальных автогенераторов с нагрузкой. Необходимый коэффициент связи между парциальными автогенераторами обеспечивается выбором значения балансного сопротивления кольцевого сумматора, которое равнялось 120 ом. Такое значение балансного сопротивления обеспечивает значение коэффициента связи между парциальными автогенераторами равное 0.2 на центральной частоте сумматора. Предварительно значение коэффициента связи было получено путем моделирования динамики двух связанных автогенераторов с выделенной инерционностью[3]. В работе [4] показано, что модель автогенератора с выделенной инерционностью адекватно описывает процессы в регенеративном усилительном каскаде на мощном транзисторе 2Т 982 А-2, работающем в автогенераторном режиме. Значение коэффициента, при котором в предлагаемой системе связанных автогенераторов реализовывался хаотический режим в наибольшем пространстве определяющих параметров, было взято за основу при расчёте балансного сопротивления кольцевого сумматора мощностей.

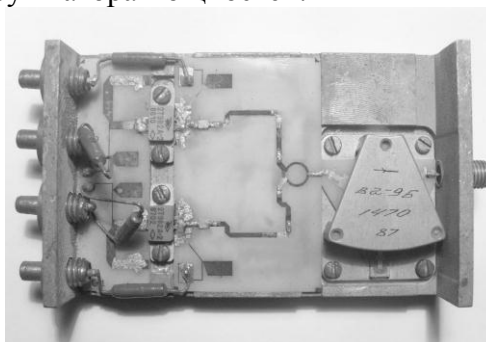


Рис.1. Общий вид генератора микроволновых колебаний.

Общий вид генератора микроволновых колебаний представлен на рис. 1. Топология согласующих элементов транзисторов была выполнена на подложке из поликора толщиной 1 мм. Рисунок топологии согласующих элементов транзисторов аналогичен представленному в [2] с учетом центральных частот парциальных автогенераторов. Размер подложки для эмиттерных цепей транзисторов составляет 15 × 48 мм, коллекторные цепи совместно с небалансным сумматором мощностей выполнены на подложке размером 30 × 48 мм. Выход сумматора подключен к входу микрополоскового вентилля В2–9Б с тем, чтобы исключить влияние внешних устройств. Габаритные размеры генератора 80 × 50 × 18 мм.

Окончательный этап синтеза генератора хаотических колебаний сводился к экспериментальному нахождению напряжений питания транзисторов при варьировании согласующих элементов транзисторов при помощи последовательного подключения настроечных площадок, когда в системе реализовывалась генерация хаотического сигнала с необходимыми параметрами. Первоначально напряжения питания транзисторов равнялись паспортным величинам: напряжения на коллекторах $U_{БК} = 17,5$ В, напряжения на эмиттерах $U_{БЭ} = 0$. Далее значения $U_{БЭ}$ понижались и при $U_{БЭ} = -0,8$ В парциальные автогенераторы переходили в автогенераторные режимы на своих центральных частотах, в системе возникла двухчастотная автогенерация. Далее постепенно уменьшались значения $U_{БК}$. Понижение коллекторных напряжений до $U_{БК}$

= 14,5-13 В повышало степень нелинейности автоколебательных процессов парциальных автогенераторов, что приводило к возникновению сетки частот с эквидистантной расстановкой составляющих на комбинации центральных частот парциальных автогенераторов. После этого понижались значения $U_{БЭ}$ до значений -1.1 - -1.2 В, что сопровождалось увеличением рабочего тока транзисторов, а значит увеличение параметров инерционности в коллекторных цепях транзисторов. В спектральном представлении это вызывало возникновение третьей частоты на границе касания полос парциальных автогенераторов и, как следствие, усложнение сетки частот колебательного процесса на комбинации трёх частот. Далее напряжения питания варьировались в пределах $U_{БК} = 13,5 - 10$ В, $U_{БЭ} = -1,15 - 1,29$ В. Изменение напряжений приводило к множественным перестройкам в спектральном представлении колебательного процесса. Система демонстрировала как ряд бифуркаций удвоения периода колебаний, так и бифуркации периода колебаний по закону натурального ряда с последующим жёстким переходом к хаотическим колебаниям со сплошным спектром. Заключительный этап настройки сводился к выравниванию формы огибающей спектра мощности при помощи последовательного подключения настроечных площадок в топологии согласующих элементов совместно с незначительным, порядка 0,1 В, варьированием напряжений питания при контроле спектральной плотности колебаний на выходе системы.

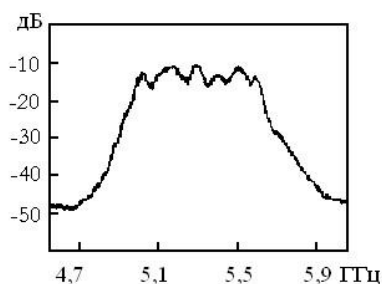


Рис. 2. Спектр мощности генератора микроволновых колебаний.

В рабочем режиме автоколебательная система генерирует хаотические колебания со спектром мощности в диапазоне примерно 4.98 - 5.57 ГГц, рис. 2. Интегральная мощность микроволнового хаотического сигнала составляет 870 мВт, что при напряжениях питания $U_{БК} = 10,3$ и $11,1$ В, $U_{БЭ} = -1,26$ и $-1,23$ В и потребляемых токах 290 и 270 мА для верхнего и нижнего по частоте парциальных автогенераторов соответственно дает значение КПД 13%. Неравномерность огибающей спектра мощности не превышает 5% в указанном диапазоне частот.

Таким образом, в процессе проведенных исследований реализована автоколебательная система двух связанных автогенераторов базе мощных отечественных транзисторов 2Т 982 А-2, в которой получена генерация хаотических колебаний микроволнового диапазона с относительной шириной спектра мощности 11% и спектральной плотностью генерируемых колебаний $1,45 \cdot 10^{-3}$ Вт/МГц.

Литература

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Москва. «Мир». 1984.
2. Савельев С.В. // ПЖТФ. 2012. Т. 38. Вып. 11. С. 20 – 25.
3. Савельев С.В. // Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике: Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Муром, 1-3 июля 2003 г. Муром: Изд.- полиграфический центр МИ Вл.ГУ, 2003. С.104.
4. Савельев С.В. // РЭ. 2004. Т. 49. № 7. С. 850.